

Misure di vibrazione su catene reggispinta setup di laboratorio

M. Gallo¹, E. Lo Giudice², G. Navarra³

¹Laboratorio DISMAT s.r.l., Canicattì (AG)

²Direttore del Laboratorio DISMAT s.r.l., Canicattì (AG)

³Laboratorio DISMAT s.r.l., Canicattì (AG)

eliologiudice@dismat.it, giuseppenavarra@dismat.it.

1. INTRODUZIONE

La catena è un elemento strutturale generalmente utilizzato come reggispinta su strutture in muratura con tipologia strutturale a volta o ad arco. Si tratta sostanzialmente di un tirante metallico, elemento resistente solo a trazione, che può essere utilizzato su edifici di nuova costruzione o per consolidamento di strutture esistenti; nel caso particolare di antichi edifici in muratura esso assume un ruolo fondamentale per la stabilità del manufatto. Da quest'ultima considerazione scaturisce l'importanza che nell'analisi del comportamento di una struttura assume la corretta valutazione dello stato di sollecitazione della catena. Numerose sono le proposte operanti nel campo d'identificazione, soprattutto in ambito dinamico, così come numerosi sono gli algoritmi che partendo da teorie, più o meno semplificate, si propongono il suddetto scopo.

Il contributo del presente studio va nella direzione della validazione di relazioni di carattere empirico mediante una campagna di misurazioni effettuate in laboratorio su un modello di catena appositamente predisposto; i risultati ottenuti aprono a sviluppi futuri nell'ambito della validazione e del confronto dei diversi algoritmi proposti in letteratura.

2. IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA

In Fig. 1 è illustrato il modello [1] strutturale largamente impiegato in letteratura per affrontare il problema in esame sia sul piano analitico sia su quello della sperimentazione numerica e fisica. La catena è considerata a sezione costante, sottoposta ad una trazione uniforme T e vincolata alle estremità mediante vincoli elastici di rigidezza k .

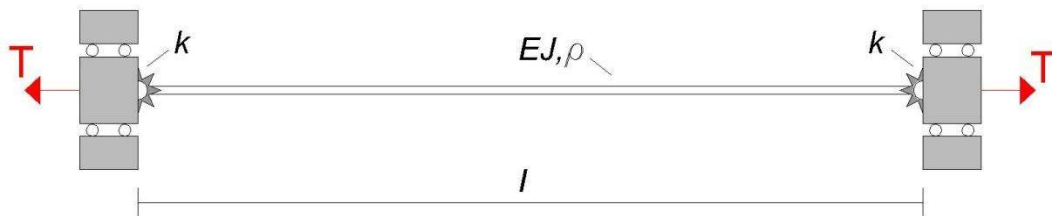


Figura 1 – Schema del modello utilizzato.

Nel caso di tiranti molto snelli la valutazione del tiro viene effettuata sulla base della teoria della fune. Nella maggior parte dei casi, ed in particolare per le catene utilizzate negli edifici in muratura, la rigidezza flessionale della catena non è però trascurabile; per cui, in tali casi, per la descrizione delle oscillazioni libere e forzate si preferisce ricorrere alla teoria della trave.

L'equazione differenziale alle derivate parziali che regge il problema della dinamica delle travi soggette a sforzi di trazione costante è la (1) [2][3]:



$$T \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) - ESj^2 \left(\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \right) = \rho S \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) \quad (1)$$

Nella (1) “j” è raggio d’inerzia della sezione, “ρ” è la massa per unità di volume, “E” è il modulo di Young, “T” il tiro ed “S” l’area della sezione trasversale.

Trascurando il termine che contiene la rigidezza flessionale si ottiene:

$$T \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) = \rho S \left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) \quad (1b)$$

che rappresenta l’equazione che regge il problema della dinamica delle funi.

La risoluzione delle equazioni (1) e (1b) richiede la conoscenza delle condizioni al contorno di tipo statico/cinematico e delle condizioni iniziali. Generalmente la soluzione viene ottenuta mediante il metodo della separazione delle variabili [3], caratteristica del metodo è quella che lega gli autovalori connessi con le autofunzioni soluzioni della (1) e (1b) con lo sforzo di trazione [3].

Al fine di rendere la procedura di determinazione più agevole dal punto di vista operativo si ricorre a soluzioni approssimate, nel seguito, allo scopo di fornire un primo raffronto tra dato sperimentale e dato teorico, sono state prese a riferimento due espressioni semplificate di largo uso nella tecnica corrente. La prima espressione [4] è data da:

$$\omega_n = \left[\frac{n\pi}{l} \sqrt{\frac{T}{\rho S}} \right] \beta \quad (2)$$

dove: ω_n indica l’n-esimo autovalore (pulsazione) connesso al modo di vibrare n, β è un parametro sperimentale fornito da:

$$\beta = 1 + 2\sqrt{R}$$

dove R è dato da:

$$R = \frac{ESj^2}{Tl^2}$$

si può notare che per rigidezza flessionale trascurabile β tende a 1.

La seconda espressione approssimata è data da [5]:

$$T = \frac{\rho l^2 \omega_n^2}{n^2 \pi^2} - ESj^2 \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 \quad (3)$$

3. SETUP DI PROVA

Il setup di prova adottato in fase di sperimentazione tenta di riprodurre il modello di cui al paragrafo precedente.

