



**DALLARI FREGNI ASSOCIATI**  
INGEGNERIA ARCHITETTURA

## **COMUNE DI RAVARINO**

PROVINCIA DI MODENA

### ***VERIFICA DI STABILITA' SISMICA DI PRODOTTI CONFEZIONATI E PALLETTIZZATI***

Tecnico incaricato:



COMMITTENTE

**Gruppo Fini S.p.A**

Via Confine 1583  
41017 Ravarino MO

INDICE

1   PREMESSA ..... 2

2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO ..... 2

3   AZIONE SISMICA..... 2

4   PRESTAZIONE RICHIESTA..... 4

5   PRODOTTI TESTATI..... 6

6   PROCEDURA DI PROVA..... 6

7   SINTESI DEI RISULTATI ..... 8

8   CONCLUSIONI ..... 9

## 1 PREMESSA

La presente relazione si prefigge lo scopo di verificare la stabilità sismica di accatastamenti di vasetti pallettizzati allo scopo di salvaguardare l'incolumità degli operatori e garantire l'accesso alle vie d'esodo in caso di evento sismico.

L'accatastamento o impilaggio di materiale imballato su pallet in legno si rende necessario allo scopo di ridurre lo spazio di stoccaggio, tuttavia la pratica richiede attenta verifica di sicurezza.

Non sono prese qui in considerazione le procedure di corretto accatastamento e stoccaggio in condizioni statiche che sono già adottate dalla committenza ed adeguatamente descritte nel documento ad uso interno "istruzione operativa di gestione degli accatastamenti rev 00 del 30/06/2021".

Tali istruzioni illustrano le modalità operative per la gestione dei prodotti impilati, ma non tengono conto dei possibili effetti dell'azione sismica sul materiale impilato; si tratta in effetti di un problema piuttosto complesso da analizzare vista la differente tipologia dei prodotti in termini di massa, di rigidità dell'imballo e rigidità del supporto (pallet).

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di verifica è costituita dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con il D.M. 17/01/2018 pubblicato nel supplemento alla G.U. n. 42 del 20/02/2018.

Si fa inoltre riferimento a:

- Circolare esplicativa del Ministero Infrastrutture e Trasporti del 21/01/2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni".
- IEEE 344-2013 - Standard for Seismic Qualification of Equipment for Nuclear Power Generating Stations

## 3 AZIONE SISMICA

Per la determinazione dell'azione sismica si fa riferimento alle norme sopra citate dalle quali si definisce lo spettro di risposta elastico in accelerazione.

Lo spettro di risposta elastico è un grafico ingegneristico che rappresenta la massima risposta (accelerazione, velocità o spostamento) di una struttura (o di un elemento non strutturale) con comportamento elastico-lineare a un determinato terremoto, in funzione del suo periodo di vibrazione. Esso definisce l'accelerazione massima su un oscillatore semplice in funzione del suo periodo di vibrazione.

Lo spettro di progetto elastico dipende principalmente dalla pericolosità sismica del sito (definita dalle sue coordinate geografiche e dalla probabilità di accadimento), dalle caratteristiche del sottosuolo (categoria suolo), dalla categoria d'uso (vita nominale)

Pertanto, nel caso in esame, si sono assunti i seguenti parametri di pericolosità sismica:

Vita nominale dell'opera:

VN = 50 anni

Classe d'uso

Classe SECONDA

Periodo di riferimento

VR = 50 anni

Categoria di sottosuolo (tipica della zona):

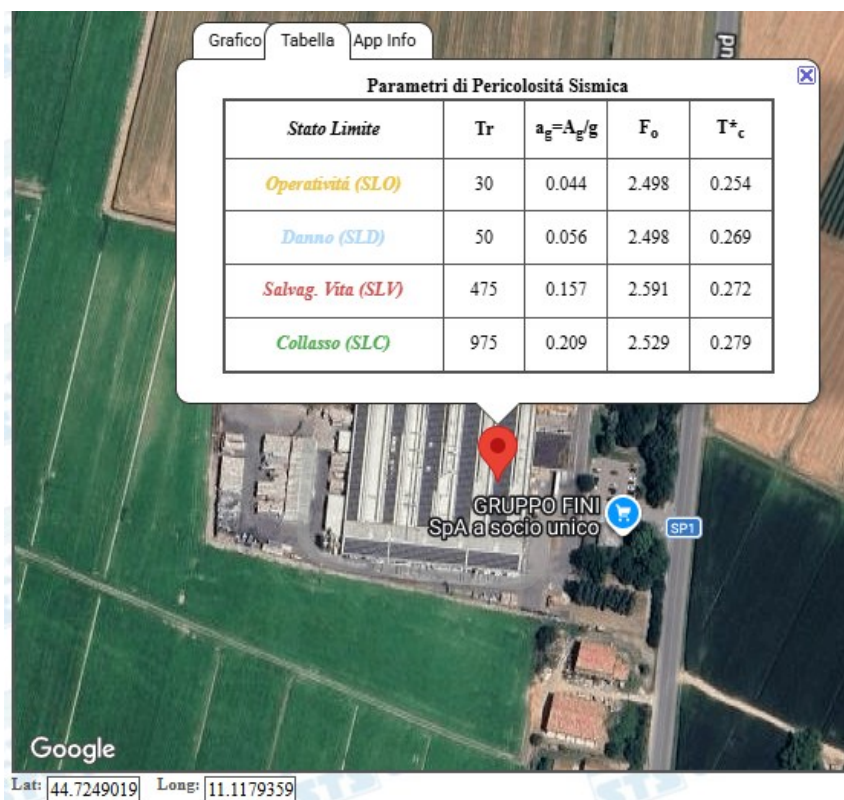
C

Categoria topografica:

T1

Vita nominale = 50 anni (periodo di vita nominale del magazzino e di conseguenza della presenza di prodotto all'interno).

Da questi parametri, in relazione alla probabilità di accadimento in relazione allo stato limite preso in considerazione si determinano i valori di accelerazione a cui è sottoposto il materiale.



#### 4 PRESTAZIONE RICHIESTA

Nel caso in esame trattandosi di un problema legato alla incolumità delle persone, occorrerà prendere in considerazione un livello di sicurezza nei confronti dello “*stato limite ultimo*” (SLU) del sistema impilato. Si tratta dello stato limite oltre il quale non è più possibile evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi.

All'interno degli stati limite ultimi (SLU) si distinguono ulteriormente gli “*stati limite di salvaguardia della vita*” (SLV) e lo “*stato limite di collasso*” (SLC).

Nel caso in esame si prenderà in considerazione lo “*stato limite di salvaguardia della vita*” così definito dalle NTC 2018:

*- a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;*

Si evidenzia che l'evento sismico è trattato dalle norme da un punto di vista probabilistico, ossia in termini di probabilità di accadimento. Le norme fissano un tempo di ritorno ( $T_r$ ) dell'evento sismico di 475 anni nel caso di stato limite di salvaguardia della vita per edifici standard.

Nel caso in esame chiaramente non si tratta di elementi strutturali, tuttavia l'azione sismica grava parimenti anche sulle merci poggianti al suolo indifferentemente all'interno od all'esterno del magazzino.

Le norme, infine, consentono di ridurre la domanda sismica (accelerazione) per tenere conto della capacità del sistema di dissipare energia attraverso comportamenti anelastici e pertanto si decide di utilizzare un valore del fattore di comportamento  $q = 1,5$  intermedio tra i valori

$q_{\text{minimo}} = 1$

$q_{\text{massimo}} = 2$

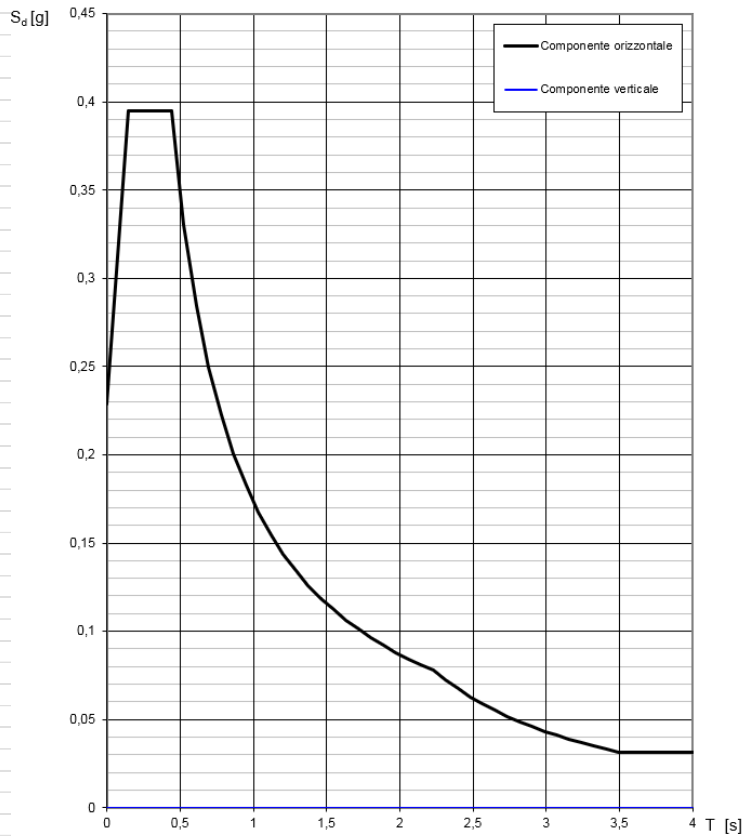
suggeriti dalla Norma per elementi non strutturali in relazione a varie tipologie.

Ne consegue che lo spettro di risposta elastico si trasforma nello spettro di progetto (nel nostro caso verifica) il quale assume la forma seguente:

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.229
TB	0.147	0.395
TC	0.440	0.395
	0.525	0.331
	0.610	0.285
	0.695	0.250
	0.780	0.222
	0.866	0.201
	0.951	0.183
	1.036	0.168
	1.121	0.155
	1.206	0.144
	1.291	0.134
	1.377	0.126
	1.462	0.119
	1.547	0.112
	1.632	0.106
	1.717	0.101
	1.802	0.096
	1.888	0.092
	1.973	0.088
	2.058	0.084
	2.143	0.081
TD	2.228	0.078
	2.313	0.072
	2.397	0.067
	2.481	0.063
	2.566	0.059
	2.650	0.055
	2.734	0.052
	2.819	0.049
	2.903	0.046
	2.988	0.043
	3.072	0.041
	3.156	0.039
	3.241	0.037
	3.325	0.035
	3.409	0.033
	3.494	0.032
	3.578	0.031
	3.663	0.031
	3.747	0.031
	3.831	0.031
	3.916	0.031
	4.000	0.031

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



La componente verticale del sisma non viene presa in considerazione. Lo spettro è valido per sistemi con periodo proprio di vibrazione inferiore a 4 secondi.

Per determinare il periodo proprio di vibrazione del prodotto pallettizzato ed impilato e per i test di accelerazione sismica sui prodotti ci si è avvalsi della collaborazione del laboratorio specializzato per analisi dinamiche su prodotti imballati.



Aetna Group S.p.A.

Via Ca' Bianca, 1260 - 40024 Castel San Pietro Terme, Bologna – IT

Una volta individuato il periodo proprio di oscillazione del sistema è possibile individuare l'accelerazione massima a cui il sistema viene sottoposto dal movimento tellurico.

Tale accelerazione è applicata, in fase di verifica, al 100% in una direzione ed al 30% nella direzione ortogonale contemporaneamente, come previsto dalle norme.

## 5 PRODOTTI TESTATI

Le composizioni e configurazioni dei prodotti testati sono le seguenti:

- **A) Vetro Vuoto formato 720 ml**

peso 1 bancale 340 kg., altezza 1,24 m

massa totale 680 kg – altezza totale 2.48 m

- **B) Vasetto 212 pieno (prodotto finito)**

peso 1 bancale = 636 kg., altezza 1,10m

massa totale 1272 kg – altezza totale 2.20m

- **C) Vetro vuoto 212**

peso 1 bancale 480 kg, altezza 1,245 m dimensioni 100x120 cm

massa totale 960 kg – altezza totale 2.49 m

- **D) Vetro vuoto formato 370**

peso 1 bancale 380 kg, altezza 1,245 mt

massa totale 760 kg – altezza totale 2.49 m

Si segnala che la capacità massima del Sistema è in grado di recepire massimo due livelli di prodotto impilato e pertanto tutte le verifiche sono effettuate in questa configurazione.

