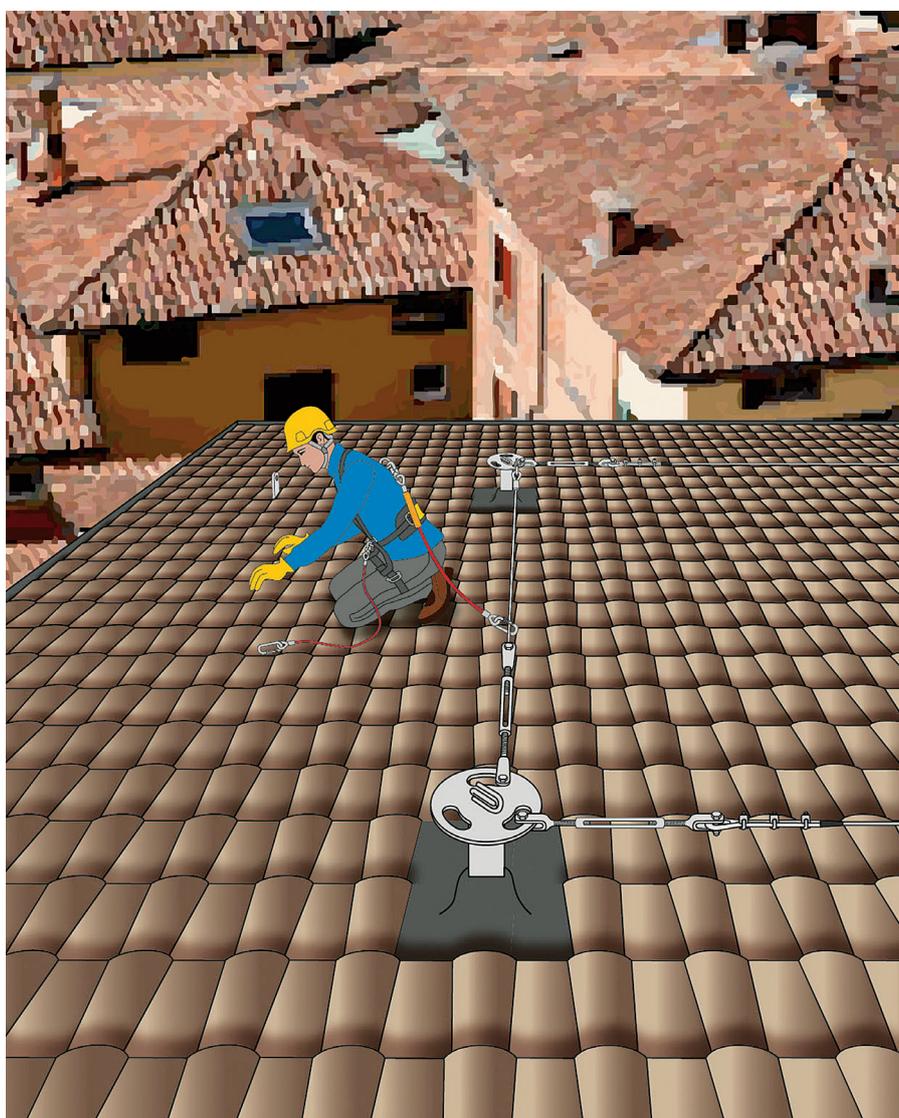


## Idoneità dell'assorbitore di energia in relazione al peso del lavoratore



**Idoneità dell'assorbitore di energia  
in relazione al peso del lavoratore**

Pubblicazione realizzata da

**INAIL**

Dipartimento innovazioni tecnologiche  
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici

**RESPONSABILE SCIENTIFICO**

Luca Rossi

**AUTORI**

Luca Rossi  
Luigi Cortis  
Francesca Maria Fabiani  
Davide Geoffrey Svampa

**COLLABORATORI**

Carlo Ratti  
Calogero Vitale

**OPERATORE TECNICO**

Ivano Bevilacqua

**contatti**

**INAIL-DIT**

Dipartimento innovazioni tecnologiche  
e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici  
Via di Fontana Candida, 1  
00040 Monte Porzio Catone (Roma)  
dit@inail.it  
**www.inail.it**

© 2016 INAIL  
ISBN 978-88-7484-502-6

Gli autori hanno la piena responsabilità delle opinioni espresse nella pubblicazione, che non vanno intese come posizioni ufficiali dell'Inail.

La pubblicazione viene distribuita gratuitamente e ne è quindi vietata la vendita nonché la riproduzione su qualsiasi mezzo. È consentita solo la citazione con l'indicazione della fonte.

# Indice

Introduzione	5
Premessa	7
<b>1. Definizioni</b>	<b>9</b>
<b>2. Riferimenti</b>	<b>11</b>
2.1 Cenni storici	11
2.2 Danni sul corpo umano conseguenti all'arresto caduta	12
2.3 UNI EN 355	13
<b>3. Analisi della caduta</b>	<b>14</b>
<b>4. Prove sperimentali</b>	<b>18</b>
4.1 Obiettivi	18
4.2 Disposizione e procedimento di prova	18
4.2.1 Descrizione delle prove	18
4.2.2 Descrizione delle attrezzature e delle apparecchiature di prova	23
4.2.2.1 Torsi di prova	23
4.2.2.2 Sistemi di arresto caduta	25
4.2.2.3 Sistema di misura, acquisizione, registrazione e analisi dei dati	29
4.2.2.4 Struttura metallica rigida	29
4.2.2.5 Sistema di sollevamento e sgancio	29
4.3 Acquisizione dei dati	31
4.3.1 Sistema di acquisizione	31
4.3.2 Convenzioni	31
4.4 Risultati sperimentali	32
4.4.1 Generalità	32
4.4.2 Grafici relativi ad accelerazioni e forze	32
4.4.3 Altezza di caduta frenata e allungamento del sistema di arresto caduta	43
4.4.4 Sintesi dei risultati	43
4.4.5 Parametri statistici	48
4.4.6 Considerazioni sui risultati	52
4.4.7 Sistemi di arresto caduta e normativa internazionale	54
4.3.8 Esperienze in altri paesi	54
<b>5. Conclusioni</b>	<b>56</b>
<b>Appendice</b>	<b>57</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>218</b>



## Introduzione

Il peso dei lavoratori che effettuano attività in quota nei cantieri edili e che utilizzano i sistemi di arresto caduta non è sempre lo stesso. Esso può essere diverso dai 100 kg previsti nella normativa tecnica europea e questo ha determinato l'interesse del CEN/TC 160, il Comitato Tecnico che si interessa dei DPI contro le cadute dall'alto [1].

