



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II

La caratterizzazione dinamica strutturale, il monitoraggio e lo studio previsionale delle vibrazioni, il machine learning... evoluzioni nella percezione, nei carichi e nelle tecnologie

E. Monaco, V. Limone, N. Russo, A. Esposito..... E tanti altri



*Industrial Engineering Department
Aerospace Division*



OUTLINE

- STORIA E MOTIVAZIONI
- IL MONITORAGGIO STRUTTURALE DINAMICO
- NUOVE TECNOLOGIE E METODOLOGIE
- L'IMPATTO VIBRAZIONALE PREVISIONALE
- CONCLUSIONI

MOTIVAZIONI (PRIMA DI PONTE MORANDI, AMATRICE, ALTA VELOCITÀ E BRADISISMO)

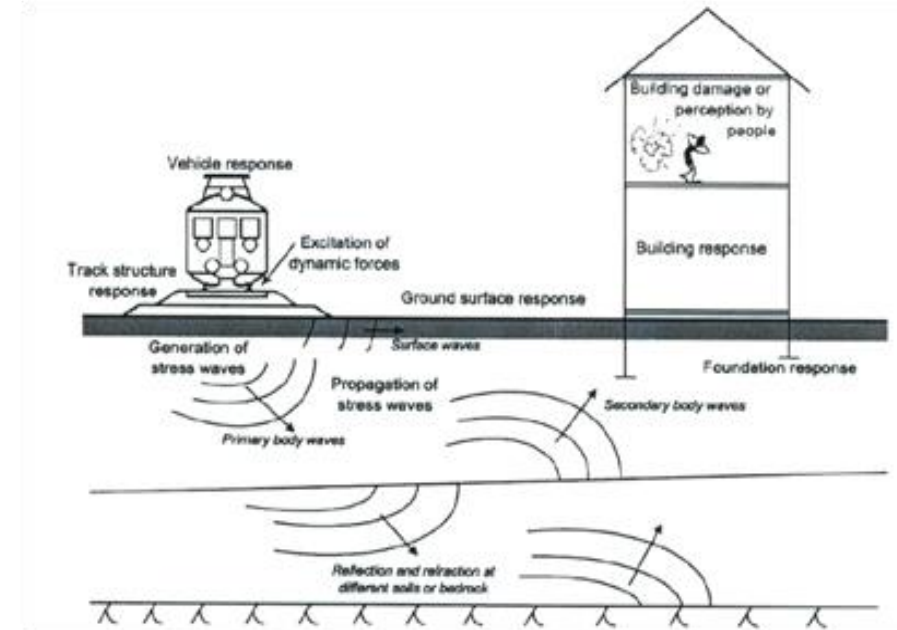
Negli ultimi anni il problema delle vibrazioni degli edifici ha assunto sempre maggiore importanza...

- *continuo aumento delle sorgenti vibratorie*
- *diversa tipologia strutturale delle moderne costruzioni*
- *maggiore sensibilità dell'uomo all'impatto ambientale*

Sono in aumento valutazioni di impatto ambientale non solo da rumore ma anche da vibrazioni.

Le vibrazioni possono arrecare:

- *disturbo alle persone*
- *danni alle apparecchiature utilizzate*
- *riduzione della efficienza operativa delle strutture*
- *nei casi più gravi, possono costituire un rischio per l'integrità strutturale o architettonica degli edifici.*



MOTIVAZIONI (FATICA STRUTTURALE, MONITORAGGIO CONTINUO, MANUTENZIONE SU CONDIZIONE (CBM) - NUOVO PARADIGMA?)

Filosofie di progettazione a fatica (infrastrutture datate e/o nuove ma esposte a carichi dinamici più o meno continui) – Esempio dall'aerospazio

1) Safe life (vita sicura)

- Vita fissata da progetto*



2) Fail safe (struttura sicura anche in seguito a danno)

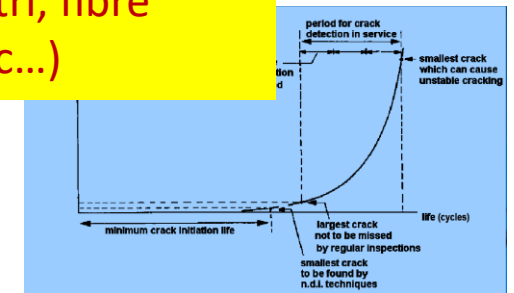
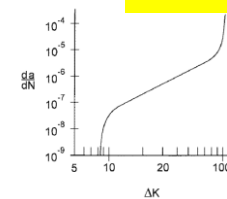
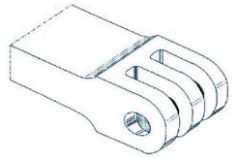
- Il componente strutturale rimane sicuro anche in seguito a danno (ridondanza strutturale)*

NDT (Tecniche di analisi non distruttiva: Ultrasuoni, termografia, etc..)

3) Damage tolerance (tolleranza al danno)

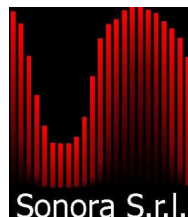
- Calcolo del rateo di propagazione del danno, tecniche evolute per ispezioni (NDT or SHM), periodi di ispezione (o Conditioned Based Monitoring?)*

SHM (Monitoraggio dello stato di salute di una struttura -> sensorizzazione – accelerometri, estensimetri, fibre ottiche, etc...)





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



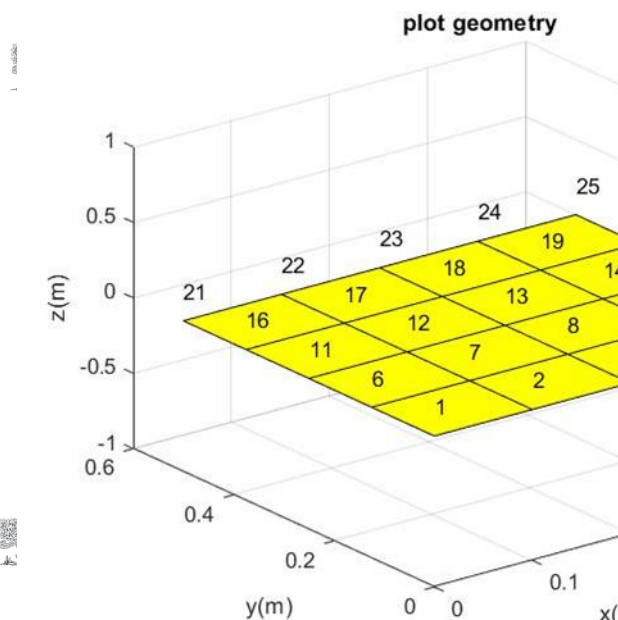
La nostra storia

2020-2025

2005-2020

EMA -> OMA

*Sviluppo di SW
“in-house” per
acquisizione di
vibrazioni,
Experimental
Modal Analysis
“verso”
l’Operational
Modal Analysis*



Interior active noise control in
simulation and optimal actuator
placement using genetic algorithms

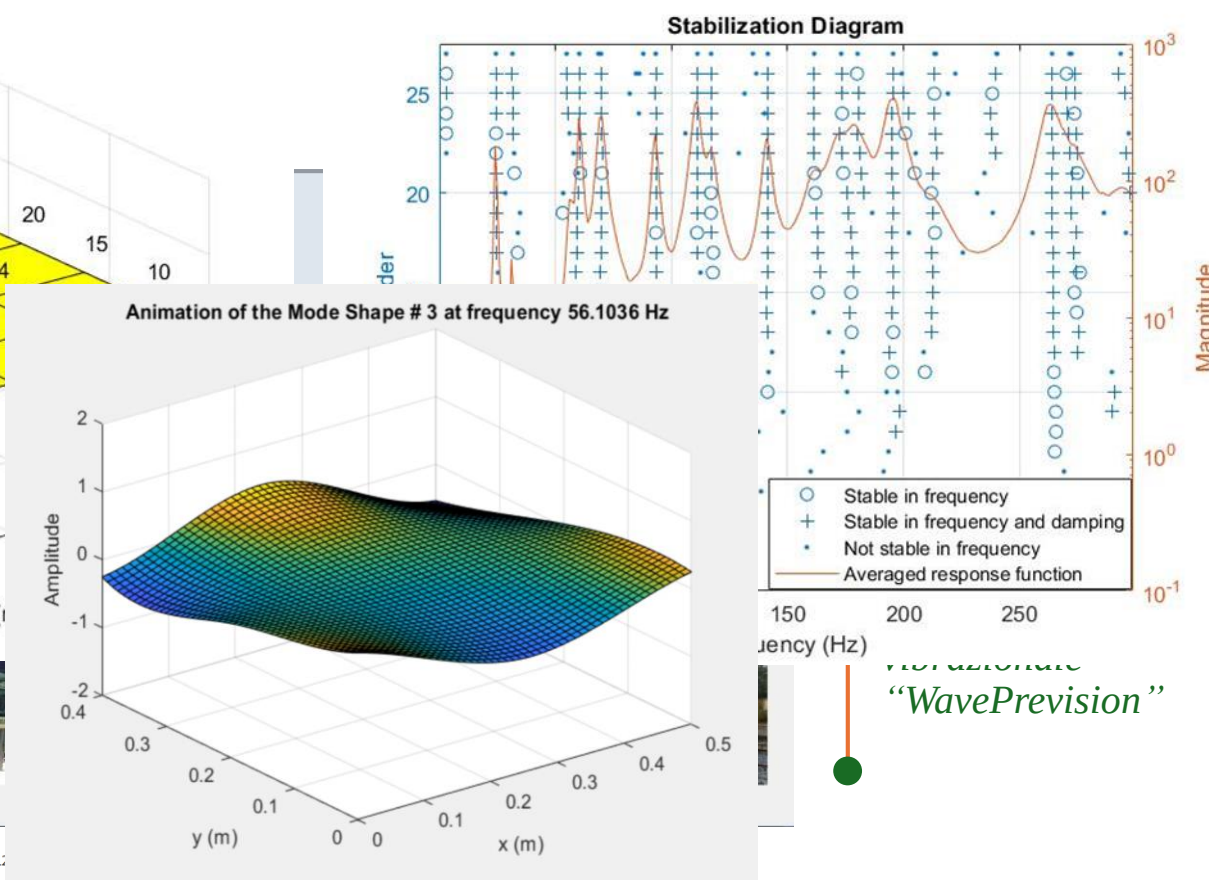


13th International Congress on Sound and Vibration 2006

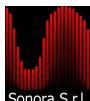
Monaco, Ernesto ; Franco, Francesco; Lecce, Leonardo

