

# **Guida per l'analisi in frequenza da transito pedonale**



**Finite Element Analysis & Design Program**

© Inter-CAD Kft. 2017

## SOMMARIO

Introduzione.....	2
<b>TEORIA E RETROSCENA .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
Caratteristiche di vibrazione.....	2
Calcolo del fattore di risposta.....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
<b>L'IMPLEMENTAZIONE DELLA PROCEDURA IN AXISVM X4 .....</b>	<b>3</b>
<b>ESEMPI.....</b>	<b>5</b>
Analidi di un edificio multipiano .....	5
<b>VALORI LIMITE DEL FATTORE DI RISPOSTA.....</b>	<b>8</b>

## INTRODUZIONE

L'obiettivo dell'analisi in frequenza da transito pedonale è valutare e controllare le accelerazioni dovute ai pedoni che inducono vibrazioni, le quali possono indurre una riduzione del confort e della funzionalità della struttura.

Lo scopo di questa guida è fornire un migliore approfondimento delle procedure di costruzione per agevolare la comprensione. Gli approcci introdotti sono basati sui seguenti lavori: "A. Design Guide for Footfall Induced Vibration of Structure"[1] e "Design of Floors for Vibration: A New Approach"[2].

Durante l'impostazione del modello è importante considerare che le strutture siano rigide sotto carichi dinamici. Infatti i vincoli, le connessioni tra gli elementi strutturali e le cerniere nei bordi devono avere un comportamento rigido sotto carichi dinamici rispetto a quanto si presuppone per i carichi statici.

## TEORIA E RETROSCENA

### CARATTERISTICHE DELLA VIBRAZIONE

La risposta di un sistema a vibrazioni forzate si divide in due parti: una parte transitoria e una parte stazionaria. La risposta al transito pedonale può avere due differenti caratteristiche. Se la struttura è "rigida", la soluzione stazionaria è trascurabile rispetto la soluzione transitoria. Questo accade perché tra i due passaggi, la vibrazione cade a causa della grande rigidità e dello smorzamento. In questo caso l'eccitazione può essere modellata come una serie di impulsi sulla struttura. Un esempio è raffigurato in Figura 1(a). Inoltre, in questo caso, si trascura la sovrapposizione di transiti pedonali consecutivi, condizione ritenuta accettabile se si assume il decadimento della vibrazione tra le due fasi.

La vibrazione transitoria, invece, è una risposta vibrazionale libera del sistema, la cui frequenza di risposta contiene le autofrequenze stesse del sistema.

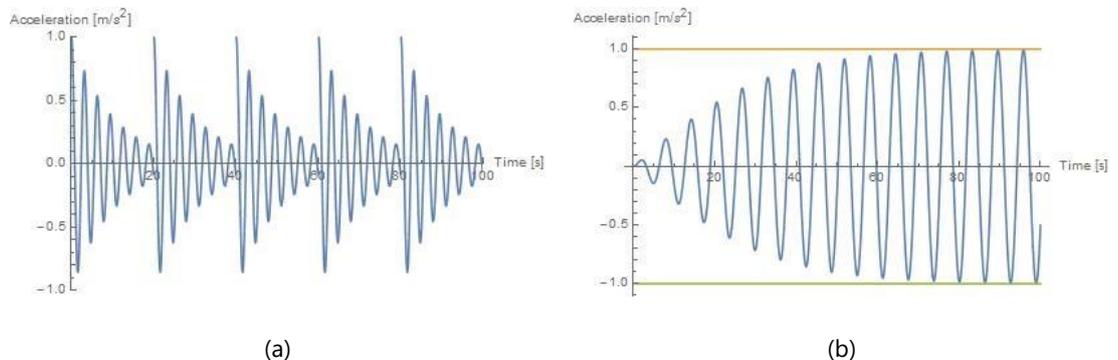


Figura 1. (a) Possibili caratteristiche della risposta in termini di accelerazione: serie di vibrazioni transitorie dovute all'impulso su una struttura rigida; (b) soluzione stazionaria dovuta all'eccitazione di una forza continua su una struttura "soffice".

D'altra parte, se la struttura è "morbida", ha un'autofrequenza che è quattro volte più piccola rispetto quella fondamentale di camminata, quindi, la risonanza può verificarsi se la frequenza fondamentale (o un suo multiplo intero) è uguale a una delle autofrequenze della struttura. In questo caso la soluzione transitoria è trascurabile rispetto la stazionaria.

Altro aspetto fondamentale è il tempo necessario all'evoluzione dell'ampiezza dello stato stazionario, poiché le accelerazioni massime possono svilupparsi solo in situazioni sfavorevoli, ovvero quando la struttura subisce una lunga forza risonante.