Il problema di sicurezza è rilevante in quanto gli attuali assorbitori di energia vengono prodotti facendo riferimento alla norma UNI EN 355: 2003 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Assorbitori di energia, che prevede una massa di prova di 100 kg.

Studi teorici effettuati dal Laboratorio Cantieri temporanei o mobili del DIT nell'ultimo decennio [2], confermati da risultati sperimentali [3], mostrano che un assorbitore di energia, dimensionato per una massa di 100 kg, non garantisce, a parità di caduta libera, decelerazioni sopportabili dai normali lavoratori dell'industria, quando viene abbinato ad una massa molto minore di 100 kg, per esempio di 60 kg. Si possono raggiungere infatti decelerazioni di circa 8 o 9 g, lontani dai 6 g massimi, generalmente accettati a livello internazionale.

Il presente studio si propone di valutare il comportamento dell'assorbitore di energia durante la caduta frenata al variare della massa del torso.

A tal fine verrà valutata la sua idoneità a limitare l'accelerazione  $a$  e la forza frenante  $F_{max}$  esercitata dal sistema di collegamento.



## Premessa

Il rischio di caduta dall'alto può essere eliminato e/o ridotto attraverso l'impiego di idonei DPI (dispositivi di protezione individuale) quando non è possibile l'uso dei dispositivi di protezione collettiva.

I DPI contro le cadute dall'alto hanno la funzione di salvaguardare le persone attenuando gli effetti sul corpo umano di una possibile caduta.

L'elemento fondamentale che assolve a tale scopo è l'assorbitore componente del sistema progettato per dissipare l'energia cinetica sviluppata durante la caduta.

La norma di prodotto UNI EN 355 fornisce le caratteristiche dimensionali e meccaniche che l'assorbitore deve possedere; in essa viene assunto che il peso del lavoratore è pari a 100 kg e non è previsto che possa variare.

Nel presente studio viene considerata la possibilità che il peso del lavoratore possa essere differente e per comprendere come questa variazione possa influire sul comportamento dell'assorbitore sono state effettuate delle prove sperimentali.



## 1. Definizioni

### **Accelerazione**

Variazione della velocità rispetto al tempo, espressa in metri al secondo per secondo ( $m/s^2$ ). L'accelerazione viene espressa anche in unità "g", cioè in unità di accelerazione di gravità. Nel presente lavoro si considera positiva l'accelerazione dal basso verso l'alto.

### **Accelerazione di gravità (g)**

Accelerazione naturale a cui è sottoposto un grave durante la caduta libera (nessuna altra forza agente sul corpo se non quella dovuta alla attrazione della Terra). L'accelerazione di gravità varia da punto a punto della Terra, con l'altitudine e la latitudine, ma viene convenzionalmente fissata, ai fini dei calcoli, pari a  $9,81 m/s^2$  uguale a 1g (altitudine 0 e latitudine  $45,5^\circ$ ).

### **Numero di g: n**

Fattore con il quale si esprime l'accelerazione in unità g.  $a = ng$  significa che l'accelerazione è pari a n volte l'accelerazione di gravità.

### **Accelerazione del torso di prova: a (g)**

Accelerazione che assume il torso durante la prova di caduta espressa in unità g.

### **Accelerazione misurata: $a_{mis}(g)$**

Accelerazione del torso misurata con l'accelerometro espressa in unità g. L'accelerometro restituisce il valore pari a  $a_{mis}=1 g$  quando un corpo è in quiete ( $a = 0 g$ ). L'accelerometro restituisce il valore pari a  $a_{mis} = 0 g$  quando un corpo è in caduta libera ( $a = -1g$ ). Sussiste la relazione  $a = a_{mis}-1g$  tra l'accelerazione effettiva del torso e l'accelerazione misurata dall'accelerometro.

### **Caduta libera ( $h_{cl}$ )**

Spazio percorso dal lavoratore sotto l'azione della sola gravità, a partire dal punto di inizio caduta, fino al punto in cui il sistema di arresto caduta prende il carico.

### **Caduta frenata ( $h_{cf}$ )**

Spazio percorso dal lavoratore, a partire dal punto in cui il sistema di arresto caduta prende il carico, fino al punto dell'arresto verticale completo, con esclusione delle oscillazioni.

### **Distanza di arresto o caduta totale (h)**

Spazio percorso dal lavoratore a partire dal punto di inizio caduta fino al punto dell'arresto verticale completo, con esclusione delle oscillazioni, dato dalla somma della caduta libera e della caduta frenata:  $h = h_{cl} + h_{cf}$

### **Tirante d'aria o spazio libero di caduta in sicurezza**

Spazio libero disponibile in sicurezza, a partire dal punto di caduta del lavoratore, necessario a compensare sia la caduta libera che tutti gli allungamenti/deformazioni del sistema di ancoraggio e del sistema di arresto caduta, senza che il lavoratore urti contro ostacoli durante la caduta e che comprende anche eventuali margini di sicurezza.

### **Fattore di caduta**

Rapporto fra la caduta libera e la lunghezza iniziale del sistema di collegamento tra l'imbragatura ed il punto di ancoraggio. Il sistema di collegamento, per esempio, può essere costituito dal solo cordino o dal cordino più l'assorbitore di energia. Il fattore massimo fattore di caduta è 2: in questo caso si ha che la caduta libera è pari a due volte la lunghezza del sistema di collegamento. Il fattore di caduta è di derivazione alpinistica e viene citato a solo titolo informativo.

**Forza frenante ( $F_{max}$ )**

Forza massima espressa in kilonewton (kN), misurata sul punto di ancoraggio o sulla linea di ancoraggio durante la caduta frenata. Essa è esercitata dal sistema di collegamento e dipende principalmente dalle caratteristiche dell'assorbitore di energia.

**Sistema di arresto caduta**

Sistema di protezione individuale dalle cadute che limita la forza d'urto sul corpo del lavoratore durante l'arresto caduta

**Sistema di collegamento**

Sistema che collega l'imbragatura per il corpo al punto di ancoraggio generalmente costituito da due connettori, un cordino ed un assorbitore di energia

**Cordino**

Elemento di collegamento o componente di un sistema di arresto caduta. Un cordino può essere costituito da una corda di fibra sintetica, una fune metallica, una cinghia o una catena. [EN 354]

**Assorbitore di energia**

Elemento o componente di un sistema di arresto caduta che è progettato per dissipare l'energia cinetica sviluppata durante la caduta dall'alto. [EN 355]

**Connettore**

Elemento di collegamento o componente di un sistema di arresto caduta dotato di sistema di chiusura automatico e sistema di bloccaggio automatico o manuale. [EN 362]

**Imbragatura per il corpo**

Componente di un sistema di arresto caduta che ha lo scopo di sostenere e tenere tutto il corpo di una persona durante e dopo l'arresto della caduta. L'imbragatura per il corpo può comprendere cinghie, accessori, fibbie o altri elementi opportunamente montati e regolati a tal fine.

