

# TEST 3b

Acquisitore dati - Progetto DOLFRANG - Prototipo 5 – open source

Acquisizione del 20/04/2015

**Continuazione di “Test 3” del 21.04.2015 e di “Test 3a” del 08.05.2015**

*Uso del segnale equalizzato per la valutazione di alcuni parametri correlati alla resistenza di un edificio.*

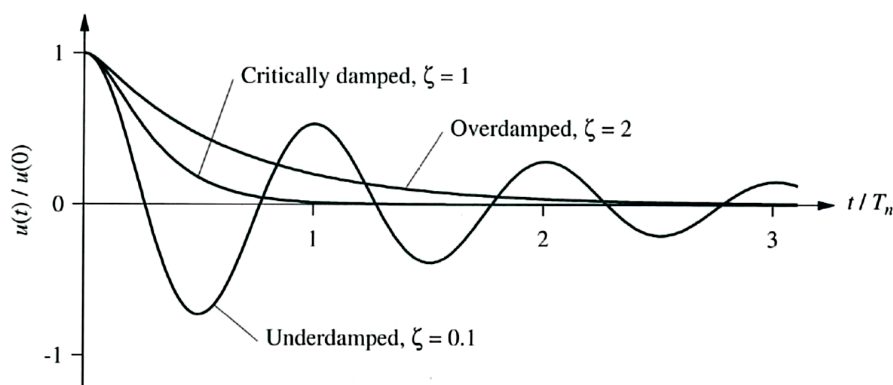
Si riprende l'esposizione delle analisi che si possono svolgere con i dati acquisiti per un edificio, illustrando altri risultati ottenuti.

Il testo di riferimento è “Evaluation of building strength from microtremor analyses”, Sungkono - Warnana – Triwulan e Utama, International Journal of Civil & Environmental Engineering, vol. 11, n° 5, 2011. Esso è disponibile in internet.

In tema di prove non distruttive sugli edifici, l'analisi dei microtremori consente di conoscere altre caratteristiche dinamiche, tra le quali lo **smorzamento viscoso**.

Lo smorzamento viscoso è un parametro che rappresenta la perdita di energia di un sistema in oscillazione. Il calcolo di tale parametro assume che esso sia proporzionale alla velocità del sistema.

Con riferimento all'oscillatore lineare a un grado di libertà soggetto a vibrazioni libere, la figura seguente illustra il comportamento in termini di spostamento relativo  $[u(t)/u(0)]$  per un sistema con diversi livelli di smorzamento viscoso (esempio:  $\zeta=1 \rightarrow \zeta =100\%$ )

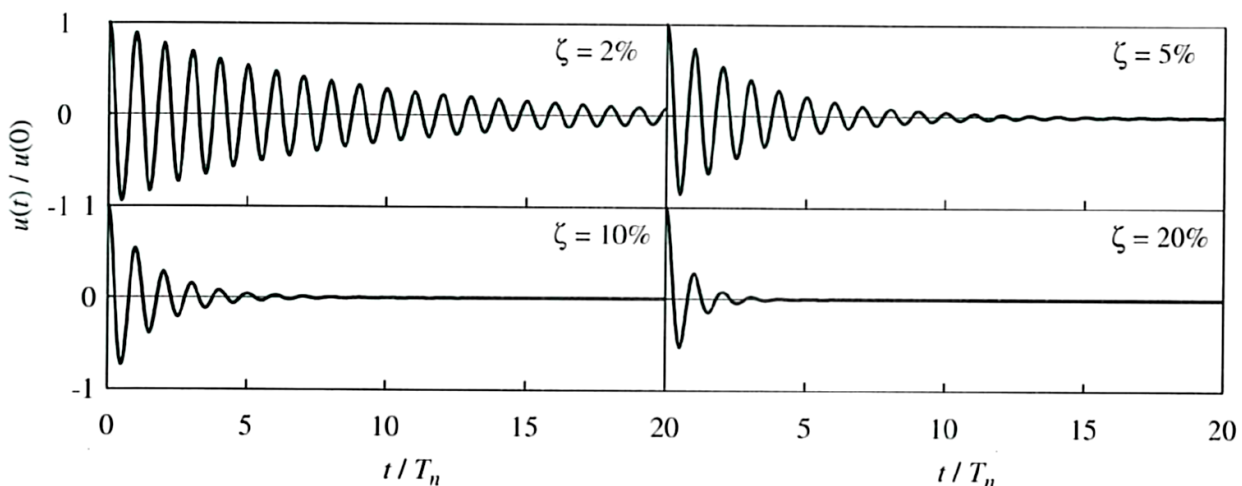


Focalizzando l'attenzione sui casi  $\zeta < 20\%$ , che sono quelli della maggior parte degli edifici con valori massimi intorno 10-15%, la forma della equazione del moto di un sistema lineare soggetto ad una velocità iniziale  $\dot{u}(0)$  è il prodotto tra una esponenziale negativa e una senoide