## 6 PROCEDURA DI PROVA

La procedura di prova, meglio illustrata nella relazione redatta dal laboratorio consiste brevemente in:

Posizionamento del materiale da testare su apparecchiatura con supporto esapode a 6 gradi di libertà.

Il modello oscillatorio massa-molla del sisma è perfettamente coerente con le capacità di riproduzione cinematica dell'esapode a 6 gradi di libertà.

Per la determinazione della rigidezza dell'imballo e del relativo periodo proprio (o modo principale di oscillazione), si è utilizzato un approccio sperimentale basato sul metodo **Sine Beat** (riferimento normativo IEEE 344).

Questo metodo permette di superare l'incertezza del calcolo teorico della rigidezza attraverso i seguenti passaggi:

1. **Identificazione del Periodo Proprio (Sine Sweep):** Prima del test sismico vero e proprio, eseguiamo una scansione in frequenza (sweep) a bassa ampiezza. Monitorando la risposta del pallet superiore rispetto alla piattaforma, identifichiamo sperimentalmente la frequenza di risonanza e, di conseguenza, il periodo proprio del sistema reale (inclusendo le non-linearità dell'imballo difficili da modellare).
2. **Test Sismico con Sine Beat:** Una volta individuato il periodo proprio, invece di una vibrazione continua, vengono applicati dei "battimenti" (Sine Beats) alla frequenza critica identificata. Questo metodo:
  - Riproduce l'accumulo di energia tipico di un evento sismico filtrato dalla struttura.
  - Applica i picchi di accelerazione (g) derivati dallo spettro di progetto sopra identificato.
  - Evita il danneggiamento del packaging per fatica eccessiva, concentrandosi sulla stabilità dinamica e sul rischio di ribaltamento/scivolamento.

In merito alle specifiche richieste:

- **Combinazione dei moti:** Grazie ai 6 gradi di libertà del sistema, è possibile impostare simultaneamente il 100% dell'accelerazione sull'asse principale e il 30% sull'asse ortogonale,.
- **Durata:** i "beats" sono configurati affinché l'intera sequenza si estenda per 15 secondi rappresentativi della durata dell'evento sismico ipotizzato.



Esapode a 6 gradi di libertà durante una prova.



## 7 SINTESI DEI RISULTATI

Ogni test è stato eseguito sottoponendo i prodotti a sollecitazioni di tipo sine-beats bidirezionali. Ogni segnale è stato generato a partire dalla frequenza di risonanza di ogni singolo prodotto e quindi dell'accelerazione massima a cui testarlo:

- Bottiglia di pomodoro vuota: 1.4Hz e 2.5  $m/s^2$
- Vasetto 212: 2.6Hz e 3.9  $m/s^2$
- Vasetto 212 vuoto: 1.4Hz e 2.5  $m/s^2$
- Vasetto 370 vuoto: 1.6Hz e 3  $m/s^2$

tipologia	altezza	massa	x baricentro	y baricentro	Periodo T	accelerazione	spostamento max (in fase ricerca risonanza)	momento stabilizzante	momento ribaltante	margine di sicurezza al ribaltamento (corpo rigido)
	m	kg	m	m	s	m/s <sup>2</sup>	mm	kgm	kgm	
A) bottiglia V. 720	2,48	680	0,5	1,240	0,714	2,5	80	340	215,10	37%
B) vasetto P. 212	2,20	1272	0,5	1,100	0,384	3,9	12,5	636	556,82	12%
C) vasetto V. 212	2,49	960	0,5	1,245	0,714	2,5	39	480	304,90	36%
D) vasetto V. 370	2,49	760	0,5	1,245	0,625	3	42	380	289,65	24%

Nella tabella riassuntiva è riportata la sintesi delle varie casistiche.

Le colonne relative a momento stabilizzante, ribaltante e margine di sicurezza al ribaltamento sono valide solamente nell'ipotesi di corpo rigido pertanto non rappresentative del sistema in esame, in quanto composto da corpi sovrapposti e soggetti a deformazioni interne, ma utili ad identificare l'entità delle azioni a cui sono sottoposti i bancali.

Dai risultati si evince che:

- Il sistema con vasetto pieno caso B) si presenta molto più rigido rispetto ai sistemi con vasetto vuoto, pertanto manifesta spostamenti ridotti. Questo non deve fare ritenere più sicuro il sistema in quanto l'accelerazione subita per effetto della maggior rigidità risulta maggiore.
- I sistemi di impilamento con vasetti vuoti si possono ritenere equivalenti con maggiore rigidità dei formati più piccoli ossia, al contrario, spostamenti più ampi per i formati grandi.

## 8 CONCLUSIONI

- Sono state testate quattro configurazioni di prodotti pallettizzati ed impilati.
- Non sono state testate altre configurazioni per limiti tecnici delle apparecchiature di prova.
- **Tutti i test eseguiti possono considerarsi superati poiché nessun bancale ha riportato danni evidenti, né si sono osservati disallineamenti o deformazioni tali da compromettere la stabilità e la sicurezza dei pallet sovrapposti.**
- **Queste configurazioni di stoccaggio possono pertanto ritenersi sicure e sono attuabili anche in prossimità delle vie d'esodo od uscite di sicurezza.**
- Lo scrivente, alla luce dei risultati ottenuti, ritiene che tre livelli di impilamento non offrano sufficienti garanzie per eventi sismici importanti nei confronti dello stato limite di salvaguardia della vita e pertanto non debbano essere adottate in prossimità di vie d'esodo.
- Tenuto in considerazione l'aspetto probabilistico dell'evento sismico, spetterà all'azienda una attenta valutazione del rischio derivante dall'eventuale utilizzo di configurazioni a tre livelli lontano da vie d'esodo e nel caso in cui non si preveda la presenza continuativa di persone.

Castellarano, 24 Marzo 2026

Il TECNICO



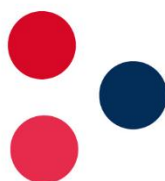
Allegati:

26170801IT - Report prove sismiche - Gruppo Fini



# **REPORT**

**PER**



**GRUPPO FINI**

## INDICE

1	Test e risultati.....	3
1.1	Bottiglia di pomodoro vuota.....	5
1.1.1	1.4 Hz - 2.5 $ms^2$ - XYscale0.3 .....	8
1.1.2	1.4 Hz - 2.5 $ms^2$ - Xscale0.3Y .....	9
1.2	Vasetto 212.....	10
1.2.1	2.6 Hz - 4 $ms^2$ - XYscale0.3 .....	13
1.2.2	2.6 Hz - 4 $ms^2$ - Xscale0.3Y .....	14
1.3	Vasetto 212 vuoto .....	15
1.3.1	1.4 Hz - 2.5 $ms^2$ - XYscale0.3 .....	18
1.3.2	1.4 Hz - 2.5 $ms^2$ - Xscale0.3Y .....	19
1.4	Vasetto 370 vuoto .....	20
1.4.1	1.6 Hz - 3 $ms^2$ - XYscale0.3 .....	23
1.4.2	1.6 Hz - 3 $ms^2$ - Xscale0.3Y .....	24
2	Conclusioni.....	25

# 1 Test e risultati

## 1.1 Processo di test

I terremoti generano moti casuali tridimensionali (3D), caratterizzati da componenti orizzontali e verticali simultanee, ma tra loro statisticamente indipendenti. La fase di moto forte può durare tipicamente tra 10 e 15 secondi, mentre l'intero evento sismico può estendersi molto più a lungo. Il contenuto energetico principale del moto del terreno è compreso tra 1 Hz e la frequenza di cutoff degli spettri di risposta, oltre la quale non si osserva ulteriore amplificazione [Capitolo 3, IEEE-344:2013].

La capacità di un sistema di resistere a un sisma può essere valutata attraverso la risposta a un'eccitazione di tipo **sine beat** (treno di impulsi sinusoidali) [Capitolo 8.3, IEEE-344:2013]. I *sine beats* sono segnali sinusoidali generati alla frequenza e ampiezza di interesse, applicati in sequenze discrete. La prova prevede l'esecuzione di almeno cinque *sine beats*, separati da intervalli sufficientemente lunghi per evitare sovrapposizioni tra le risposte. Ogni *beat* deve contenere un numero definito di cicli, generalmente 5 o 10. Le frequenze di prova devono corrispondere alle risonanze del sistema in esame, e la durata complessiva del test non deve essere inferiore a 15 secondi [Capitolo 8.6.2.3, IEEE-344:2013].

Per individuare le frequenze di risonanza del bancale, esso può essere modellato come un oscillatore smorzato e forzato, sottoposto alla forza impressa dall'esapode. Poiché la risposta del sistema raggiunge il massimo in corrispondenza della sua frequenza di risonanza, è possibile identificare tale frequenza mediante una **prova esplorativa con frequency sweep**. La procedura prevede l'applicazione di una vibrazione sinusoidale lungo un singolo asse, con le seguenti condizioni:

- Bassa ampiezza: 0,1 g
- Frequenza variabile: fino a 1,5 volte la banda spettrale di interesse per la prova
- Sweep lento:  $\leq 2$  ottave/minuto (equivalente a un quadruplicamento della frequenza in un minuto)

La risonanza si individua osservando i punti in cui si verifica un'amplificazione significativa del moto [Capitolo 8.1.4, IEEE-344:2013].

Una volta individuata la frequenza di risonanza del bancale, utilizzando gli **spettri di risposta SLV**, è stato possibile ottenere l'accelerazione massima attesa sul bancale.

Partendo da queste premesse, il laboratorio ha definito la seguente procedura di test:

- **Individuazione della frequenza di risonanza** di ciascun prodotto mediante uno sweep da 1 a 4 Hz, con incrementi di 0,2 Hz e una durata di 5 secondi per ciascun step.
- **Determinazione dell'accelerazione massima di prova**, ricavata dallo spettro di risposta fornito dal cliente.
- **Generazione di un segnale sine beats** della durata minima di 15 secondi, composto da almeno cinque beats di ampiezza pari al valore di accelerazione ottenuto dai grafici di risposta SLV; ogni beat deve contenere non meno di cinque cicli.
- **Esecuzione del test sul bancale** applicando il segnale alla massima intensità sull'asse X e al 30% sull'asse Y, e successivamente alla massima intensità su Y e 30% su X.

## 1.2 Bottiglia di pomodoro vuota

I due bancali sono stati posizionati sulla piattaforma a sei gradi di libertà, delimitati da barriere fisiche (Figura 1).



Figura 1 - Immagini pre-test di due bancali impilati verticalmente e posizionati sull'esapode.

Lo sweep in frequenza utilizzato per individuare la frequenza di massima oscillazione è mostrato in Figura 2. Si osserva come il segnale misurato, cioè quello effettivamente eseguito dall'esapode (in giallo), risulti perfettamente coerente e sovrapponibile al segnale generato dal laboratorio (in blu).