**Jolt**

Variazione dell'accelerazione rispetto al tempo. Nella caduta frenata si ha una rapida decelerazione per effetto del sistema di arresto caduta. Il Jolt è usato per indicare quanto rapidamente si raggiunge il picco della decelerazione a partire dalla fine della caduta libera. È espresso in  $a_{mis}/s$  (rapporto fra l'accelerazione misurata e l'intervallo di tempo fra la fine della caduta libera e il picco della decelerazione) oppure in  $m/s^3$ .

## 2. Riferimenti

### 2.1 Cenni storici

La protezione dei lavoratori contro le cadute dall'alto è stata disciplinata in Italia dal DPR 547/55 che indicava gli adempimenti di massima riguardanti le scale, i ponti sospesi, i parapetti, i macchinari e le palificazioni, e imponeva l'obbligo di usare le "cinture di sicurezza" (art. 386) negli interventi che espongono i lavoratori a "pericolo di caduta dall'alto o entro vano o che devono prestare la loro opera all'interno di pozzi, cisterne e simili" (art. 386).

Ulteriori richiami in materia erano presenti nel DPR n. 164/56 sulla prevenzione degli infortuni nelle costruzioni ove, per la prima volta, venivano specificati gli elementi costitutivi del presidio e l'obbligo di ricorrere alle cinture di sicurezza nell'effettuare lavorazioni in posizione sopraelevata o entro cavità (art. 10).

In sede europea, per perseguire gli obiettivi riguardanti la salute e la sicurezza dei lavoratori sono state emanate due direttive, una di prodotto, la 89/686/CEE riguardante la progettazione e la commercializzazione dei dispositivi di protezione individuale (DPI), e una sociale, la 89/656/CEE che ha come obiettivo il loro corretto utilizzo.

Con l'emanazione del Decreto del Ministero del Lavoro e della Previdenza Sociale del 22 maggio 1992, n. 466 "Regolamento recante il riconoscimento di efficacia di un sistema individuale per gli addetti al montaggio ed allo smontaggio dei ponteggi metallici", il legislatore ribadisce l'obbligo di indossare una cintura di sicurezza di tipo speciale, comprendente sia l'imbragatura sia l'organo di trattenuta provvisto di freno a dissipazione di energia. Di notevole rilevanza appare inoltre il dettaglio delle modalità di condotta delle prove di qualificazione unitamente ai criteri di valutazione dei risultati. La condotta dei test richiede, per le prove statiche e dinamiche dell'imbragatura, un idoneo manichino antropomorfo nonché una speciale attrezzatura provvista di meccanismi di ritegno e di sgancio per l'ancoraggio e la sospensione di una massa rigida di 100 kg.

L'entrata in vigore del D.Lgs. 475/92 "Attuazione della direttiva 89/686/CEE del Consiglio del 21 dicembre 1989, in materia di ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative ai dispositivi di protezione individuale", classifica "i DPI destinati a salvaguardare dalle cadute dall'alto" come dispositivi di terza categoria e cioè quelli di progettazione complessa destinati a salvaguardare la persona da rischi di morte o di lesioni gravi a carattere permanente.

A livello locale è certamente importante l'emanazione della Legge Regionale n. 64 del 23 dicembre 2003, della Regione Toscana, che per la prima volta in Italia legifera in materia di DPI anticaduta e di ancoraggi. Rifacendosi alle linee guida dell'ISPESL [4], allegate alla legge, La Legge Regionale dispone che tutti gli interventi di nuove costruzioni, ristrutturazioni ed ampliamenti in edilizia, nonché le semplici manutenzioni in copertura o installazioni di impianti tecnici, telematici, fotovoltaici, devono presentare caratteri tali da eliminare il rischio di caduta dall'alto, fornendo un sistema di ancoraggio permanente e sicuro per i lavoratori che operano sul tetto. La legge prevede che il rispetto dei requisiti di sicurezza deve essere garantito da un'apposita attestazione del progettista, da prodursi a corredo della DIA presentata per dar corso ai lavori. L'attestazione dovrà contenere oltre ad un elaborato planimetrico, sul quale vengono individuati i punti di installazione dei dispositivi di ancoraggio, l'indicazione dell'accesso in copertura e le modalità di transito sulla stessa, anche le certificazioni relative ai prodotti installati, le dichiarazioni di conformità e corretta installazione, una copia dell'autorizzazione ad installare rilasciata dal produttore dei dispositivi e l'attestazione che gli installatori sono in grado di eseguire lavori secondo quanto specificato all'interno delle linee guida ISPESL per l'esecuzione di lavori temporanei in quota.

Il D.Lgs. 81/08 nei Titoli III e IV ha ulteriormente disciplinato la materia riguardante l'utilizzo e le caratteristiche che debbono possedere i sistemi di arresto caduta.

I DPI (art. 76 Requisiti) devono:

- a) essere adeguati ai rischi da prevenire, senza comportare di per sè un rischio maggiore;
- b) essere adeguati alle condizioni esistenti sul luogo di lavoro;
- c) tenere conto delle esigenze ergonomiche o di salute del lavoratore;
- d) poter essere adattati all'utilizzatore secondo le sue necessità.

Gli obblighi del datore di lavoro e dei lavoratori sono indicati negli artt. 77 e 78.

L'articolo 77 (Obblighi del datore di lavoro) prevede al comma 1 che il datore di lavoro ai fini della scelta dei DPI:

- a) effettua l'analisi e la valutazione dei rischi che non possono essere evitati con altri mezzi;
- b) individua le caratteristiche dei DPI necessarie affinché questi siano adeguati ai rischi di cui alla lettera a), tenendo conto delle eventuali ulteriori fonti di rischio rappresentate dagli stessi DPI;
- c) valuta, sulla base delle informazioni e delle norme d'uso fornite dal fabbricante a corredo dei DPI, le caratteristiche dei DPI disponibili sul mercato e le raffronta con quelle individuate alla lettera b);
- d) aggiorna la scelta ogni qualvolta intervenga una variazione significativa negli elementi di valutazione.