## L'IMPLEMENTAZIONE DELLA PROCEDURA IN AXISVM X4

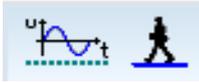


Figura 3. Analisi di transito pedonale attivo

Il comando di analisi in frequenza da transito pedonale diventa attivo se la vibrazione risulta legata al modello, vedere figura 3.

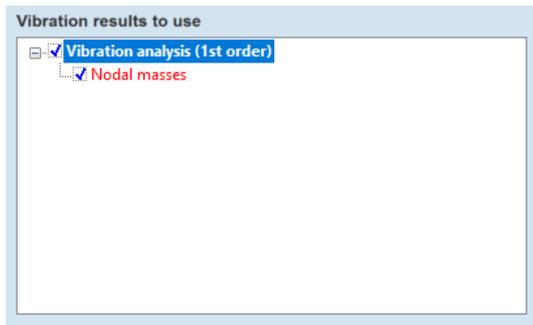
In figura 4. è mostrata la schermata di analisi in frequenza da transito pedonale. La procedura inizia dopo aver cliccato su "Ok" se il modello contiene elementi di superficie, e tra essi esiste almeno un elemento in cui l'angolo che si forma tra la sua normale e la direzione di gravità è inferiore a  $70^\circ$ . La procedura considera un elemento di superficie, un elemento a pavimento, se l'angolo tra la normale e la gravità è minore o uguale a  $10^\circ$ , mentre se l'angolo è tra i  $10^\circ$  -  $70^\circ$ , allora la superficie è considerata come scala, con differenti limiti di frequenza e con i relativi coefficienti di Fourier (solo nella procedura SCI P354). Sui nodi che si riferiscono a pareti o aste, il programma non applica forze e non analizza le relative accelerazioni.

Figura 4. Schermata del fattore di risposta di vibrazione

La procedura di calcolo del fattore di risposta di vibrazione è un calcolo impegnativo, per questo il programma offre alcune semplificazioni nell'analisi, che possono accorciare significativamente i tempi di processo.

### Forme modali da usare

- **Tutte le forme modali per i casi di carico/combinazioni:** se l'utente imposta questo comando, vengono prese in considerazione tutte le autodeformate che sono legate al caso di carico o alla combinazione. Per l'analisi in fase stazionaria, vengono presi in considerazione tutti gli automodi fino al limite di cut off ( $N_{st}$ ), dove quest'ultimo è uguale alla frequenza fondamentale del numero di armoniche (H)+2Hz. Sopra questo limite le autodeformate non risultano essere dannose dal punto di vista della risonanza.
- **Forme attivate nella tabella dei fattori di massa modale:** l'utente ha la possibilità di disattivare i modi che presumibilmente non hanno effetto in questa analisi.
- **Sotto la frequenza limite:** in questa impostazione l'utente può definire una frequenza di cut-off, sopra la quale il software non prende in considerazione le autodeformate.



Il nome del caso di carico o della combinazione diventa rosso in tre casi:

- se la più grande autofrequenza calcolata è sotto il limite di cut-off (vedere sopra);
- se l'utente ha disattivato un'autodeformata sotto il limite di cut-off;
- se la frequenza limite è sotto il limite di cut-off.

Figura 5. Attenzione ai risultati in vibrazione

Metodo d'eccitazione

- **Completa (da ogni nodo ad ogni nodo):** in questa opzione il nodo analizzato di un piano o scala viene eccitato da nodi arbitrari, legati al piano o alla scala (il software non analizza nodi legati alle pareti).
- **Eccitazione agli estremi delle forme modali:** in questo caso i nodi eccitati (e) sono limitati in modo tale che, solo ai due estremi (minimo e massimo) dei modi risultano eccitati, vedere per esempio la figura 6:

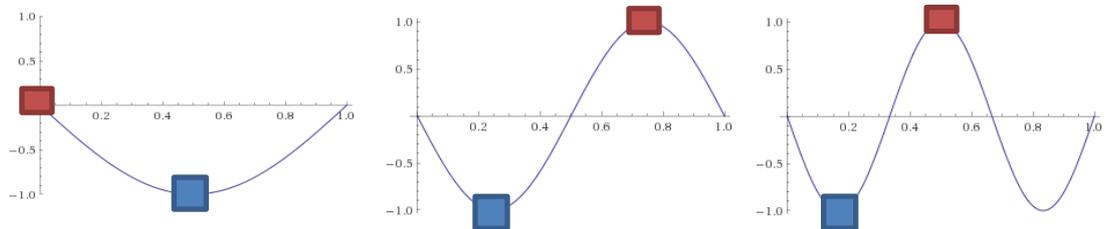


Figura 6. Eccitazione agli estremi delle forme modali, nodi eccitati.