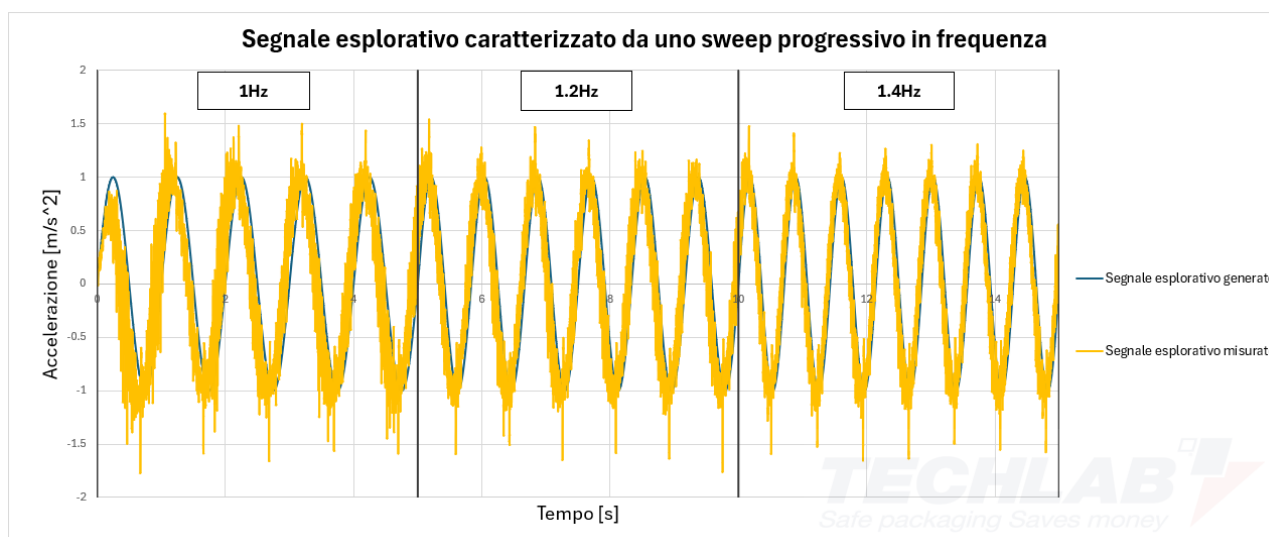
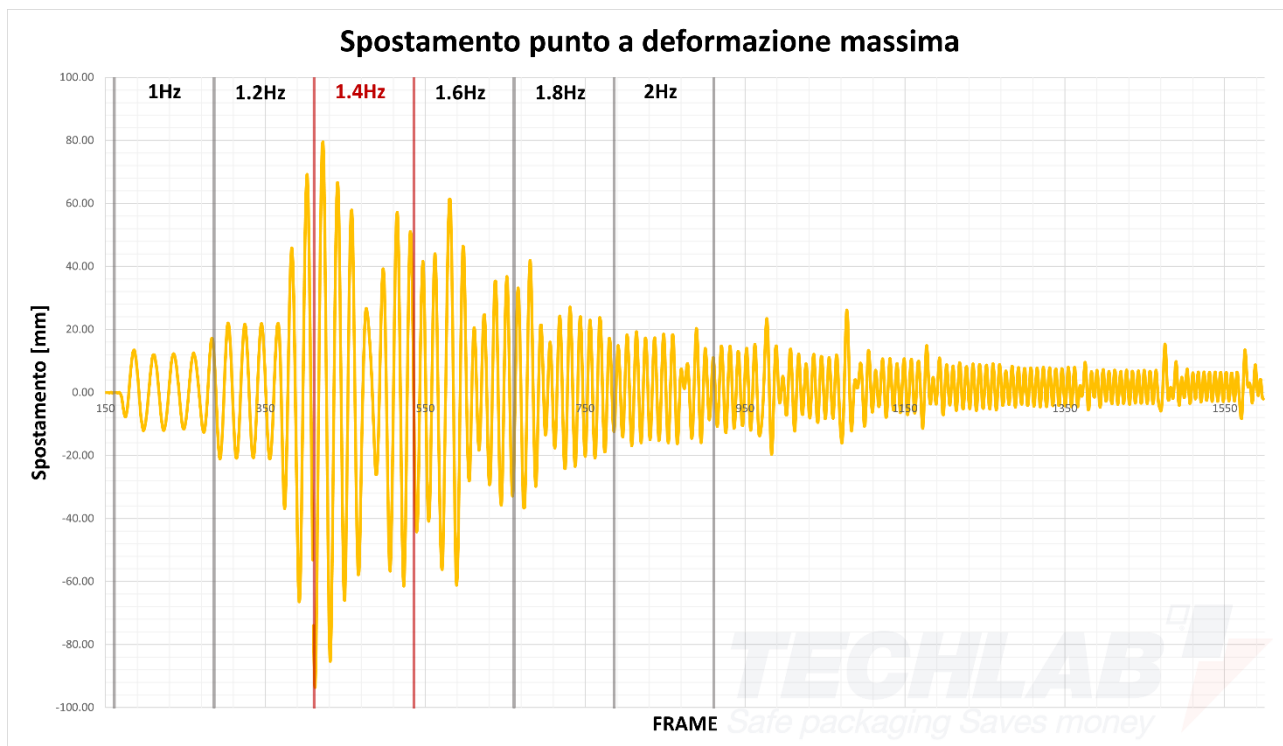


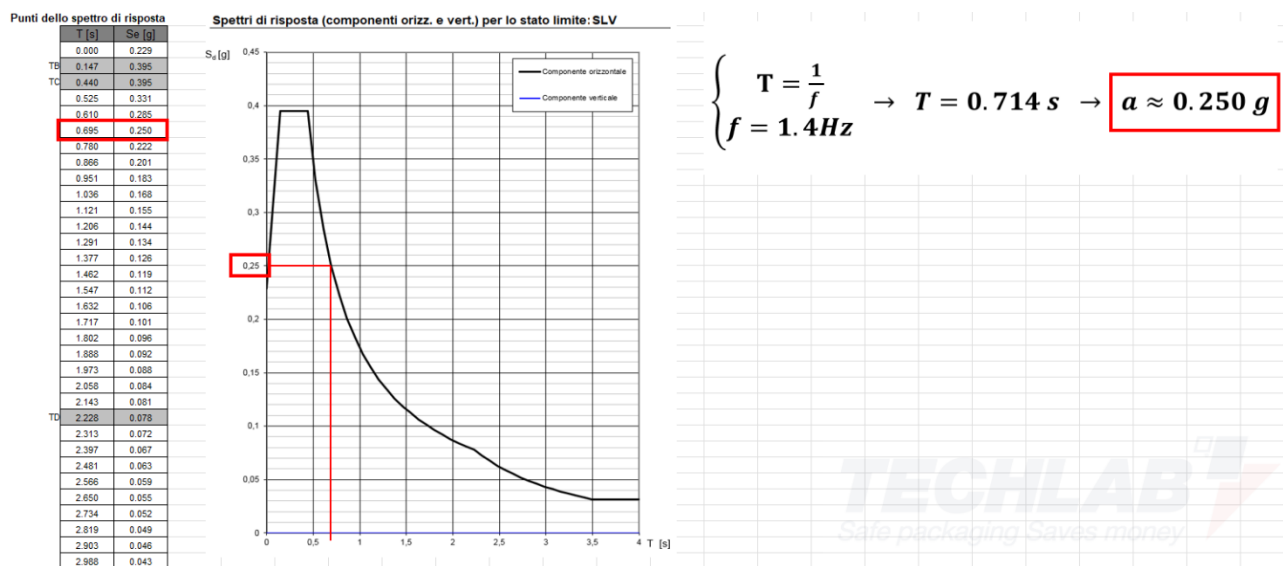
Figura 2 - Primi tre intervalli in frequenza del segnale esplorativo (generato e misurato).

Grazie all'utilizzo di fotogrammetria dinamica di precisione è stato possibile tracciare lo spostamento del bancale nel tempo durante la prova (Figura 3). Da questo è stato possibile individuare l'intervallo di frequenza in cui si è verificata la deformazione massima.



**Figura 3 - Deformazione massima subita dal bancale durante il test di ricerca della frequenza di risonanza.**

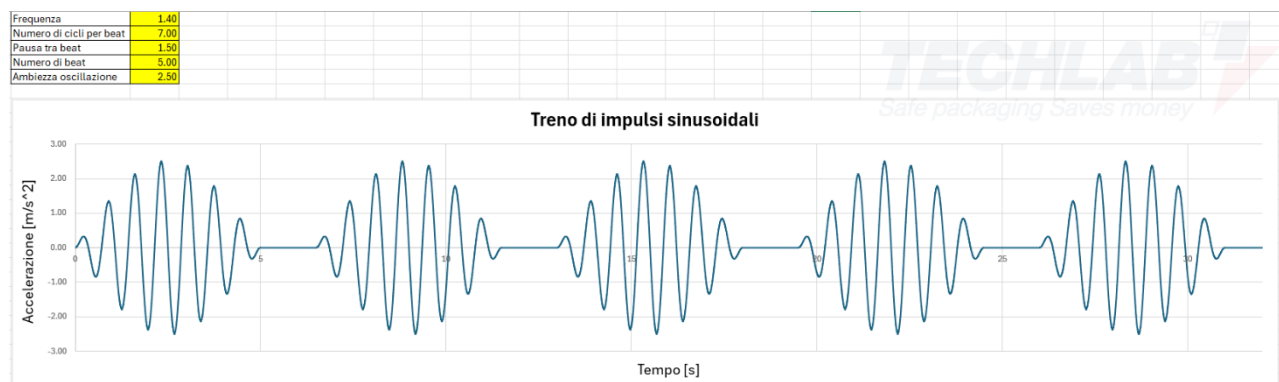
Grazie allo spettro di risposta fornito dal cliente è stato possibile individuare l'accelerazione massima da utilizzare nel test (Figura 4).



**Figura 4 - Valore di accelerazione corrispondente alla frequenza di 1.4Hz.**



Dai risultati ottenuti è stato generato il segnale di tipo sin beats in figura 5.



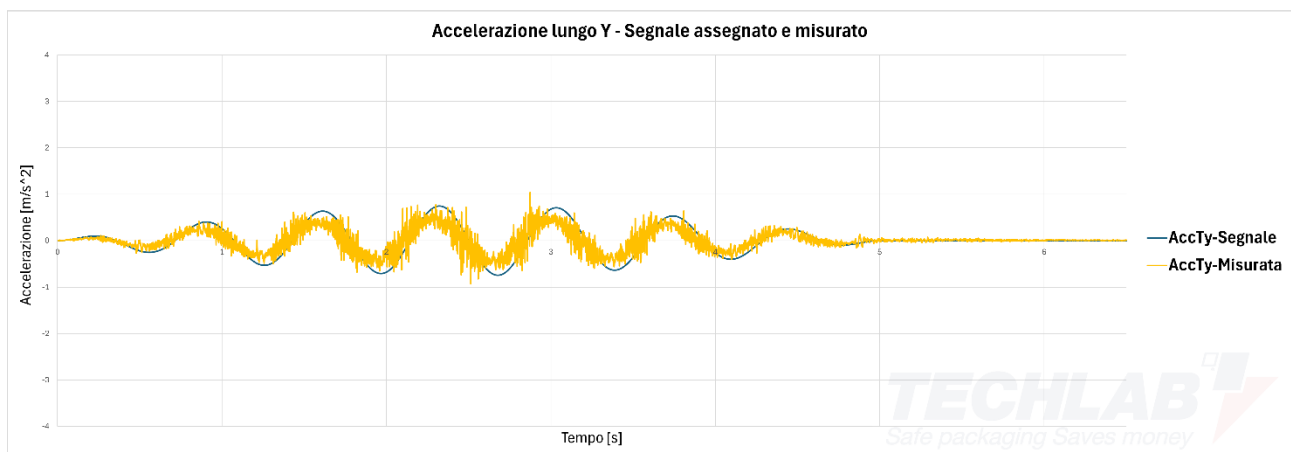
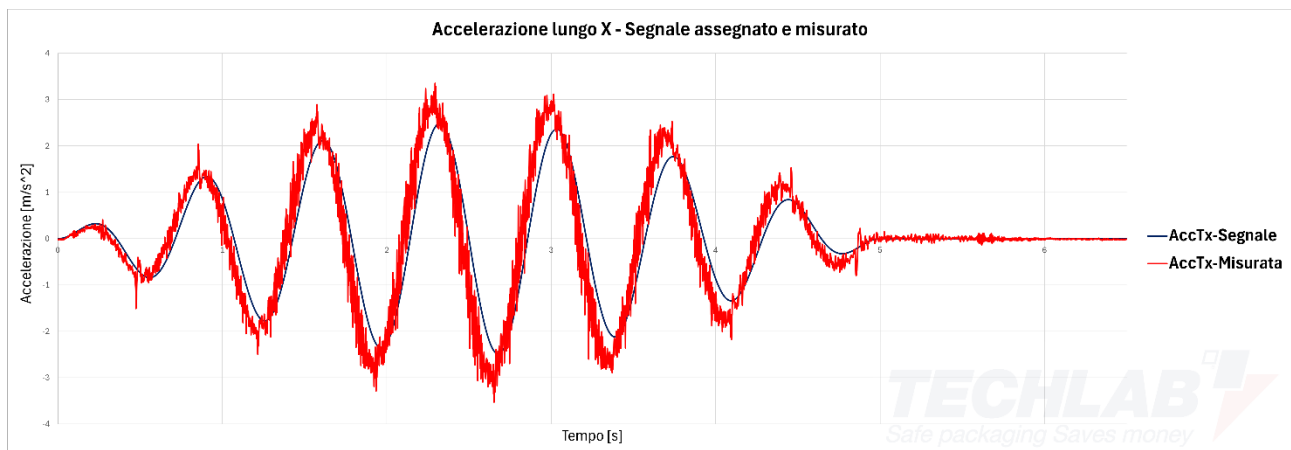
**Figura 5 - Segnale di prova generato a partire dalla frequenza di risonanza e dall'accelerazione corrispondente.**

In accordo con il cliente, su ogni pallet sono state eseguite due prove:

- utilizzando il segnale all'accelerazione massima lungo x e con un fattore di scala del 30% lungo y
- utilizzando il segnale all'accelerazione massima lungo y e con un fattore di scala del 30% lungo x.