Il datore di lavoro, sulla base delle indicazioni del decreto di cui all'articolo 79, comma 2, fornisce ai lavoratori DPI conformi ai requisiti previsti dall'articolo 76. Nell'allegato VIII è presente un elenco delle attività e dei settori di attività per le quali può rendersi necessario mettere a disposizione DPI (punto 3.9 Attrezzatura di protezione anticaduta – Imbracature di sicurezza) e delle indicazioni non esaurienti per la loro valutazione (punto 4.9 Dispositivi di protezione contro le cadute dall'alto - Rischi da cui proteggere).

Il datore di lavoro assicura la formazione adeguata e organizza lo specifico addestramento obbligatorio circa l'uso corretto e l'utilizzo pratico dei DPI contro le cadute dall'alto in quanto appartenenti alla terza categoria.

I lavoratori si sottopongono al programma di formazione e addestramento organizzato dal datore di lavoro e utilizzano i DPI messi a loro disposizione conformemente all'informazione, alla formazione e all'addestramento ricevuto (art.78)

I DPI destinati alla protezione dei lavoratori contro le cadute dall'alto sono disciplinati dall'art. 115 (Sistemi di protezione contro le cadute dall'alto) comma 1. "Nei lavori in quota qualora non siano state attuate misure di protezione collettiva come previsto all'articolo 111, comma 1, lettera a), è necessario che i lavoratori utilizzino idonei sistemi di protezione composti da diversi elementi quali...:

- a) assorbitori di energia;
- b) connettori;
- c) dispositivo di ancoraggio;
- d) cordini;
- e) dispositivi retrattili;
- f) guide o linee vita flessibili;
- g) guide o linee vita rigide;
- h) imbracature".

## **2.2 Danni sul corpo umano conseguenti all'arresto caduta**

Sui possibili danni derivanti dall'intervento dei sistemi di arresto caduta sono presenti in letteratura pubblicazioni provenienti soprattutto da ricerche e prove a carattere medico della NASA (National Aeronautics and Space Administration) e della AGARD (Advisory Group for Aerospace and Development). Tali ricerche sono state sviluppate principalmente tra gli anni 1950 e 1960, ma non mancano risultati significativi anche negli anni successivi. I lavori provengono dal settore

aerospaziale e sottolineano grossi rischi localizzati nell'area delle vertebre cervicali, toraciche e lombari; inoltre identificano danni agli organi interni alle alte decelerazioni lungo la direzione piedi-testa [5].

Gli studi furono effettuati considerando imbracature avvolgenti l'intero corpo (presa del corpo attraverso spalle e cosce): con l'uso di imbracature tipiche da paracadute, NASA/AGARD indicarono un 5% di probabilità di danno con una accelerazione di 12 g circa.

Alcuni di questi lavori furono successivamente esaminati da un gruppo di lavoro del CEN (European Committee for Standardization) che li utilizzò per fissare in 6 kN la massima forza di arresto per un dispositivo di arresto caduta utilizzato da un lavoratore dell'industria indossante imbracature specifiche, tenendo conto dei seguenti fattori:

- differenza nel tipo di imbracature usate, in quanto quelle da paracadutismo fasciano una parte del torso più grande rispetto quelle di uso industriale;
- minore preparazione fisica alle sollecitazioni da parte dei lavoratori dell'industria;
- larga fascia di età nei lavoratori dell'industria con età media più elevata rispetto a militari e sportivi;

Una imbragatura ben avvolgente il corpo riduce gli effetti delle decelerazioni nell'arresto della caduta. La letteratura scientifica riporta che, per un corpo ben sostenuto da una imbragatura, le vertebre presentano una migliore resistenza, in quanto la massa muscolare e i tessuti del corpo forniscono un supporto idoneo ad azioni agenti per brevi periodi di tempo. Inoltre, una colonna vertebrale sollecitata con una forza frenante il più allineata con la verticale [6] [7], presenta un minore rischio di danno: infatti quando l'individuo non è ben imbracato o il corpo forma un elevato angolo con la verticale [4], il rischio di flessione della spina dorsale è maggiore. Pertanto il carico dovuto alla rapida frenata, deve essere distribuito, per quanto possibile, sulla massima area del corpo, per evitare concentrazioni di forze con il risultato di sottoporre il corpo a sollecitazioni di flessione e taglio. Il carico dovrebbe essere trasmesso per quanto possibile direttamente allo scheletro, preferibilmente via struttura pelvica e non via colonna vertebrale.

Ulteriori rischi sono a carico degli organi interni a causa della loro inerzia durante l'arresto. La spina dorsale è trattenuta dalla massa muscolare, ma il cuore, i polmoni, l'intestino e gli altri organi formano un insieme, contenuto nella gabbia toracica, libero di muoversi come in sospensione e che risulta più influenzato dagli effetti del jolt.

Fisicamente il jolt rappresenta la rapidità con cui l'assorbitore dissipa l'energia di caduta. Una decelerazione molto rapida produce seri danni al corpo. Il corpo umano può tollerare livelli di jolt molto alti per brevissimi periodi di tempo: il jolt crea danni consistenti quando la sua durata e la sua ampiezza crescono [8].

## 2.3 UNI EN 355

La UNI EN 355: 2003 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Assorbitori di energia al punto 4.4 individua il requisito dinamico che l'assorbitore deve soddisfare. Esso è relativo alla forza frenante  $F_f$  che non deve essere maggiore di 6 kN in corrispondenza di una distanza di arresto  $h$  inferiore a  $(2L_t + 1,75 \text{ m})$ , dove per  $L_t$  si intende la lunghezza del cordino più l'assorbitore.

La prova sperimentale per la determinazione della forza frenante  $F_f$  deve essere effettuata come indicato al punto 5.3.4.1 della UNI EN 364: 1992 utilizzando una massa di acciaio rigida o un torso di prova di 100 kg.

La norma UNI EN 355 fissa dunque dei limiti per i fattori che intervengono nel descrivere la dinamica di un arresto della caduta utilizzando una massa di 100 kg: la forza frenante  $F_{max}$  e la caduta totale  $h$ , data dalla somma della caduta libera  $h_{cl}$  e della caduta frenata  $h_{cf}$ .