$$u(t) = \frac{\dot{u}(0)}{\omega \cdot \sqrt{1 - \zeta^2}} \cdot e^{-\zeta \omega t} \cdot \sin(\omega \cdot \sqrt{1 - \zeta^2} \cdot t)$$

dove:  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ; k rigidezza; m massa;  $\zeta$  smorzamento viscoso; t tempo;  $\dot{u}(0)$  velocità all'istante iniziale; u(t) spostamento nel tempo.

La figura successiva illustra gli effetti di diversi valori dello smorzamento viscoso, evidenziando oscillazioni smorzate.



Un parametro che misura tale comportamento è il **decremento logaritmico**, ossia il logaritmo naturale del rapporto tra 2 massimi successivi

$$r = e^{\frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad \text{rapporto tra 2 massimi successivi}$$

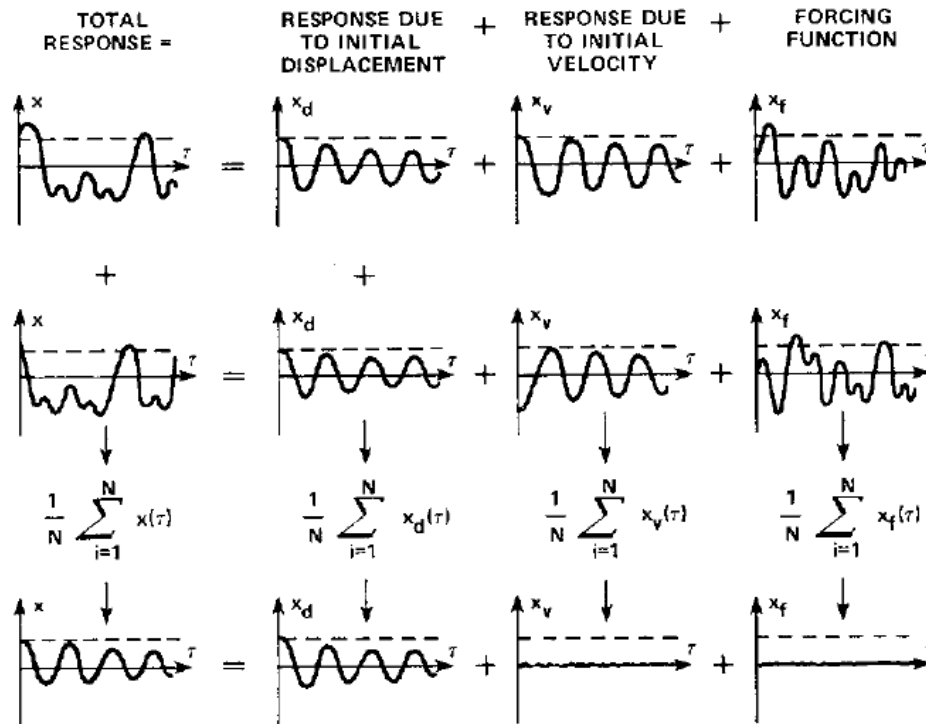
$$\ln r = \delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad \text{decremento logaritmico}$$

Ritornando alla elaborazione numerica del segnale acquisito, la tecnica di calcolo dello smorzamento viscoso, illustrata nel seguito, è quella nota come **Random Decrement Method (RDM)**, che è una analisi nel dominio del tempo. Quale software di calcolo è stato utilizzato Geopsy, ver. 2.9.1, funzione *Damping*



Il principale riferimento per il **RDM** è l'articolo "On-line Failure Detection and Damping Measurements of Aerospace Structures by Random Decrement Signature", Cole, NASA CR-2205, 1973. Esso è disponibile in internet.