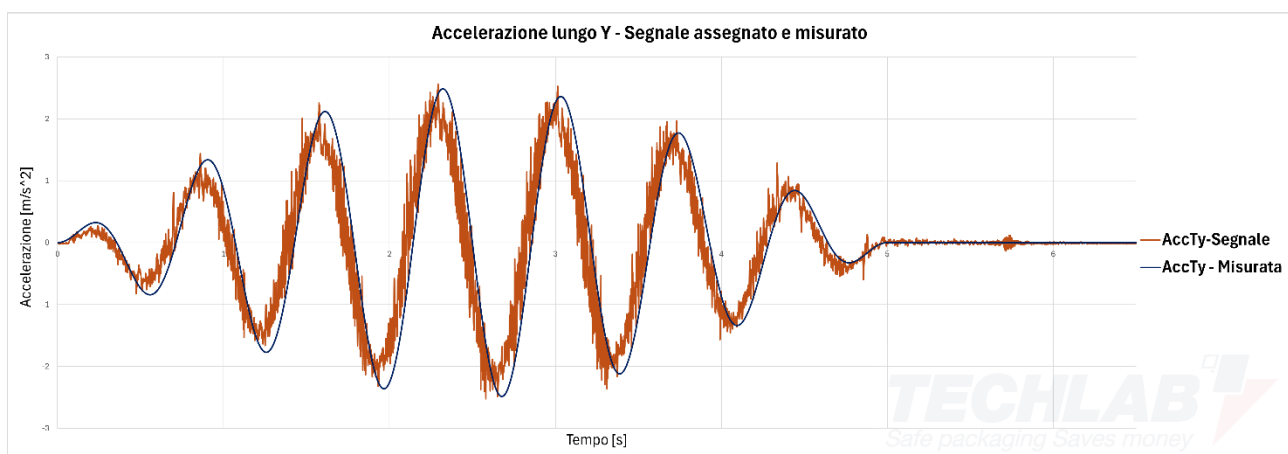
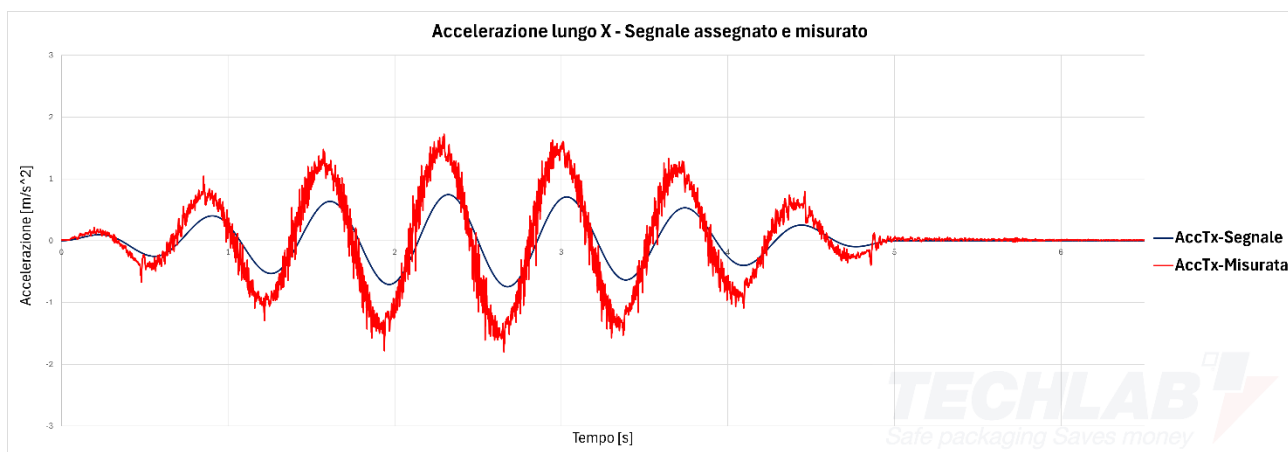
Nei due paragrafi che seguono è riportato il confronto tra un primo segmento del segnale registrato, quindi realmente riprodotto dall'esapode, e il segnale generato dal laboratorio.

### 1.2.1 1.4 Hz - $2.5 \frac{m}{s^2}$ – X - Yscale0.3



**Figura 6 - Segnale assegnato e misurato relativo al test a 1.4 Hz,  $2.5 \frac{m}{s^2}$  con segnale ridotto lungo Y.**

### 1.2.2 1.4 Hz - $2.5 \frac{m}{s^2}$ - Xscale0.3 - Y



**Figura 7 - Segnale assegnato e misurato relativo al test a 1.4 Hz,  $2.5 \frac{m}{s^2}$  con segnale ridotto lungo X.**

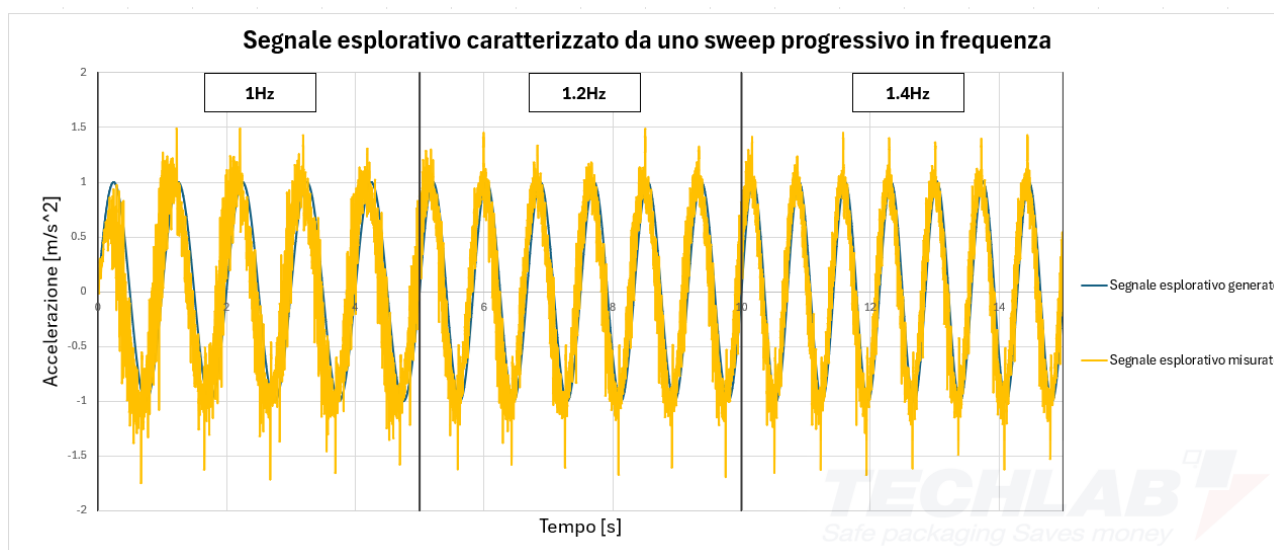
### 1.3 Vasetto 212

I due bancali sono stati posizionati sulla piattaforma a sei gradi di libertà, delimitati da barriere fisiche (Figura 8).



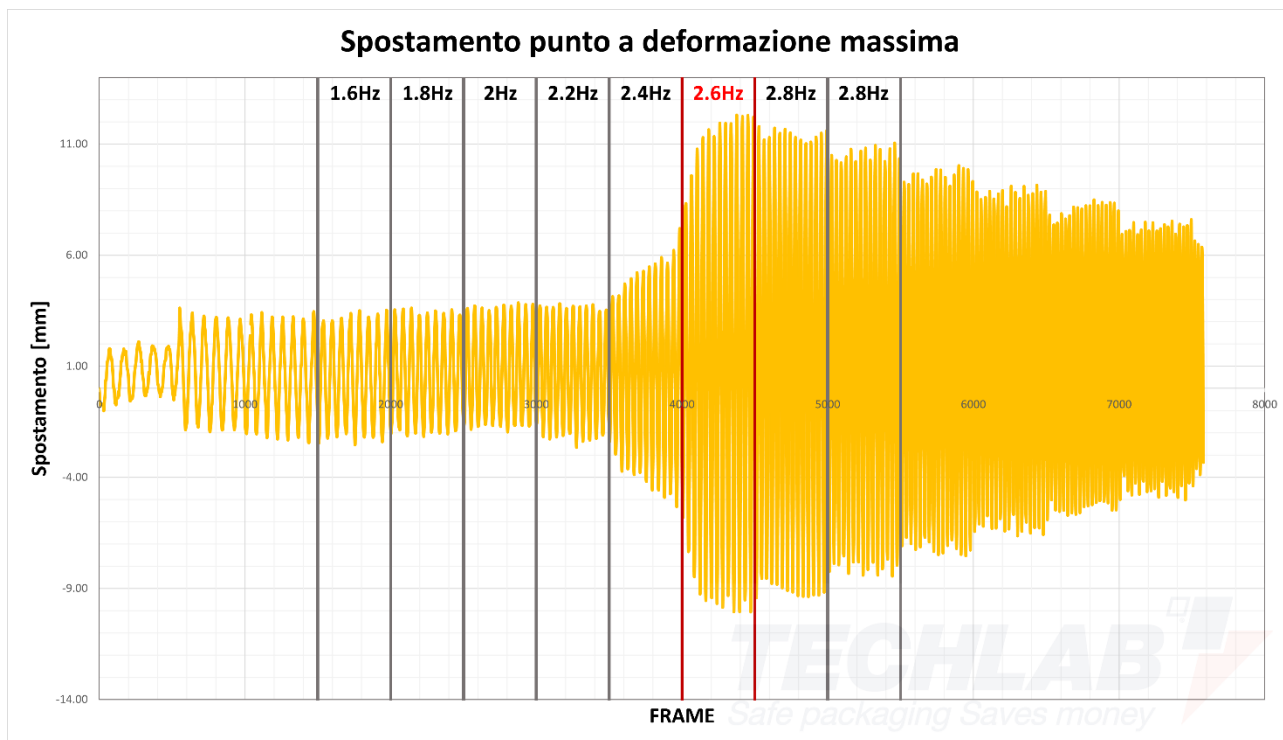
**Figura 8 - Immagini pre-test di due bancali impilati verticalmente e posizionati sull'esapode.**

Lo sweep in frequenza utilizzato per individuare la frequenza di massima oscillazione è mostrato in Figura 9. Si osserva come il segnale misurato, cioè quello effettivamente eseguito dall'esapode (in giallo), risulti perfettamente coerente e sovrapponibile al segnale generato dal laboratorio (in blu).



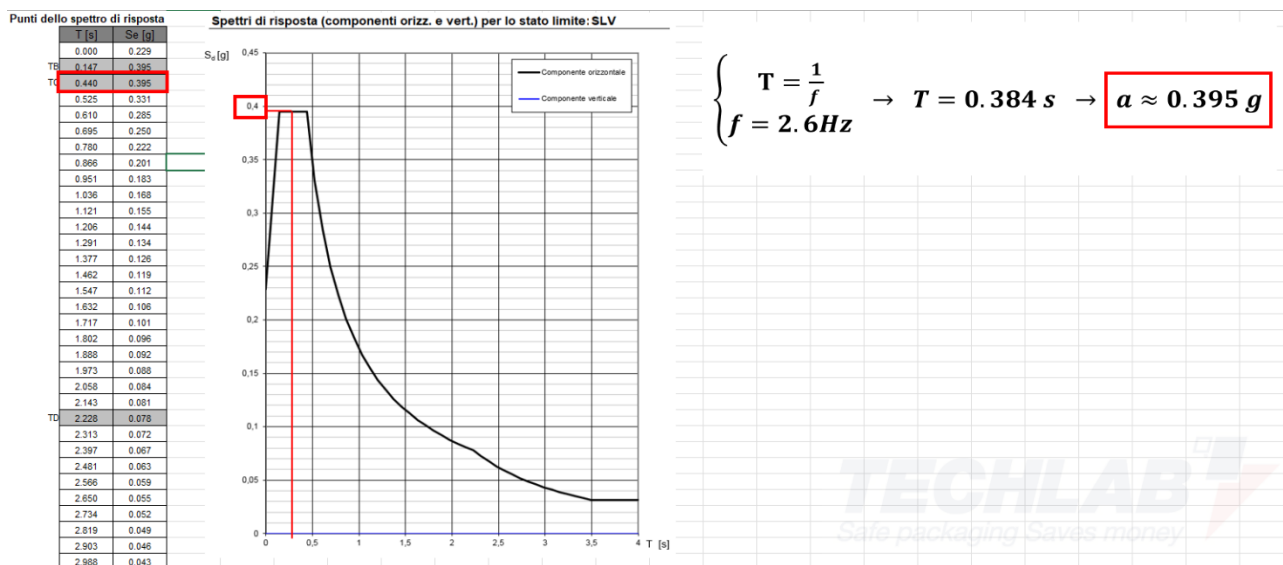
**Figura 9 - Primi tre intervalli in frequenza del segnale esplorativo (generato e misurato).**

Grazie all'utilizzo di fotogrammetria dinamica di precisione è stato possibile tracciare lo spostamento del bancale nel tempo durante la prova (Figura 10). Da questo è stato possibile individuare l'intervallo di frequenza in cui si è verificata la deformazione massima.