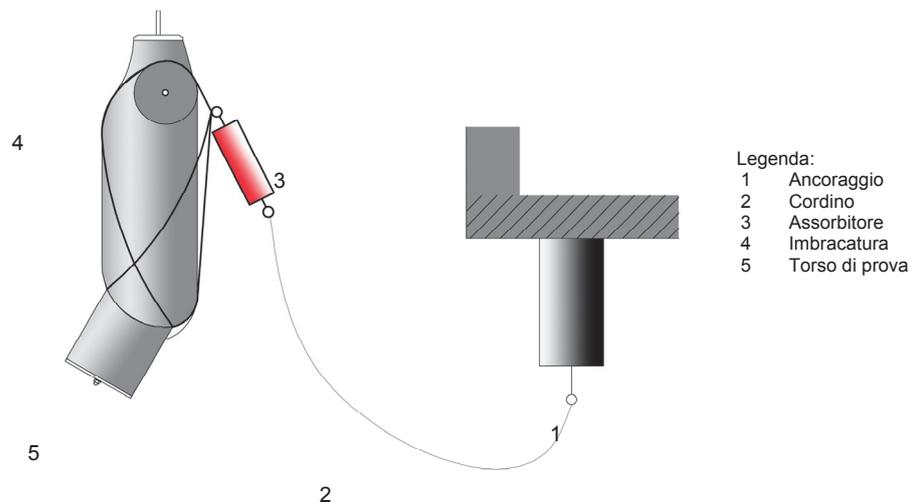
### 3. Analisi della caduta

Il corpo umano in caduta può essere schematizzato come un corpo rigido di massa  $m$  dotato di imbragatura di sicurezza.

La caduta può essere suddivisa in quattro fasi denominate fase 1, fase 2, fase 3 e fase 4.

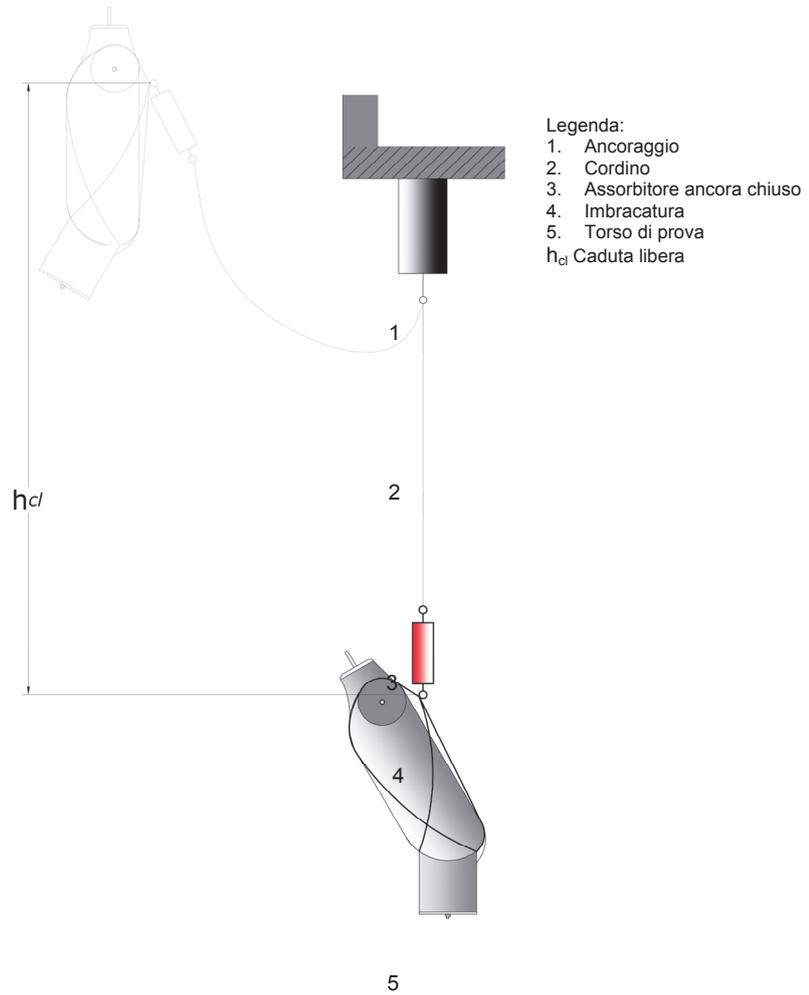
*Fase 1: corpo in posizione di riposo in quota.*

Il corpo sospeso all'ancoraggio è in quiete e il sistema di collegamento di opportuna lunghezza non è teso; tale posizione costituisce il riferimento per la misura della caduta libera.



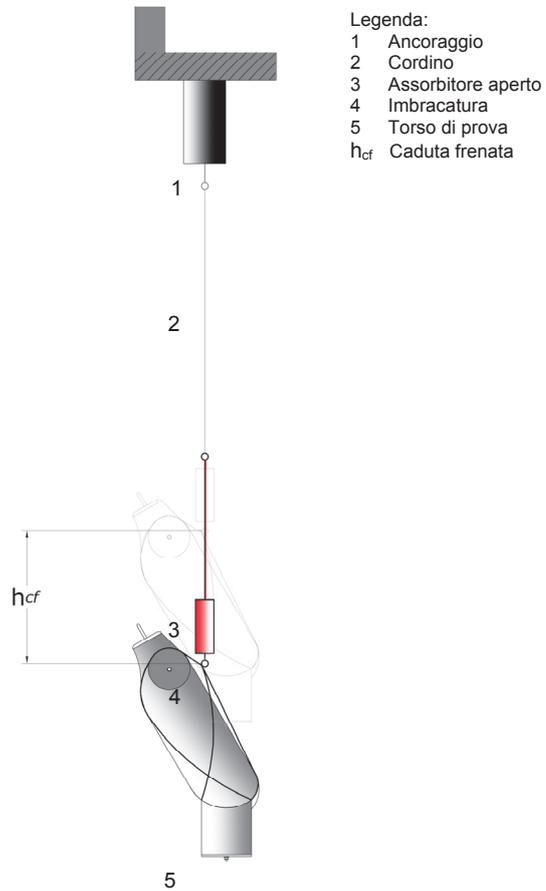
*Fase 2: corpo in caduta libera.*

Il corpo si muove lungo una traiettoria verticale con moto uniformemente accelerato con accelerazione  $a=g$  verso il basso. Il corpo percorre in caduta libera una altezza pari a  $h_{cl}$ .