- **Eccitazione nei nodi in cui la risposta è analizzata:** in questa opzione il nodo forzato e quello analizzato coincidono, in modo tale da risultare  $e=r$ . Questa opzione è opportuna se l'utente è interessato ad ottenere lo spettro di risposta globale massimo, con l'obiettivo di testare l'affidabilità della struttura a livello globale. E' consigliato, però, controllare questo risultato con i metodi descritti nella guida.
- **Eccitazione solo fino ai piani adiacenti:** se il modello consiste in almeno tre piani, questa checkbox diviene attiva. Se l'utente l'attiva, il piano del nodo analizzato e il piano del nodo eccitato deve essere lo stesso o adiacente. Un caso di carico diverso non è analizzato.

Rapporto di smorzamento di Il rapporto di smorzamento può essere scelto in accordo con i lavori [1] e [2], (la descrizione dei parametri sul transito pedonale possono essere reperiti sopra).

Frequenza del passo del Con l'impostazione della frequenza del passo, l'utente determina il limite superiore ed inferiore del range di frequenze analizzate. Nelle analisi il software valuta una lista in cui appaiono frequenze discrete che causano la risonanza del sistema. Se le frequenze ottenute sono meno di 20, viene dimezzato l'intervallo in modo che altri elementi vengono aggiunti alla lista; se sono più di 20, allora alcuni elementi vengono eliminati. Se la differenza massima tra le due frequenze discrete è maggiore di 0.1 Hz, allora, è applicato un ulteriore dimezzamento dell'intervallo. Tutto sommato il calcolo viene eseguito per almeno 20 frequenze discrete.

## ESEMPI

### ANALISI DI UN EDIFICIO MULTIPIANO

Parametri I parametri geometrici della struttura sono illustrati in Figura 11 e 12. Lo spessore delle piastre è costante: **20cm**. La sezione trasversale delle colonne è quadrata con dimensioni **40x40cm**.

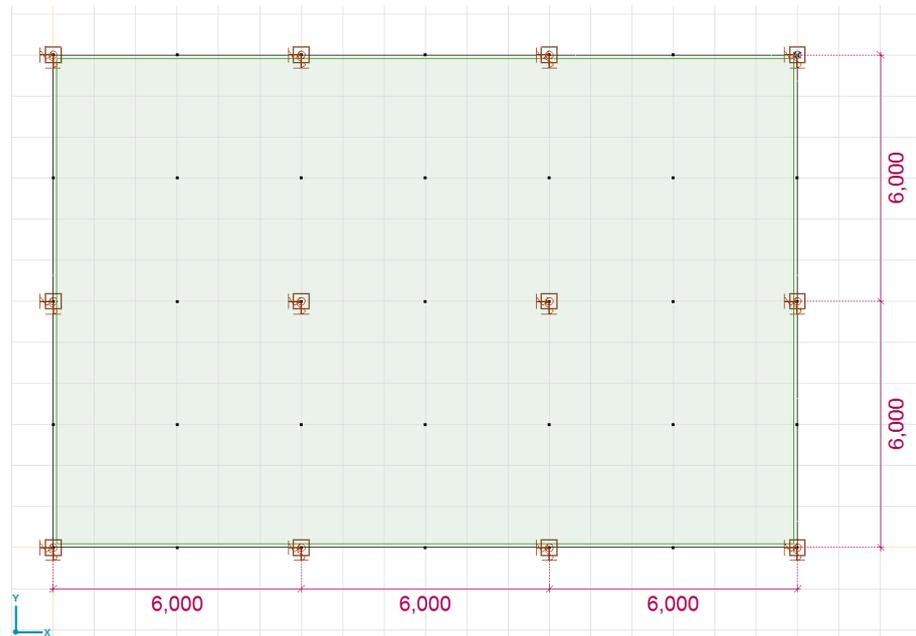


Figura 11. Edificio multipiano, vista dall'alto.



Figura 12. Edificio multipiano, sezione.

Il materiale dell'edificio è un C16/20 con un modulo elastico  $E = 2860 \text{ KN/cm}^2$ . I pilastri hanno le estremità bloccate. Numero di nodi: 6647, numero di forme modali esaminate in direzione z: 50.