I principi del **RDM** sono riassunti nella seguente figura



tratta da "Measurement of structural damping using the Random Decrement Technique", Yang – Dagalakis – Everstine e Wang, Shock and Vibration Bulletin, part 4, may 1983, reperibile in internet.

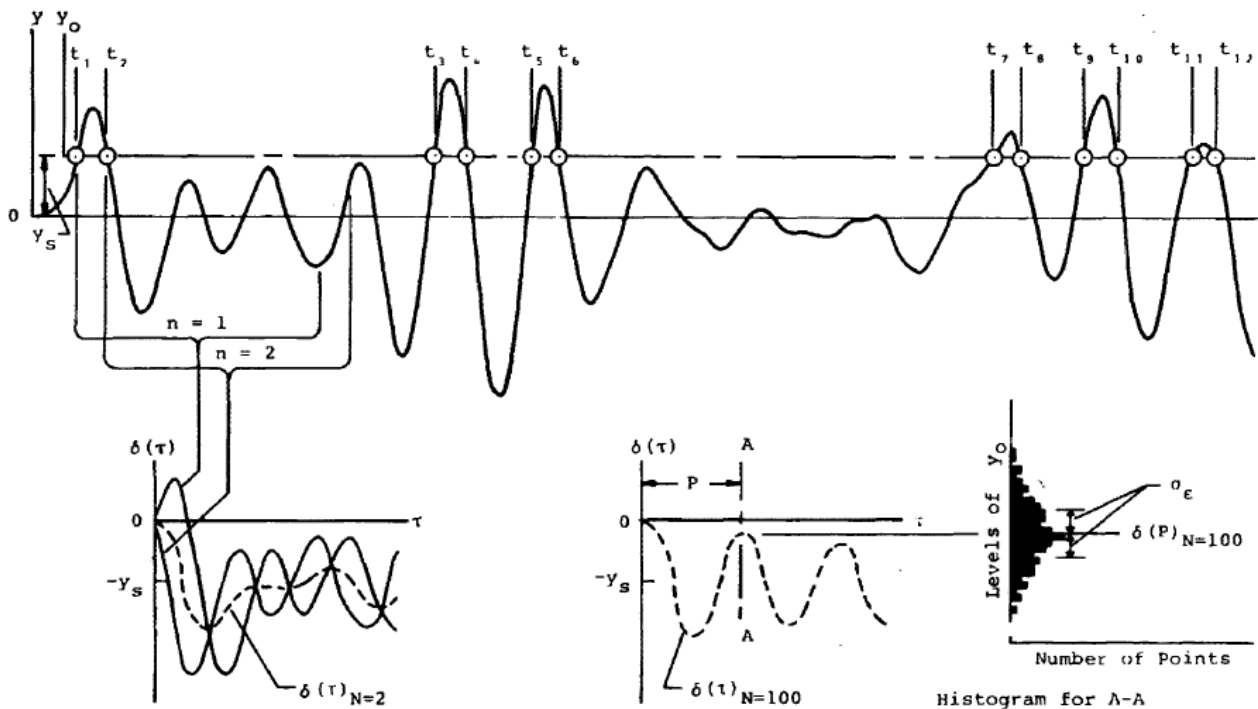
La tecnica numerica consiste in questo: mediare "N" segmenti di segnale di lunghezza sull'asse dei tempi "L", definiti a partire da un valore "a" detto "trigger condition".

La risposta di un sistema a una eccitazione con contenuti casuali si può vedere come la somma di 3 componenti: (1) la risposta a uno spostamento iniziale; (2) la risposta ad una velocità iniziale; (3) la risposta a una eccitazione casuale.

L'idea di base del **RDM** è che, mediando un grande numero di segmenti di segnale che abbiano lo stesso valore iniziale, la componente (3) non ha effetti, per definizione stessa di distribuzione casuale, ossia a media nulla per il tipo di segnale in esame. Analogo ragionamento per la componente (2) in quanto sono prese in conto parti del complessivo

segnale originario con pendenze iniziali sia positive sia negative e la loro distribuzione statistica è casuale, quindi a media nulla. Resta la componente (1) che è la risposta di un sistema lineare a uno spostamento iniziale.