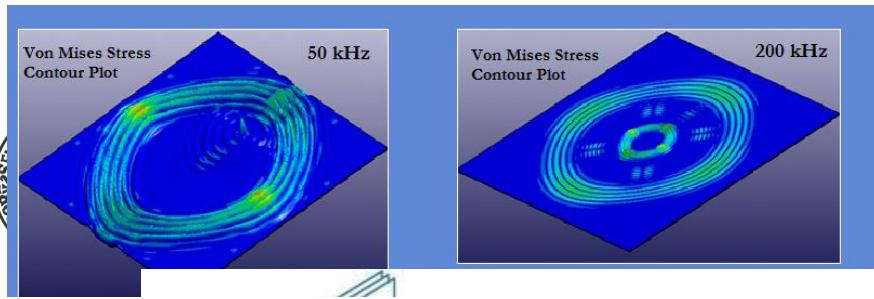
Department of Aeronautical Engineering, Università degli Studi di Napoli Federico II, I-80132

[Show all information](#)



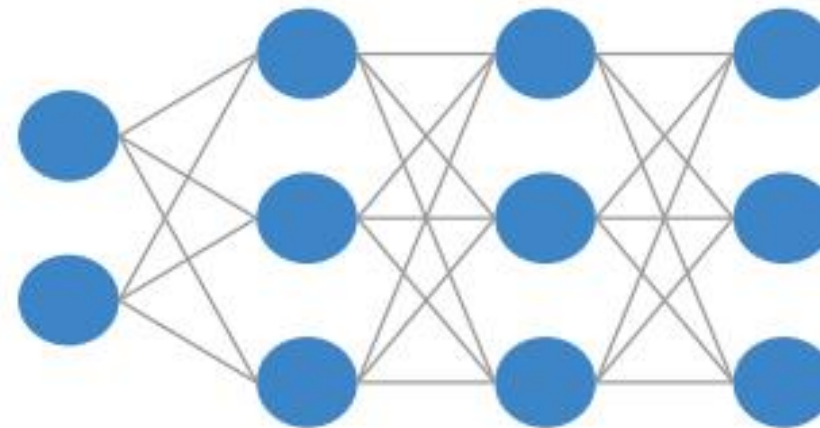
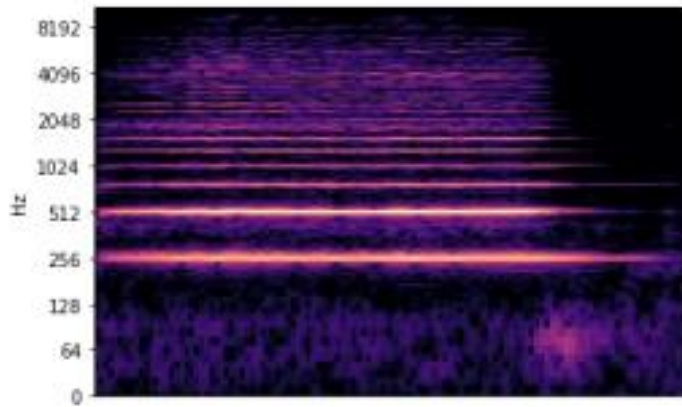
*danneggiamenti
strutturali.*





La nostra storia

2025



"car engine"

vibrazioni
dannose e

FEATURE LEARNING

Schermate del software dell'interrogatore di sensori FBG



Campo di stress di "Von Mises" equivalente in prossimità dell'irrigidimento scollato

CLASSIFICATION

Pannello sensorizzato con piezoelettrici e sensori FBG usato per i test sperimentali

ridurre
proprietà
inali

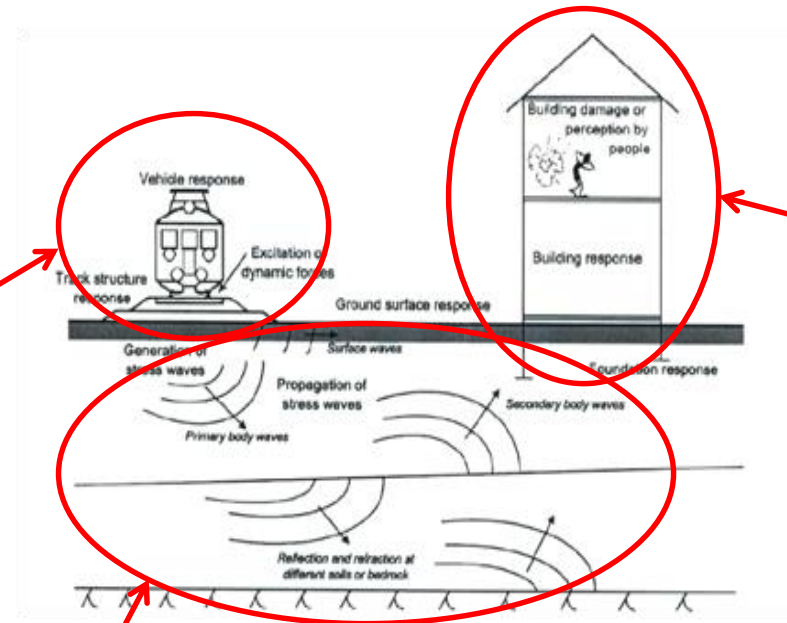
RICHIAMI TEORICI DI DINAMICA STRUTTURALE

-I modelli numerici per la previsione dei livelli vibratori si articolano in due fasi principali:

*-**GENERAZIONE**: studio e caratterizzazione della sorgente*

*-**PROPAGAZIONE**: studio della propagazione delle onde vibratorie lungo il percorso*

SORGENTE
(Caratterizzazione in
frequenza dei livelli
immessi)



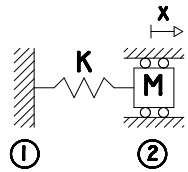
PROPAGAZIONE al ricettore
(dinamica della struttura
ricevente e sensibilità
dell'essere umano – EMA,
OMA)

PROPAGAZIONE nel sottosuolo (Onde
nei mezzi elastici - Elastodinamica)

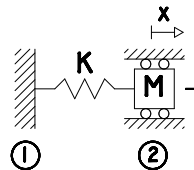
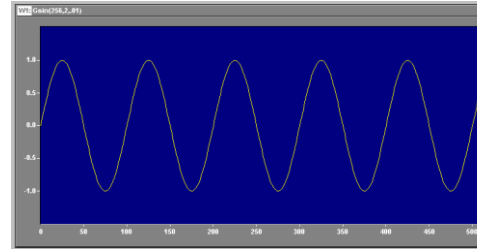
RICHIAMI TEORICI DI DINAMICA STRUTTURALE

Classificazione dei problemi dinamici

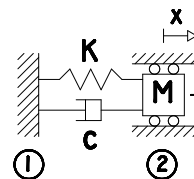
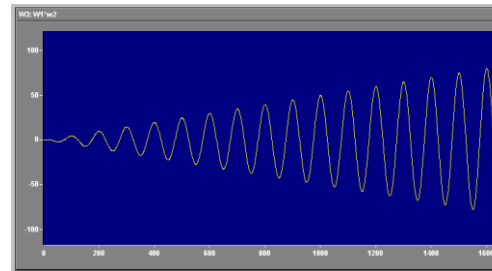
Dinamica dei corpi rigidi



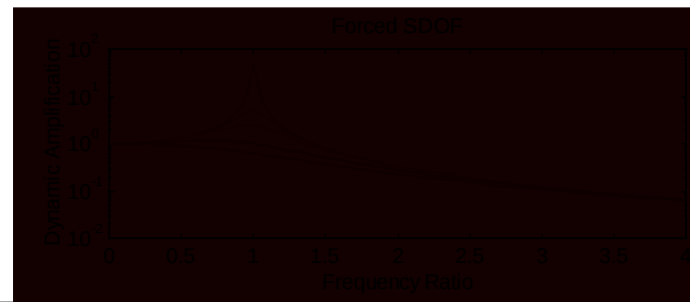
$$m\ddot{x} + kx = 0$$



$$m\ddot{x} + kx = F\sin\omega t$$

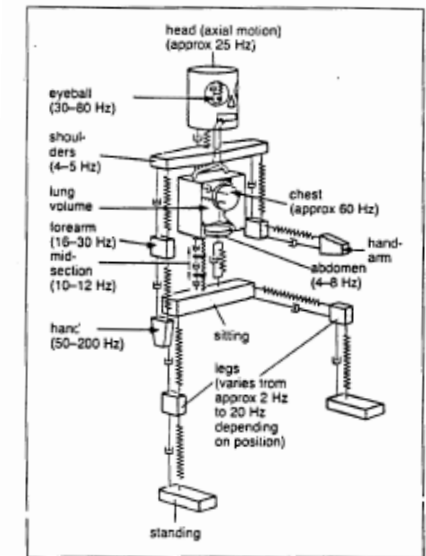


$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t)$$



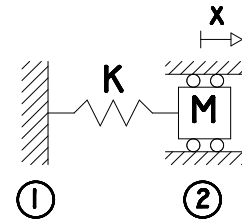
Soluzione:

Trattazione analitica

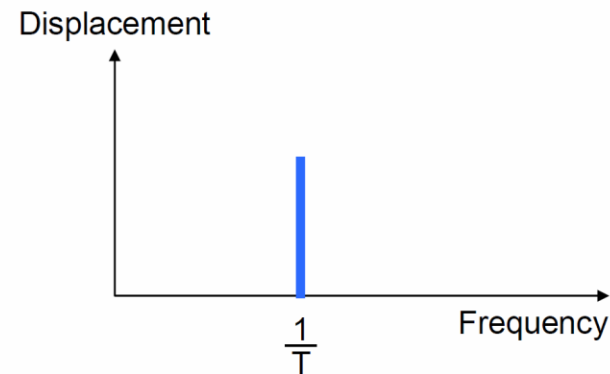
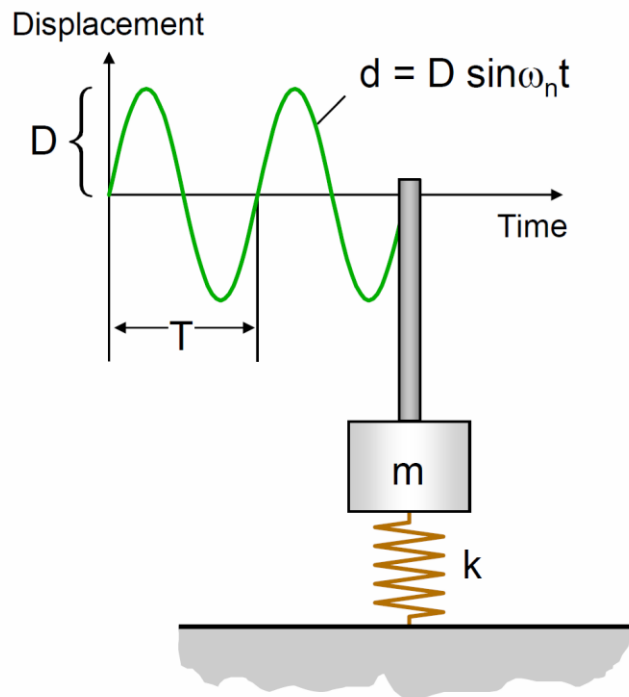


The human body can be likened to a system consisting of a large number of interlocking springs. Different parts of the body are sensitive to different frequencies.