Risultati

I risultati sono mostrati nelle Figure 13,14,15. Solo i fattori di risposta di vibrazione del primo piano sono illustrati in base ai diversi metodi di eccitazione. La figura 13 mostra la soluzione "esatta" ovvero l'eccitazione completa, la figura 14 mostra i risultati ottenuti dal metodo di eccitazione agli estremi della forma modale, ed infine in figura 15 troviamo i risultati ottenuti applicando il metodo dell'eccitazione nei nodi in cui la risposta è analizzata. Come è possibile osservare tutti e tre i metodi mostrano valori massimi simili, ma caratteristiche delle funzioni diverse.

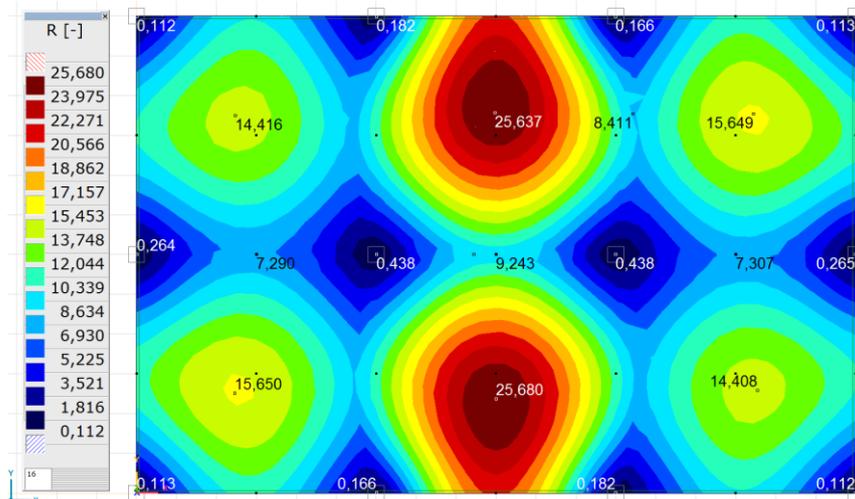


Figura 13. Piastra del primo piano, eccitazione completa, metodo di progetto CCIP-016, senza analizzare il piano dei nodi, tempo di calcolo: 1335 sec.

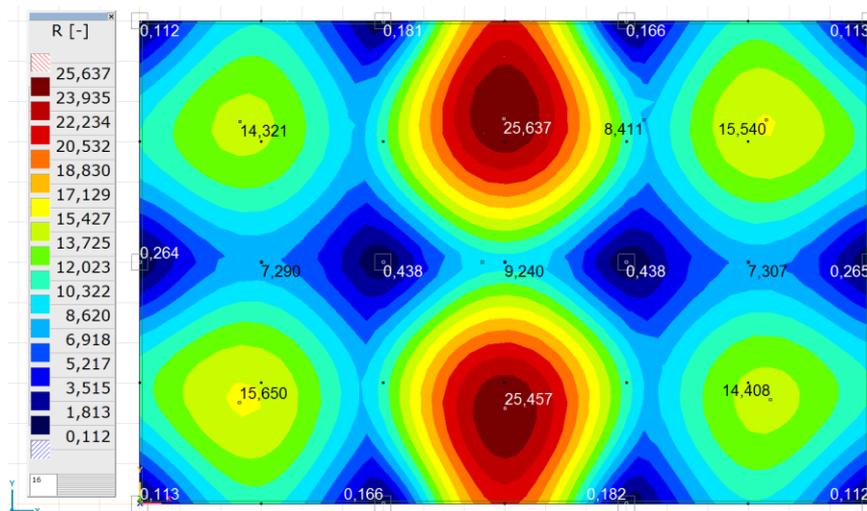


Figura 14. Piastra del primo piano, eccitazione agli estremi della forma modale, metodo di progetto CCIP-0.16, senza analizzare il piano dei nodi, tempo di calcolo: 57 sec.