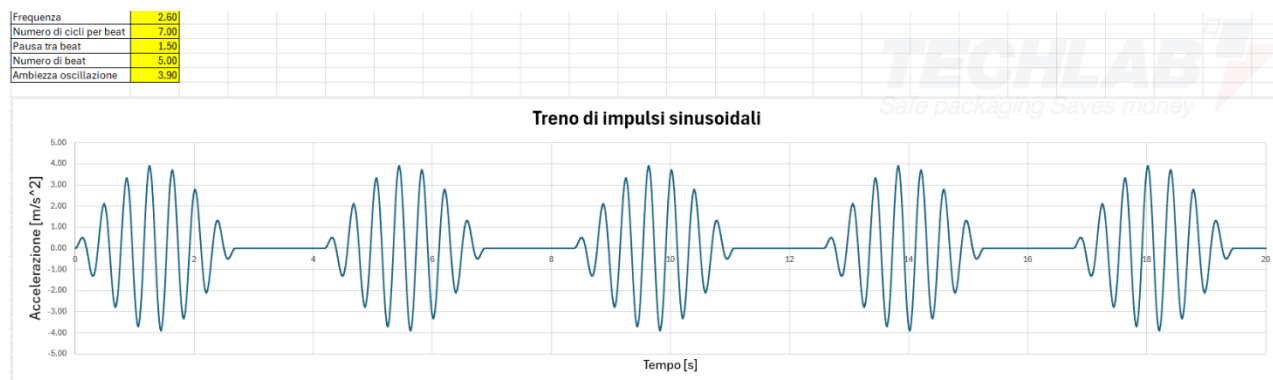
**Figura 10 -Deformazione massima subita dal bancale durante il test di ricerca della frequenza di risonanza.**

Grazie allo spettro di risposta fornito dal cliente è stato possibile individuare l'accelerazione massima da utilizzare nel test (Figura 11).



**Figura 11 -Valore di accelerazione corrispondente alla frequenza di 2.6Hz.**

Dai risultati ottenuti è stato generato il segnale di tipo sin beats in figura 12.



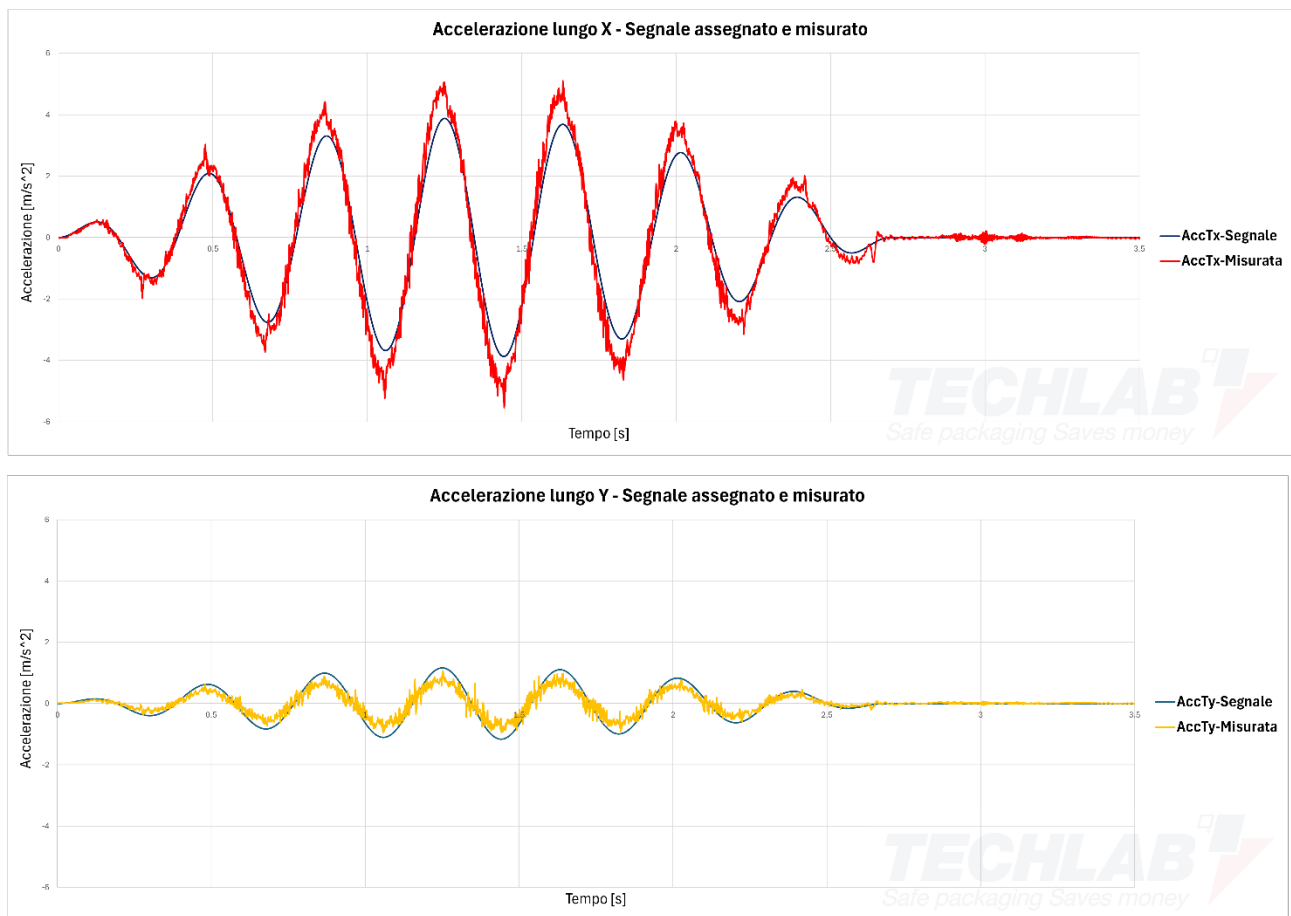
**Figura 12 - Segnale di prova generato a partire dalla frequenza di risonanza e dall'accelerazione corrispondente.**

In accordo con il cliente, su ogni pallet sono state eseguite due prove:

- utilizzando il segnale all'accelerazione massima lungo x e con un fattore di scala del 30% lungo y
- utilizzando il segnale all'accelerazione massima lungo y e con un fattore di scala del 30% lungo x.

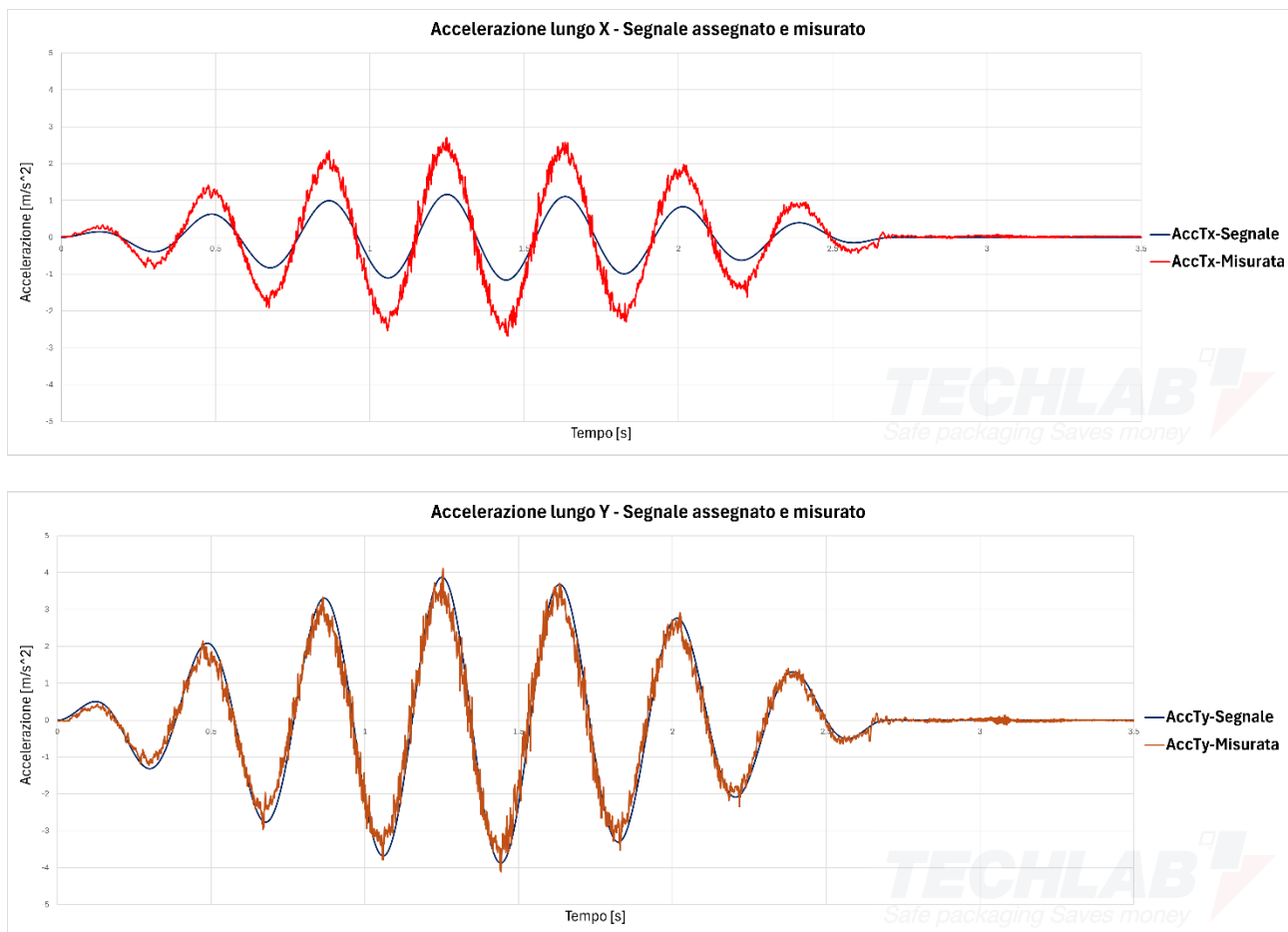
Nei due paragrafi che seguono è riportato il confronto tra un primo segmento del segnale registrato, quindi realmente riprodotto dall'esapode, e il segnale generato dal laboratorio.