RICHIAMI TEORICI DI DINAMICA STRUTTURALE



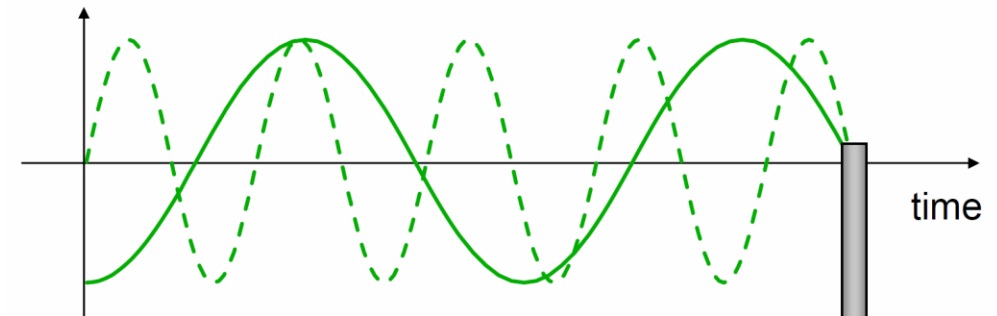
$$m\ddot{x} + kx = 0$$



Period, T_n in [sec]

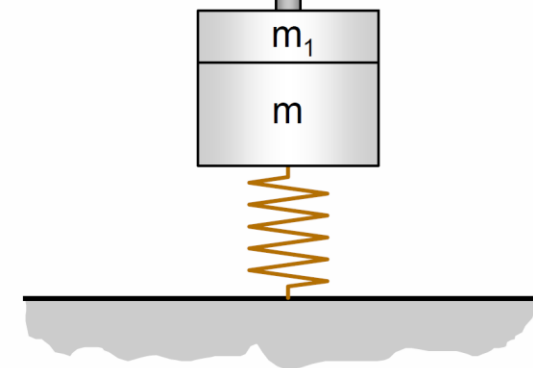
Frequency, $f_n = \frac{1}{T_n}$ in [Hz = 1/sec]

$$\omega_n = 2\pi f_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

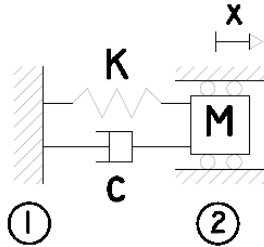


$$\omega_n = 2\pi f_n = \sqrt{\frac{k}{m + m_1}}$$

Increasing mass
reduces frequency



RICHIAMI TEORICI DI DINAMICA STRUTTURALE

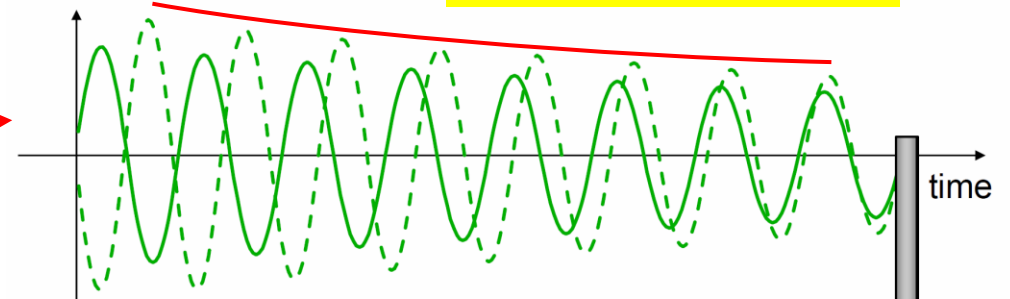


M = Massa
K = Rigidezza
c = Smorzamento
x = Spostamento

Modello di smorzamento viscoso. Genera una forza proporzionale alla velocità di vibrazione

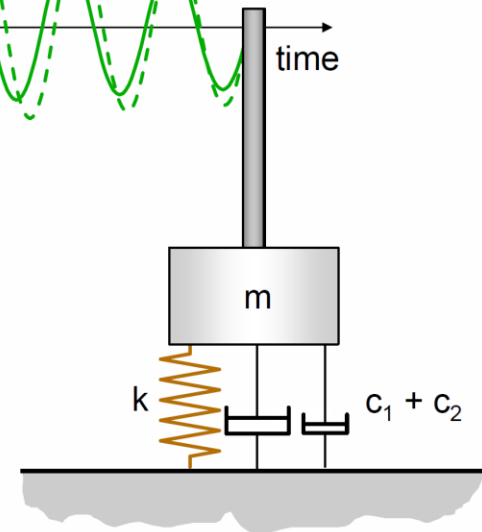
L'equazione del moto in questo caso si scrive:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0$$

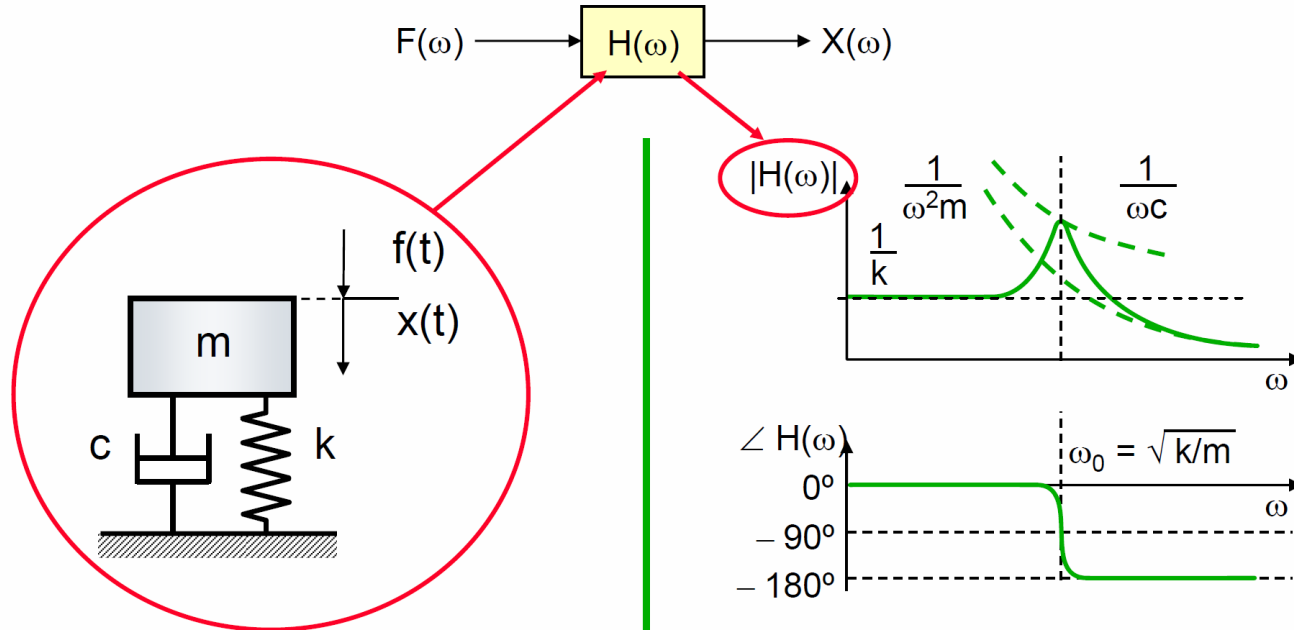


Increasing damping
reduces the amplitude

La soluzione dell'equazione differenziale è $x = Ce^{-\nu\omega_0 t} \cos(\omega_0 \sqrt{1-\nu^2} t + \varphi)$. C e φ da determinarsi in base alle condizioni iniziali

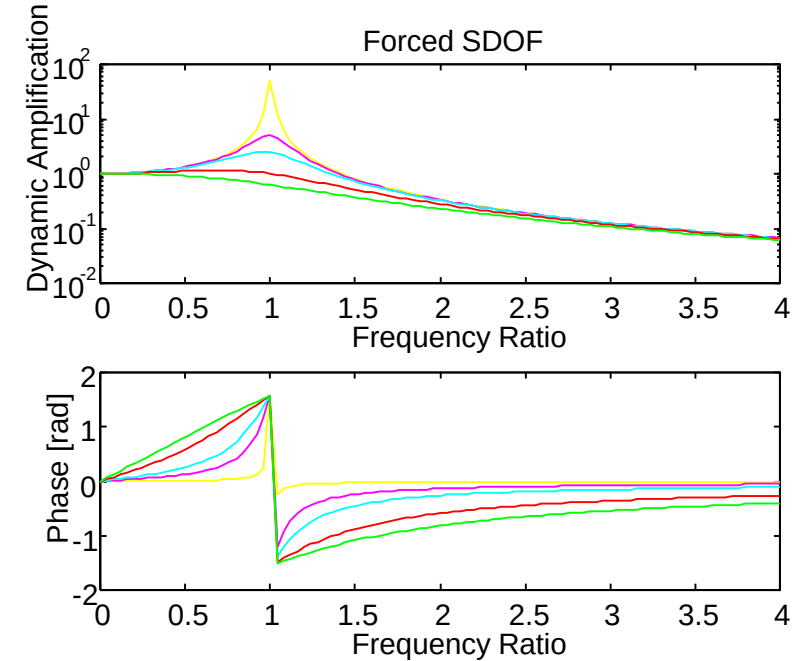


RICHIAMI TEORICI DI DINAMICA STRUTTURALE



$$f(t) = m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t)$$

$$H(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)} = \frac{1}{-\omega^2 m + j\omega c + k}$$