In definitiva il modello strutturale adottato è rappresentato dallo schema in Fig. 2, che riproduce una catena di lunghezza l, a sezione costante, soggetta a vincoli rotazionali di estremità caratterizzati dalle costanti elastiche k_A e k_B e sollecitata da uno sforzo assiale T (assunto positivo se di trazione). Modulo elastico, densità lineare e momento d’inerzia della sezione sono indicati rispettivamente con i simboli E, ρ e J (Fig. 2).

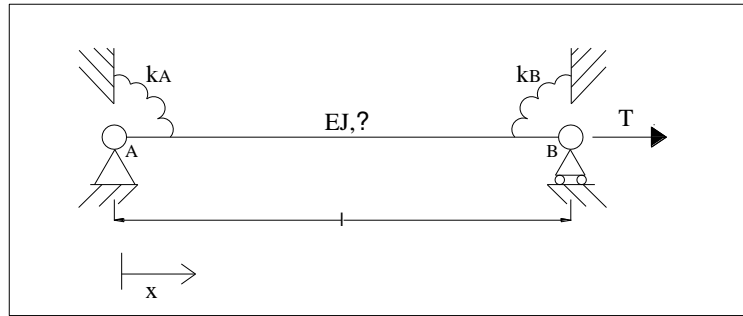


Figura 2 - Modello statico di riferimento.

Le indagini sperimentali di laboratorio sono state condotte predisponendo due diversi setup. In entrambi la prova si svolge in tre fasi secondo gli schemi illustrati in figura 3. Le prove sono state realizzate sia sollecitando la struttura con una forzante impulsiva esterna, generata da un martello strumentato, sia imprimendo al sistema uno spostamento iniziale. Le perturbazioni hanno sollecitato la catena alternativamente nelle sezioni di mezzeria ed ai quarti delle due estremità, si veda Fig. 3.

Il martello strumentato utilizzato ha sensibilità pari a 9.9 mV/g, peso 320 gr.

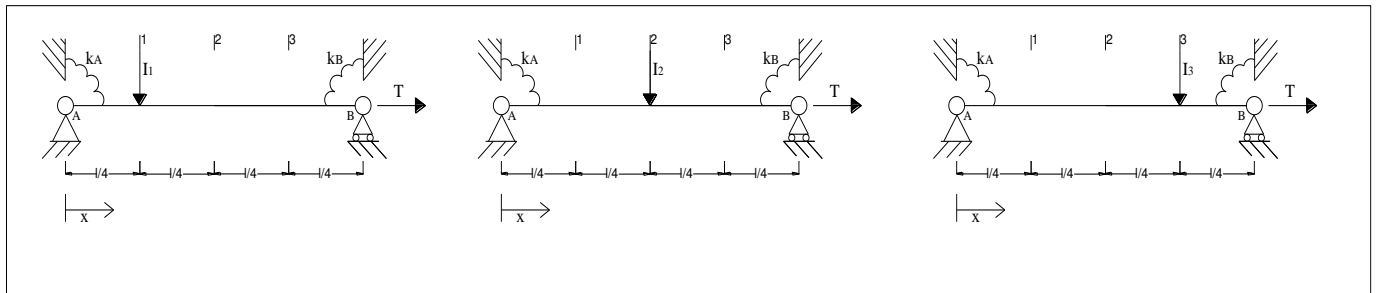


Figura 3 - Modello della prova sperimentale.

La risposta del sistema per il primo setup (Setup 1) è stata rilevata mediante accelerometri, resi solidali con la catena, posti nelle sezioni di mezzeria ed ai quarti secondo lo schema illustrato in Fig. 4.

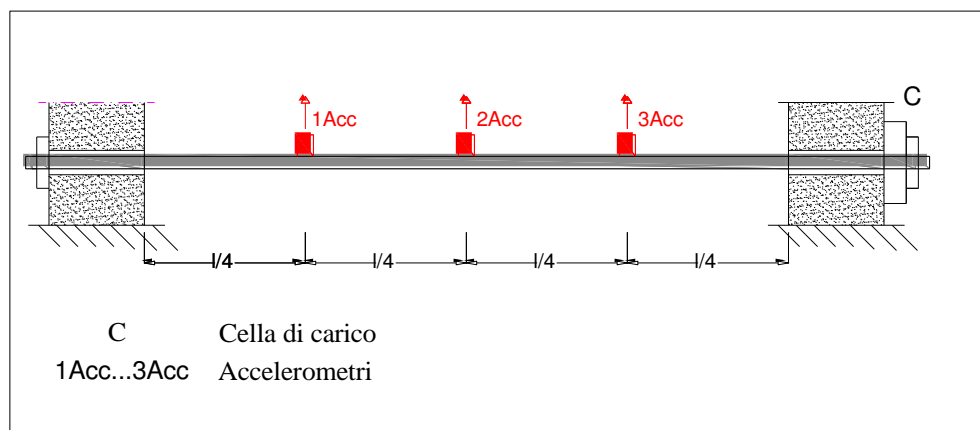


Figura 4 – Setup 1.

Gli accelerometri piezoelettrici utilizzati hanno sensibilità pari a 10 mV/g modello Dytran 3097A1.

Mente il Setup 2 ha previsto l'utilizzo di accelerometri posti ai quarti della catena, trasduttore induttivo di spostamento in mezzeria ed estensimetri elettrici posti all'estremità e in mezzeria, si veda Fig. 5.