### 1.3.1 2.6 Hz – $3.9 \frac{m}{s^2}$ – X - Yscale0.3



**Figura 13 -Segnale assegnato e misurato relativo al test a 2.6 Hz,  $3.9 \frac{m}{s^2}$  con segnale ridotto lungo Y.**

### 1.3.2 2.6 Hz – $3.9 \frac{m}{s^2}$ - Xscale0.3 - Y



**Figura 14 - Segnale assegnato e misurato relativo al test a 2.6 Hz,  $3.9 \frac{m}{s^2}$  con segnale ridotto lungo X.**



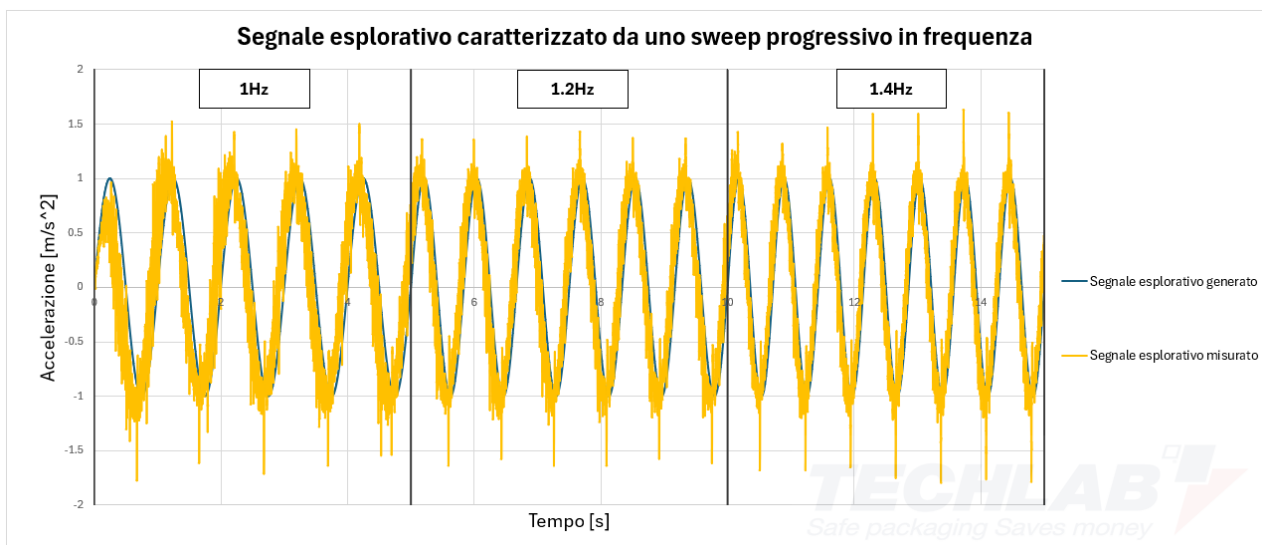
## 1.4 Vasetto 212 vuoto

I due bancali sono stati posizionati sulla piattaforma a sei gradi di libertà, delimitati da barriere fisiche (Figura 15).



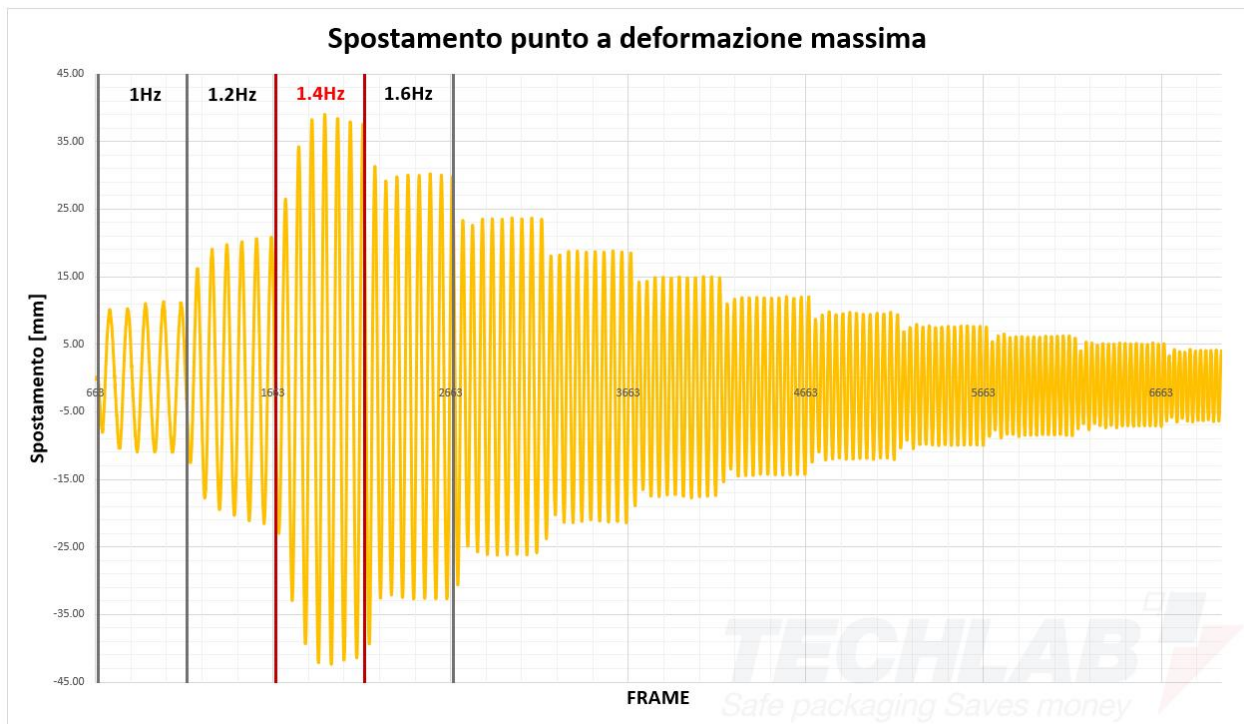
**Figura 15 - Immagini pre-test di due bancali impilati verticalmente e posizionati sull'esapode.**

Lo sweep in frequenza utilizzato per individuare la frequenza di massima oscillazione è mostrato in Figura 16. Si osserva come il segnale misurato, cioè quello effettivamente eseguito dall'esapode (in giallo), risulti perfettamente coerente e sovrapponibile al segnale generato dal laboratorio (in blu).



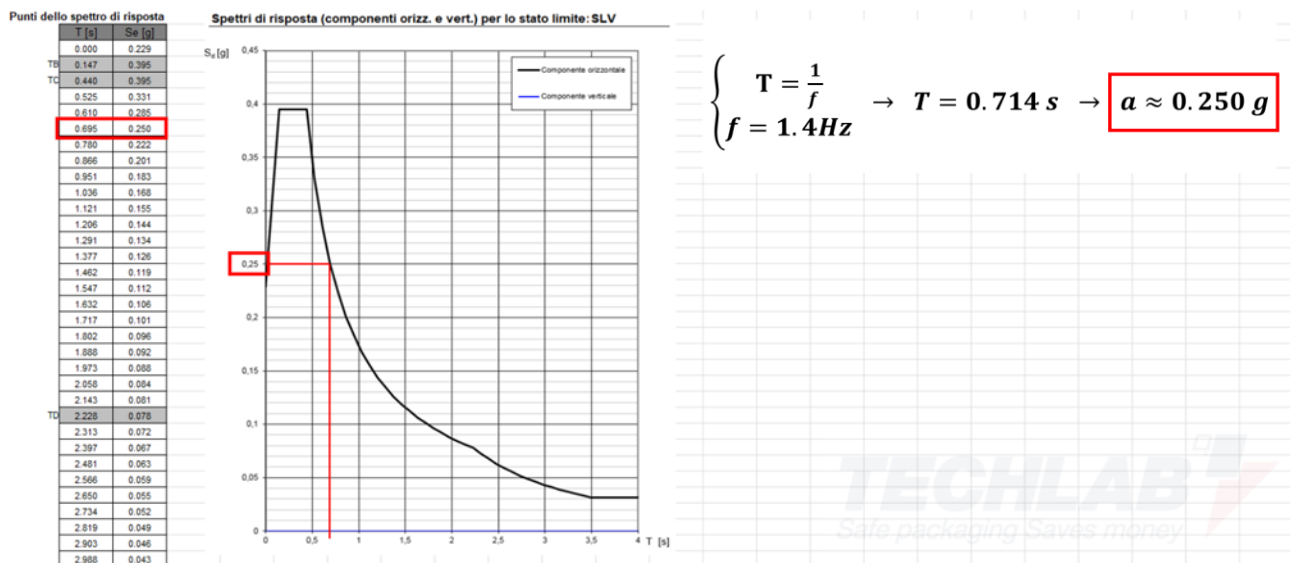
**Figura 16 - Primi tre intervalli in frequenza del segnale esplorativo (generato e misurato).**

Grazie all'utilizzo di fotogrammetria dinamica di precisione è stato possibile tracciare lo spostamento del bancale nel tempo durante la prova (Figura 17). Da questo è stato possibile individuare l'intervallo di frequenza in cui si è verificata la deformazione massima.



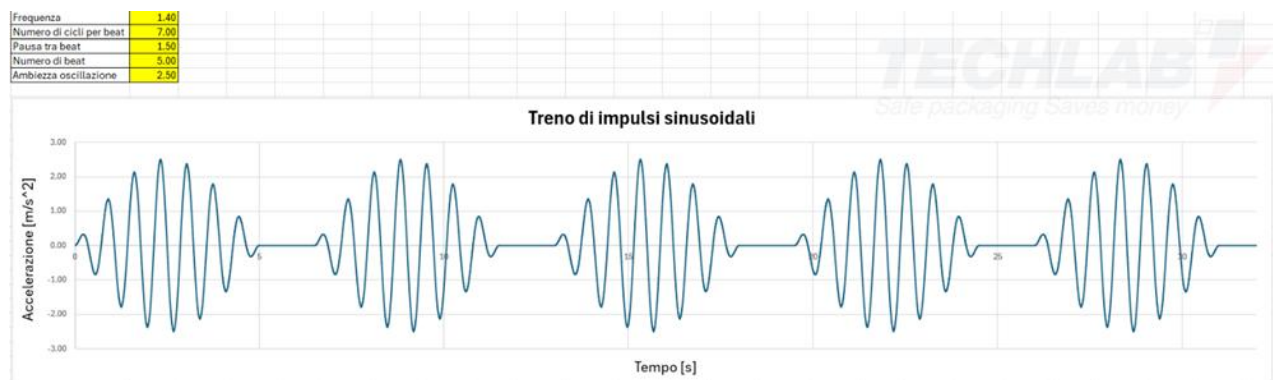
**Figura 17 -Deformazione massima subita dal bancale durante il test di ricerca della frequenza di risonanza.**

Grazie allo spettro di risposta fornito dal cliente è stato possibile individuare l'accelerazione massima da utilizzare nel test (Figura 18).



**Figura 18 -Valore di accelerazione corrispondente alla frequenza di 1.4Hz.**

Dai risultati ottenuti è stato generato il segnale di tipo sin beats in figura 19.



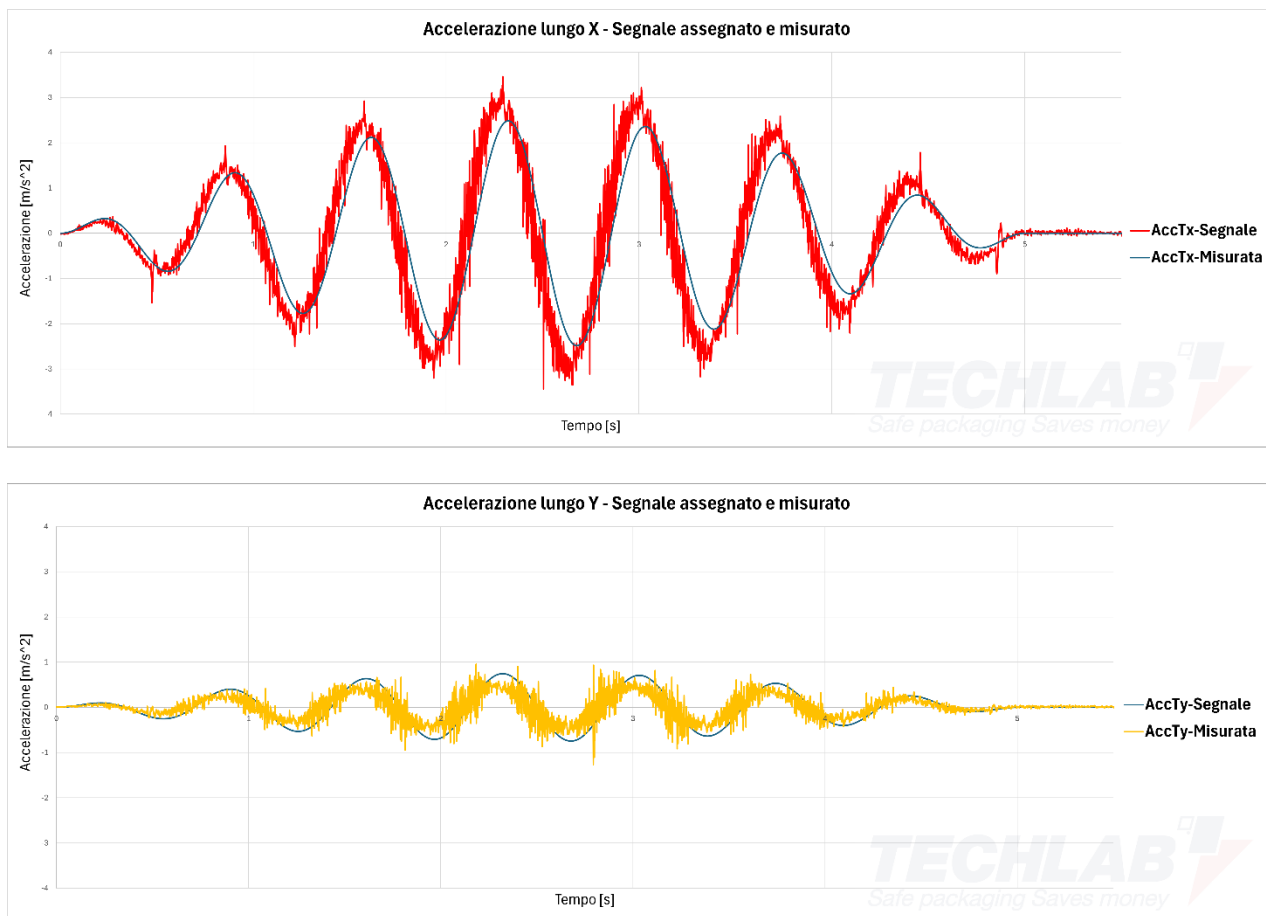
**Figura 19 - Segnale di prova generato a partire dalla frequenza di risonanza e dall'accelerazione corrispondente.**

In accordo con il cliente, su ogni pallet sono state eseguite due prove:

- utilizzando il segnale all'accelerazione massima lungo x e con un fattore di scala del 30% lungo y
- utilizzando il segnale all'accelerazione massima lungo y e con un fattore di scala del 30% lungo x.

