Martello Strumentato – Procedura di calibrazione

# Specifiche tecniche

La procedura di calibrazione effettuata si basa sulle indicazioni della norma tecnica **ISO 7626-5** paragrafo 7.2.

La norma prevede la misura di accelerazione o mobilità di un blocco rigido di calibrazione *“freely suspended”* di massa nota. I parametri da rispettare sono i seguenti:

* La risposta in frequenza del blocco di calibrazione deve essere compatibile con il suo valore atteso con un 5% di tolleranza nell’intervallo di frequenza di interesse:
  + Ad esempio, la magnitudine dell’accelerazione deve essere pari a *1/m* dove *m* è la massa del blocco;
* La massa del blocco deve essere scelta in modo da riprodurre il l’intervallo di accelerazione misurato durante le prove;
* La procedura di calibrazione deve essere ripetuta a inizio e termine di ogni sessione di misura e per ogni cambio di punta o massa del martello.

Il rispetto del 5% di tolleranza deve essere ottenuto assegnando un coefficiente di calibrazione noto all’accelerometro e modificando opportunamente la costante di calibrazione per il martello strumentato. Ulteriori accelerometri impiegati nel processo di misura dovranno essere calibrati a partire dalla calibrazione del martello strumentato.

Se Il valore di accelerazione misurato nel corso della calibrazione non dovesse essere circa costante nell’intervallo di frequenze di interesse la procedura andrà considerata nulla e si dovranno investigare le cause di tale comportamento.

La norma definisce anche cosa significhi *“freely suspended”* associandolo alle misurazioni di tipo *“ungrounded”*:

Ungrounded measurements employ a compliant suspension of the test structure. The magnitudes of the driving-point mobility of the suspension at points of attachments should be at least ten times greater than the magnitudes of the mobility of the structure at the same attachment points.

Ovvero che la rigidità del punto di ancoraggio lato struttura deve essere almeno 10 volte maggiore del punto di ancoraggio lato campione.

# Descrizione della procedura di calibrazione

La prima struttura realizzata è illustrata in **Figura 1** e presenta alcune criticità. La più preoccupante è il punto di ancoraggio in **Figira 1 a)** che risulta non molto stabile.

Le misure di calibrazione hanno fornito risultati non ottimali (**Figura 2**).

Innanzitutto, è stata eseguita la prova con una massa sospesa *m* pari a 1,5 kg. Sono stati acquisiti i segnali di forza e accelerazione relativi a diversi colpi e per ciascuno di essi si è calcolato il rapporto tra la Massa Dinamica *M(f)* ed *m*. La *M(f)* è stata calcolata a partire dalle trasformate dei segnali di forza e Accelerazione:

*M(f) = F(f)/A(f)*

I segnali originali sono rappresentati in **Figura 2** con colori tenui. Nonostante *M(f)* non fosse costantesi è proceduto alla calibrazione ma definendo una funzione di calibrazione dipendente dalla frequenza. Per la calibrazione si è utilizzato il segnale mediato (raffigurato in nero) e ottenuta la funzione di calibrazione *Cm(f)*, i segnali calibrati sono stati rappresentati in rosso.

Una corretta calibrazione richiede che i valori di *M(f)/m* rientrano nel range 0,95 - 1,05, e ciò è verificato per frequenze superiori a 60 Hz.

La prova è stata quindi ripetuta con una massa sospesa pari a 2*m* ed i segnali calibrati con la funzione di calibrazione *Cm(f)* sono riportati in blu. Il blocco 2*m* è stato realizzato incollando due elementi di massa *m* con del nastro adesivo.

|  |  |
| --- | --- |
| Immagine che contiene interni, aeroplano, piccolo, tavolo  Descrizione generata automaticamente  a) | Immagine che contiene interni, piccolo, sedendo, tavolo  Descrizione generata automaticamente  b) |

**Figura 1** – Primo sistema di calibrazione.

Immagine che contiene testo, mappa

Descrizione generata automaticamente

**Figura 2** – Risultati della prima calibrazione. In nero la curva utilizzata per la calibrazione. In rosso le curve ottenute applicando la calibrazione alle registrazioni relative alla massa *m*. In blu le curve ottenute applicando la calibrazione a una misura con massa sospesa 2*m*.

|  |  |
| --- | --- |
| Immagine che contiene interni, tavolo, pensile, sedendo  Descrizione generata automaticamente  a) | Immagine che contiene interni, tavolo, sedendo, piccolo  Descrizione generata automaticamente  b) |

**Figura 3** – Secondo sistema di calibrazione.

Un secondo set-up di calibrazione è stato realizzato utilizzando un treppiede fotografico con colonna centrale collassabile che fornisce entrambi i punti di ancoraggio. Questi risultano decisamente solidi. L’utilizzo di un unico treppiede apre anche alla possibilità di eseguire la calibrazione in situ.