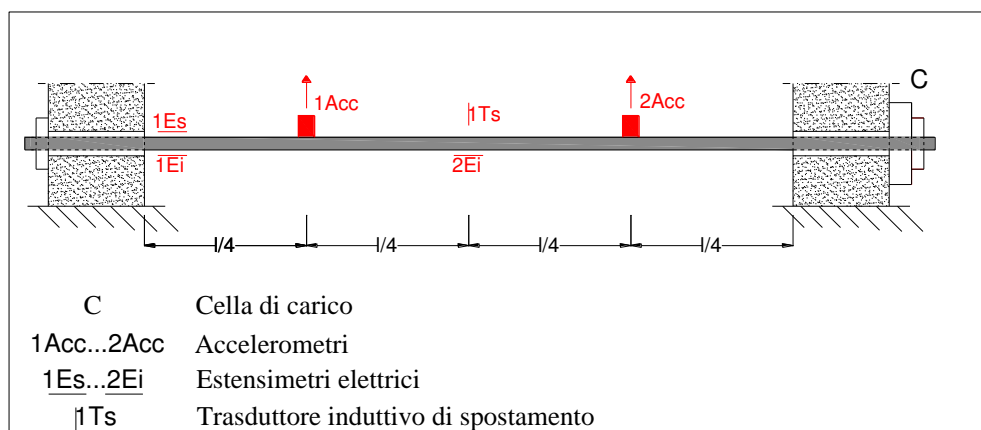


Figura 5 – Setup 2.

Gli estensimetri (HBM LY mono griglia) sono compensati per acciaio. I trasduttori di spostamento sono di tipo induttivo modello WA della HBM.

Per il Setup 1 i trasduttori sono stati collegati ad una centralina di acquisizione con scheda N.I. a 24 bit gestita da un software Wintek. Nel secondo Setup si è impiegata un'apparecchiatura della HBM tipo MGC plus dotata di schede di acquisizione contemporanea di trasduttori di spostamento, accelerometrici ed estensimetrici.

Le catene oggetto delle indagini sono barre di acciaio a sezione circolare delle dimensioni riportate in Tab.1-2. Il tiro è stato misurato mediante una cella di carico Metior da 300kN ad elevata accuratezza.

Tabella 1- Caratteristiche catena Setup 1.

Catena 1	Catena 2	Catena 3
luce l = 2636 mm	luce l = 2636 mm	luce l = 2636 mm
sezione $\varnothing 10$ mm	sezione $\varnothing 16$ mm	sezione $\varnothing 25$ mm
Modulo elastico $E = 2,0 \cdot 10^6$ kg/cm ²		

Tabella 2 – Caratteristiche catena Setup 2.

Catena 1
luce l = 2636 mm
sezione $\varnothing 25$ mm
Modulo elastico $E = 2,0 \cdot 10^6$ kg/cm ²

4. RACCOLTA DATI SPERIMENTALI

Si sono costruiti i diagrammi che mettono in relazione il tiro indotto nell'elemento catena con le frequenze rilevate attraverso l'elaborazione delle acquisizioni nel dominio del tempo dai trasduttori estensimetrici, accelerometrici e di spostamento.

In Fig. 6 sono rappresentate alcune delle elaborazioni dei dati accelerometrici, quelli di maggiore interesse in campo tecnico applicativo, relativamente al Setup 1. Giova osservare che in generale sia sul piano pratico sia sul piano scientifico è di rilevante interesse l'accurata determinazione della prima frequenza di vibrazione. In allegato sono riportati i risultati completi delle misurazioni in forma tabellare.