La figura successiva, tratta dalla pubblicazione di Cole, illustra come estrapolare i segmenti di lunghezza "L" dal segnale iniziale, fissato un valore "a" quale "trigger condition" (in figura  $y_s$ )



Da un punto di vista applicativo occorre tenere presente:

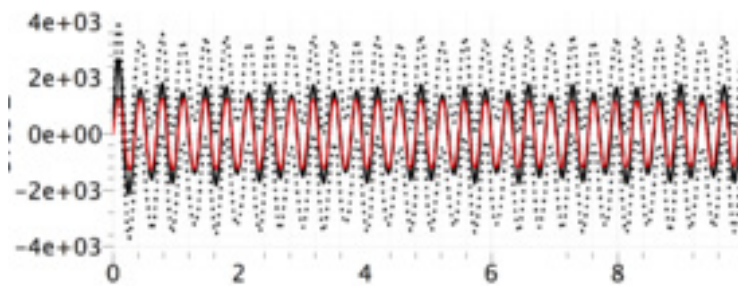
- il numero "N" di segmenti di segnale dipende dalla forma di quello originario. Solitamente  $400 \div 500$  segmenti sono sufficienti per ottenere una plausibile risposta totale del sistema;
- per quanto riguarda la lunghezza "L" del segmento di segnale, è necessario che all'interno di esso si manifesti un completo decadimento delle condizioni iniziali, al fine di avere una stima significativa del valore dello smorzamento viscoso;
- per un sistema a un solo grado di libertà lo smorzamento viscoso si può calcolare mediante il **decremento logaritmico**, valutabile dalla risposta totale del sistema;

- per un sistema a molti gradi di libertà è necessario mettersi nelle condizioni del punto precedente, utilizzando un **filtro passa-banda** calibrato sulla frequenza propria del sistema;
- sempre per un sistema a molti gradi di libertà, nel caso in cui le frequenze proprie fossero molto vicine tra loro, l'applicazione del filtro comporterebbe una distorsione del segnale;
- infine si ricorda ancora che il RDM è una analisi nel dominio del tempo.

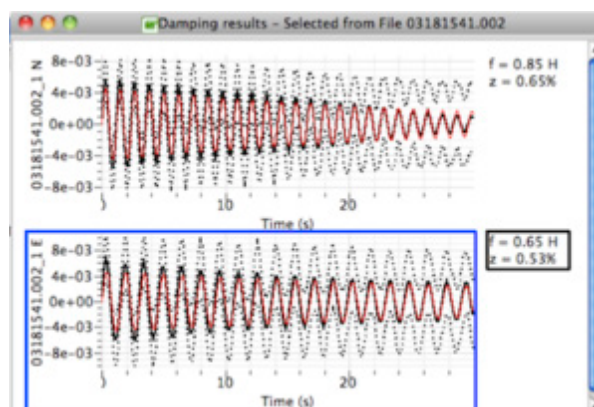
Delineati gli aspetti peculiari del **RDM** veniamo alle applicazioni mediante Geopsy.

La funzione Damping di Geopsy viene presentata come un ausilio per dare indicazioni sui picchi rilevati nello spettro di potenza o nello spettro della struttura.

Negli esempi a corredo della funzione, si fa osservare che un picco associato a valori di smorzamento  $\zeta \ll 1\%$  potrebbe essere indice di una sorgente quale una macchina industriale, ossia una persistenza della eccitazione nel tempo (la figura successiva è tratta dalle note a corredo della funzione Damping, evidenziando la risposta di un sistema alla frequenza 2.92Hz e smorzamento viscoso 0.06%, avente origine dal moto di una macchina industriale)



