

**Monitoraggio delle vibrazioni sulle
torri Garisenda ed Asinelli
prodotte dal traffico su
Strada Maggiore, Via San Vitale e Via Rizzoli**



Relazione di consulenza tecnica asseverata

La valutazione degli effetti delle vibrazioni prodotte dal transito dei mezzi pubblici pesanti si concretizza confrontando i valori misurati con sicuri valori di riferimento

MISURA

delle vibrazioni sulle torri:

- transito degli autobus
- transito di veicoli leggeri

RISULTATI →

VALUTAZIONE

Confronto dei risultati con i parametri di riferimento da normative o da letteratura scientifica

Allo stato attuale, non esistono precisi riferimenti normativi per edifici "anomali" quali torri e ciminiere

Rilievo delle vibrazioni all'interno della TORRE DEGLI ASINELLI



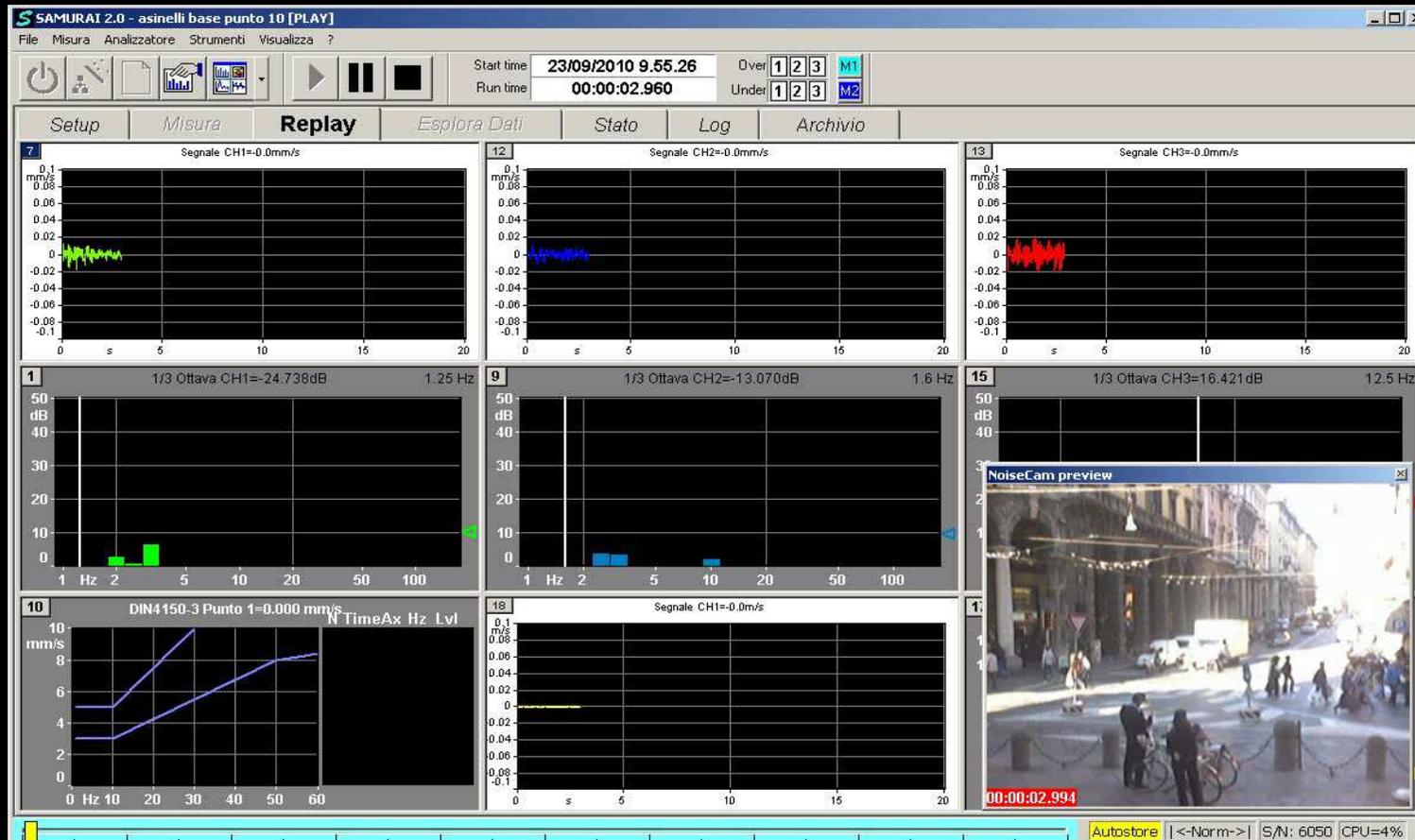
Sismometro collegato allo strumento di analisi (PC portatile munito di idonea interfaccia analogico/digitale e programma di analisi).

Il sismometro è posto in prossimità della parete.

Telecamera collegata al PC di analisi per la ripresa del traffico durante i rilievi sul terrazzo della torre

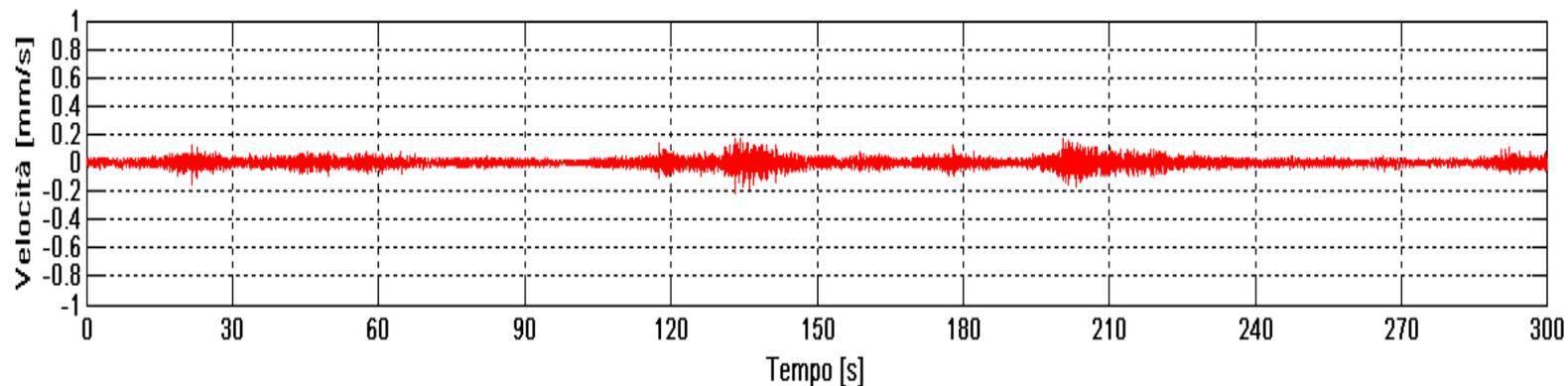
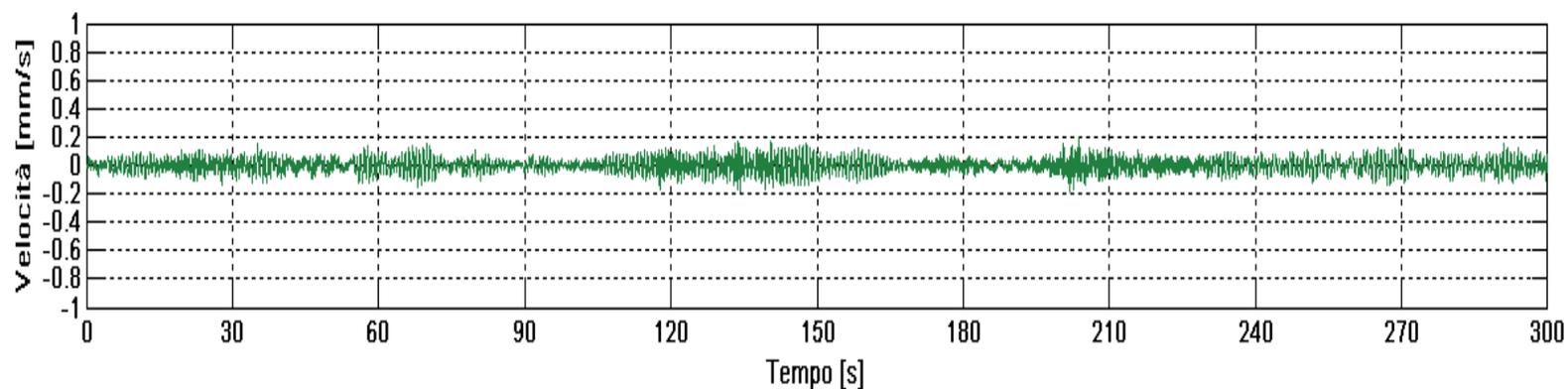
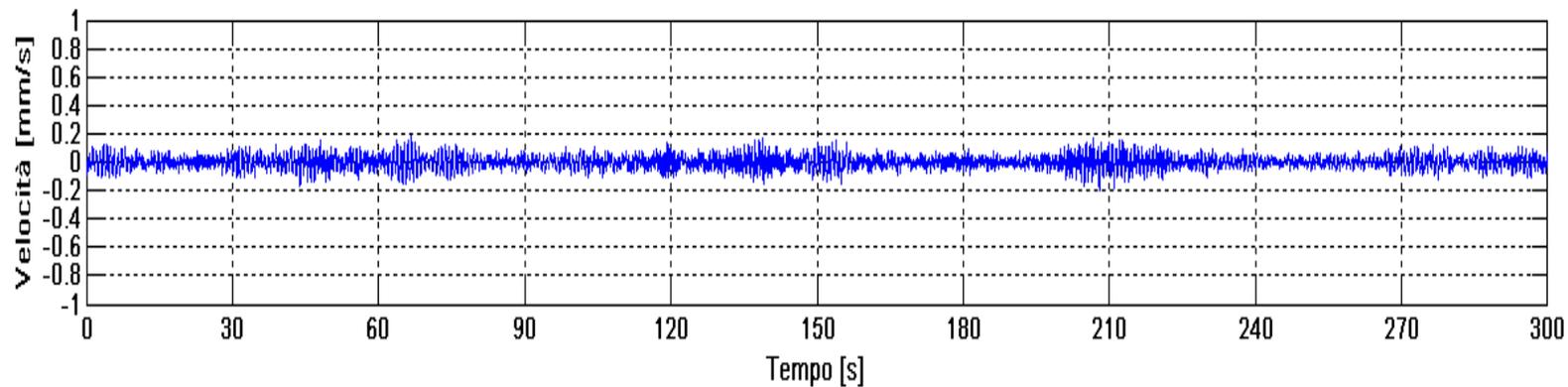
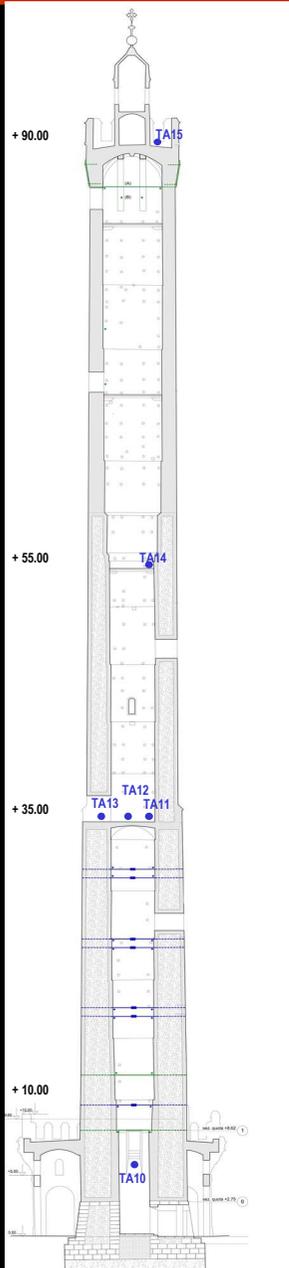