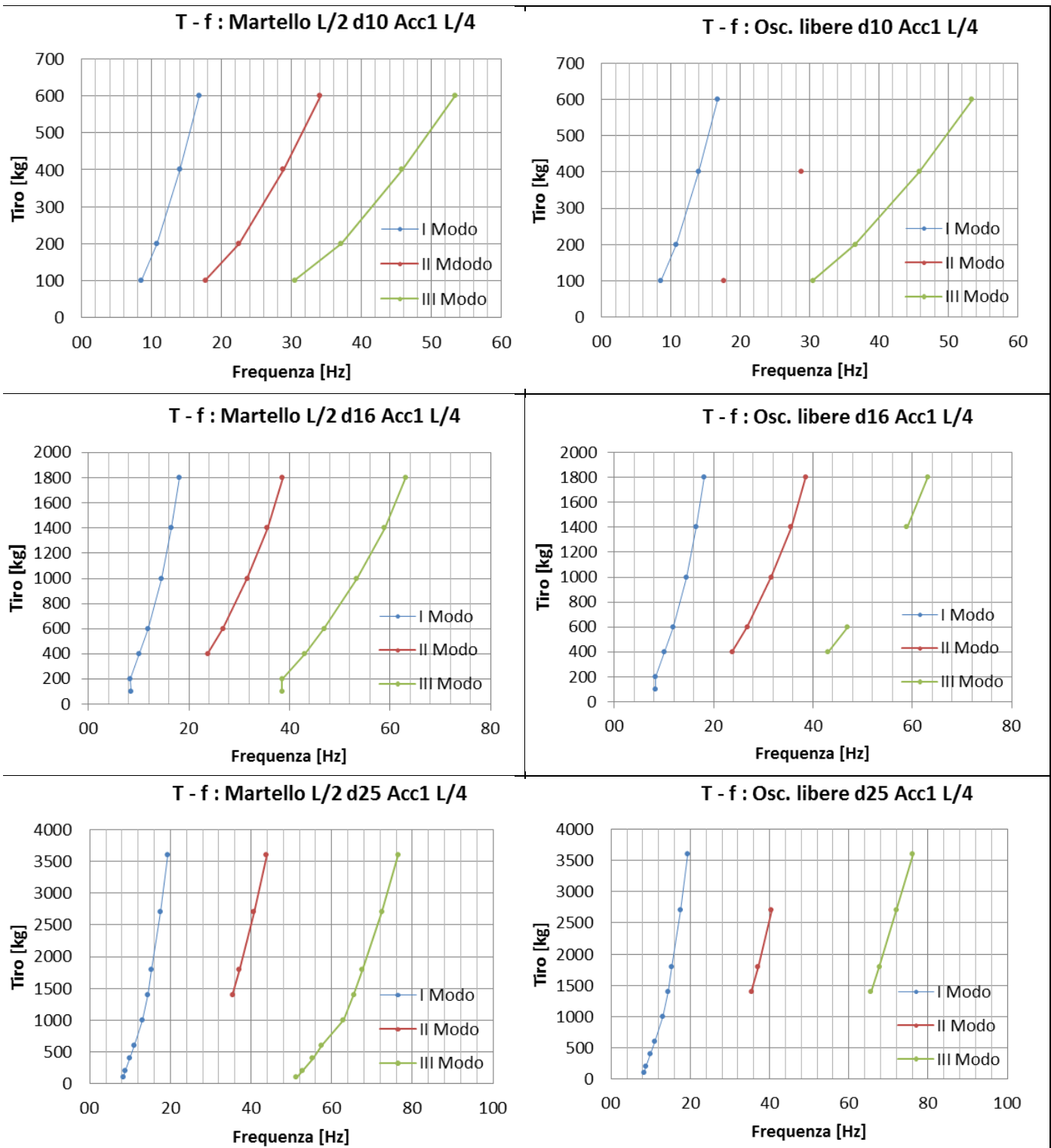


Figura 6 – Diagrammi Frequenza/Tiro.

Con riferimento al Setup 2 sono riportati dei grafici relativi ad uno dei segnali acquisiti mediante le tre diverse strumentazioni di misura, quella estensimetrica, quella di spostamento e quella accelerometrica. I grafici riportano le Time History e gli spettri delle registrazioni delle vibrazioni della catena sottoposta ad un tiro $T=19.73$ kN eccitata da un impulso fornito ai quarti dell'estremità sinistra per mezzo del martello strumentato.

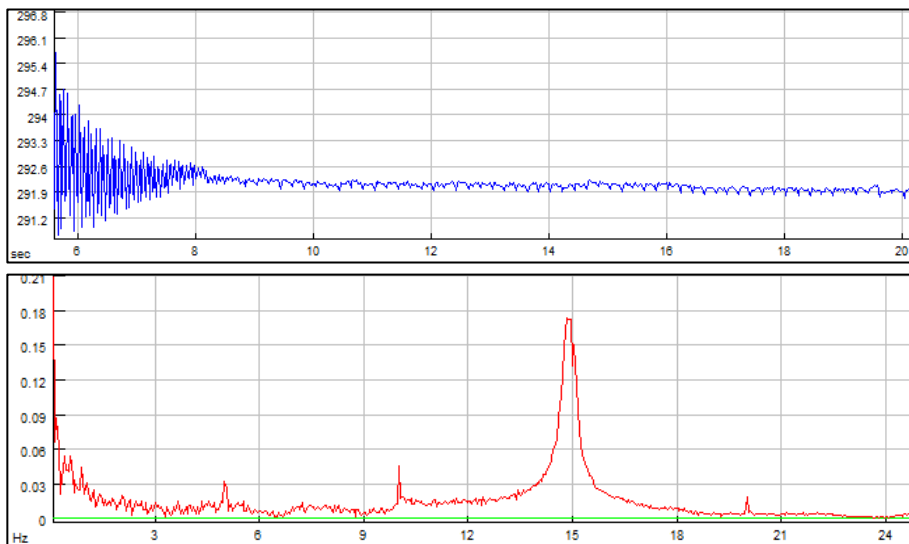


Figura 7 – Estensimetro 2, $T \approx 20\text{kN}$: Time History e Spettro di risposta.