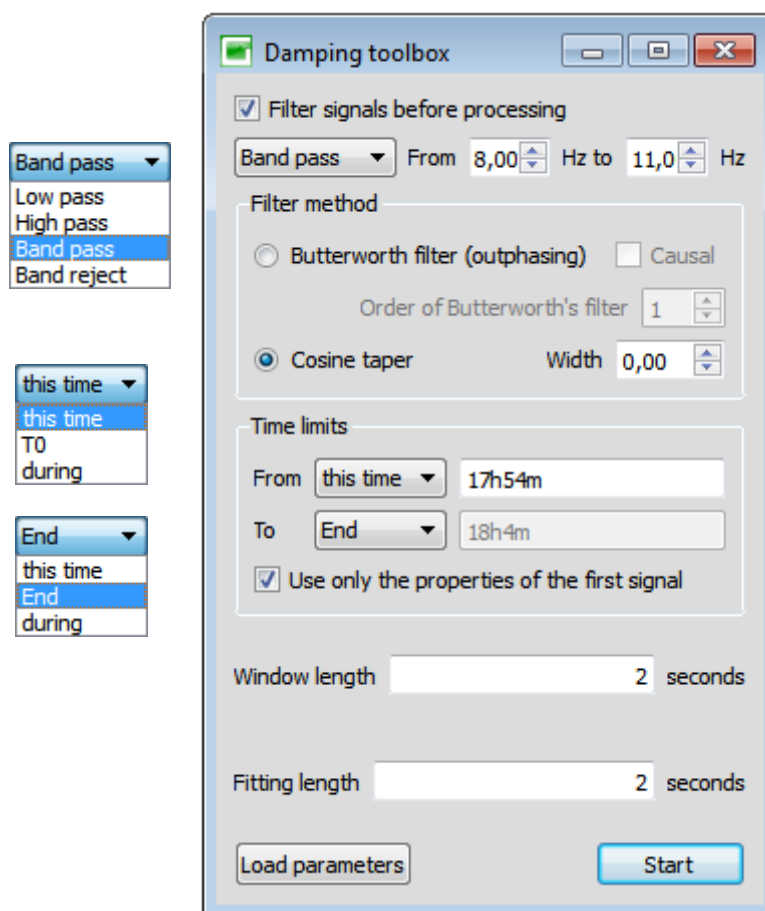
mentre nel caso di smorzamento viscoso associato ad edifici la forma della risposta del sistema mostra il decremento nel tempo dell'eccitazione iniziale



La funzione Damping di Geopsy è relativa al plugin *geopsydamping*, realizzato sulla base della Tesi di Dottorato “Pertinence du bruit de fond sismique pour la caractérisation dynamique et l’aide au diagnostic sismique des structures de génie civil” di Francois Dunand, 2008, disponibile in internet.

Quindi si tratta di una analisi nel dominio del tempo, a singolo canale, con la quale è possibile scegliere alcuni parametri. E' ben intuibile l'importanza che il segnale sul singolo canale debba essere equalizzato.

L'interfaccia della funzione Damping è la seguente

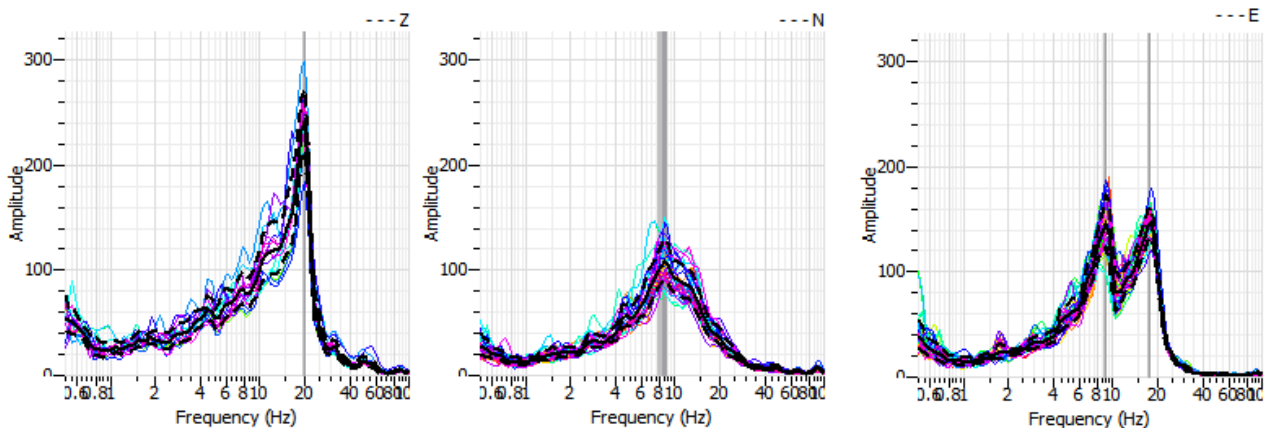


- mediante un flag è possibile scegliere se operare un filtraggio del segnale scelto con il menù file;
- le operazioni di filtraggio possibili sono quelle illustrate in figura. Nel nostro caso è preferibile un filtro passa-banda su un intervallo con valori estremi selezionabili;
- il metodo di filtraggio, per i quali si rimanda alla letteratura specifica;

- il tratto sull'asse dei tempi del segnale originario da sottoporre ad analisi;
- la lunghezza dei segmenti di segnale "L" sull'asse dei tempi (*Window length*);
- la lunghezza all'interno di "L" in cui deve avvenire il decremento;
- riguardo la "trigger condition" essa è "*window origin corresponding to a zero-crossing with positive derivative*" valutata in automatico.