$\alpha = 1 \Rightarrow \omega = \omega_0 \Rightarrow \text{Risonanza}$

Vibrazioni degli Edifici - Danno

Norme di riferimento Internazionali

Normativa	Nazionalità	Parametri							
		frequenza	Valore limite	Durata del fenomeno	Tipo di terreno	Stato Edificio	Attività	Tipo fondaz.	Analisi segnale
ISO 4866		x		x	x	x		x	x
UNI 9916	Italia	x	P.CP.V.	x		x		x	x
AFTES	Francia	x	P.P.V.	x	x	x			
CIRC AMB MIN 93		x	P.P.V.	x		x	x		
BS 7385-2 (1193)	G.Bretagna	x	P.P.V.	x		x			x
DIN 4150-3	Germania	x	P.CP.V.	x		x			x
SN 640312 (1992)	Svizzera	x	P.P.V.	x		x			x
USB RM 1984	USA	x	P.CP.V.	x		x			
OSMRE		x	P.CP.V.	x		x	x		

P.CP.V. : Peak Component Particle Velocity – Componente lungo un asse della velocità

P.P.V: Peak Particle Velocity – Modulo (dato dalla somma delle tre componenti) della velocità

Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

Non vengono stabiliti valori limiti di soglia, ma viene delineata una metodologia di prova e di analisi del segnale.

Riporta una dettagliata classificazione delle diverse tipologie di Edifici (valutando la struttura, le fondazioni e il terreno) in funzione del “grado di resistenza” o meglio in funzione del grado di tollerabilità alle vibrazioni della struttura.

Per la tipologia strutturale si individuano due gruppi:

Gruppo 1

Edifici antichi, o di recente costruzione ma realizzati con tecniche e materiali tradizionali (muratura portante, tufo mattoni ecc...)

Sono strutture pesanti, caratterizzate da elevato smorzamento

Gruppo 2

Strutture intelaiate, con elementi prefabbricati in cemento armato o precompresso.

Sono strutture leggere con bassi valori di smorzamento.

Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

Per la tipologia delle fondazioni si individuano invece 3 classi:

Classe A: pali legati in calcestruzzo armato, acciaio o legno, platee rigide in cemento armato.

Classe B: pali non legati in cemento armato o legno e fondazioni continue a trave rovescia.

Classe C: muri di sostegno leggeri, fondazioni massicce in pietra o struttura prive di fondazioni

Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

Il terreno invece è classificato in sei categorie...

Tipo a: rocce non fessurate o molto solide e leggermente fessurate, sabbia cementata

Tipo b: terreni compatti a stratificazione orizzontale

Tipo c: come i precedenti ma poco compatti

Tipo d: piani inclinati con superficie di scorrimento potenziale

Tipo e: terreni granulari, sabbie e ghiaie senza coesione o argille coesive sature

Tipo f: materiale di riporto

Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

Per ogni gruppo vengono individuate 8 classi di edifici.

All'aumentare della classe si riduce la "resistenza alle vibrazioni"

Table A.1 — Categorization of structures according to group of building

Category of structure		Group of building (see clause A.4)	
		1	2
Resistance to vibration decreasing	1	Heavy industrial multi-storey buildings, five to seven storeys high, including earthquake-resistant forms Heavy structures, including bridges, fortresses, ramparts	Two- and three-storey industrial, heavy-frame buildings of reinforced concrete or structural steel, clad with sheeting and/or infilling panels of blockwork, brickwork, or precast units, and with steel, pre-cast or <i>in situ</i> concrete floors Composite, structural steel and reinforced concrete heavy industrial buildings
	2	Timber frame, heavy, public buildings, including earthquake-resistant forms	Five- to nine-storey (and more) blocks of flats, offices, hospitals, light-frame industrial buildings of reinforced concrete or structural steel, with infilling panels of blockwork, brickwork, or precast units, not designed to resist earthquakes
	3	Timber-frame, single- and two-storey houses and buildings of associated uses, with infilling and/or cladding, including "log cabin" kinds, including earthquake-resistant forms	Single-storey moderately lightweight, open-type industrial buildings, braced by internal cross walls, of steel or aluminium or timber, or concrete-frame, with light, sheet-cladding, and light panel-infilling, including earthquake-resistant types
	4	Fairly heavy multi-storey buildings, used for medium warehousing or as living accommodation varying from five to seven storeys or more	Two-storey, domestic houses and buildings of associated uses, constructed of reinforced blockwork, brickwork or precast units, and with reinforced floor and roof construction, or wholly of reinforced concrete or similar, all of earthquake-resistant types
	5	Four- to six-storey houses, and buildings of associated urban uses, made with blockwork or brickwork, load-bearing walls of heavier construction, including "stately homes" and small palace-style buildings	Four- to ten-storey domestic and similar buildings, constructed mainly of lightweight load-bearing blockwork and brickwork, calculated or uncalculated, braced mostly by internal walls of similar material, and by reinforced concrete, preformed or <i>in situ</i> floors at least on every other storey.
	6	Two-storey houses and buildings of associated uses, made of blockwork, brickwork or pis-à-terre, with timber floors and roof Stone- or brick-built towers, including earthquake-resistant forms	Two-storey domestic houses and buildings of associated uses, including offices, constructed with walls of blockwork, brickwork, precast units, and with timber or precast or <i>in situ</i> floors and roof structures
	7	Lofty church, hall and similar stone- or brick-built, arched or "articulated" type structures, with or without vaulting, including arched smaller churches and similar buildings Low heavily constructed "open" (i.e. non-cross-braced) frame church and barn type buildings including stables, garages, low industrial buildings, town halls, temples, mosques, and similar buildings with fairly heavy timber roofs and floors	Single- and two-storey houses and buildings of associated uses, made of lighter construction, using lightweight materials, pre-fabricated or <i>in situ</i> , separately or mixed
	8	Ruins and near-ruins and other buildings, all in a delicate state All class 7 constructions of historical importance	

Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

La normativa non definisce dei limiti di vibrazioni ma delinea una matrice in cui vengono riportate le diverse combinazioni (tipologia strutturale- tipologia delle fondazioni e del terreno) in funzione della tollerabilità alle vibrazioni.

Gli edifici Cd – Ce – Cf della classe 8 (edifici storici) sono quelli che hanno una minore resistenza alle vibrazioni

Class of building ¹⁾		Category of structure (see table A.1)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
		Categories of foundations (capital letters) and types of soil (lower case letter) (see clause A.5 and clause A.6)							
← Level of acceptable vibration decreasing	1	A a							
	2	A b	A a	A a	A a				
	3		A b B a	A b B a	A b	A a A b			
	4		A c B b	B b	A c	A c B a B b			
	5		B c	A c		B c	B a		
	6		A f		A d	B d	B b C a	B a	
	7			A f	A e	B e	B c C b	B b C a	
	8						B e C c	B c C b	
	9		B f				C d	B d C c	A a
	10			B f			C e	B e C d	A b
	11				C f	C f		C e	B a
	12						C f		B c C a
	13							C f	B d C b C c
	14								C d C e C f

1) High class number = high degree of protection required.

Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866 – Strumentazione e punti di misura

La norma individua per diverse sorgenti il range di frequenza, di ampiezza nonché la grandezza da misurare (velocità o accelerazione)

Punti di Misura

In fondazione e sul punto più alto nel caso di edifici fino a 4 piani. Per Edifici più alti si consiglia di aggiungere un punto ogni 4 piani.

Vibration forcing function	Frequency range Hz	Amplitude range μm	Particle velocity range mm/s	Particle acceleration range m/s^2	Time characteristic	Measuring quantities
Traffic road, rail, ground-borne	1 to 80	1 to 200	0,2 to 50	0,02 to 1	C/T	pvth
Blasting vibration ground-borne	1 to 300	100 to 2 500	0,2 to 500	0,02 to 50	T	pvth
Pile driving ground-borne	1 to 100	10 to 50	0,2 to 50	0,02 to 2	T	pvth
Machinery outside ground-borne	1 to 300	10 to 1 000	0,2 to 50	0,02 to 1	C/T	pvth/ath
Acoustic traffic, machinery outside	10 to 250	1 to 1 100	0,2 to 30	0,02 to 1	C	pvth/ath
Air over pressure	1 to 40				T	pvth
Machinery inside	1 to 1 000	1 to 100	0,2 to 30	0,02 to 1	C/T	pvth/ath
Human activities a) impact b) direct	0,1 to 100 0,1 to 12	100 to 500 100 to 5 000	0,2 to 20 0,2 to 5	0,02 to 5 0,02 to 0,2	T	pvth/ath
Earthquakes	0,1 to 30	10 to 10^5	0,2 to 400	0,02 to 20	T	pvth/ath
Wind	0,1 to 10	10 to 10^5			T	ath
Acoustic inside	5 to 500					
Key C = continuous T = transient (simplified categories, see 3.1 and 3.2) pvth = particle velocity time history ath = acceleration time history NOTES 1 The ranges quoted are extremes but indicate the values which may be experienced and which may have to be measured (see also note 3). Extreme ranges of amplitude of displacement and frequency have not been used to derive particle velocity and acceleration. 2 The frequency range quoted refers to the response of buildings and building elements to the particular type of excitation. It is indicative only. 3 Vibration values within the ranges given may cause concern. There are no standards which cover all varieties of building, condition and duration of exposure, but many national codes associate the threshold of visible effects with peak particle velocities at the foundation of a building of more than a few millimetres per second. A significant probability of some damage is linked to peak particle velocities of several hundred millimetres per second. Vibration levels below the threshold of human perception (see ISO 2631-2) may be of concern in delicate and industrial processes.						

Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

Il fenomeno vibratorio può essere classificato come:

Transitorio

Se la durata del fenomeno è minore di
 5τ

Continuo

Se la durata del fenomeno è maggiore di
 5τ

τ è il tempo caratteristico della
struttura definito da:

$$\tau = \frac{1}{2\pi\eta f}$$

η è lo smorzamento modale (o in bande di ottave)

f è la frequenza propria del 1° modo eccitato

Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

Esistono diverse formule empiriche per il calcolo delle frequenze proprie degli edifici a forma regolare, una formula proposta è la seguente:

1° modo di vibrare

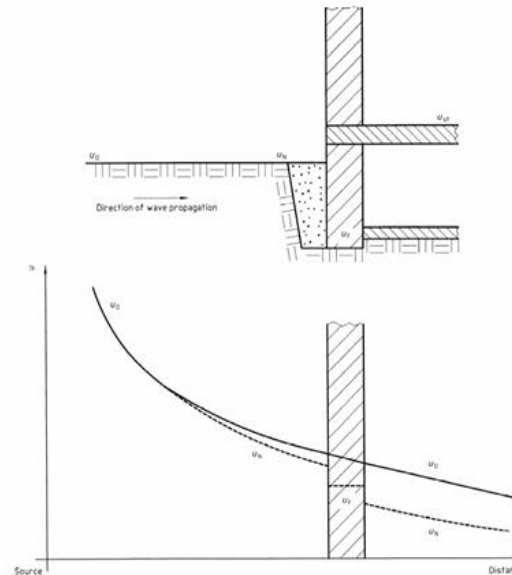
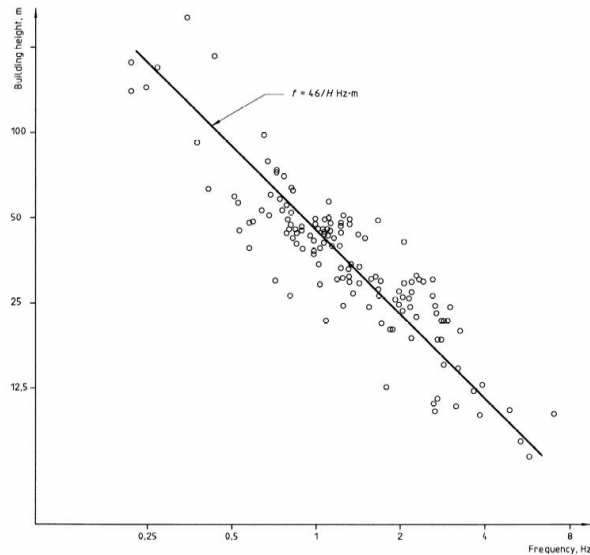
$$f = \frac{46}{h}$$

2° modo di vibrare

$$f = \frac{58}{h}$$

3° modo di vibrare (torsionale)

$$f = \frac{72}{h}$$



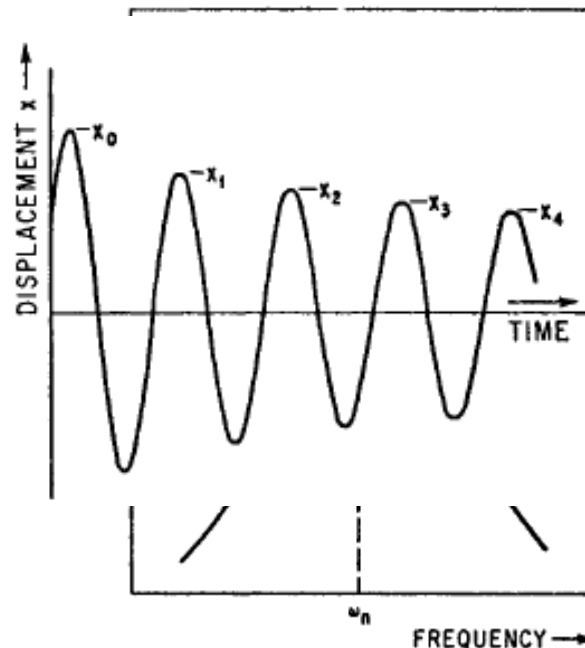
Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

Per classificare il fenomeno vibratorio quindi è fondamentale valutare lo smorzamento della struttura...

Esistono diversi metodi per il calcolo dello smorzamento:

Definizione Logaritmica



$$\Delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}}$$

$$\Delta = \ln \frac{x_1}{x_2} \quad \text{or} \quad \frac{x_2}{x_1} = e^{-\Delta}$$

Si valuta il logaritmo del rapporto tra la risposta in due cicli successivi. Si hanno informazioni sulla larghezza di banda in corrispondenza della riduzione di 3 dB della risposta rispetto al picco massimo (potenza dimezzata)

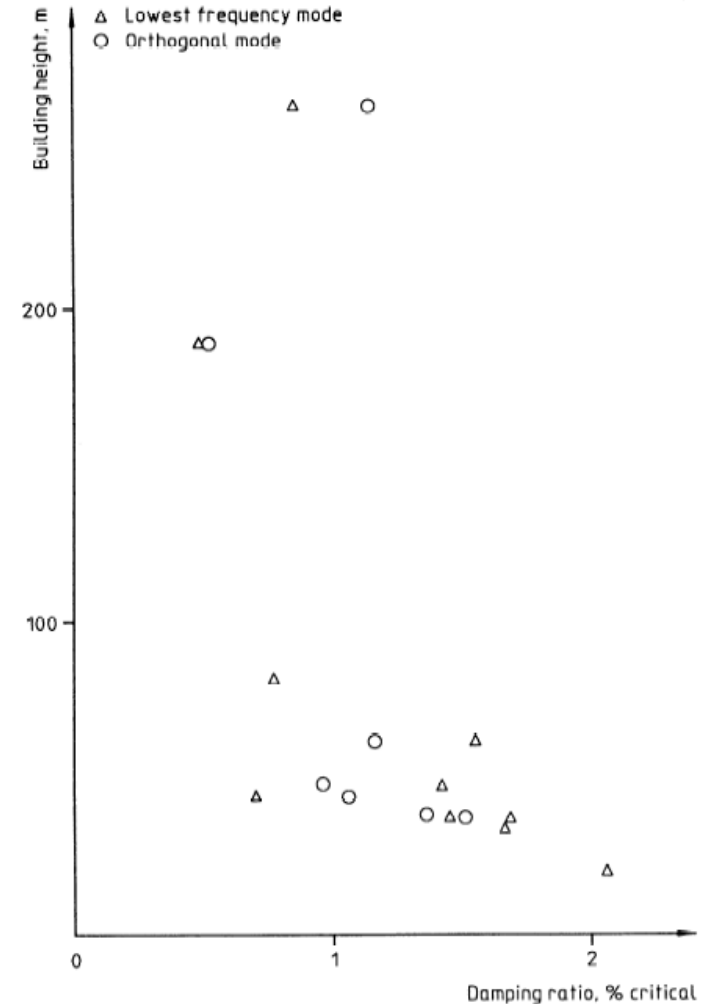
Vibrazioni degli Edifici - Danno

ISO 4866

Measure	Damping ratio	Loss factor	Log dec	Quality factor	Spec damping	Amp factor
Damping ratio	ζ	$\frac{\eta}{2}$	$\frac{\Delta}{\pi}$	$\frac{1}{2Q}$	$\frac{D}{4\pi U}$	$\frac{1^*}{2A}$
Loss factor	2ζ	η	$\frac{2\Delta}{\pi}$	$\frac{1}{Q}$	$\frac{D}{2\pi U}$	$\frac{1^*}{A}$
Log decrement	$\pi\zeta$	$2\pi\eta$	Δ	$\frac{\pi}{2Q}$	$\frac{D}{4U}$	$\frac{2\pi^*}{A}$
Quality factor	$\frac{1}{2\zeta}$	$\frac{1}{\eta}$	$\frac{\pi}{2\Delta}$	Q	$\frac{2\pi U}{D}$	A^*
Spec damping	$4\pi U\zeta$	$2\pi U\eta$	$4U\Delta$	$\frac{2\pi U}{Q}$	D	$\frac{2\pi U^*}{A}$
Amp factor	$\frac{1}{2\zeta}$	$\frac{1}{\eta}$	$\frac{\pi}{2\Delta}$	Q	$\frac{2\pi U}{D}$	A^*

* For single degree-of-freedom system only.

Valori tipici dello smorzamento (damping ratio) per edifici sono compresi tra 1% e il 2 %



Vibrazioni degli Edifici - Danno

Le normative nazionali, in particolare la UNI 9916 riprende i concetti fondamentali della ISO 4866, in aggiunta riporta i valori soglia per le diverse tipologie di edifici definiti nelle altre normative (DIN 4150, BS 7385)

Valori di riferimento per vibrazioni continue

Classe	Tipo di	Classe	Tipo di Edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (pcpv mm/s)		(pcpv mm/s)	
					Vel. Verticale Solai	o Alto	Vel. Verticale Solai
				tutte le frequenze	tutte le frequenze	frequenze	tutte le frequenze
1	Edifici industriali e costruzioni simili	1	Edifici industriali e costruzioni simili	10	10	40	20
2	Edifici residenziali e simili	2	Edifici residenziali e simili	5	10	15	20
3	Costruzioni (monumenti ecc.)	3	Costruzioni sotto tutela (monumenti ecc.)	2.5		8	

Vibrazioni degli Edifici - Danno

I limiti riportati nella normativa non sono assoluti ma INDICATIVI. E' importante lo stato dell'edificio nonché la storia (carichi accidentali, ecc..)



L'analisi deve tener conto dell'effettiva condizione dell'edificio e delle strutture. In questo caso la presenza di vistose fessure nelle strutture portanti (edificio in muratura) evidenzia uno stato di faticenza muraria e quindi la non applicabilità dei limiti suddetti.

Vibrazioni degli Edifici - Danno

Le vibrazioni in strutture vetuste caratterizzate dalla presenza di processi fessurativi accelerano il processo di propagazione e facilitano l'istaurarsi di condizioni di stabilità precaria.