Rilievo delle vibrazioni alla base della TORRE DEGLI ASINELLI



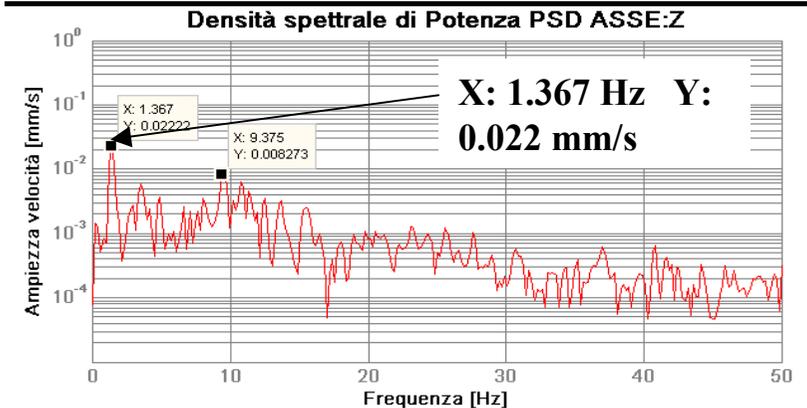
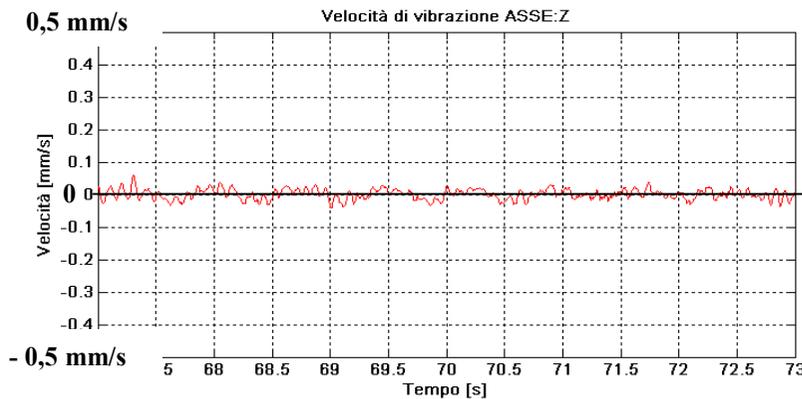
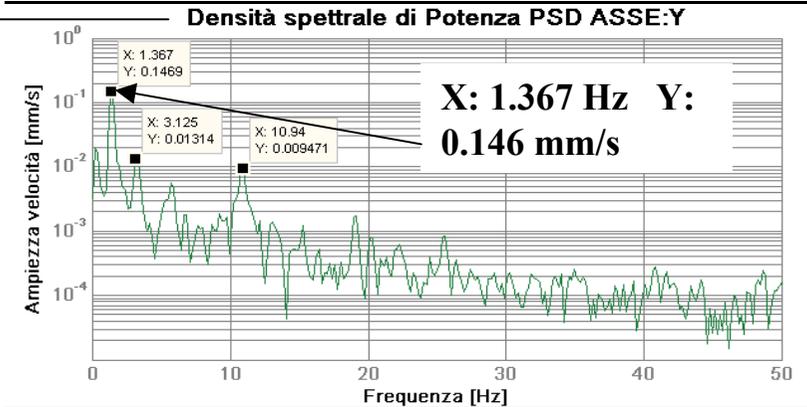
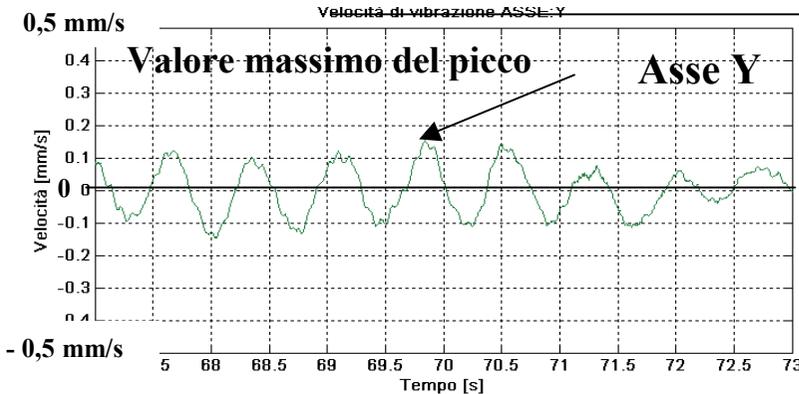
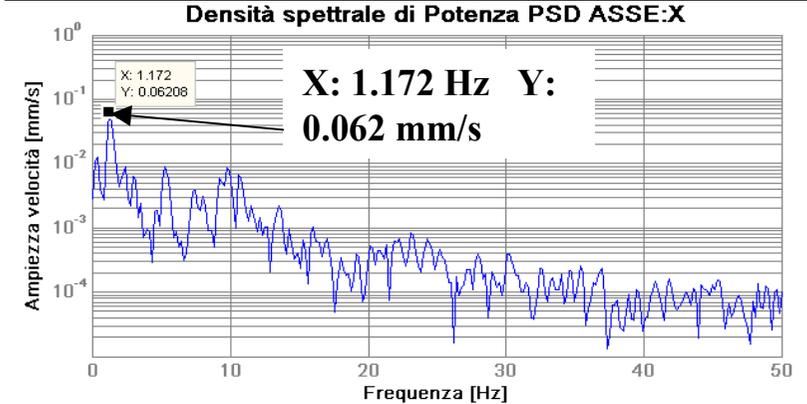
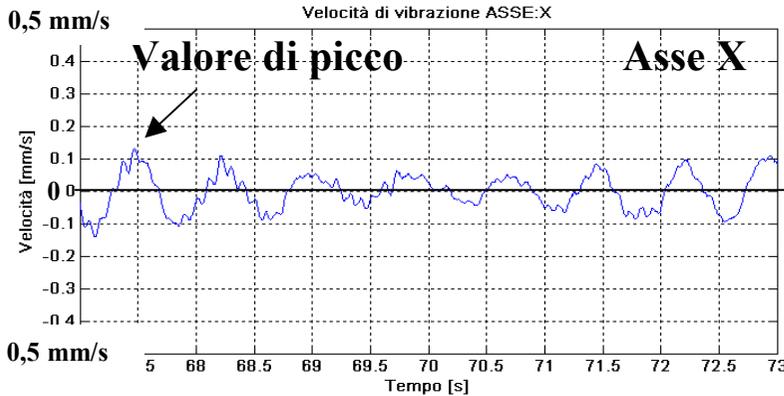
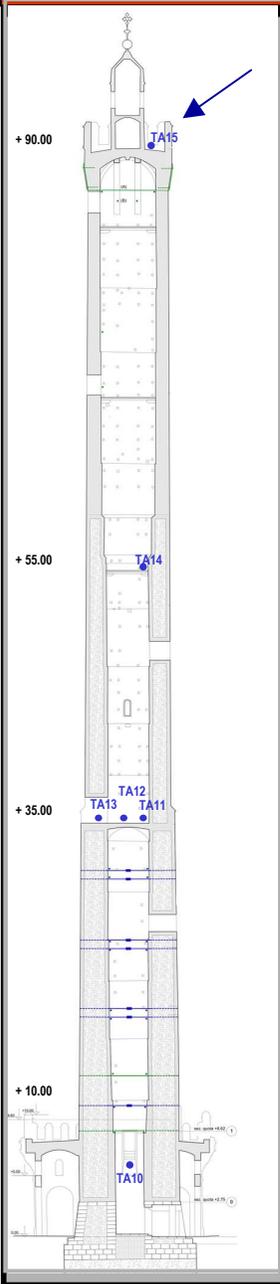
*La telecamera riprende il traffico da via Rizzoli verso strada Maggiore
Il sismometro riprende le vibrazioni alla base della torre.*