Applichiamo la funzione Damping al segnale acquisito e successivamente equalizzato. Nel seguito si farà riferimento all'acquisizione con gain 2.100 (24k ohm).

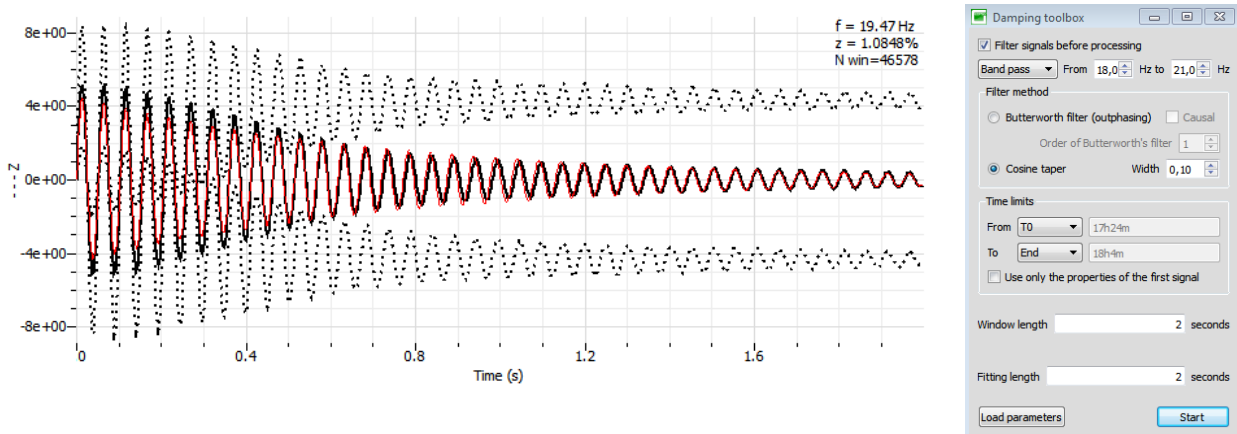
Anzitutto occorre una stima delle frequenze proprie del sistema. Quindi utilizziamo la funzione Spectrum di Geopsy



**Segnale equalizzato:** gain 2.100 (24k ohm), lunghezza finestra da 20 a 50s, bad sample threshold 50%, anti-triggering on raw signal, n° finestre 100

Adesso passiamo all'analisi sullo smorzamento viscoso, cominciando dal canale Z, ossia quello verticale. Si noti che in Geopsy l'analisi viene condotta sui tutti e 3 i canali, ma, sulla base dei dati inseriti nella maschera illustrata in precedenza, occorre focalizzare l'attenzione su uno dei 3 risultati.

Sul canale z una stima della frequenza propria principale del sistema è circa 20 Hz. Utilizzando la funzione Damping si ottiene




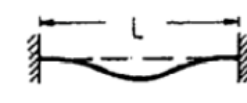
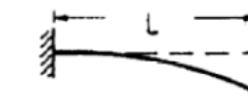
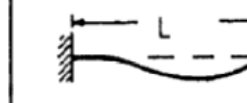
ossia un valore di frequenza propria pari a 19.47 Hz e uno smorzamento viscoso pari a 1.0848% (Nwin è il numero di finestre temporali utilizzate, cioè il numero di segmenti di segnale di lunghezza “L” sull’asse dei tempi all’interno dell’intervallo temporale definito nella sezione “Time limits”, che in questo caso è l’intero tempo di acquisizione).

Ricordando che l’acquisitore è stato collocato in posizione centrale della campata di solaio, valutiamo la frequenza della struttura del solaio medesimo.