Particolarmente dannosi sono gli effetti delle vibrazioni sulle strutture già deformate (ad es. muri affetti da deformazione a pressoflessione)

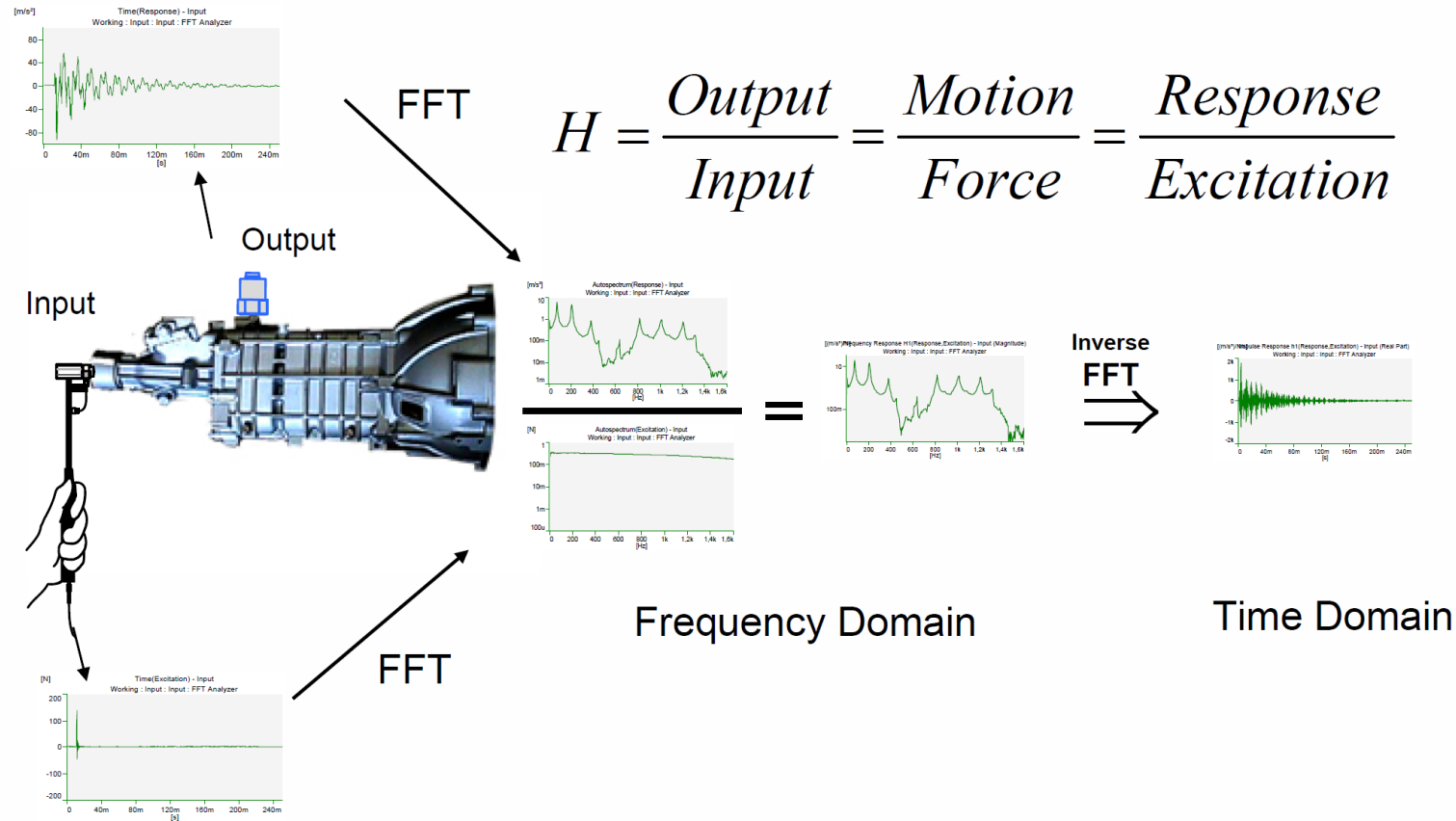
Possibili soluzioni e rimedi sono:

- Utilizzo di materiali ad elevato smorzamento (lana di vetro, pavimenti galleggianti, ecc)
- Per le vibrazioni dovute al transito stradale ad esempio può essere utile creare un piano fondale profondo per renderlo meno accessibile alle onde vibratorie (che si attenuano con il quadrato della distanza)
- Per smorzare le onde superficiali le murature perimetrali possono essere isolate dalla piattaforma stradale con un'intercapedine riempita di pietrame a secco.

Per strutture in muratura fatiscenti occorre intervenire con lavori di consolidamento atti a ristabilire la continuità delle masse murarie (cuci e scuci, catenelle murarie, cuciture metalliche, coli ed iniezioni)

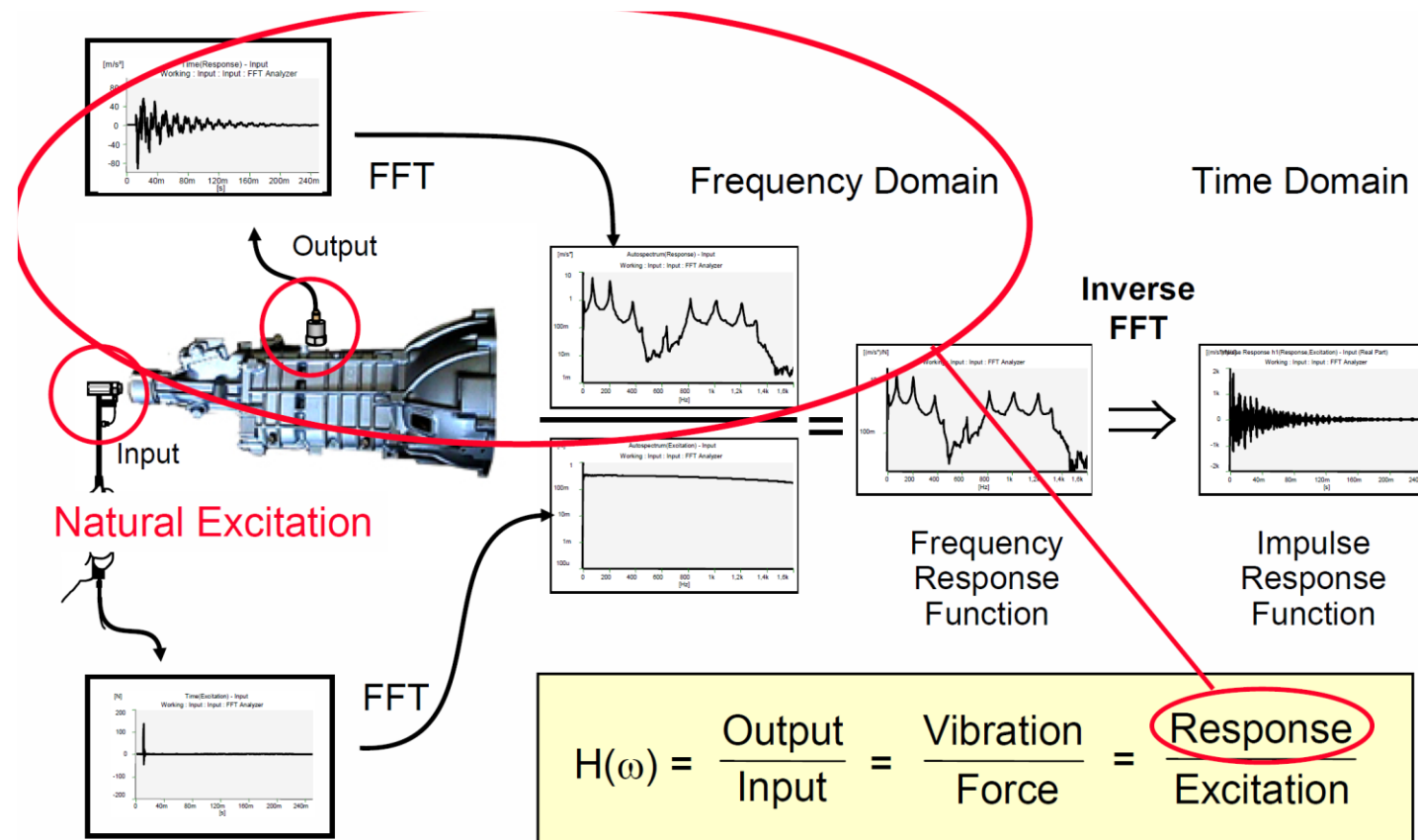
EMA ED OMA

**Analisi Modale Sperimentale per la caratterizzazione strutturale Dinamica:
Occorre misurare input (forza) ed output (accelerazione)!**

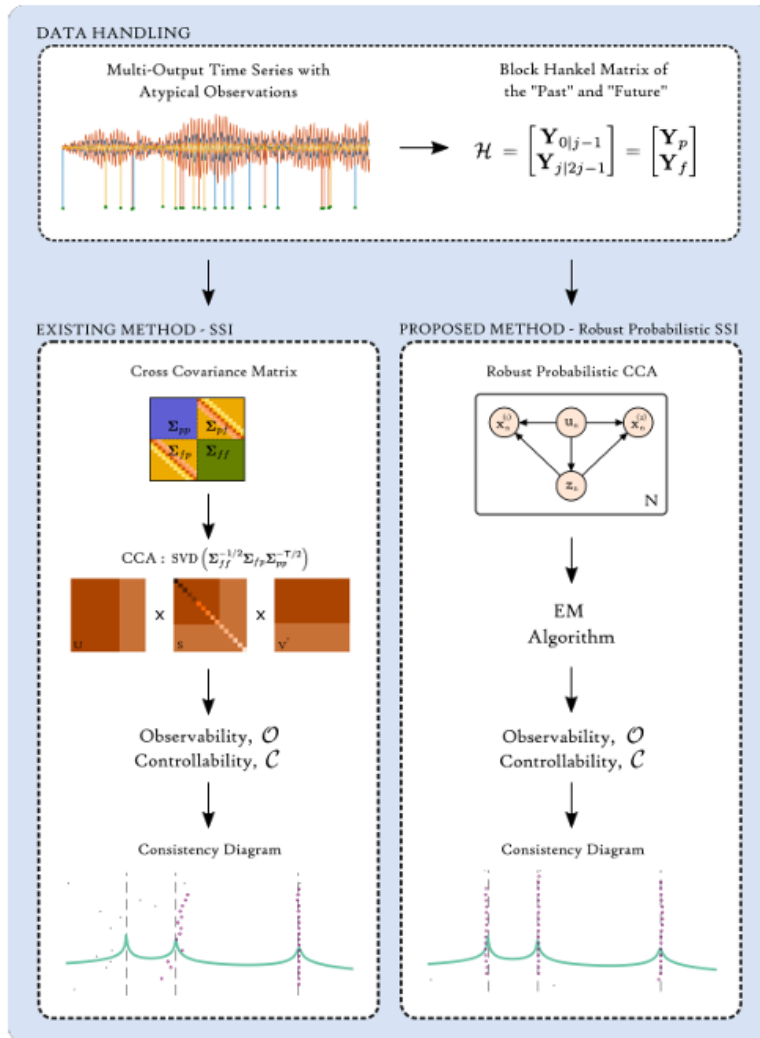


EMA ED OMA

**Analisi Modale Operazionale per la caratterizzazione strutturale Dinamica:
Occorre misurare solo output (accelerazione)!**