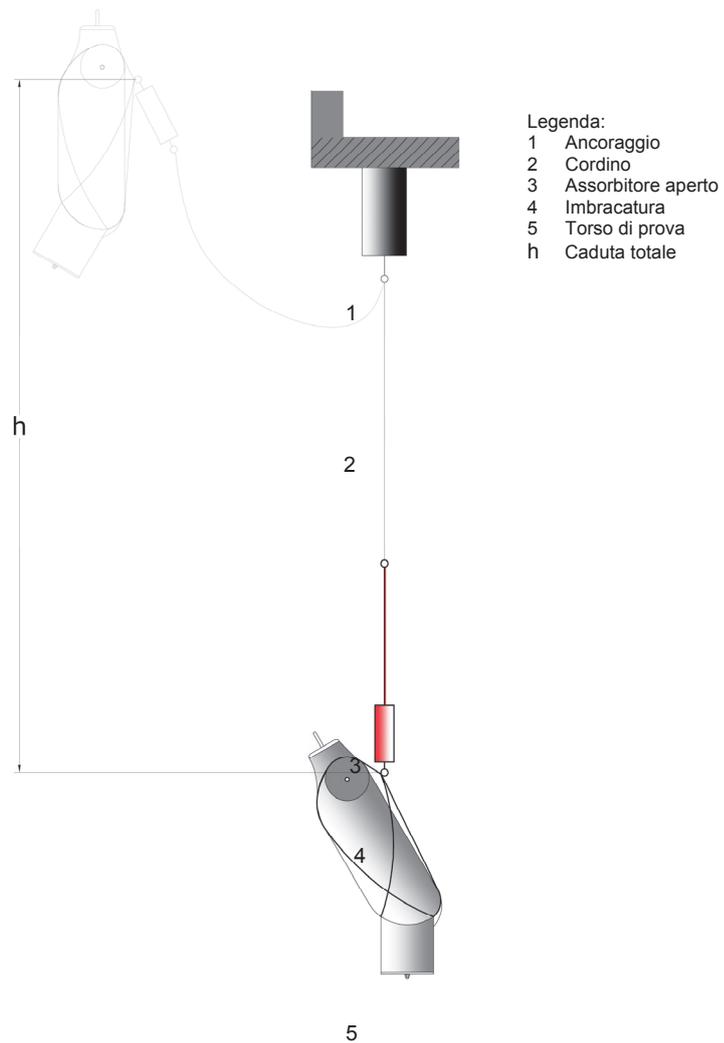
*Fase 3: corpo in caduta frenata.*

Il sistema di collegamento prende il carico del corpo e si tende. Il corpo è in caduta frenata per un'altezza pari a  $h_{cf}$ .



Fase 4: Corpo in quiete dopo la caduta, il corpo è appeso al cordino.

Dopo aver percorso un'altezza pari a  $h = h_{cl} + h_{cf}$  dal punto di caduta, il corpo è fermo.



## 4. Prove sperimentali

### 4.1 Obiettivi

L'obiettivo della sperimentazione è di verificare che nei tests di arresto caduta, avendo fissato una caduta libera  $h_{cl}$  e impiegando masse di prova differenti, oltre a quella pari a 100 kg come previsto dalla UNI EN 355:2003, variano le seguenti grandezze:

- $a = ng$ , la massima decelerazione della massa durante la caduta frenata;
- $F_{max}$ , la forza frenante.

Ulteriore obiettivo è quello di valutare la variazione delle stesse grandezze anche al variare della caduta libera  $h_{cl}$ .

### 4.2 Disposizione e procedimento di prova

#### 4.2.1 Descrizione delle prove

Le prove consistono nella caduta di un torso di massa  $m$  da una certa quota, collegato ad un punto di ancoraggio fisso mediante un sistema di arresto caduta.

Scelto un sistema di arresto caduta (indicato con F o I) e fissata una caduta libera  $h_{cl}$ , le prove sono state eseguite utilizzando 4 masse differenti (60, 80, 100 e 120 kg). Per ogni massa utilizzata, è stata eseguita la caduta per 4 valori della caduta libera  $h_{cl}$  ( $h_{cl} = 4, 3, 2$  e  $1m$ ). Ogni prova, fissata la massa e fissata l'altezza, è stata ripetuta per 5 volte. In totale, per ogni massa, sono stati eseguiti 20 test di caduta (5 test per ognuna delle 4 cadute scelte); per ogni sistema di arresto caduta (F o I) sono stati eseguiti 80 test di caduta (20 test per ognuna delle 4 masse utilizzate).

In ogni prova il torso è stato equipaggiato a terra con il sistema di arresto caduta (imbragatura, assorbitore, cordino e connettori), con gli strumenti di misura e acquisizione dell'accelerazione del torso e della forza frenante.

È stata rilevata la quota  $h_1$  del punto di attacco dell'imbragatura al sistema di collegamento, rispetto al terreno, nella condizione di equilibrio prima della caduta (torso appeso all'ancoraggio, collegato al sistema di arresto caduta: Fase 0, vedi figura 4.2.1-5)

Successivamente il torso è stato sollevato in quota con il dispositivo di sollevamento e sgancio di tipo elettromagnetico, assicurato all'imbragatura.