Immagine che contiene testo, mappa

Descrizione generata automaticamente

**Figura 4** – Risultato della seconda calibrazione. L’andamento non è lineare, tuttavia la variabilità da colpo a colpo è inferiore.

Il risultato della calibrazione è rappresentato in **Figura 4** dove è possibile osservare che la risposta non calibrata risulta ancora non costante in frequenza. Tuttavia, la variabilità delle risposte dei singoli colpi è molto ridotta in confronto a quella osservabile in **Figura 2**. Ciò potrebbe essere dovuto alla maggiore solidità della struttura. Le ragioni dell’andamento non costante in frequenza risultano ancora non chiare. L’utilizzo di elastici di fortuna e l’ancoraggio elastici-massa non ottimale potrebbero essere possibili cause?

## Misure con peso doppio

Come per la prima struttura sono state effettuate misure con un peso sospeso pari a 2*m*, per la precisione 2,951 kg. Tuttavia in questo caso l’utilizzo della calibrazione *Cm(f)* per i segnali della massa 2*m* non produce il risultato sperato **(Figura 5**) in quanto. La medesima situazione si ripresenta con le altre punte del martello producendo risultati identici.

Immagine che contiene testo, mappa

Descrizione generata automaticamente

**Figura 5** – Risultato della seconda calibrazione. In blu le curve ottenute applicando la calibrazione a una misura con massa sospesa 2*m*.

Confrontando le curve grigie di **Figura 4 o 5** con quelle di **Figura 6** è possibile osservare come l’andamento delle curve non calibrate relative alla massa 2*m* sia differente rispetto alle curve non calibrate relative alla massa *m*: nel primo caso *M(f)* presenta una maggiore pendenza. La causa di tale comportamento potrebbe essere una eccessiva elongazione, e quindi un comportamento non lineare degli elastici, non riscontrata nel caso della prima struttura. La prima struttura infatti essendo molto meno rigida della seconda potrebbe aver assorbito parte del carico.

Immagine che contiene mappa, testo

Descrizione generata automaticamente

**Figura 6** – Risultato della seconda calibrazione con 2*m*. In grigio le curve originali, in nero l’andamento medio utilizzato per la calibrazione, in rosso le curve calibrate.

Immagine che contiene interni, tavolo, treppiede, sedendo

Descrizione generata automaticamente

**Figura 7** – Struttura di supporto con molle

## Struttura con molle metalliche

Una ulteriore prova è stata effettuata con molle metalliche di cui è stata valutata la costante elastica a posteriori attraverso la misura del tempo occorrente a compiere 10 oscillazioni.

**Tabella 1** - Calcolo della costante elastica totale delle molle utilizzate.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Periodo 10 oscillazioni | Frequenza | Massa sospesa | Costante della molla |
| 2.30s ± 0.06s | 4,3 Hz ± 0,1 Hz | 1,474 ± 0.001 kg | 27.25 N/m |

**Immagine che contiene testo, mappa

Descrizione generata automaticamente**

**Figura 7** – Risultato della calibrazione con *m* e le molle metalliche. In grigio le curve originali, in nero l’andamento medio utilizzato per la calibrazione, in rosso le curve calibrate. In blu le curve calibrate utilizzando come coefficiente il valore medio di *m(*f) tra 100 e 1000 Hz.

Come possiamo osservare da Figura 7, mediando il valore della massa dinamica tra 100 Hz e 1000 Hz otteniamo delle calibrazioni accettabili nel range di frequenza tra circa 160 Hz e 900 Hz (curve blu).

# Conclusioni

In nessuna delle varianti messe in pratica la massa dinamica è risultata sufficientemente costante da poter permettere una calibrazione indipendente dalla frequenza. Secondo la norma tecnica le cause di tale comportamento andrebbero ricercate in aspetti come un rapporto segnale rumore troppo basso, una saturazione del martello o una saturazione dell’accelerometro, tuttavia il rapporto segnale rumore è molto elevato e sia il martello che l’accelerometro sono molto lontani dalla saturazione.

Limitando invece il range di calibrazione all’intervallo 100 1000 Hz si ottiene una calibrazione accettabile.