ALGORITMO PROPOSTO – COV SSI



Acquisizione dati

- Il metodo proposto richiede in input le time histories delle accelerazioni

Calcolo matrici di cross-correlazione

- E' necessario calcolare l'auto e la cross-correlazione tra i diversi sensori (spaziale) per diversi lag temporali (temporali)

Definizione di una matrice 3D di correlazione per diversi lag temporali

- Dal numero di lag temporali scelto dipenderà l'ordine del sistema

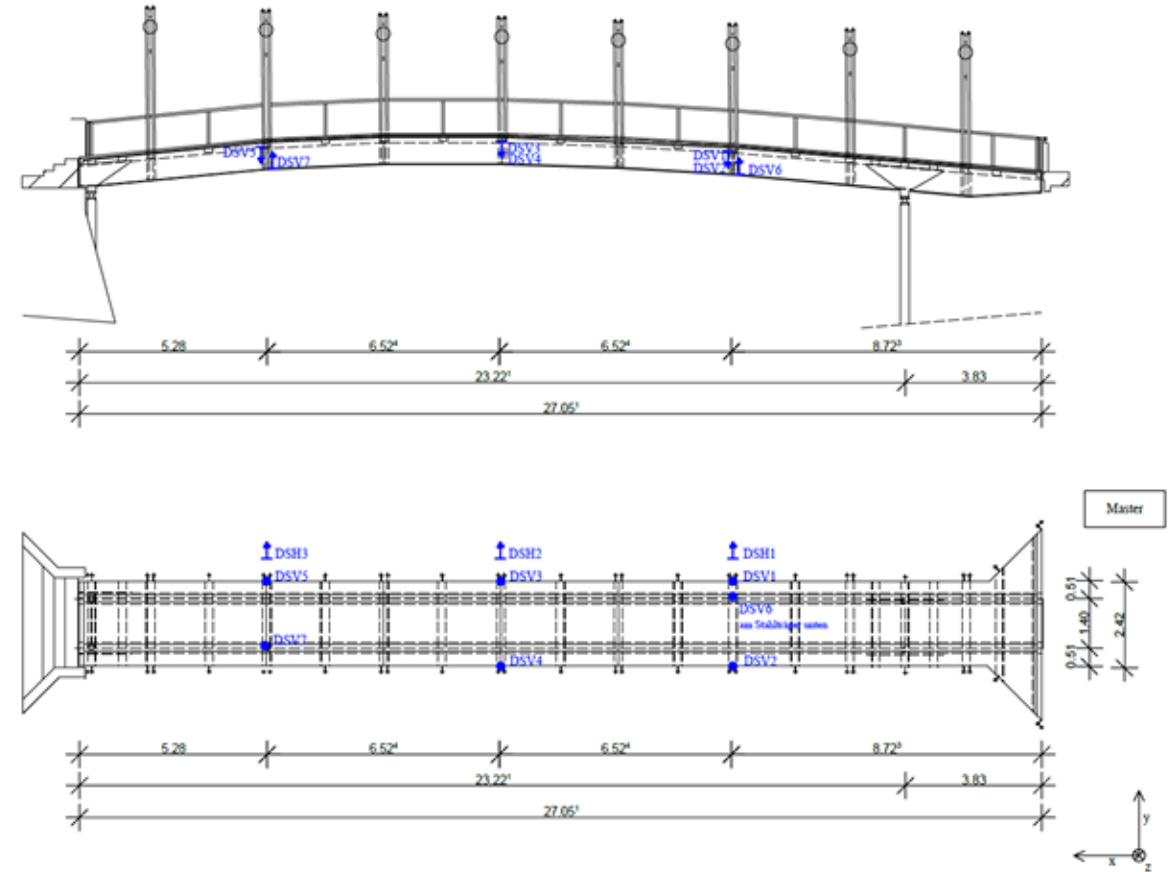
Calcolo parametri modali

- Elaborazione matrice di correlazione fino ad ottenere un numero di parametri modali (frequenze, smorzamenti e formemodali) pari all'ordine del sistema

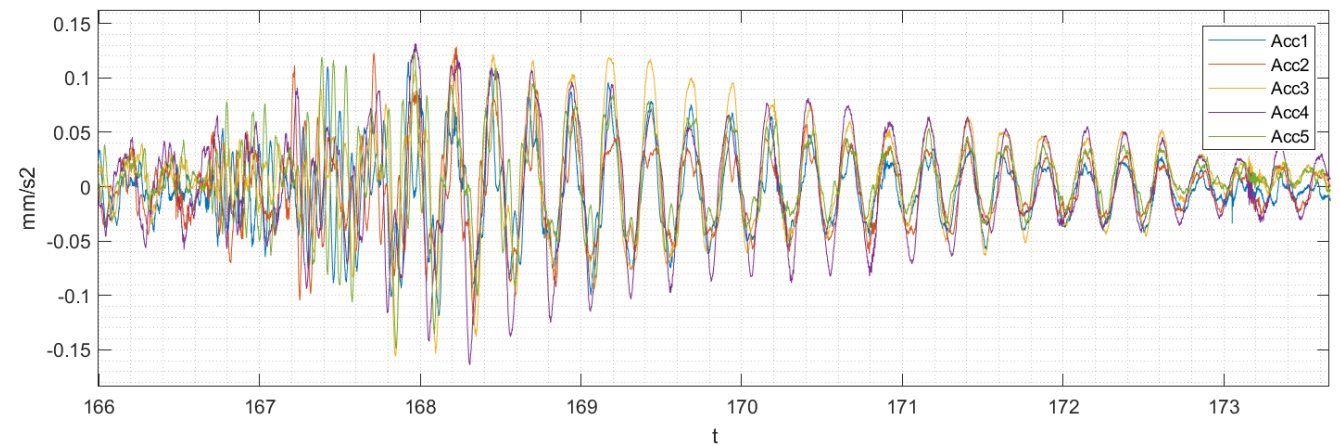
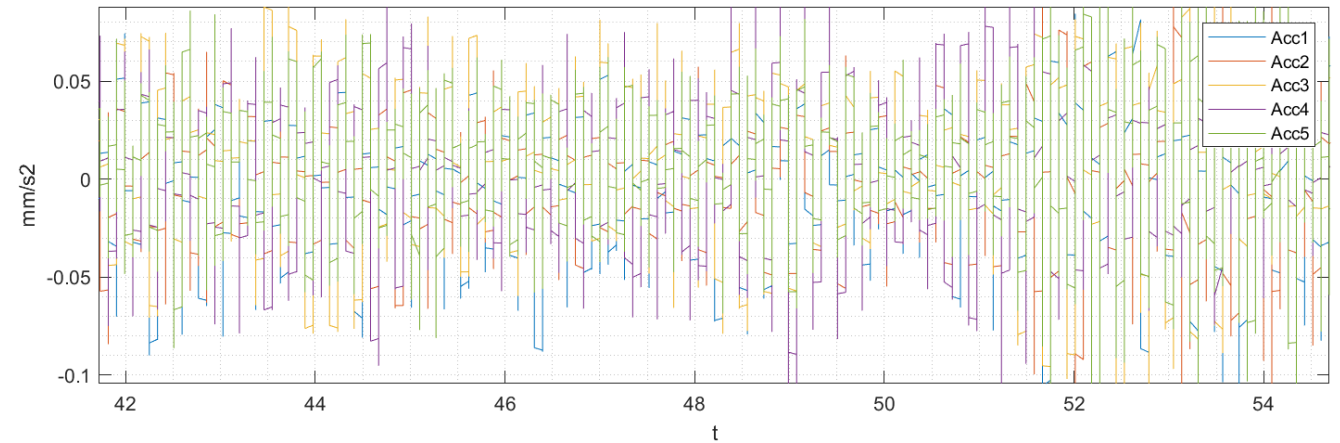
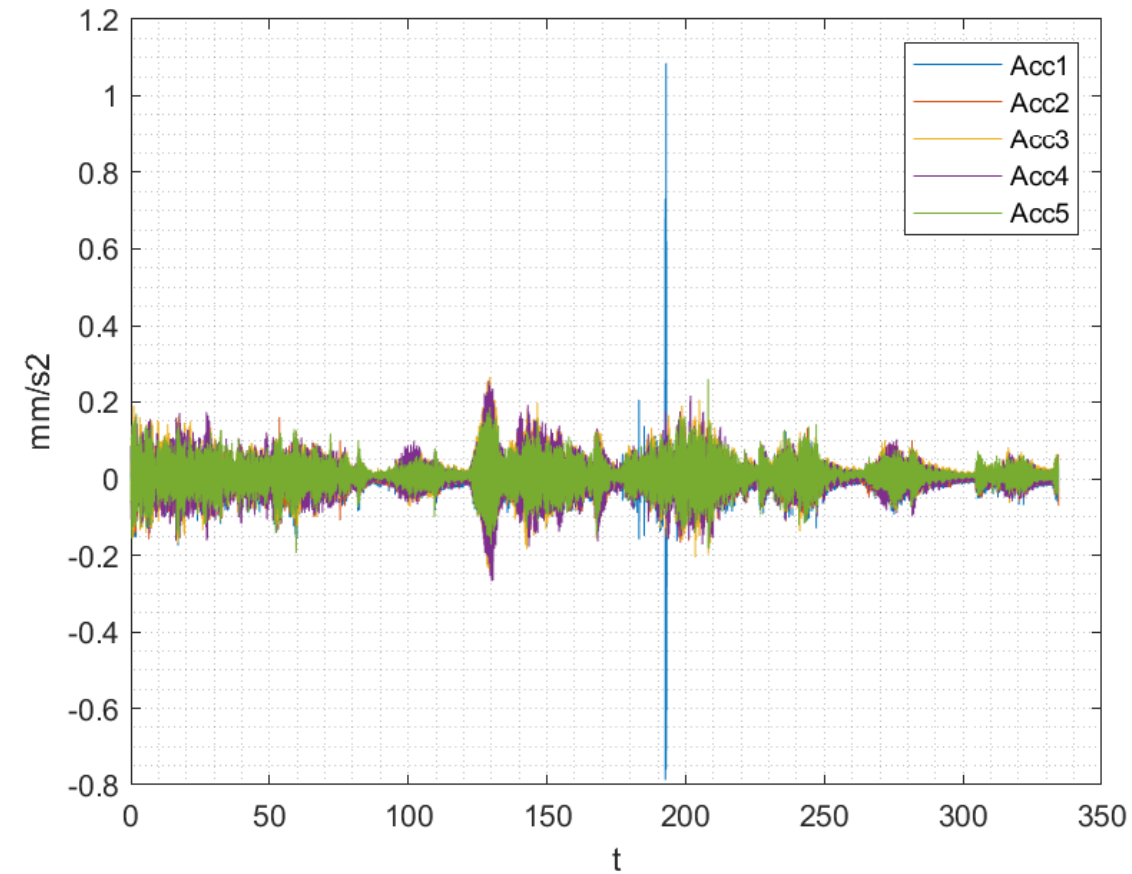
DATASET DI PROVA