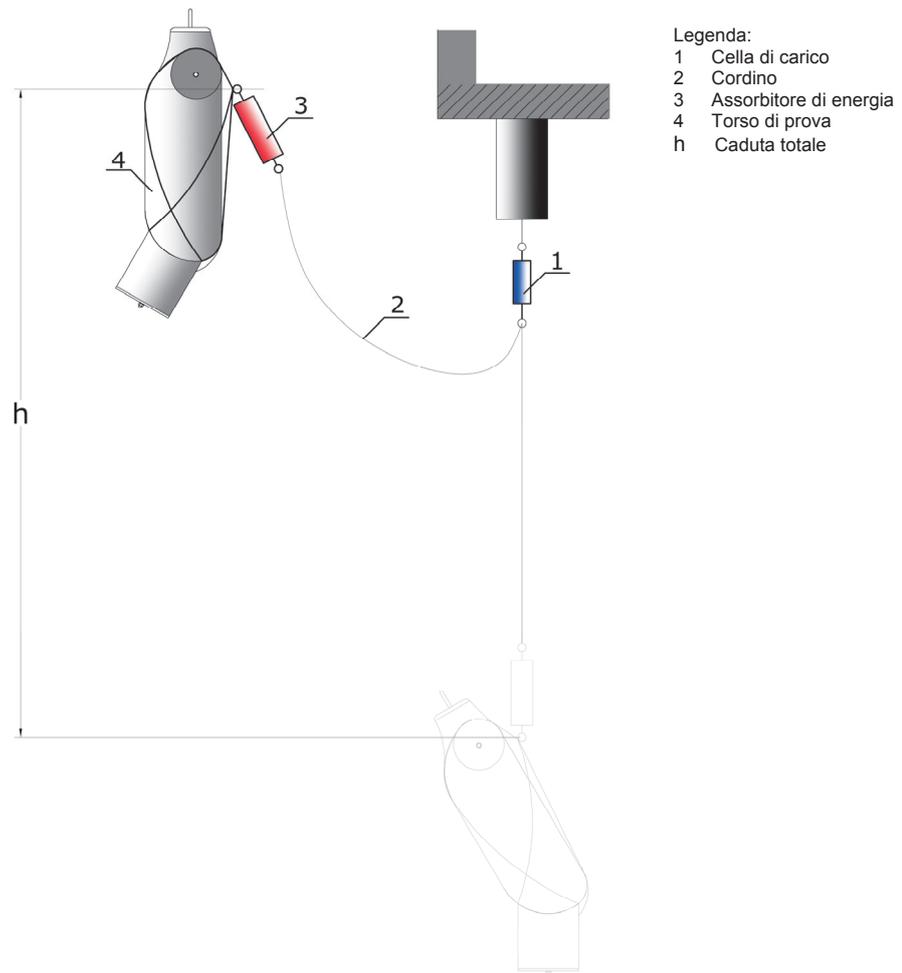


Figura 4.2.1-1 Convenzione utilizzata per descrivere le accelerazioni



Figura 4.2.1-2 Vista posteriore del torso di prova

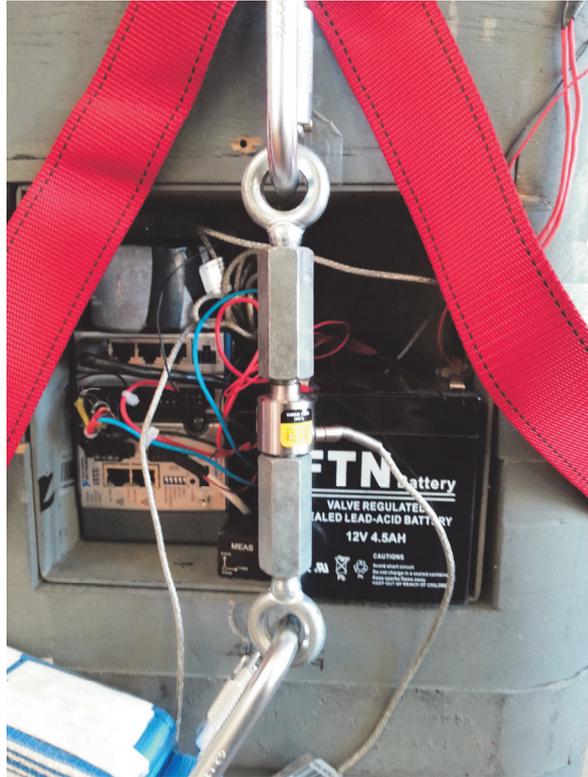


Figura 4.2.1-3 Vista posteriore del torso di prova (particolare)



Figura 4.2.1-4 Vista anteriore

Il sistema di arresto caduta è stato collegato al punto di ancoraggio fisso; è stato quindi effettuato lo sgancio.

Dopo ogni caduta, con il torso sospeso e fermo nella posizione finale di equilibrio, è stata misurata la quota  $h_2$  del punto di attacco dell'imbragatura al sistema di collegamento (vedi figura 4.2.1-5). La differenza  $(h_1 - h_2)$  rappresenta l'allungamento del sistema di collegamento dopo la caduta.

Il sistema di acquisizione è stato configurato per attivarsi automaticamente con lo sgancio del torso ed effettuare la registrazione della forza frenante e delle accelerazioni del torso per tutta la durata del fenomeno.

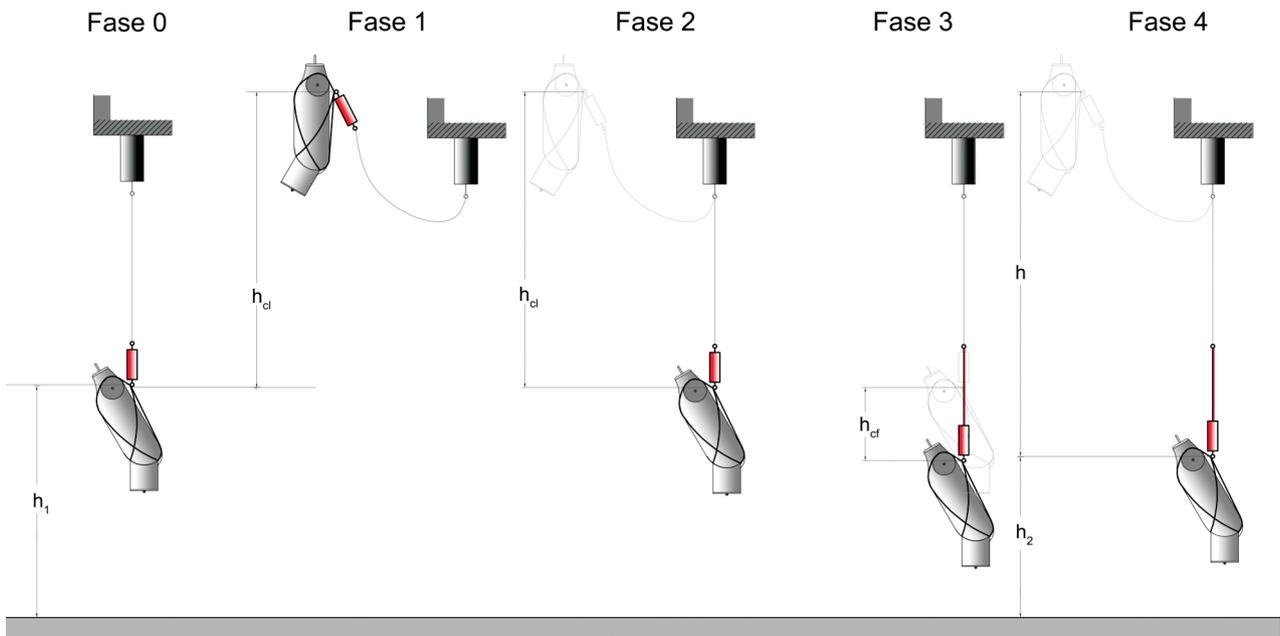


Figura 4.2.1-5 Fasi di prova



Figura 4.2.1-6 Posizione iniziale (Fase 1)



Figura 4.2.1-7 Posizione iniziale (Fase 1)



Figura 4.2.1-8 Posizione iniziale (Fase 1)



Figura 4.2.1-9 Posizione finale (Fase 4 - si noti l'assorbitore svolto)

#### 4.2.2 Descrizione delle attrezzature e delle apparecchiature di prova

Per la esecuzione delle prove di caduta sono state utilizzate le seguenti attrezzature e apparecchiature:

- due torsi di prova con massa di 60 kg e 100 kg, incrementabile rispettivamente a 80 kg e a 120 kg;
- due sistemi di arresto caduta (F e I);
- un sistema di misura, di acquisizione, registrazione e analisi dei dati;
- una struttura metallica rigida;
- un sistema di sollevamento e sgancio.