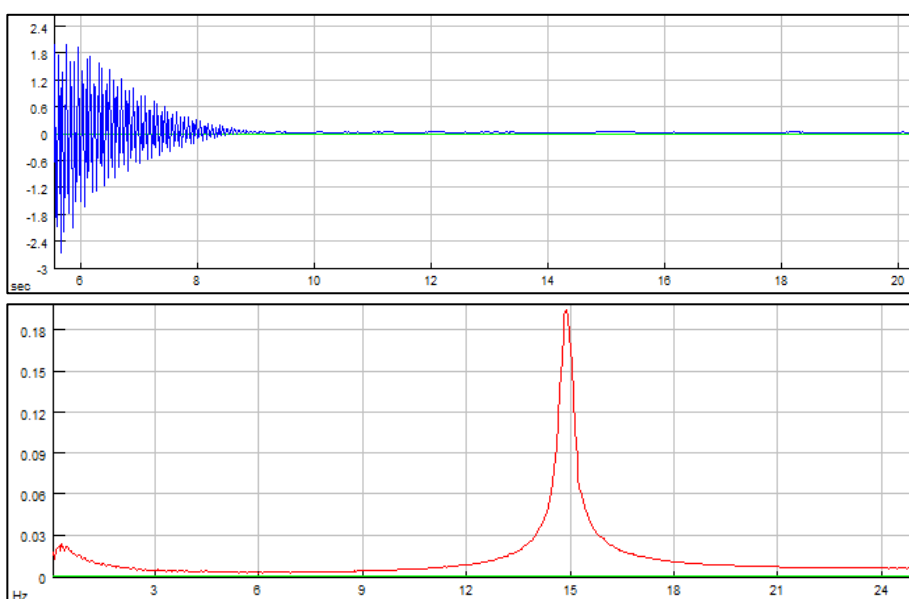


Figura 8 – Trasduttore di spostamento, $T \approx 20\text{kN}$: Time History e Spettro di risposta.

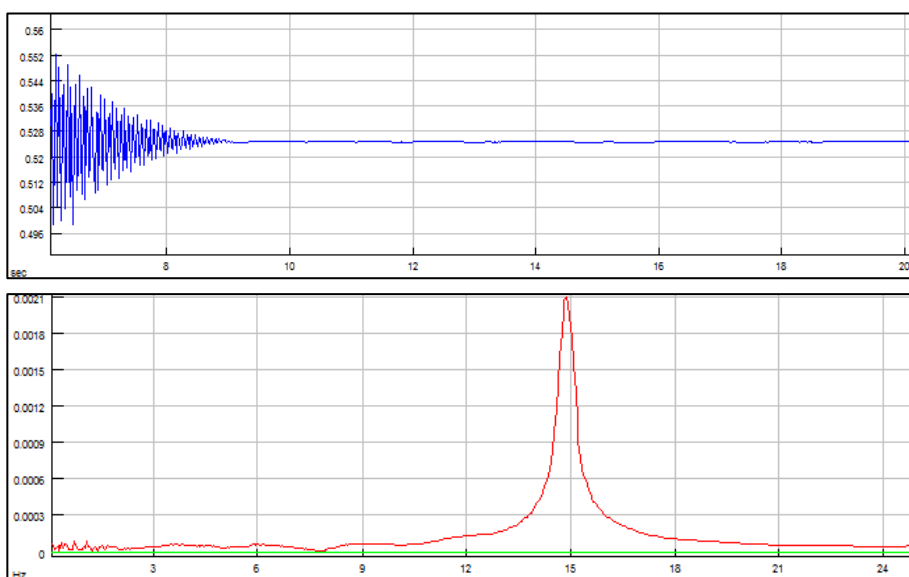


Figura 9 – Accelerometro 1, $T \approx 20\text{kN}$: Time History e Spettro di risposta.

In Fig. 10, relativamente alla prima frequenza fondamentale, viene effettuato un confronto tra acquisizioni effettuate con il Setup 1, quelle effettuate con il Setup 2 e le due soluzioni approssimate date dalle relazioni (2) e (3). La lieve diversità che si riscontra tra le frequenze del Setup 1 con quelle del Setup 2 sono legate alle inevitabili variazioni della configurazione di montaggio.