Considerando diversi schemi statici i valori di prima frequenza propria sono

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \frac{\alpha}{L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad [Hz]$$

$f_n$  - natural frequency  
 $E$  - modulus of elasticity  
 $I$  - second moment of area  
 $L$  - span  
 $m$  - mass per unit length  
 $\alpha$  - coefficient of frequency of the basic mode of vibration

			
$\alpha = 9,869$	$\alpha = 22,37$	$\alpha = 3,516$	$\alpha = 15,418$

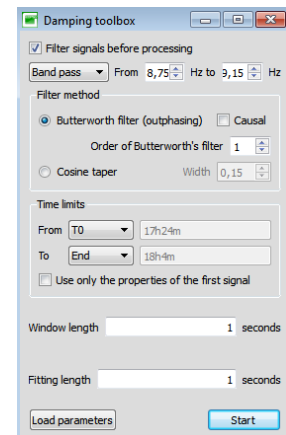
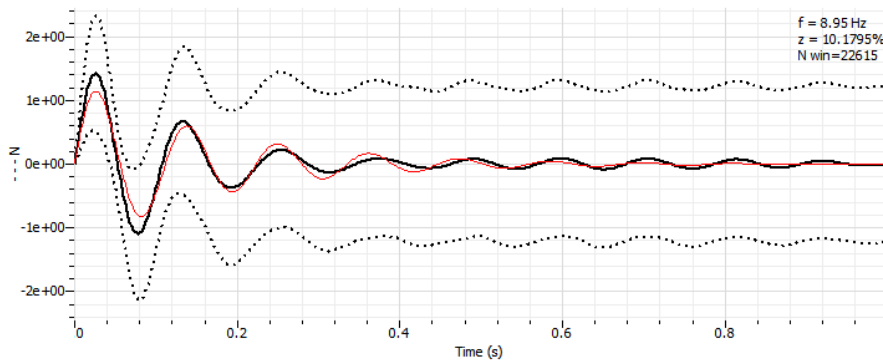
Mediando tra lo schema (2) e quello (4) si ottiene 19.77 Hz, valore prossimo a quello misurato sull’asse V.

Calcolo della frequenza propria			
E	=	3,15E+10 N/m <sup>2</sup>	modulo elastico
J	=	1,42E-04 m <sup>4</sup>	momento d'inerzia
L	=	5,00 m	lunghezza
m	=	165 kg/m	massa per unità di lunghezza
$\alpha_1$	=	9,869	coefficiente
f1	=	10,33 Hz	frequenza
$\alpha_2$	=	22,37	coefficiente
f2	=	23,40 Hz	frequenza
$\alpha_3$	=	3,516	coefficiente
f3	=	3,68 Hz	frequenza
$\alpha_4$	=	15,418	coefficiente
f4	=	16,13 Hz	frequenza



Passiamo al canale Nord, asse N-S diretto come l'asse cartesiano x, parallelo alle 2 pareti cieche del manufatto. Una stima della frequenza propria è circa 9 Hz.

Utilizzando la funzione Damping si ottiene



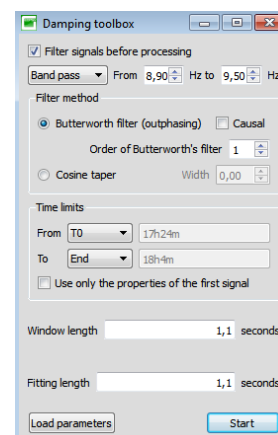
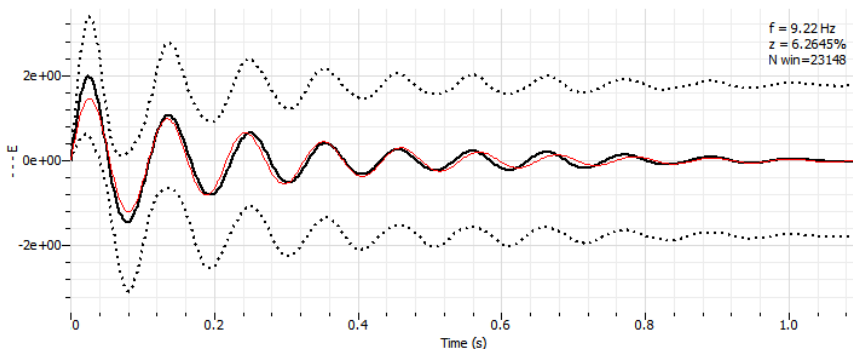
ossia un valore di frequenza propria pari a 8.95 Hz e uno smorzamento viscoso pari a 10.1795%. Da calcolo agli elementi finiti si era ottenuto 9.091 Hz, quindi una variazione di -1.55% rispetto tale ultimo valore. Dall'analisi H/V si era ottenuto circa 8.5 Hz.