Tracciato storico della velocità di vibrazione

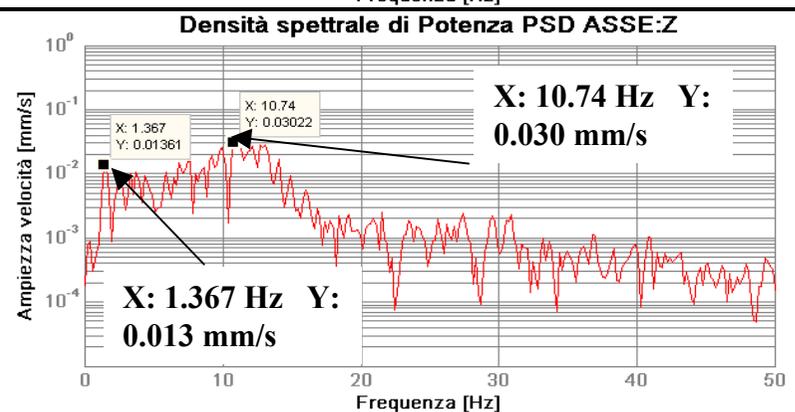
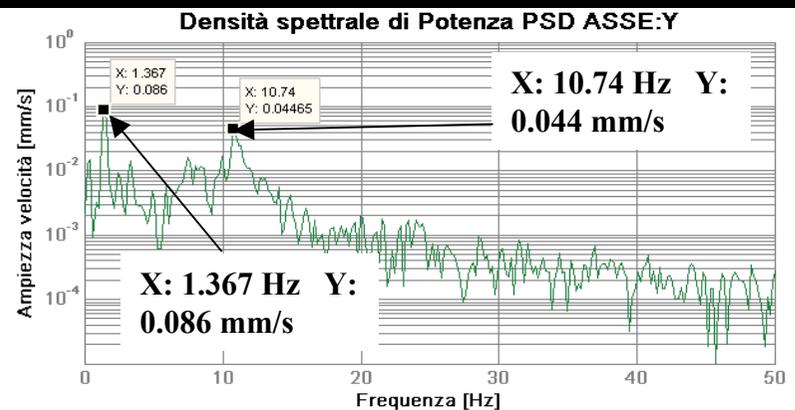
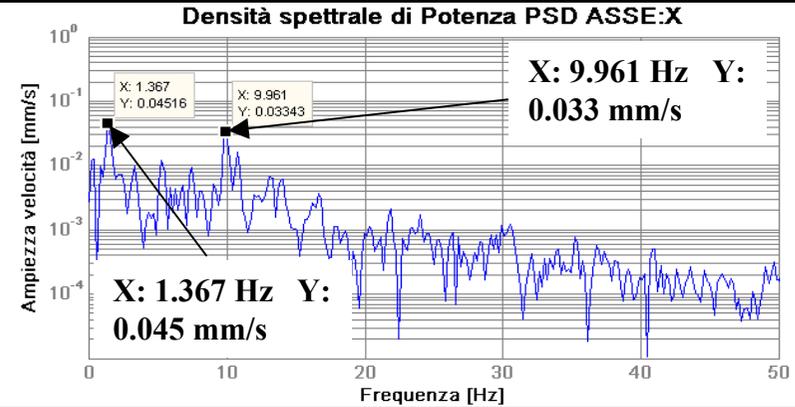
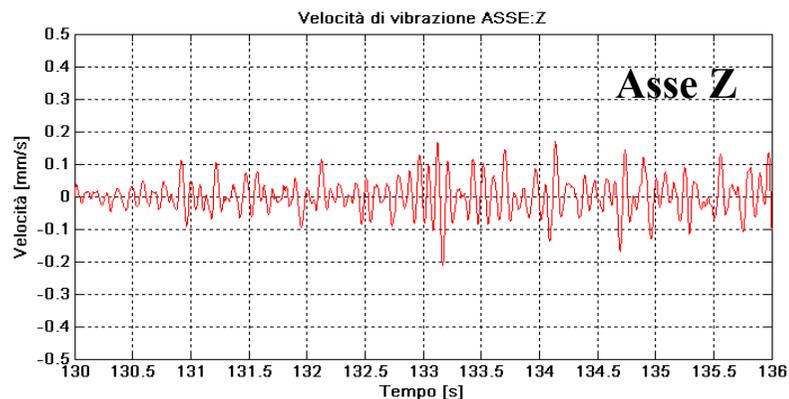
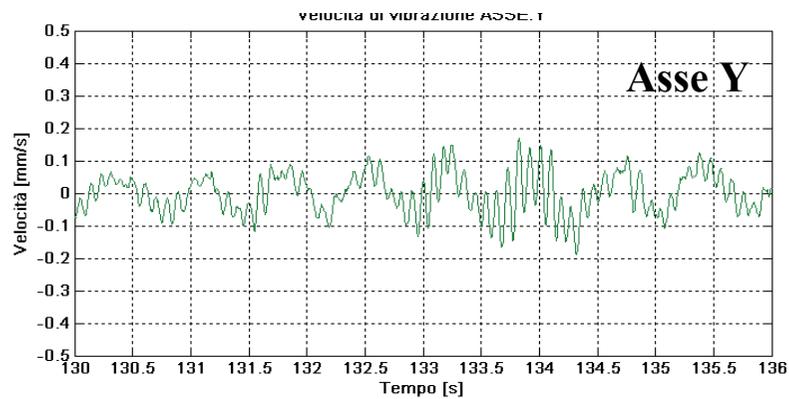
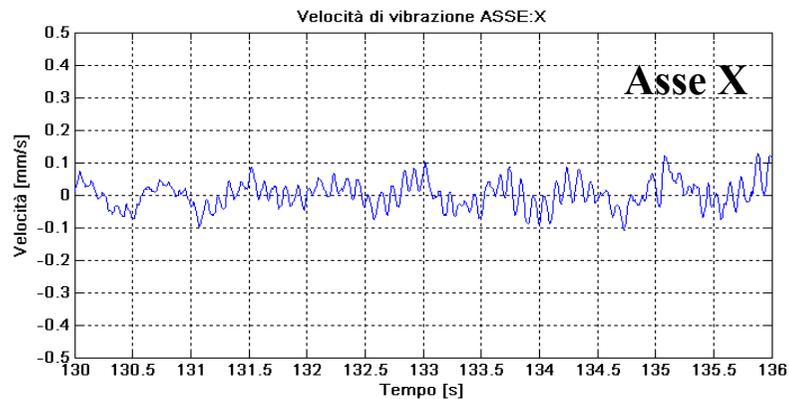


Sismogramma delle vibrazioni di fondo (solo auto)

SOLO AUTO asse Y p.c.p.v. = 0.143 mm/s frequenza $f = 1.4$ Hz



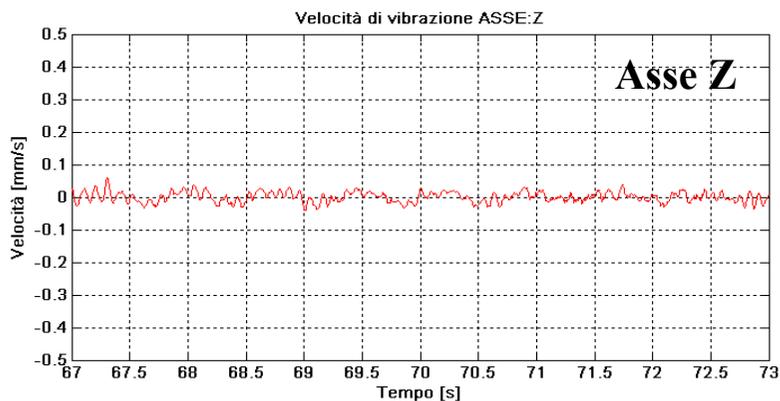
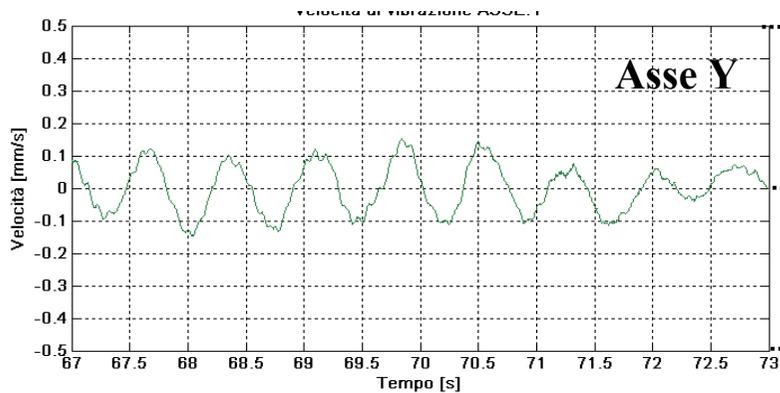
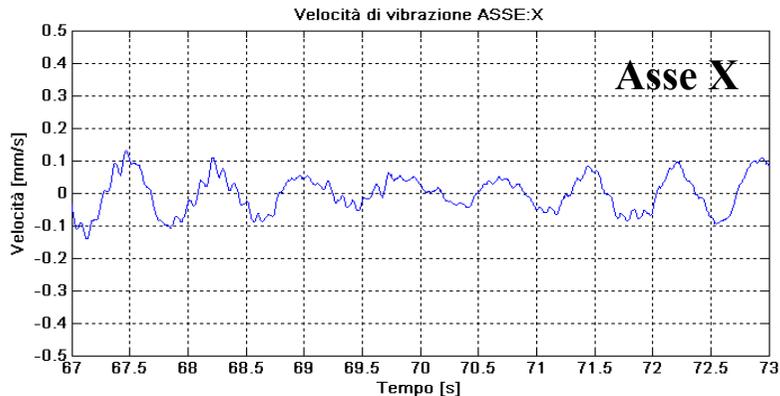
AUTOBUS asse Y p.c.p.v. = 0.16 mm/s frequenza $f = 1.4$ Hz