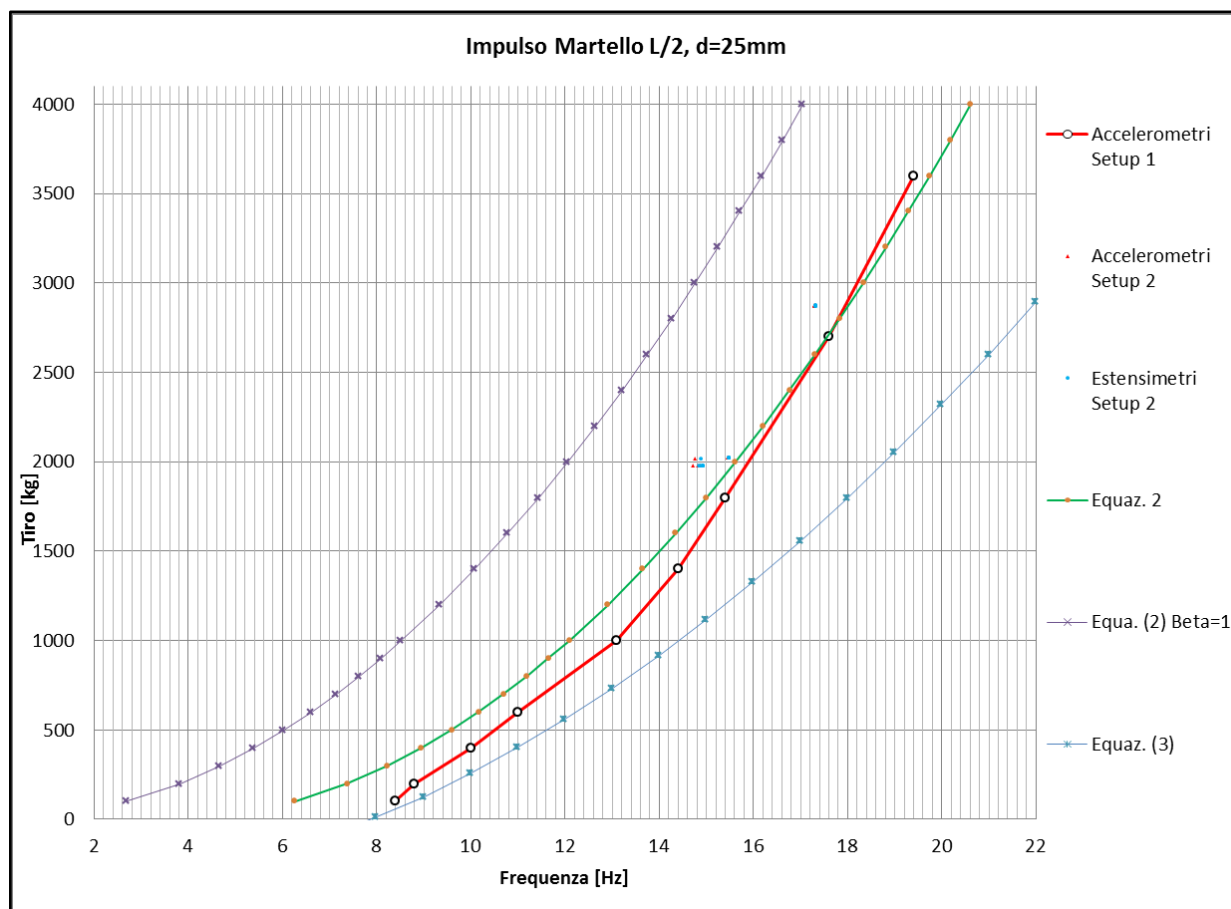


Figura 10 – Diagramma Frequenza/Tiro, Setup 1 e 2, soluzioni approssimate.

5. CONCLUSIONI

La lettura del diagramma in Fig. 10 consente di avanzare alcune osservazioni circa la validità delle soluzioni proposte in letteratura tecnica e di indirizzare ulteriori sviluppi della ricerca appena iniziata.

Si nota che la soluzione fornita dalla (2) per $\beta = 1$, soluzione che trascura la rigidità flessionale, nel caso specifico appare inadeguata all'identificazione del tiro, tale circostanza era prevedibile tenuto conto del basso rapporto lunghezza/diametro della catena che l'assimilava a un comportamento intermedio tra fune e trave.

L'espressione (3) è anch'essa discostata dal dato sperimentale soprattutto all'aumentare del tiro; comportamento questo che trova giustificazione nella prevalenza del comportamento a fune all'aumentare del tiro.

Coglie meglio la realtà fisica l'espressione (2) che tiene conto della rigidità flessionale mediante il coefficiente β . Pertanto, alla luce delle sperimentazioni qui svolte, si ritiene che la (2) possa essere impiegata in ambito tecnico. Tuttavia ci si riserva di ampliare il campo di verifica al fine di testare l'attendibilità della relazione al variare della snellezza.

Osserviamo inoltre che nessuno dei metodi empirici illustrati tiene conto in maniera esplicita della rigidità dei vincoli che risulta essere uno dei parametri più importanti ai fini della accurata identificazione del tiro nella catena.

Ulteriore scopo della raccolta dei dati sperimentali è quello di programmare uno studio comparativo di alcuni dei metodi di identificazione proposti nella letteratura e ove se ne ravvisasse la necessità di proporre una espressione empirica capace di cogliere tutti gli aspetti che condizionano il comportamento dinamico delle catene.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Lagomarsino, C. Calderini, **Una metodologia per l'identificazione dinamica del tiro nelle catene metalliche antiche**. 16th AIMETA Congress of Theoretical and Applied Mechanics.
- [2] Ray W. Clough, I. Penzien, **Dynamics of structures**. McGraw-Hill Inc., USA, 1965.
- [3] Karl F. Graff, **Wave motion in elastic solids**. Dover publications, Inc., New York, USA, 1991.
- [4] P. L. Gatti, V. Ferrari, **Applied Structural and Mechanical Vibrations, Theory, methods and measuring instrumentation**. Teylor & Francis e-Library. New York, USA, 2003.
- [5] L. Jurina, **La diagnosi del sistema strutturale**. Tecnologie del recupero edilizio di AA.VV., UTET Torino, 1989.

ALLEGATO

- Misurazioni ottenute dal Setup 1:

Diametro: 10 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 1 L/4																		
Metodo di eccitazione:	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione:	L/4			L/2			3/4L			L/4			L/2			3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.5	18.2	30.5	8.5	17.7	30.5	8.5	17.7	30.5	8.5	18.2	31.3	8.5	17.7	30.5	8.4	17.6	30.4
200 Kg	10.7	22.5	36.6	10.7	22.5	37.1	10.7	22.2	37.0	10.7	22.2	36.6	10.7		36.6	10.7	22.4	37.0
400 Kg	14.1	28.9	46.1	14.0	28.8	45.8	14.0	28.8	45.8	14.1	28.8	46.1	14.0	28.8	45.8	14.0	28.6	45.8
600 Kg	16.8	34.2	53.8	16.8	34.1	53.4	16.7	34.1	53.6	16.8	34.1	53.5	16.8		53.4	16.8	34.0	53.4