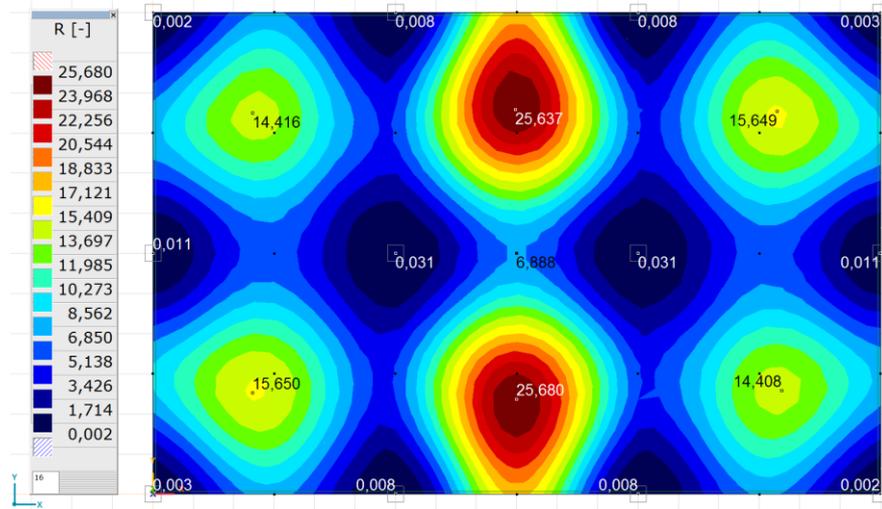
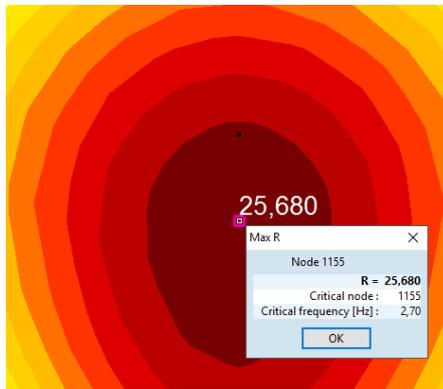


Figura 15. Piastra del primo piano, eccitazione solo nei nodi di cui è analizzata la risposta, metodo di progetto CCIP-016, senza analizzare il piano dei nodi, tempo di calcolo: 2 sec.



L'analisi del valore massimo del fattore di risposta è il numero di nodi in cui si è mostrata la risposta massima ed il nodo forzato, che si riferisce al caso più sfavorevole e alla frequenza critica.

Nel caso corrente la frequenza critica fondamentale è  $f=2.70\text{Hz}$ . L'analisi delle autodeformate e delle autofrequenze ha mostrato l'autofrequenza di forma 30:  $f_{0,30} = 10.80\text{ Hz}$  e l'autodeformata, illustrate in Figure 17.

Figura 16. Massimo valore della funzione

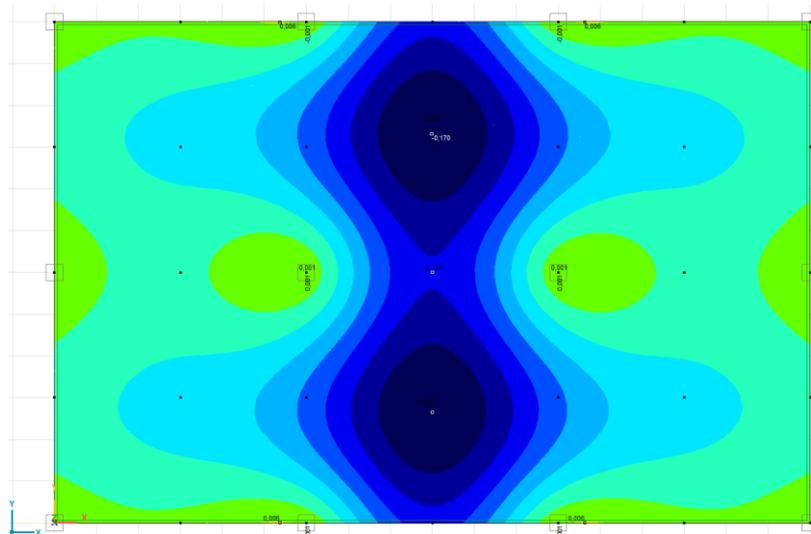


Figura 17. 30. autodeformata ( $f_{0,30} = 10.80\text{ Hz}$ ), componente di spostamento in direzione z del primo piano

**VALORI LIMITE DEL FATTORE DI RISPOSTA**

I valori limite del fattore di risposta di vibrazione nei diversi codici sono mostrati in tabella 1 e 2..

Valori limiti in **BS 6472**, [3]:

Place	Time	Continuous vibration 16h day 8h night	Impulsive excitation with up to 3 occurrences
Critical working areas(e.g.: hospital operating theatres)	Day	1	1
	Night	1	1
Residential	Day	2 to 4	60 to 90
	Night	1.4	20
Office	Day	4	128
	Night	4	128
Workshops	Day	8	128
	Night	8	128

Tabella 1. Valori del fattore di risposta di vibrazione, **BS 6472**, [3].

Valori limiti in **SCI**, [4]:

Place	Continuous vibration
Office	8
Shopping mall	4 [4]
Dealing floor	4
Stairs-light use (offices)	32 [5]
Stairs-heavy use (e.g. public buildings, stadia)	24 [5]

Tabella 2. Valori limite del fattore di risposta in vibrazione, **SCI**, [4].