Confronto tra le vibrazioni di fondo e quelle indotte dagli autobus da 27.2 t

SOLO AUTO p.c.p.v = 0.14 mm/s

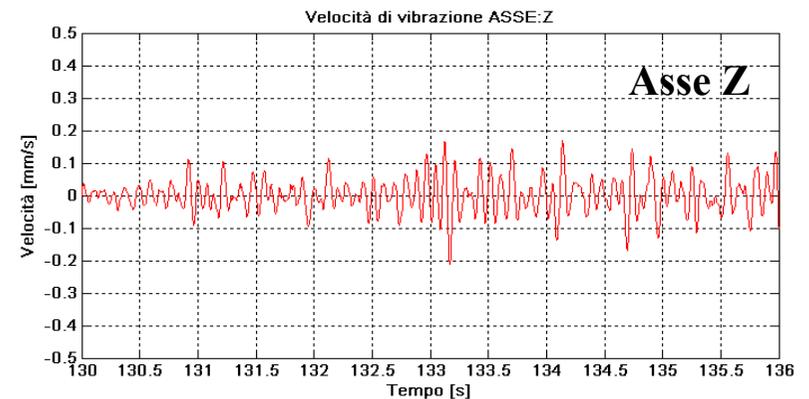
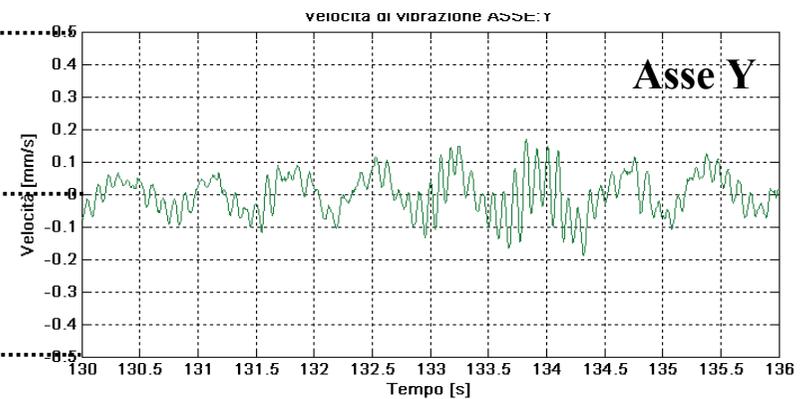
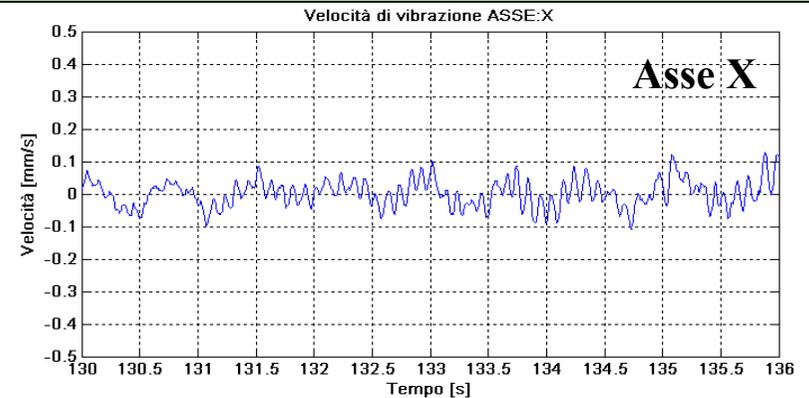
AUTO + AUTOBUS p.c.p.v = 0.16 mm/s



0.5 mm/s

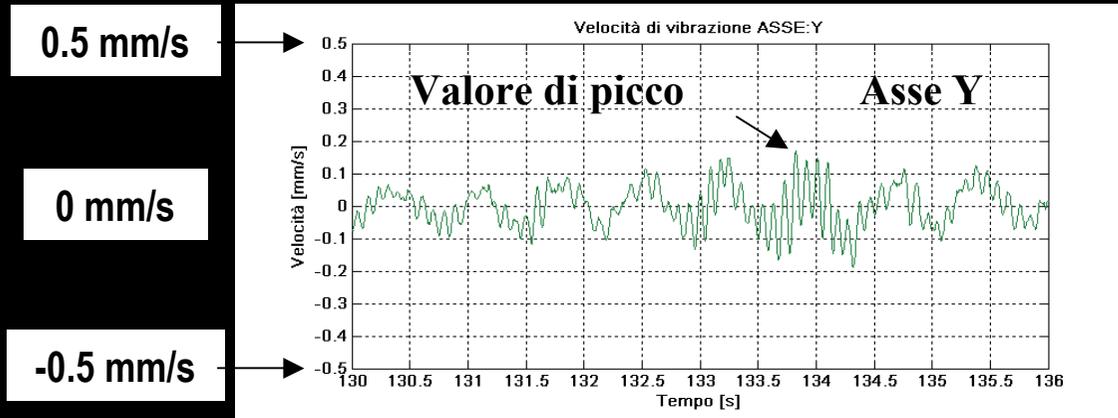
0 mm/s

-0.5 mm/s



Valutazione dell'effetto delle vibrazioni sugli edifici

Tracciato della velocità di vibrazione



Il più elevato valore di picco rilevato sui tre assi X, Y e Z è chiamato velocità di picco di una componente puntuale ed è indicato con **p.c.p.v.** (peak component particle velocity).

Nell'esempio durante il transito di un autobus p.c.p.v. è risultato pari a 0,16 mm/s lungo la direzione dell'asse Y (parallelo a strada Maggiore)

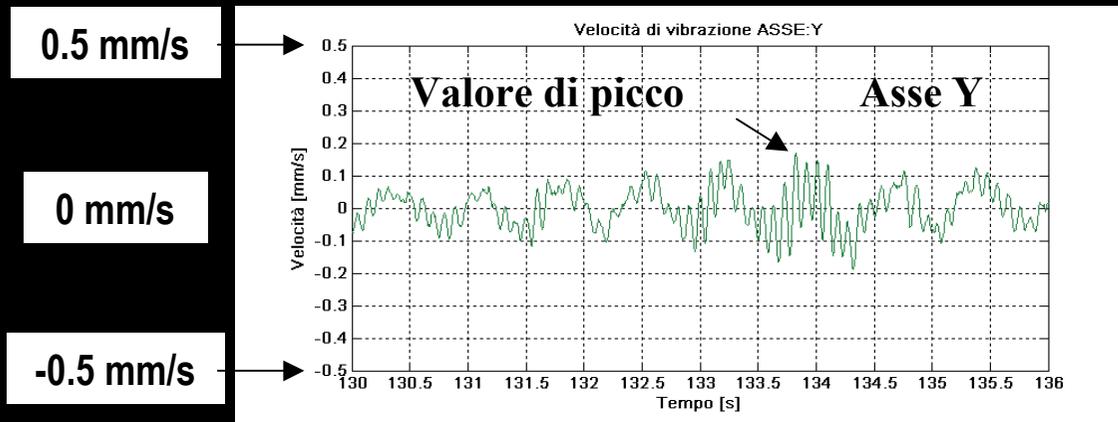
Le norme di riferimento:

ISO 4866 (Norma internazionale anno 2010) : *indica i metodi di misura ma non fornisce valori di riferimento demandando il compito alle norme nazionali.*

UNI 9916 (Norma italiana anno 2004) : *indica i metodi di misura delle vibrazioni e segnala i limiti definiti dalla norma DIN 4150 – 3)*

DIN 4150 - 3 (Norma tedesca anno 1999) : *definisce i metodi di misura e fissa valori di p.c.p.v. per vibrazioni impulsive e per vibrazioni continue*

Valori di riferimento per valutare l'effetto delle vibrazioni sugli edifici UNI 9916 e DIN 4150 - 3



Nell'esempio, durante il transito di un autobus, il valore rilevato è pari a p.c.p.v = a 0,16 mm/s

Le vibrazioni prodotte dal traffico sono di tipo continuo o permanenti e non sono di tipo impulsivo. Per queste ultime i valori ammessi sono più elevati.

La norma **UNI 9916**, a proposito dei valori di soglia sotto i quali non si verificano danni alle strutture edilizie, rimanda nella propria appendice D ai valori indicati *dalla norma DIN 4150 – 3*)

Valori di riferimento per valutare l'effetto delle vibrazioni sugli edifici UNI 9916 e DIN 4150 - 3

Valori di riferimento per le componenti orizzontali della velocità di vibrazione p.c.p.v. al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni (UNI 9916 prospetto D2)

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s (per tutte le frequenze)
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	10
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	2.5

Occorre tener conto di effetti Effetti cumulativi delle vibrazioni che su lunghissimo periodo possono produrre danni per fatica.

Si è proceduto a ridurre la soglia di valutazione nel seguente modo:

Valori di riferimento UNI $p.c.p.v. = 2,5 \text{ mm/s}$

Riduzione al 50 % per fatica $p.c.p.v. = 1,25 \text{ mm/s}$

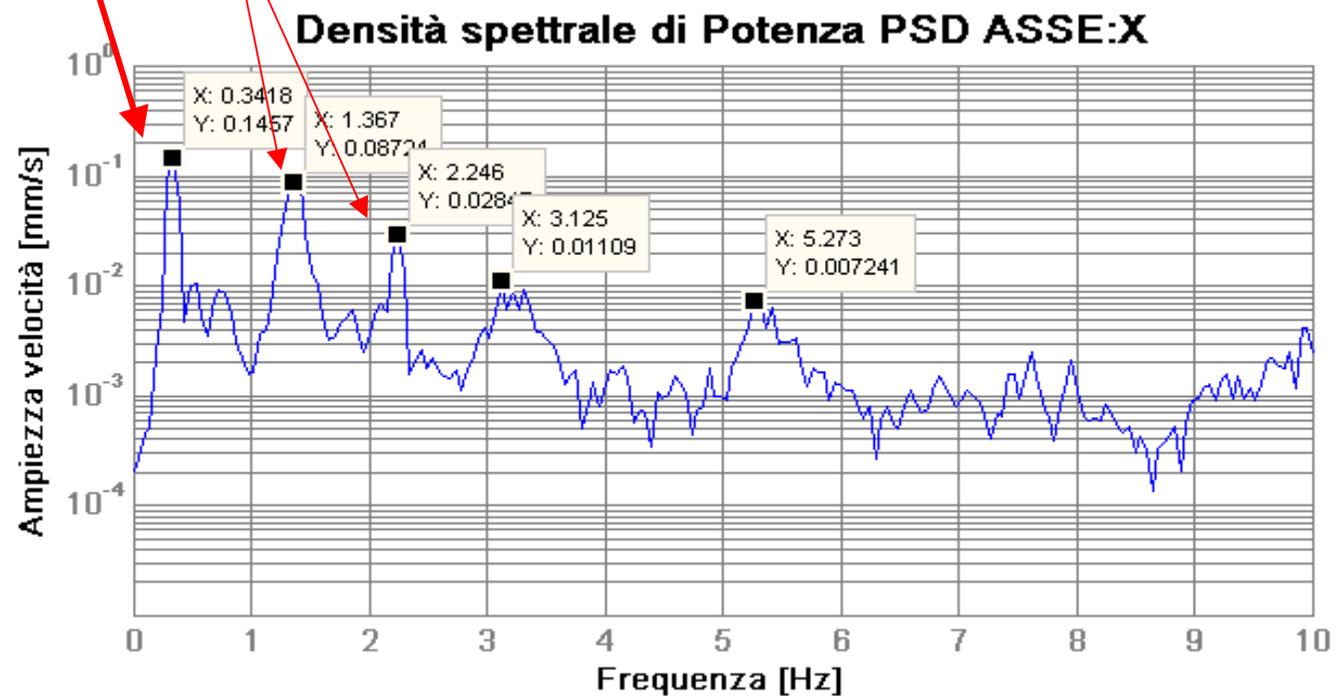
Ulteriore margine di sicurezza pari a 1/10 $p.c.p.v. = 0,125 \text{ mm/s}$