Diametro: 10 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 2 L/2																		
Metodo di eccitazione:	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione:	L/4			L/2			3/4L			L/4			L/2			3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.5		30.5	8.5		30.5	8.5		30.5	8.5		31.3	8.5		30.5	8.4		30.4
200 Kg	10.7		36.6	10.7		37.1	10.7		36.5	10.7		36.6	10.7		36.6	10.7		37.0
400 Kg	14.1		46.1	14.0		45.8	14.0		45.8	14.1		45.9	14.0		45.8	14.0		45.7
600 Kg	16.8		53.8	16.8		53.4	16.8		53.6	16.8		53.5	16.8		53.4	16.8		53.4

Diametro: 10 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 3 3/4 L																		
Metodo di eccitazione:	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione:	L/4			L/2			3/4L			L/4			L/2			3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.5	18.2	30.5	8.5	18.2	30.5	8.5	17.7	30.5	8.5	18.2	31.3	8.5	17.7	30.5	8.4	17.6	30.4
200 Kg	10.7	22.5	36.6	10.7	22.5	37.1	10.7	22.1	36.5	10.7	22.2	36.6	10.7		36.6	10.7	22.4	37.0
400 Kg	14.1	28.9	46.1	14.0	28.9	45.8	14.0	28.8	45.8	14.1	28.8	46.1	14.0	28.8	45.8	14.0	28.6	45.7
600 Kg	16.8	34.2	53.8	16.8	34.1	53.4	16.8	34.1	53.6	16.8	34.1	53.5	16.8		53.4	16.8	34.0	53.4

Diametro: 16 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 1 L/4																		
Metodo di eccitazione	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione	L/4			L/2			3/4L			L/4			L/2			3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.6	20.3	38.9	8.5		38.5	8.4	20.0	38.4	8.5	20.1	38.6	8.4			8.4		19.9
200 Kg	8.6	20.3	38.9	8.4		38.5	8.4	20.0	38.4	8.5	20.1	38.6	8.4			8.4		19.9
400 Kg	10.2	23.8	43.1	10.2	23.8	43.1	10.2	23.7	43.1	10.2	23.8		10.2	23.8	43.1	10.2	23.7	
600 Kg	11.9	26.9	47.1	11.9	26.8	46.9	11.9	26.8	46.9	11.9	26.9	47.0	11.9	26.8	47.0	11.9	26.8	
1000 Kg	14.5	31.6	53.5	14.5	31.6	53.4	14.4	31.6	53.4	14.5	31.6	53.5	14.5	31.6		14.4	31.6	53.5
1400 Kg	16.7	35.7	59.0	16.6	35.6	58.9	16.8	35.6	58.9	16.6	35.6	58.9	16.6	35.6	58.9	16.6	35.6	58.9
1800 Kg	18.3	38.6	63.2	18.2	38.6	63.1	18.2	38.6	63.1	18.2	38.6	63.1	18.2	38.5	63.1	18.2	38.5	63.0

Diametro: 16 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 2 L/2																		
Metodo di eccitazione	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione	I L/4			II L/2			III 3/4L			I L/4			II L/2			III 3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.6		38.9	8.5		38.5	8.4		38.4	8.5		38.6	8.4			8.4		
200 Kg	8.6		38.9	8.4		38.5	8.4		38.4	8.5		38.6	8.4			8.4		
400 Kg	10.2		43.1	10.2		43.1	10.4		43.0	10.2			10.2		43.1	10.2		
600 Kg	12.0		47.1	11.9		46.9	11.9		46.9	11.9		47.0	11.9		47.0	11.9		
1000 Kg	14.5		53.5	14.5		53.4	14.4		53.4	14.5		53.5	14.4			14.4		53.5
1400 Kg	16.7		59.0	16.6		58.9	16.6		58.9	16.6		58.9	16.6		59.8	16.6		58.9
1800 Kg	18.3		63.2	18.2		63.1	18.2		63.1	18.2		63.1	18.2		63.1	18.2		63.0

Diametro: 16 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 3 3/4 L																		
Metodo di eccitazione	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione	I L/4			II L/2			III 3/4L			I L/4			II L/2			III 3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.6	20.3		8.5			8.4	20.0		8.5	20.1		8.4			8.4	19.9	
200 Kg	8.6	20.3		8.4			8.4	20.0		8.6		38.9	8.4			8.4	19.9	
400 Kg	10.2	23.8		10.2	23.7	43.0	10.1	23.7		10.2	23.8		10.2			10.2	23.7	
600 Kg	12.0	26.9		11.9	26.8	46.9	11.9	26.8		11.9	26.9		11.9			11.9	26.8	
1000 Kg	14.5	31.6	53.5	14.5		53.4	14.4	31.6	53.4	14.5	31.6	53.5	14.4	31.6		14.4	31.6	
1400 Kg	16.7	35.7	59.0	16.6	35.6	58.9	16.6	35.6		16.6	35.6	59.8	16.0	35.6		16.6	35.6	
1800 Kg	18.3	38.6	63.2	18.2	38.6	63.1	18.2	38.6	63.1	18.2	38.6		18.2	38.5		18.2	38.5	