The Mensa bridge in Hannover, Germany is a footbridge crossing the street Schneiderberg and connects the universities' canteen and the park. The dataset contains measurements of the vertical and the horizontal accelerations of the bridge deck under ambient excitation (e.g. wind and pedestrians) and impulse excitation. The impulse excitations have been realized using a modal hammer. The impulse has been applied at six different positions, three times in vertical direction (DSV) and three times in horizontal direction (DSH) near the sensor that is indicated in the filename.

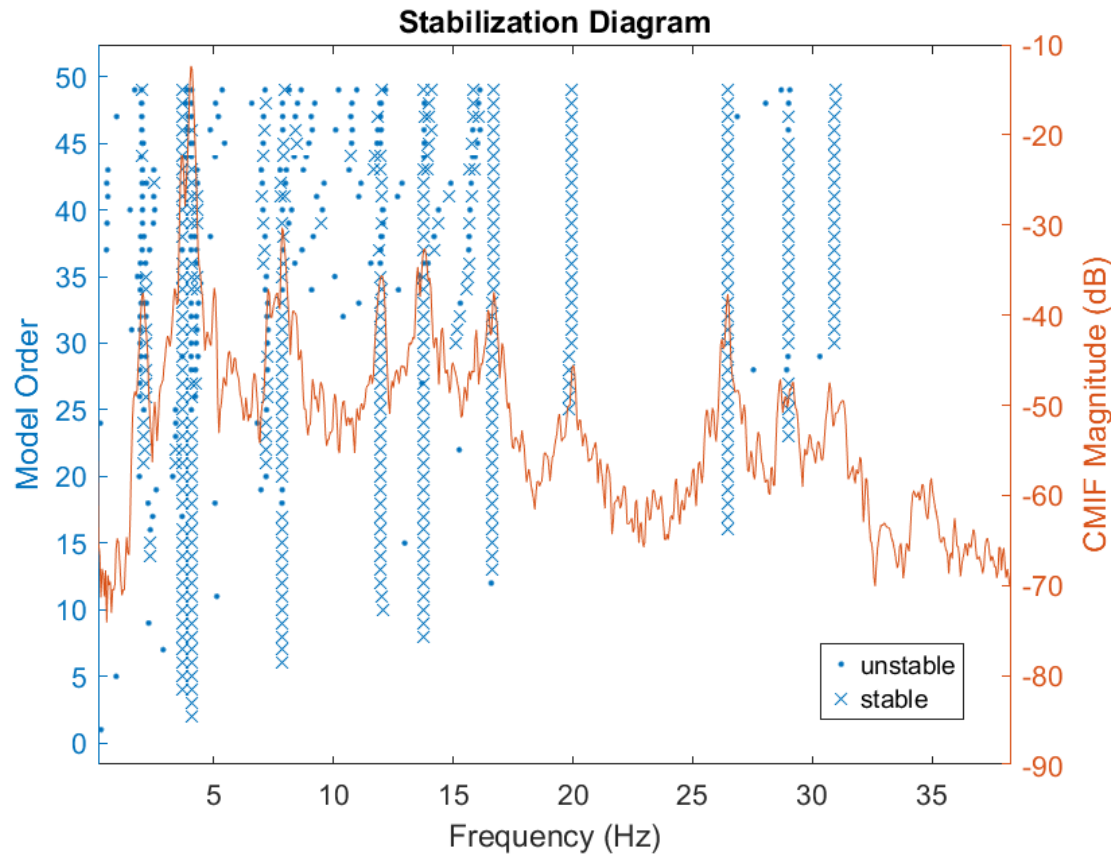
↓
AMBIENT EXCITATION – WIND + PEDESTRIANS



DATASET DI PROVA + ANALISI PRELIMINARI



CONFRONTI SSI-COV/ POLYMAX TESTLAB



SSI-COV f [Hz]	POLYMAX f [Hz]	SCARTO
2.01	/	
3.68	3.66	0.7
7.94	7.28	9.1
/	7.85	
12.02	11.92	0.8
13.78	13.78	0.0
14.10		
15.83	16.09	1.6
16.67	16.93	1.5
19.94	20.02	0.4
26.44	26.36	0.3
30.94	/	/

- L'OMA rappresenta uno strumento estremamente potente per monitorare i parametri modali di una struttura soggetta ad eccitazione dinamica ad ampio spettro -> **Structural Health Monitoring** -> **CORRELAZIONE TRA VARIAZIONE DEI PARAMETRI MODALI e DANNEGGIAMENTI/PERTURBAZIONI STRUTTURALI (DATI NON ESISTENTI!!!)**

CONTRATTO DI RICERCA STIPULATO TRA ISTITUTO SUPERIORE PER LA PROTEZIONE E LA RICERCA AMBIENTALE E SONORA S.R.L.

ATTIVITA':

1. *Rilievi sperimentali di vibrazioni indotte da tram e treni A.V.*
2. *Sviluppo ed implementazione di modelli numerici previsionali*

OBIETTIVO:

Fornire uno strumento per la previsione dei livelli di vibrazione indotti da mezzi su rotaia (tram, treni a bassa ed ad alta velocità).

RISULTATO:

«Wave Prevision»

...codice previsionale dei livelli di vibrazione basato su modelli presenti nella letteratura scientifica



IMPATTO VIBRAZIONALE – UNA POSSIBILE PROCEDURA

Data una sorgente che induce vibrazioni, è possibile stimare un eventuale il disturbo presso un ricettore?

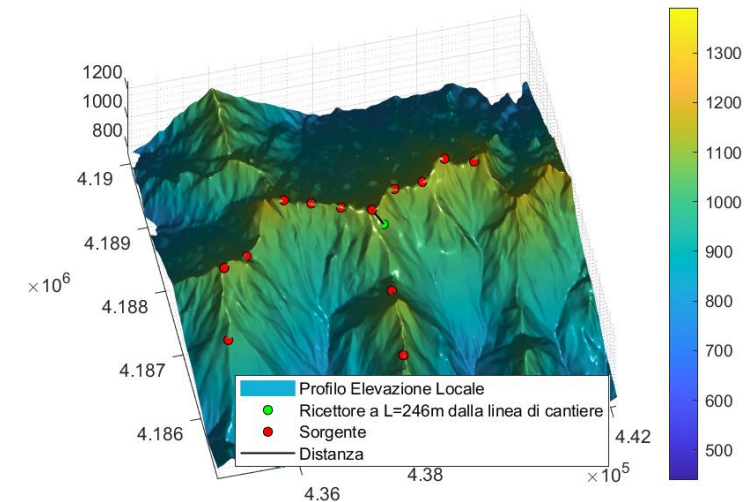
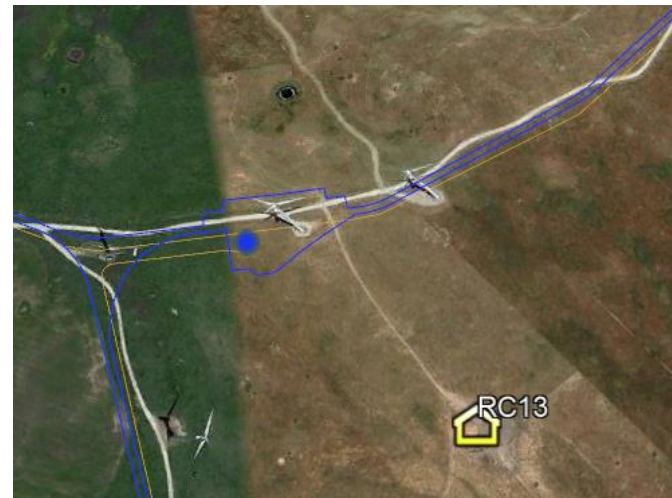
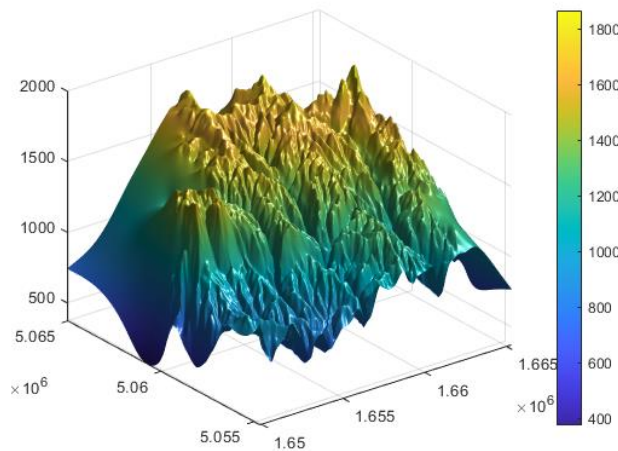
E' possibile stimare il livello vibrazionale presso un ricettore

SPETTRO DI ECCITAZIONE

DISTANZA SORGENTE-RICETTORE

CARATTERISTICHE DEL TERRENO

SCELTA DI UN MODELLO DI ATTENUAZIONE



Grazie per la vostra attenzione