Soglia minimale di osservazione $p.c.p.v. = 0,1 \text{ mm/s}$

Assenza di traffico pesante p.c.p.v.= 0,14 mm/s

Primo modo di oscillazione rilevato in assenza di traffico pesante

Modi di ordine superiore

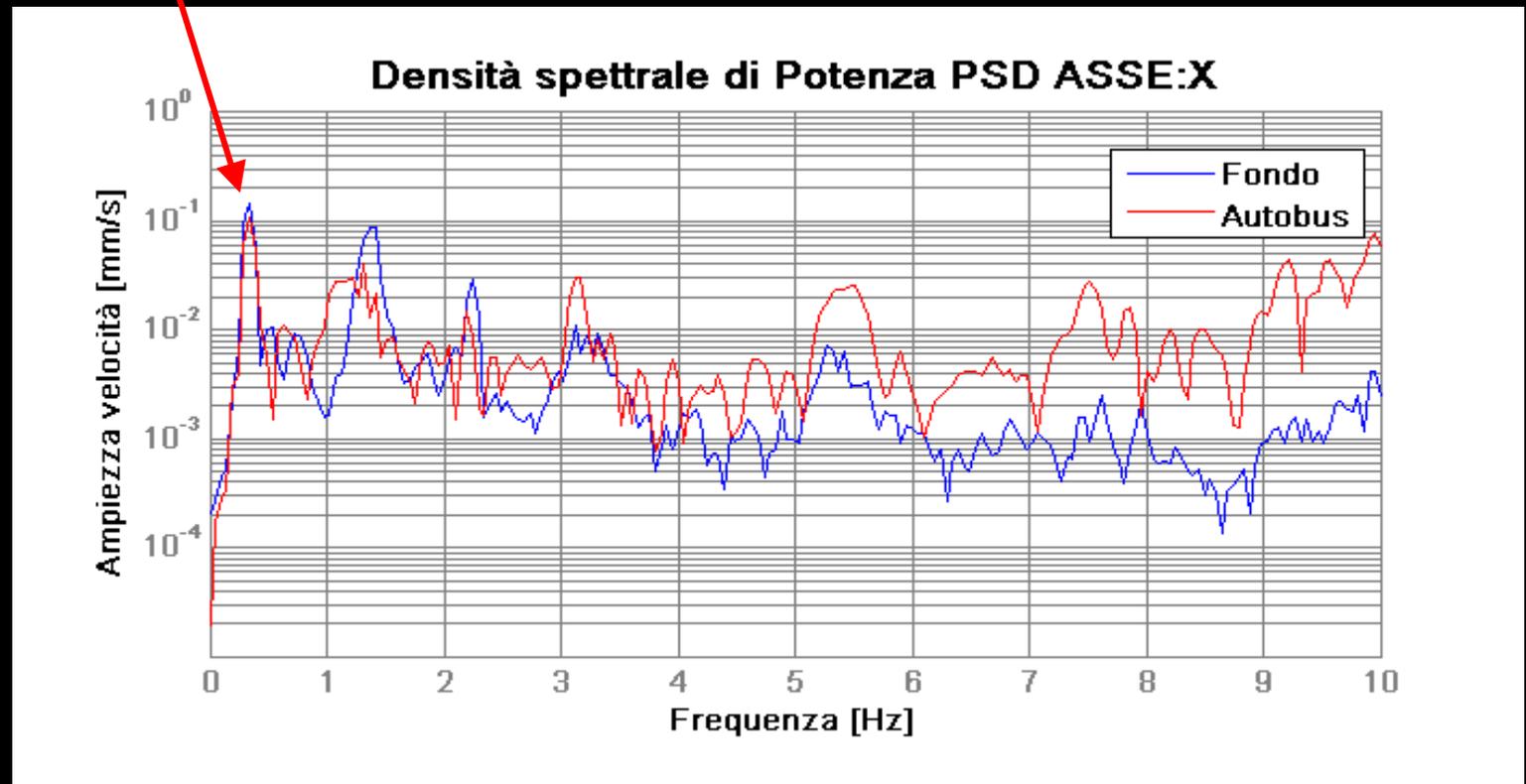


Confronto delle vibrazioni in assenza e presenza del transito degli autobus

Fondo p.c.p.v. = 0,14 mm/s

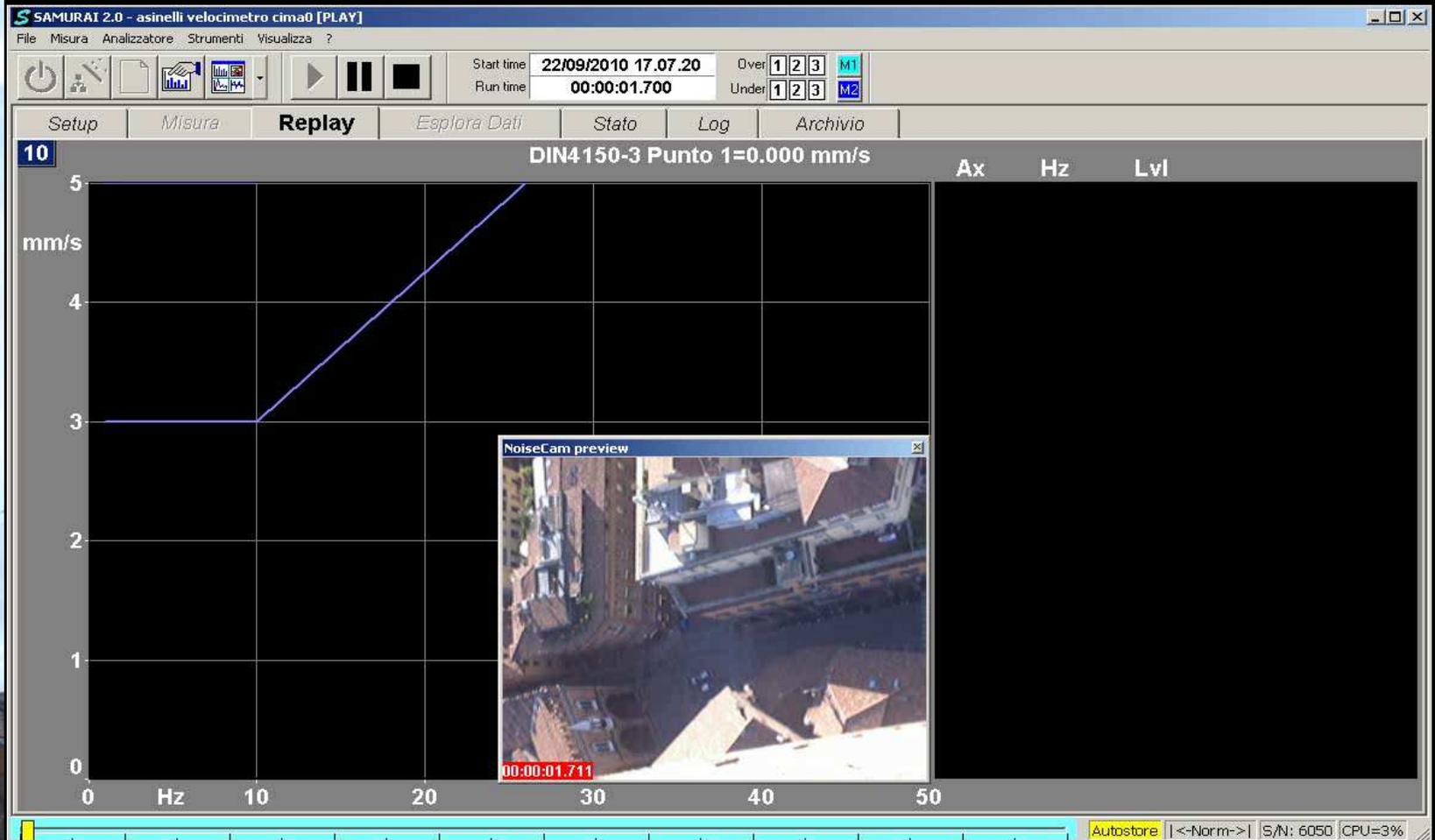
Autobus p.c.p.v. = 0,16 mm/s

Primo modo di oscillazione



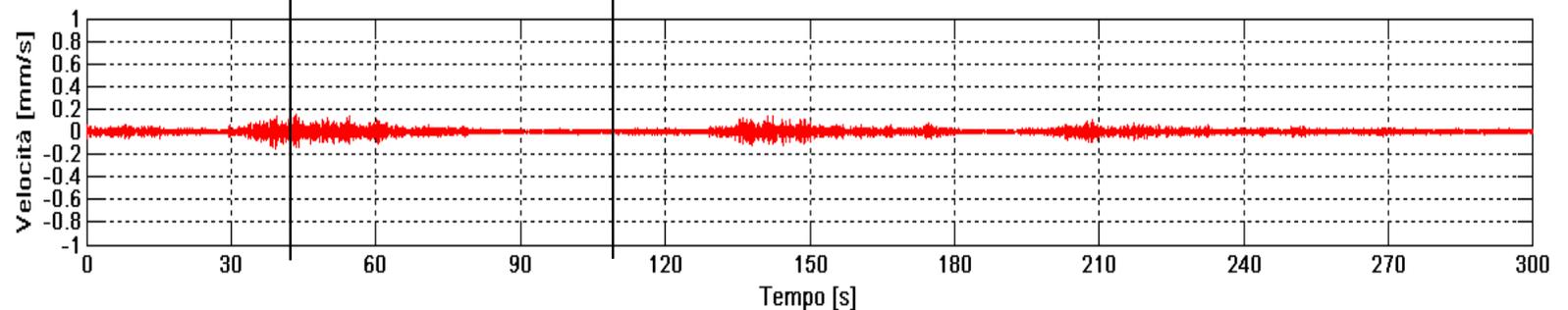
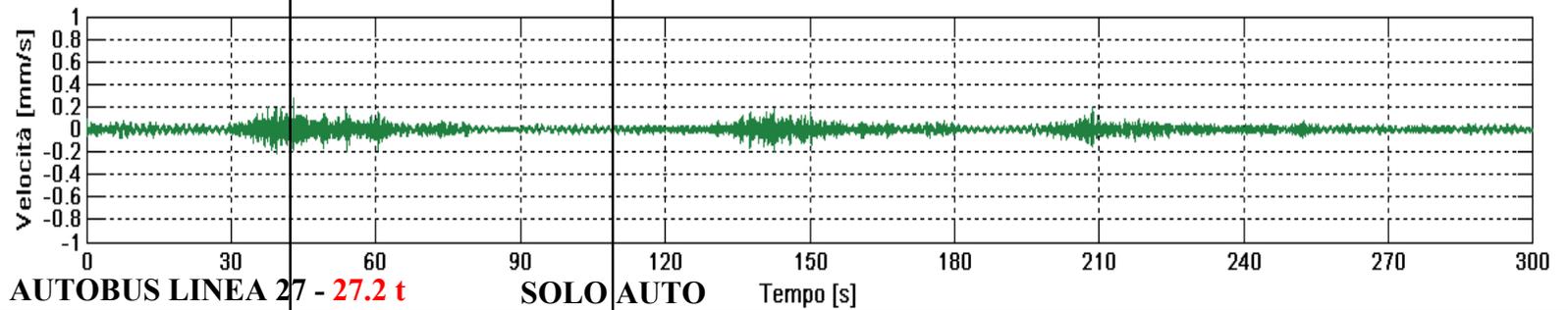
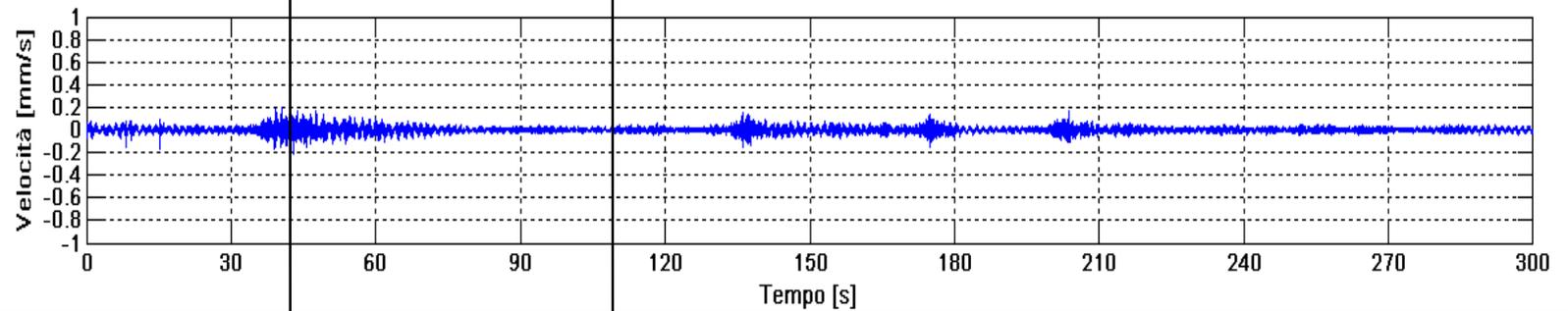
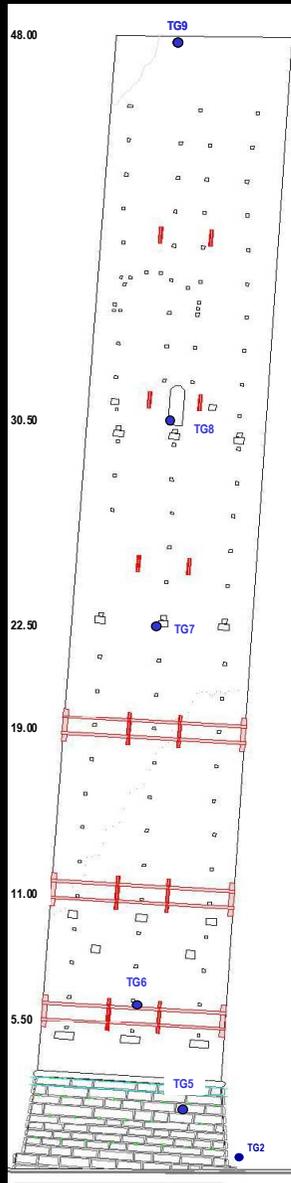
Sul terrazzo della torre

Rilievo dei superamenti della soglia minima di
 $p.c.p.v = 0,1 \text{ mm/s}$



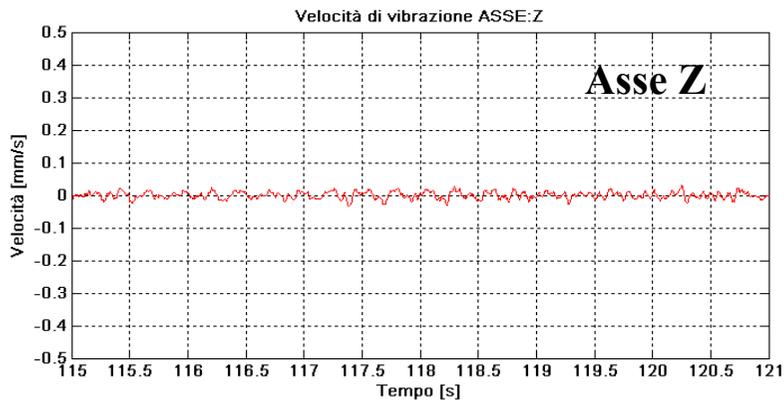
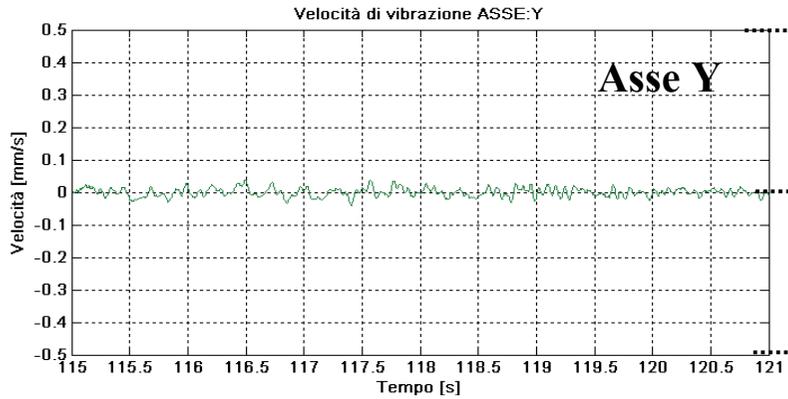
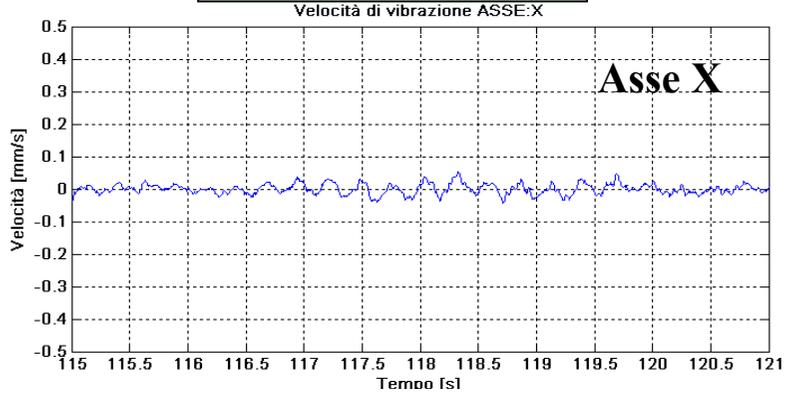
Rilievo delle vibrazioni all'interno della TORRE GARISENDA