Anche il valore di smorzamento ottenuto è confrontabile con quelli di letteratura per edifici in muratura.

Infine passiamo al canale Est, asse E-W diretto come l'asse cartesiano y, parallelo alle pareti con aperture (in sostanza una sola parete di fondo anche con apertura per una porta). Una stima della frequenza propria è circa 18 Hz.

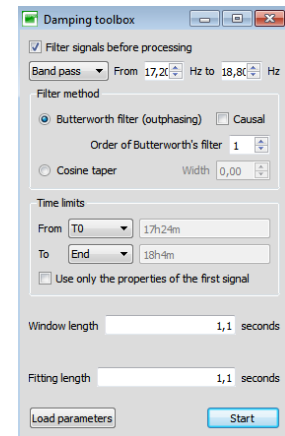
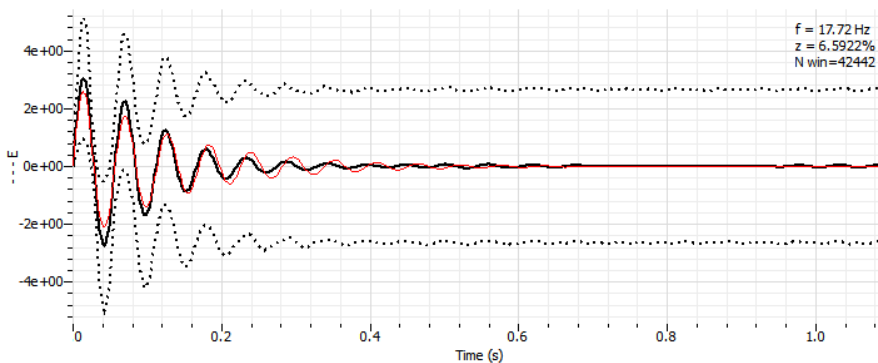
Inoltre, osservando lo spettro del canale Est, non passa inosservato un picco alla frequenza di circa 9 Hz, come quanto rilevato sul canale Nord.

Utilizzando la funzione Damping si ottiene



ossia un valore di frequenza propria pari a 9.22 Hz e uno smorzamento viscoso pari a 6.2645%.

Conducendo l'analisi per l'altro picco si ottiene



ossia un valore di frequenza propria pari a 17.72 Hz e uno smorzamento viscoso pari a 6.5922%.

Riassumendo i risultati ottenuti

	frequenza 1	frequenza 2	frequenza 3
Canale V			19.47
Canale N	8.95		
Canale E	9.22	17.72	
<i>media</i>	9.085		

Le frequenze rilevate sui canali N-S e E-W sono prossime a quanto rilevato con l'analisi agli elementi finiti 9.091Hz in direzione y. Mediando i valori calcolati con Geopsy si ottiene 9.085 Hz.

I valori dello smorzamento viscoso sono differenti, come le rigidezze delle strutture presenti lungo la direzione considerata. L'asse x è quello che presenta maggiore rigidezza alla traslazione rispetto quello y

Inoltre, data la forma a U in pianta della sezione resistente alle forze orizzontali di piano, la presenza di eccentricità tra baricentro delle masse e quello delle rigidezze comporta anche la presenza di una coppia nel piano che richiama la partecipazione delle strutture nelle 2 direzioni considerate, anche se con contributi diversi in termini di massa.

Resta da commentare quanto ottenuto come 2° valore di frequenza sull'asse E-W.

Il calcolato valore di frequenza propria principale per l'asse y è pari a 23.81 Hz. Qui si è ottenuto 17.72 Hz.

Ma non bisogna dimenticare che con il metodo **RDM** (analisi nel dominio del tempo) occorre riportare il calcolo per un sistema a molti gradi di libertà a quello per un oscillatore elementare mediante un filtro passa-banda.

Quando esistono frequenze molto vicine a quella oggetto di interesse l'effetto del citato filtro è quello di operare una distorsione del segnale, per minimizzare la quale occorrono tecniche numeriche di ottimizzazione per ridurre l'errore quadratico medio, qui non trattate per brevità.

Però è utile ricordare che esiste una frequenza principale a 20 Hz sull'asse x, che ha effetti anche su quello y per quanto esposto in precedenza. E che esiste una frequenza propria sull'asse y pari a 28.57 Hz con coefficiente di partecipazione poco superiore alla metà di quello a 23.81 Hz.

Grazie per l'attenzione.