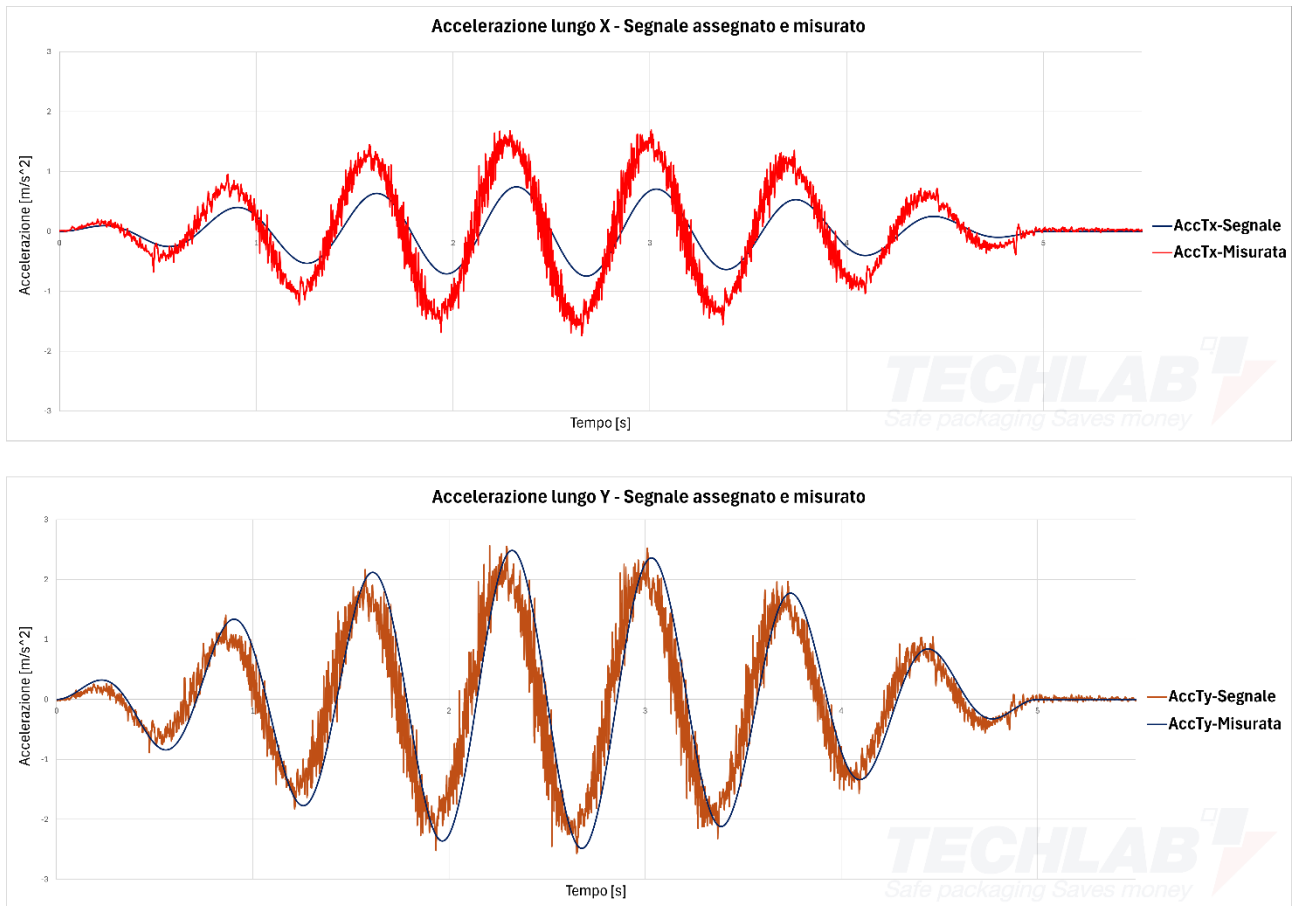
Nei due paragrafi che seguono è riportato il confronto tra un primo segmento del segnale registrato, quindi realmente riprodotto dall'esapode, e il segnale generato dal laboratorio.

### 1.4.1 1.4 Hz – $2.5 \frac{m}{s^2}$ – X - Yscale0.3



**Figura 20 -Segnale assegnato e misurato relativo al test a 1.4 Hz,  $2.5 \frac{m}{s^2}$  con segnale ridotto lungo Y.**

1.4.2 1.4 Hz – 2.5  $\frac{m}{s^2}$  - Xscale0.3 - Y



**Figura 21 - Segnale assegnato e misurato relativo al test a 1.4 Hz,  $2.5 \frac{m}{s^2}$  con segnale ridotto lungo X.**

## 1.5 Vasetto 370 vuoto

I due bancali sono stati posizionati sulla piattaforma a sei gradi di libertà, delimitati da barriere fisiche (Figura 22).



Figura 22 - Immagini pre-test di due bancali impilati verticalmente e posizionati sull'esapode.

Lo sweep in frequenza utilizzato per individuare la frequenza di massima oscillazione è mostrato in Figura 23. Si osserva come il segnale misurato, cioè quello effettivamente eseguito dall'esapode (in giallo), risulti perfettamente coerente e sovrapponibile al segnale generato dal laboratorio (in blu).

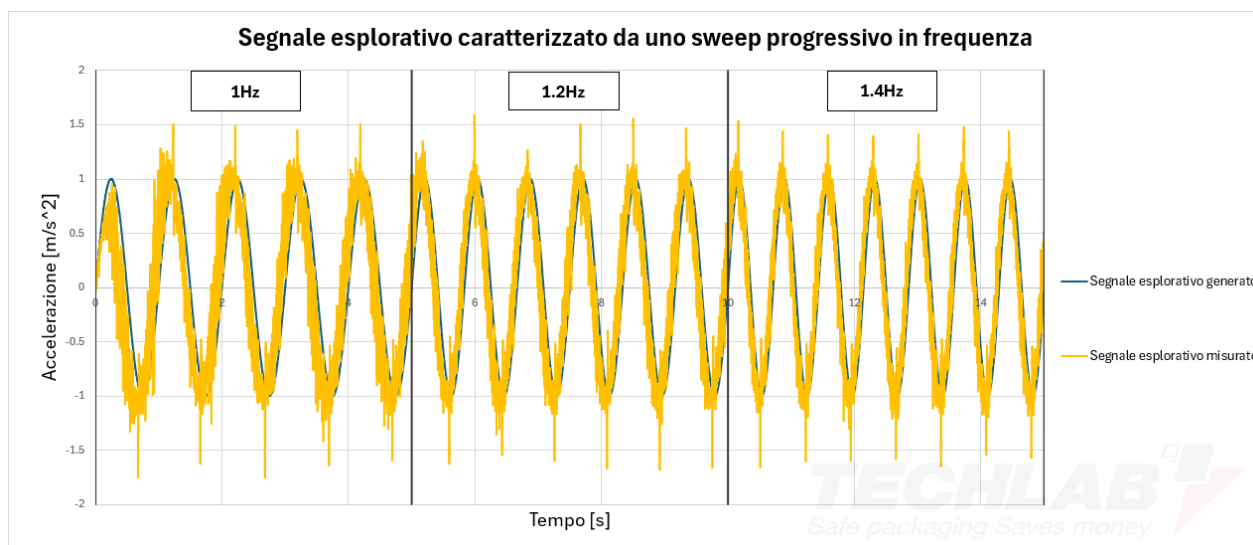
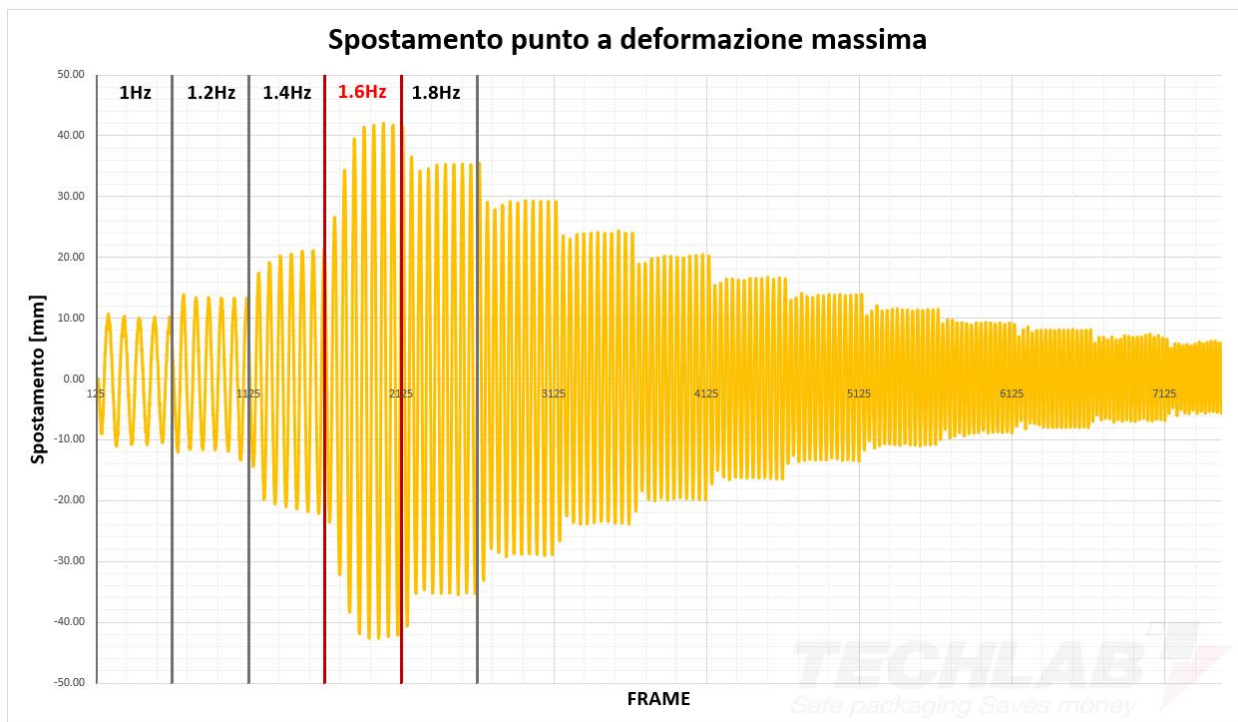


Figura 23 - Primi tre intervalli in frequenza del segnale esplorativo (generato e misurato).

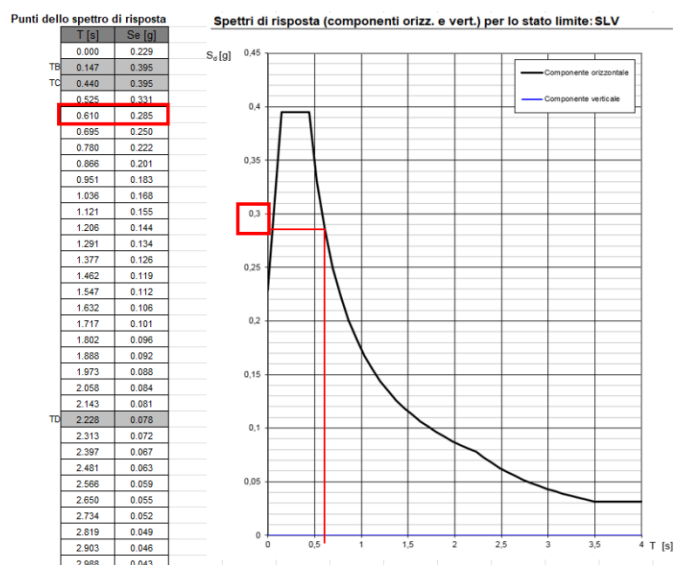
Grazie all'utilizzo di fotogrammetria dinamica di precisione è stato possibile tracciare lo spostamento del bancale nel tempo durante la prova (Figura 24). Da questo è stato possibile individuare l'intervallo di frequenza in cui si è verificata la deformazione massima.