Tracciato storico della velocità di vibrazione



Confronto tra le vibrazioni di fondo quelle indotte dagli autobus sulla torre GARISENDA

SOLO AUTO

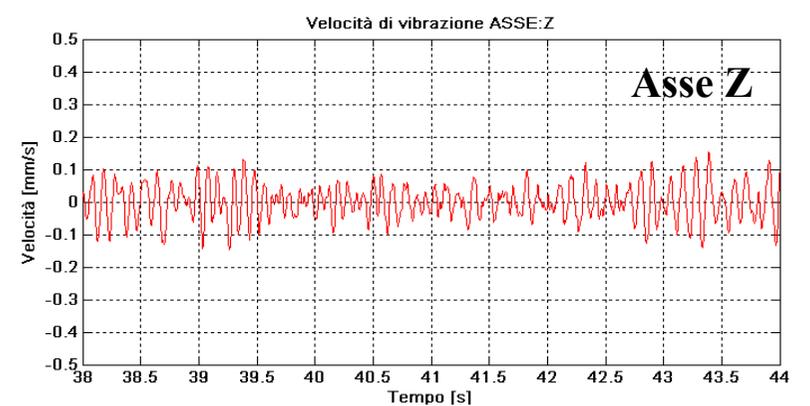
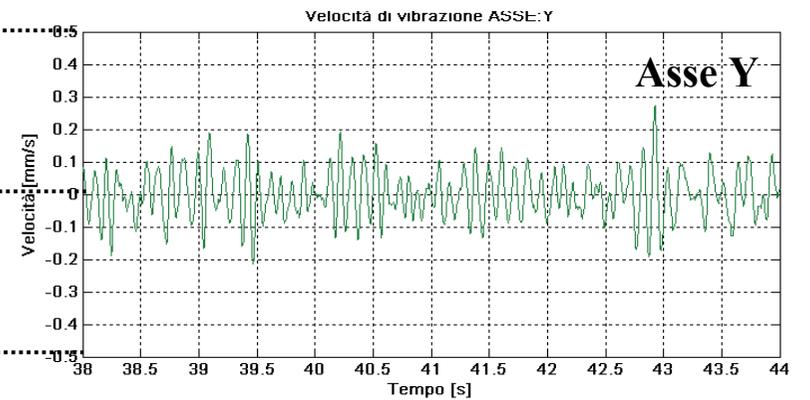
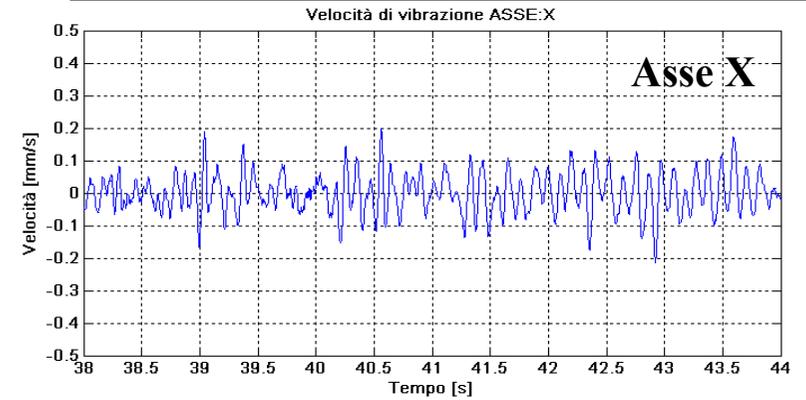


0.5 mm/s

0 mm/s

-0.5 mm/s

AUTO + AUTOBUS (27.2 t)



La misura delle vibrazioni sulle due torri è stata effettuata in accordo con le norme **UNI 9916** (italiana)

I criteri di valutazione usati sono due:

- Per confronto con i valori assoluti desunti dalle normative (la norma UNI consiglia i valori fissati dalla norma tedesca DIN): 2,5 mm/s ridotti a 1,25 mm/s per tener conto del fenomeno della fatica. Si analizzano eventi con ampiezza superiore a 0,1 mm/s
- Per confronto con i valori rilevati in assenza di passaggi dei mezzi pubblici pesanti ed indotti da cause estranee probabilmente di natura ambientale (vento etc.)