Diametro: 25 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 1 L/4																		
Metodo di eccitazione	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione	I L/4			II L/2			III 3/4L			I L/4			II L/2			III 3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.3	24.0	51.3	8.4		51.3	8.3	24.9	51.2	8.3	22.6		8.3			8.3	23.9	
200 Kg	8.8	25.3	52.7	8.8		52.7	8.8	25.3	52.8	8.7			8.8			8.7	25.2	
400 Kg	10.0	27.6	55.4	10.0		55.3	9.9	27.4	55.1	10.1			9.9			9.8		
600 Kg	11.0	29.2	57.6	11.0		57.5	29.2		57.6	11.0			11.0			11.0	29.2	
1000 Kg	13.1	33.3	62.9	13.1		62.9	13.1	33.2	62.9	13.1			13.1			13.1	33.2	
1400 Kg	14.4	35.4	65.5	14.4	35.4	65.5	14.4	35.4	65.5	14.4	35.4		14.4	35.4	65.6	14.4	35.4	
1800 Kg	15.4	37.1	67.7	15.4	37.1	67.6	15.4	37.1	67.6	15.4	37.1	67.8	15.4	37.1	67.7	15.4	37.1	67.6
2700 Kg	17.5	40.7	72.5	17.6	40.7	72.5	17.6	40.7	72.5	17.6	40.9	72.0	17.6	40.5	72.0	17.6	40.9	72.1
3600 Kg	19.4	43.9	76.6	19.4	43.9	76.5	19.3	43.9	76.5	19.3	43.8	76.2	19.3		76.2	19.4	43.9	76.2

Diametro: 25 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 2 L/2																		
Metodo di eccitazione	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione	I L/4			II L/2			III 3/4L			I L/4			II L/2			III 3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.1		51.0	8.0		50.9	8.0		50.9	8.0			8.0			7.9		
200 Kg	9.0		53.1	8.8		52.8	8.8		52.8	8.9			8.8			8.8		
400 Kg	9.8		55.0	9.8		54.9	9.8		54.9	9.8			9.8			9.8		
600 Kg	11.1		57.7	11.0		57.6	11.0		57.6	11.1			11.0			11.0		
1000 Kg	13.1		62.8	13.1		62.8	13.1		62.8	13.1			13.1			13.0		
1400 Kg	14.4		65.5	14.4		65.5	14.4	35.4	14.4	14.4			14.4	65.6	14.4			
1800 Kg	15.3	37.0	67.5	15.4		67.6	15.3	37.0	65.5	15.4	37.1	67.7	15.4			15.4		
2700 Kg	17.6	40.7	72.5	17.6		72.5	17.6	40.7	72.5	17.6			72.0	17.6	72.0	17.6		72.1
3600 Kg	19.4	43.9	76.6	19.3		76.5	19.3	43.9	76.5	19.3			76.2	19.3	76.2	19.4	43.8	76.2

Diametro: 25 mm																		
Posizione Accelerometro: Accelerometro 3 3/4 L																		
Metodo di eccitazione	Martello									Spostamento iniziale								
Punto di Eccitazione	I L/4			II L/2			III 3/4L			I L/4			II L/2			III 3/4L		
Tiro Modo di vibrare	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100 Kg	8.3	24.0	51.3	8.4		51.3	8.3	23.9	51.2	8.0	22.6		8.3			8.3	23.9	
200 Kg	8.8	25.3	52.7	8.8		52.7	8.8	25.3	52.8	8.7			8.8			8.7	25.2	
400 Kg	10.0	27.6	55.4	10.0		55.3	9.9	27.4	55.2	10.1			9.9			9.8		
600 Kg	11.0	29.2	57.5	11.0		57.6				11.0			11.0					
1000 Kg	13.1	33.3	62.9	13.1		62.9	13.1	33.2	62.8	13.1			13.1			13.1	33.2	
1400 Kg	14.4	35.4	65.5	14.4	35.4	65.5	14.4	35.4	65.5	14.4	35.4		14.4	35.4	65.6	14.4	35.4	
1800 Kg	15.4	37.1	67.7	15.4	37.1	67.6	15.4	37.1	67.6	15.4	37.1	67.7	15.4	37.1	67.6	15.4	37.1	67.6
2700 Kg	17.6	40.7	72.5	17.6	40.7	72.5	17.6	40.7	72.5				17.6	40.5	72.0			
3600 Kg	19.4	43.9	76.6	19.2	43.9	76.5	19.3	43.9	76.5	19.3	44.0	76.2	19.3		76.2	19.4	43.8	76.2

• **Misurazioni ottenute dal Setup 2:**

Diametro 25 mm						
Metodo di eccitazione: Martello; Posizione L/4.						
Segnale n°	Tiro [kg]	f ₁ Estensimetro [Hz]	f ₁ accelerometro [Hz]	f ₁ trasd. spost. [Hz]	f ₂ Estensimetro [Hz]	f ₂ accelerometro [Hz]
1	2019	15.48	15.48	-	34.62	34.69
2	2018	15.48	15.48	-	34.62	34.62
3	2020	15.48	15.48	-	34.62	34.62
4	2021	15.48	15.48	-	34.62	34.62
5	2869	17.33	17.33	-	37.55	37.55
6	2871	17.33	17.33	-	37.55	37.55
7	2869	17.33	17.33	-	37.55	37.55
8	2872	17.33	17.33	-	37.55	37.55
9	1977	14.94	14.94	14.94	-	-
10	1975	14.89	14.89	14.89	-	-
11	1973	14.84	14.84	14.84	-	-
12	1974	14.94	14.89	14.84	-	-
13	2015	14.89	14.79	14.89	-	-
14	1974	14.94	14.74	14.84	-	-