**Figura 24 - Deformazione massima subita dal bancale durante il test di ricerca della frequenza di risonanza.**

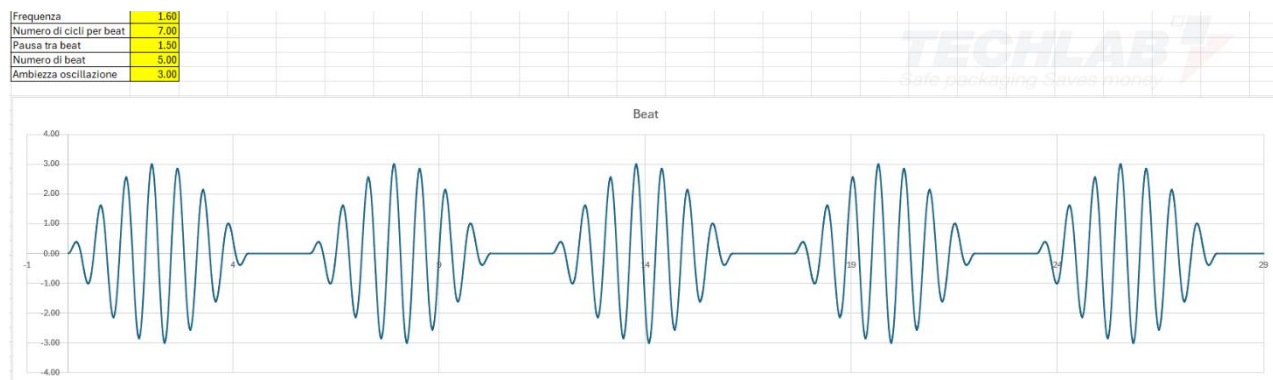
Grazie allo spettro di risposta fornito dal cliente è stato possibile individuare l'accelerazione massima da utilizzare nel test (Figura 25).



$$\begin{cases} T = \frac{1}{f} \\ f = 1.6 \text{ Hz} \end{cases} \rightarrow T = 0.625 \text{ s} \rightarrow a \approx 0.285 \text{ g}$$

**Figura 25 - Valore di accelerazione corrispondente alla frequenza di 1.6Hz.**

Dai risultati ottenuti è stato generato il segnale di tipo sin beats in figura 26.



**Figura 26 - Segnale di prova generato a partire dalla frequenza di risonanza e dall'accelerazione corrispondente.**

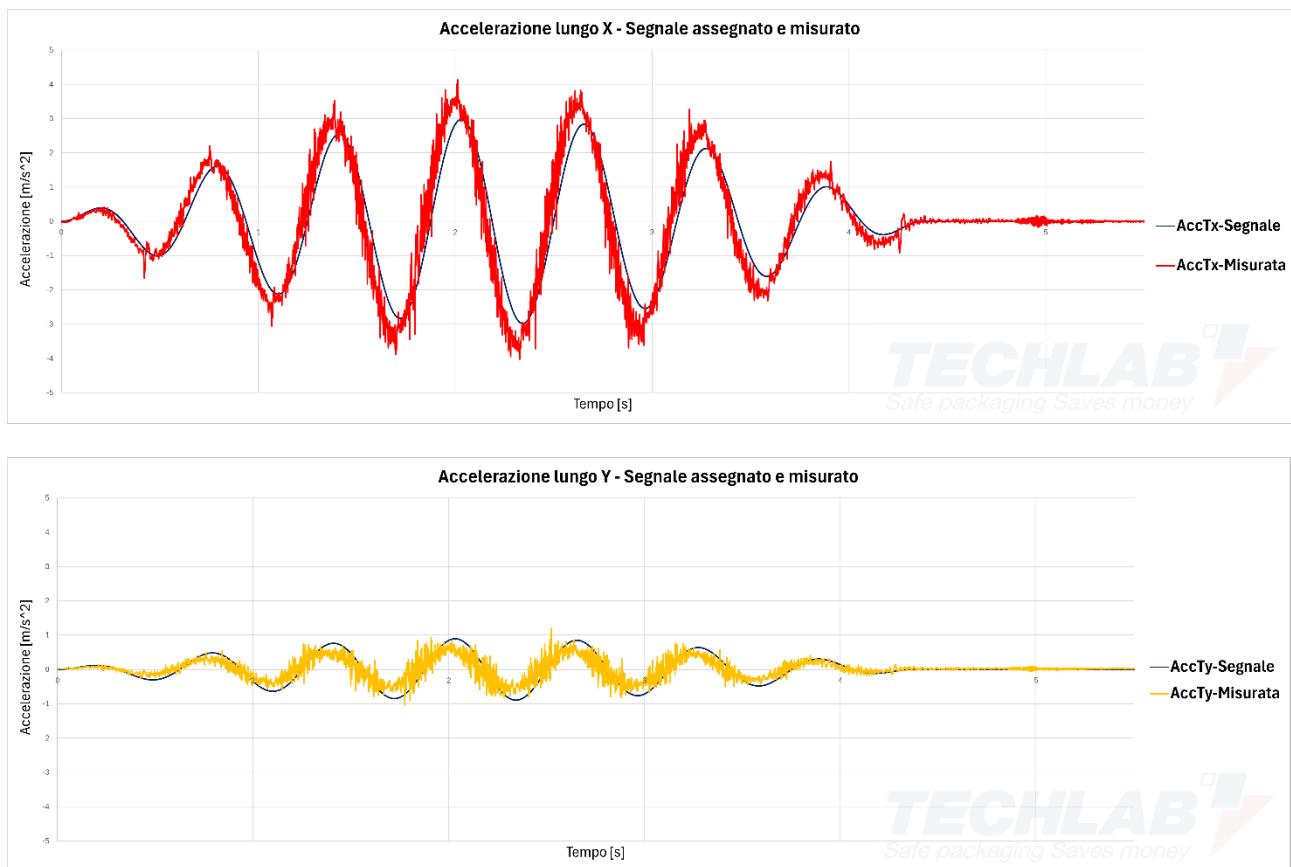
In accordo con il cliente, su ogni pallet sono state eseguite due prove:

- utilizzando il segnale all'accelerazione massima lungo x e con un fattore di scala del 30% lungo y
- utilizzando il segnale all'accelerazione massima lungo y e con un fattore di scala del 30% lungo x.

Nei due paragrafi che seguono è riportato il confronto tra un primo segmento del segnale registrato, quindi realmente riprodotto dall'esapode, e il segnale generato dal laboratorio.



### 1.5.1 1.6 Hz - $3 \frac{m}{s^2}$ - X - Yscale0.3



**Figura 27 - Segnale assegnato e misurato relativo al test a 1.6 Hz,  $3 \frac{m}{s^2}$  con segnale ridotto lungo Y.**

### 1.5.2 1.6 Hz - $3 \frac{m}{s^2}$ - Xscale0.3 - Y

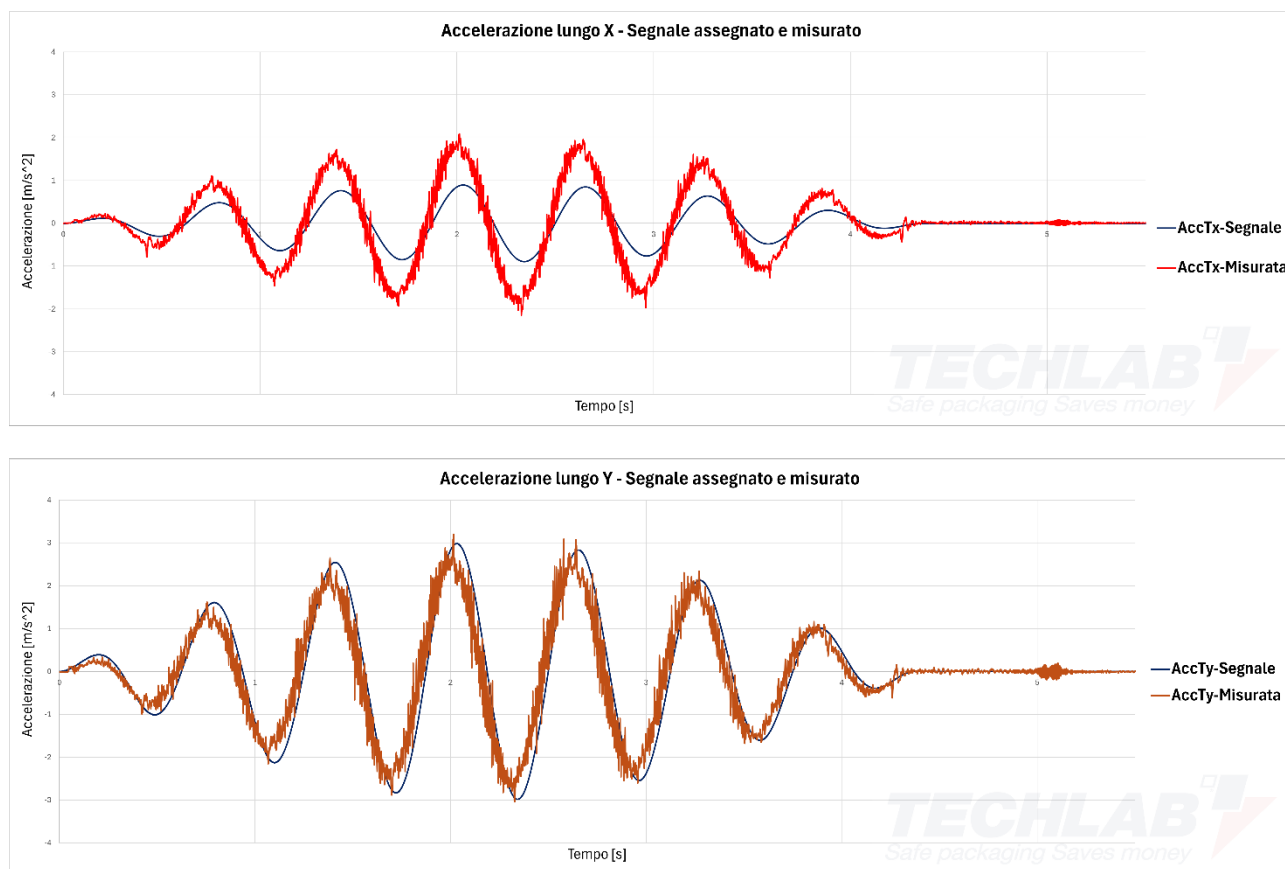


Figura 28 - Segnale assegnato e misurato relativo al test a 1.6 Hz,  $3 \frac{m}{s^2}$  con segnale ridotto lungo X.

## 2 Conclusioni

Il Gruppo Fini ha richiesto l'utilizzo del laboratorio per l'esecuzione di test di simulazione sismica mediante esapode su pallet accoppiati verticalmente, relativi a quattro diverse tipologie di prodotto:

- Bottiglia di pomodoro vuota
- Vasetto 212
- Vasetto 212 vuoto
- Vasetto 370 vuoto.

In collaborazione con il cliente, il laboratorio ha sviluppato una procedura di prova basata sulla norma IEEE344-2013.

Ogni test è stato eseguito sottoponendo i prodotti a sollecitazioni di tipo sine-beats bidirezionali. Ogni segnale è stato generato a partire dalla frequenza di risonanza di ogni singolo prodotto e quindi dell'accelerazione massima a cui testarlo:

- Bottiglia di pomodoro vuota: 1.4Hz e  $2.5 \frac{m}{s^2}$
- Vasetto 212: 2.6Hz e  $3.9 \frac{m}{s^2}$
- Vasetto 212 vuoto: 1.4Hz e  $2.5 \frac{m}{s^2}$
- Vasetto 370 vuoto: 1.6Hz e  $3 \frac{m}{s^2}$ .

In base ai criteri concordati con il cliente tutti i test eseguiti possono considerarsi superati poiché nessun bancale ha riportato danni evidenti, né si sono osservati disallineamenti o deformazioni tali da compromettere la stabilità e la sicurezza dei pallet sovrapposti.