Valori massimi di p.c.p.v misurati in presenza ed assenza di traffico pesante

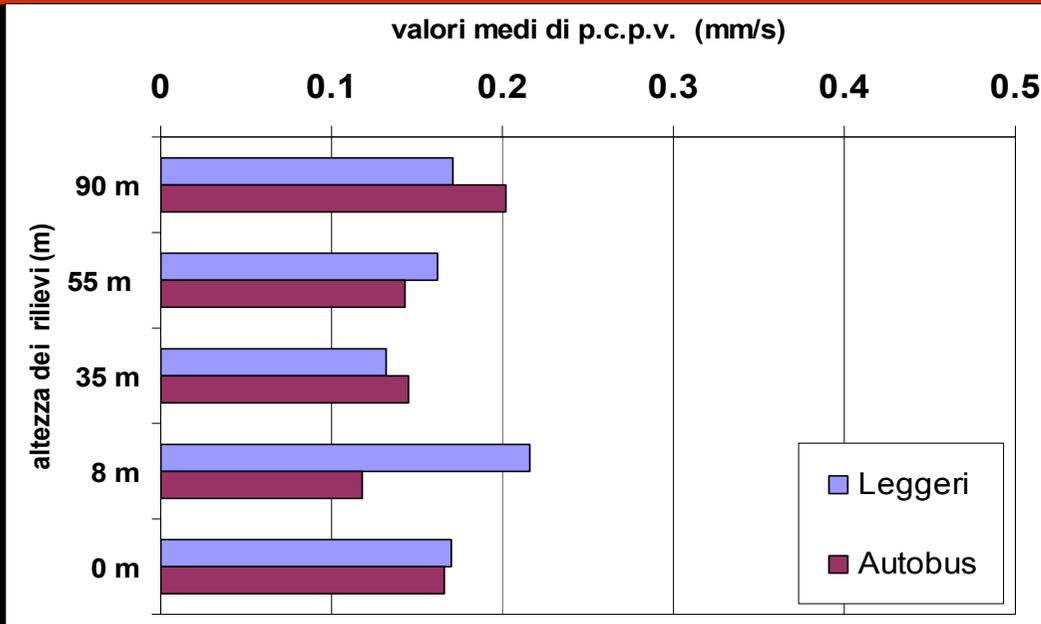
Valori delle vibrazioni in assenza di autobus – Vibrazioni di fondo

Torre degli Asinelli – Valori massimi rilevati		Torre Garisenda – Valori massimi rilevati	
a 90 m sulla cima	0.171 mm/s	a 48 m sulla cima	0.116 mm/s
a 55 m di altezza	0.162 mm/s	a 30,5 m di altezza	0.059 mm/s
a 35 m di altezza	0.132 mm/s	a 22.5 m di altezza minore di	- mm/s
a 8 m di altezza	0.216 mm/s	a 5.5 m di altezza	0.049 mm/s
a 0 m alla base della torre	0.170 mm/s	a 0 m sulla base della torre	0.032 mm/s

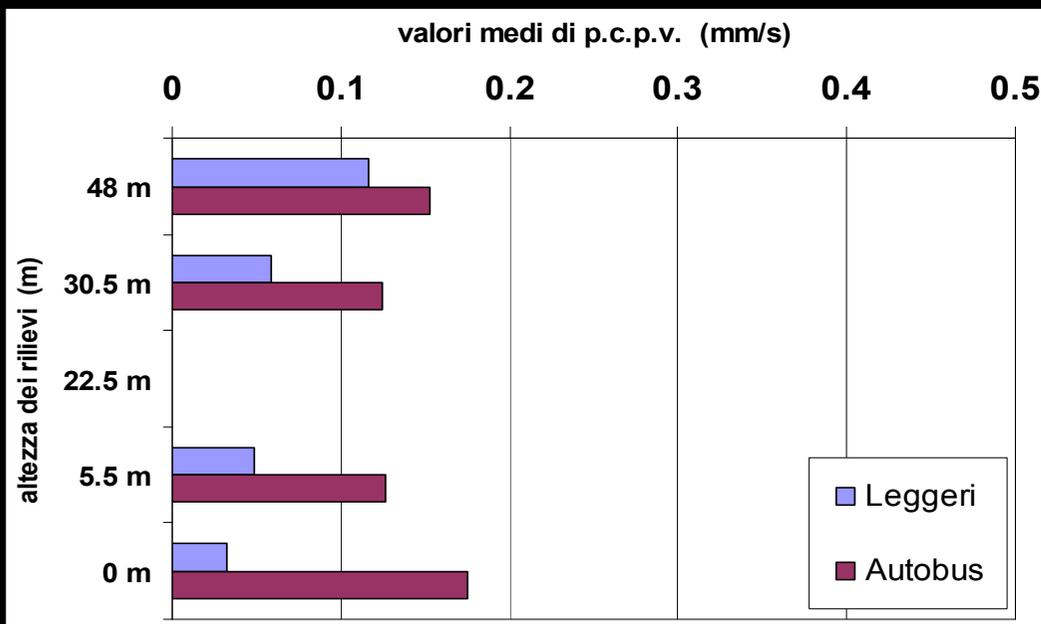
Valori delle vibrazioni in presenza di autobus

Torre degli Asinelli – Valori massimi rilevati		Torre Garisenda – Valori massimi rilevati	
a 90 m sulla cima	0.202 mm/s	a 48 m sulla cima della torre	0.153 mm/s
a 55 m di altezza	0.143 mm/s	a 30,5 m di altezza	0.124 mm/s
a 35 m di altezza	0.145 mm/s	a 22.5 m di altezza minore di	- mm/s
a 8 m di altezza	0.118 mm/s	a 5.5 m di altezza	0.127 mm/s
a 0 m alla base della torre	0.166 mm/s	a 0 m base della torre	0.175 mm/s

Conclusioni



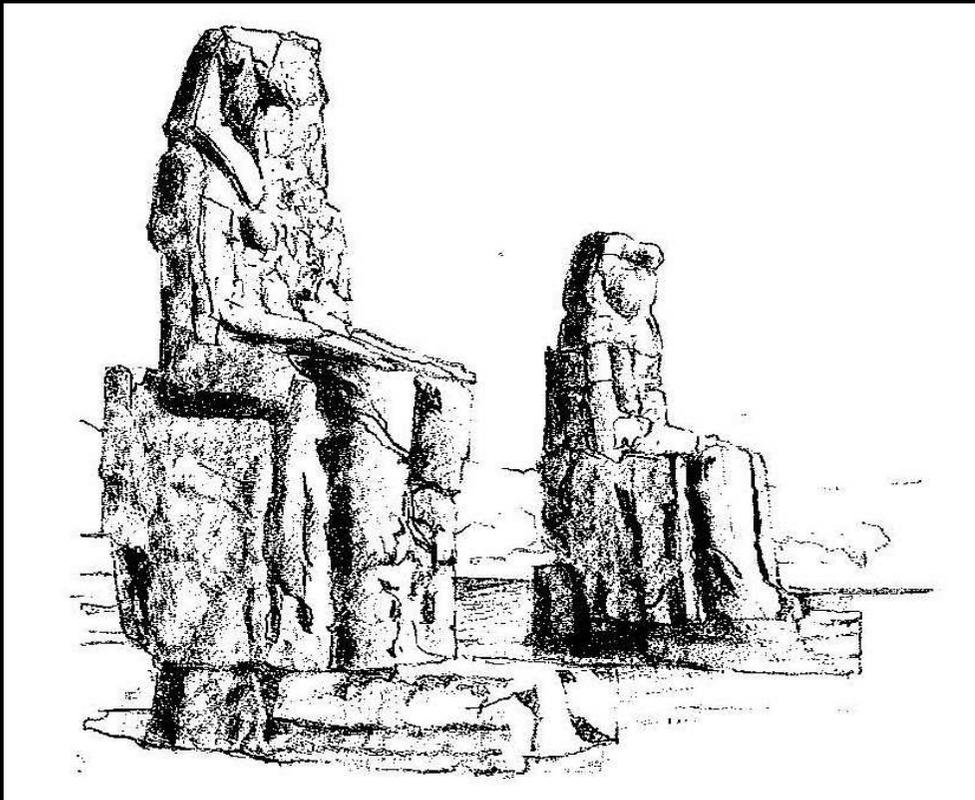
Si può quindi **concludere** che le vibrazioni indotte dal transito degli autobus di massa a pieno carico prossima a 30 t sono paragonabili alle vibrazioni di fondo prodotto sulle torri da cause estranee al traffico.



Si ritiene che tra le cause estranee possibili sia importante la presenza del vento anche in forma leggera (velocità < 5 m/s)

L'Emissione Acustica è un'onda elastica ultrasonora generata dal rilascio di energia immagazzinata all'interno di una struttura.

I colossi di Memnone, fatti costruire da Amenofi III (1387 – 1350 a.C.), sono due grosse statue alte 18 m e del peso di circa 700 t.



Si narra che nel 27 a.C. un terremoto aveva provocato una frattura nel colosso settentrionale e che da allora la statua, al levar del sole, emettesse un gemito. Si ritiene che il fenomeno fosse dovuto alla vibrazione della pietra a seguito della rapida evaporazione dell'umidità notturna o a seguito di fenomeni di dilatazione termica.

Si narra che un parziale restauro del 194 d.C. contribuì a far cessare il lamento.

EMISSIONE ACUSTICA AE

L'impiego di appositi sensori posti a contatto con il paramento esterno della torre consente di rilevare un breve "scricchiolio" nel campo delle frequenze NON UDIBILI (ultrasuoni).



E' in corso il monitoraggio dell'emissione acustica mediante N. 6 captatori dislocati in prossimità delle fessure rilevate sulla torre al piano della balconata a quota 8m dal piano stradale.



In generale l'Emissione Acustica è generata da

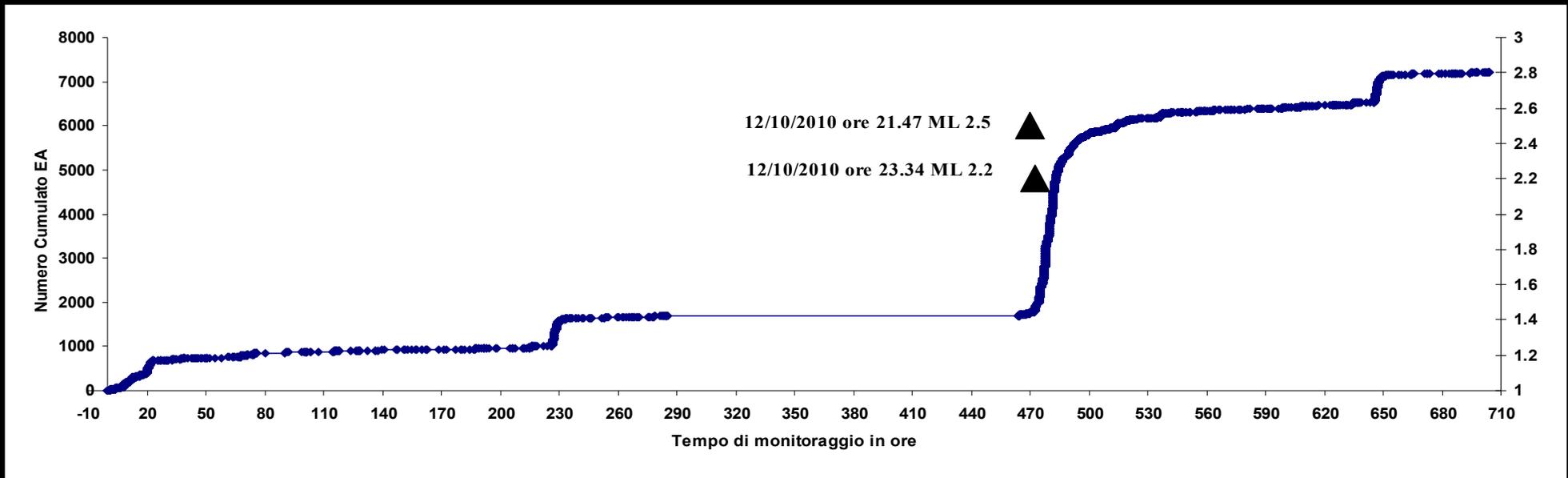
1 – *piccolissimi spostamenti e deformazioni*

2 – *formazione di fessure sulla superficie o all'interno del materiale se si supera il carico di rottura.*

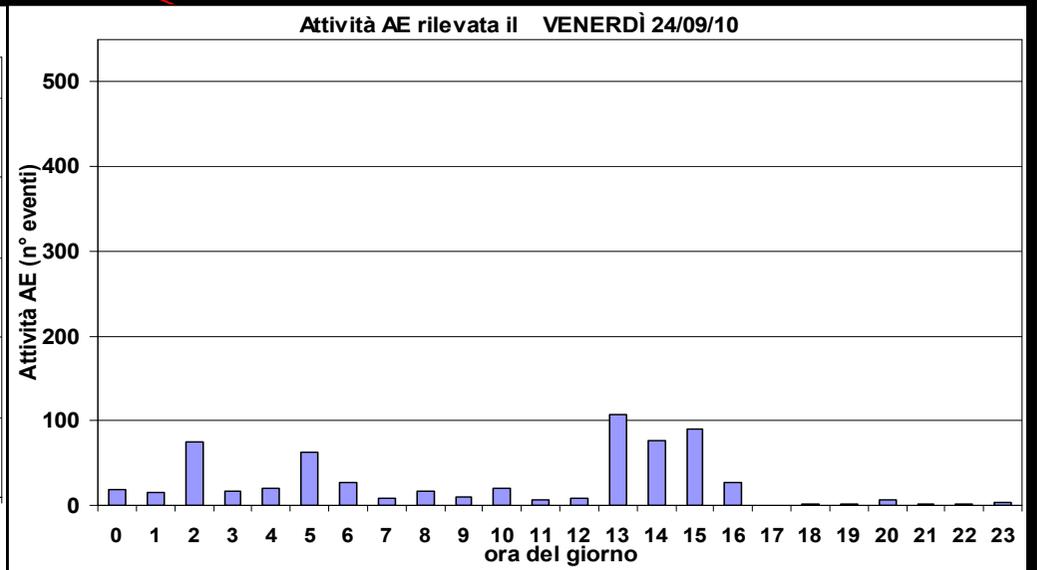
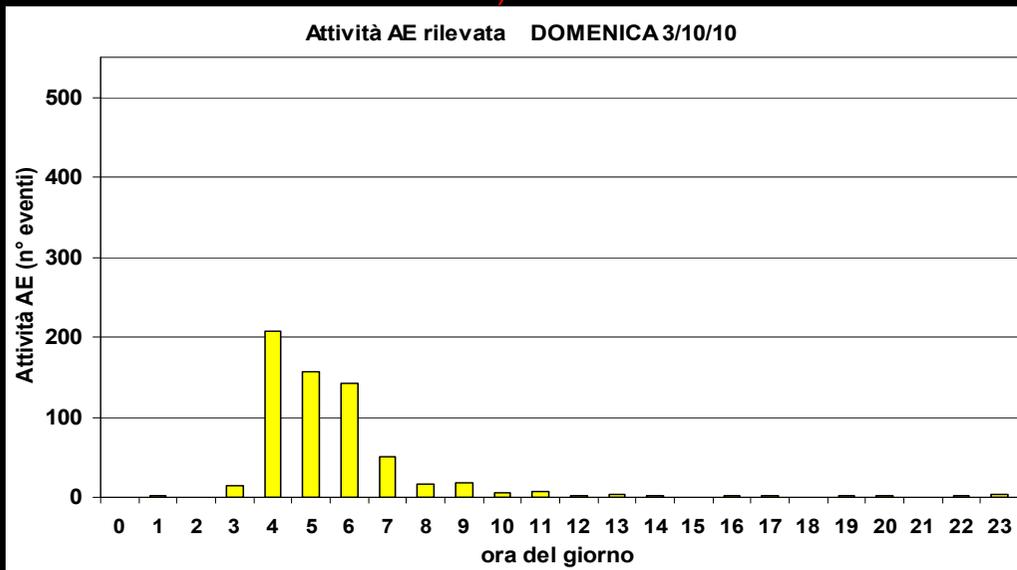
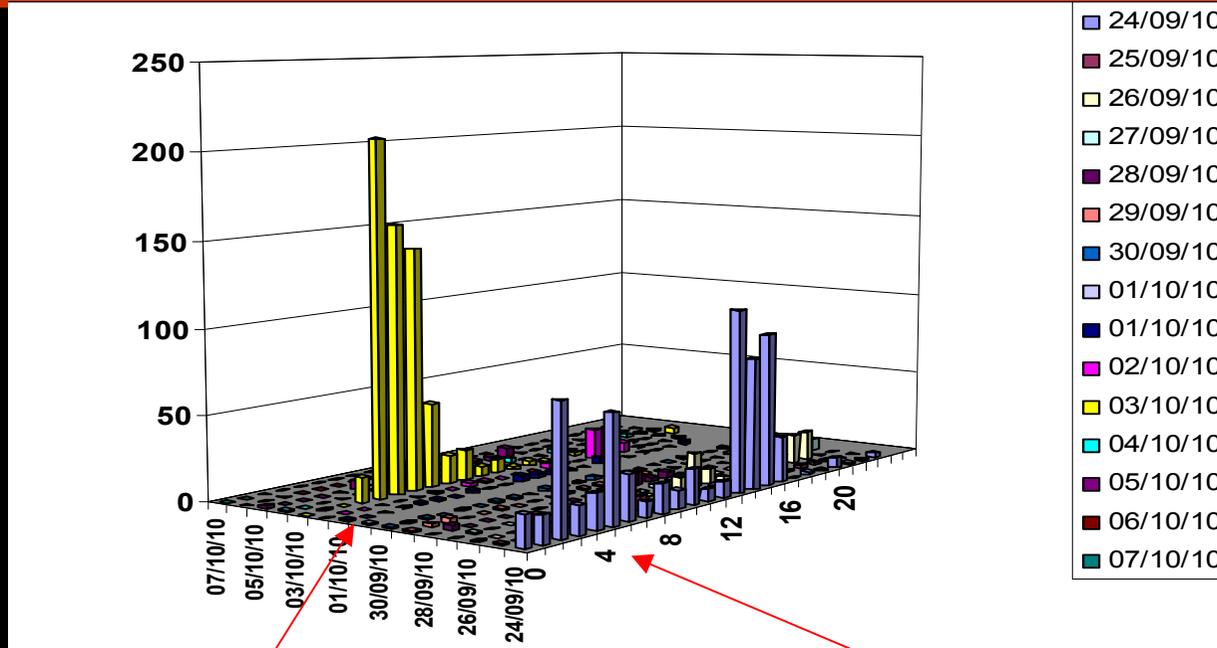
3 – *attrito nello scorrimento di parti a contatto*

- Ogni segnale prodotto dal formarsi di una microfessura viene classificato in base alla sua intensità ed al momento in cui esso si verifica.
- I sensori sono stati posti in corrispondenza delle fessure attualmente presenti sulla torre.
- Dati significativi devono essere raccolti su lungo periodo e correlati con eventi che possono aver prodotto l'emissione acustica rilevata dai sensori.

Funzione di distribuzione cumulativa degli eventi AE



EMISSIONE ACUSTICA AE



E' segnalato un sisma verificatosi nell'area di Bologna