##### 4.2.2.1 Torsi di prova

I due torsi di prova sono stati realizzati in conformità a quanto previsto nella UNI EN 364 ad eccezione della massa in quanto la stessa norma prevede solo quella di 100 kg. I torsi sono in legno e con il baricentro CG posto a 200 mm dalla parte inferiore. Il soddisfacimento di tale requisito è stato ottenuto tramite il posizionamento di idonee masse di piombo nelle zone opportune (collo, braccia, gambe). Nel torso da 100/120 kg è stata posizionata una massa aggiuntiva avente il baricentro coincidente con quello del torso. Per verificare la correttezza della realizzazione è stato effettuato il bilanciamento dei due torsi.

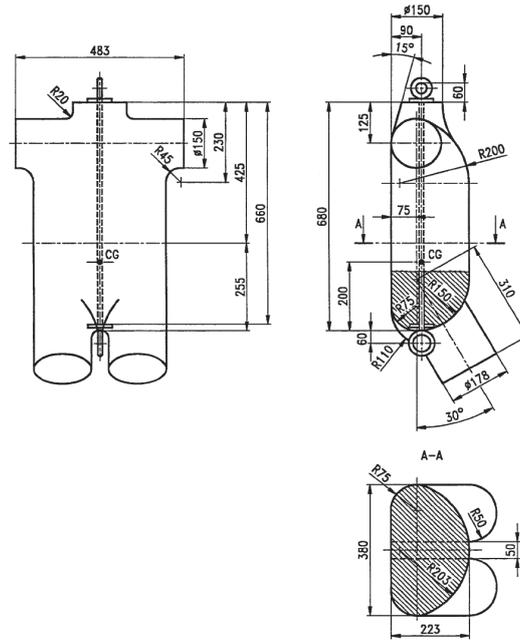


Figura 4.1.2-1 Torso di prova (dimensioni tratte dalla UNI EN 364)

Nella parte dorsale dei due torsi è stato ricavato un vano per l'alloggiamento del sistema di acquisizione e registrazione dati.

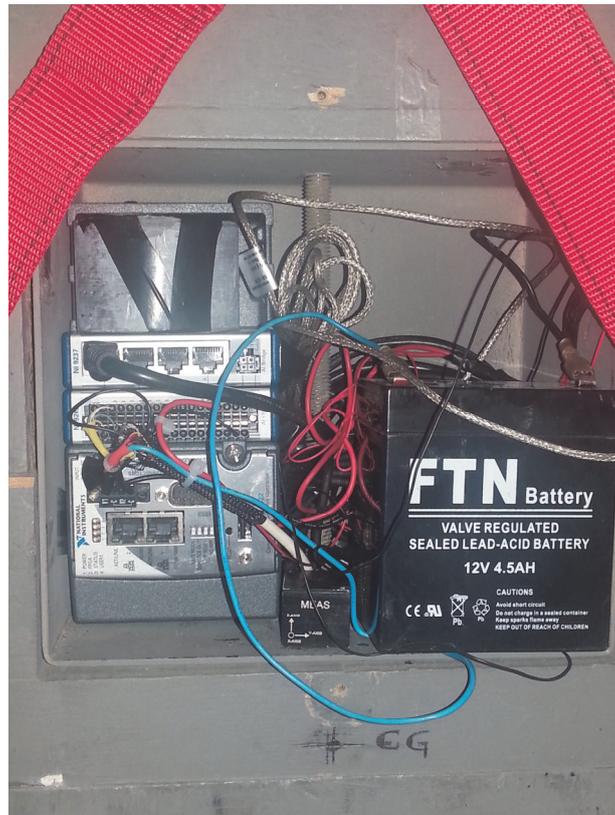


Figura 4.1.2-2 Sistema di registrazione

#### 4.2.2.2 Sistemi di arresto caduta

I sistemi di arresto caduta utilizzati sono costituiti da una imbragatura per il corpo e da un sistema di collegamento al punto di ancoraggio.

Sono stati utilizzati sistemi di arresto caduta prodotti da due diversi fabbricanti. Per ogni fabbricante è stato utilizzato un solo tipo di sistema di arresto caduta. L'identità dei fabbricanti è mantenuta nascosta e simbolicamente indicata con F e I.

Il sistema di collegamento impiegato è costituito da un cordino (EN 354), da un assorbitore di energia (EN 355) e da quattro connettori (EN 362). Il sistema di collegamento è dunque composto da una parte flessibile (cordino più assorbitore) e da una parte rigida (connettori).

La lunghezza del sistema di collegamento è pari a m 1,85 utilizzando componenti del fabbricante F e del fabbricante I.

In particolare la lunghezza del cordino del fabbricante F è pari a 1 metro mentre quella del fabbricante I è 1,5 metri regolato ad 1 metro.



Figura 4.2.2.2-1 Sistema di collegamento F



Figura 4.2.2.2-2 Sistema di collegamento I



Figura 4.2.2.2-3 Assorbitore F



Figura 4.2.2.2-4 Assorbitore I



Figura 4.2.2.2-5 Torso strumentato con sistema di arresto caduta F



Figura 4.2.2.2-6 Torso strumentato con sistema di arresto caduta I

#### 4.2.2.3 Sistema di misura, acquisizione, registrazione e analisi dei dati

Per l'esecuzione dei test sono stati utilizzati:

- un accelerometro triassiale Measurement Specialities modello 4630 montato sul tronco del torso di prova con range  $\pm 20$  g;
- una cella di carico Futek modello LC500 da 9 kN applicata in corrispondenza dell'attacco dorsale dell'imbragatura.

Il torso di prova contiene al suo interno il sistema CompactRio della National Instrument montato su chassis a 4 canali e alimentato con batteria al piombo da 12,5 V 4,5 Ah, a cui sono collegati i trasduttori - accelerometro e cella di carico - sopra elencati; il sistema ha frequenza di campionamento pari a 50 kS ed è fornito di software di analisi dati, denominato "Leggi Prova" installato su pc.

#### 4.2.2.4 Struttura metallica rigida

La struttura metallica rigida, realizzata in carpenteria metallica costituita da travi e pilastri HE, permette l'ancoraggio e la sospensione del torso, di altezza e dimensioni laterali tali da consentire al torso in caduta libera di non impattare contro il suolo o contro la struttura metallica stessa.

#### 4.2.2.5 Sistema di sollevamento e sgancio

Il sistema di sollevamento e di sgancio rapido del torso di tipo elettromagnetico consente la caduta libera, senza apprezzabile velocità iniziale.



Figura 4.2.2.5-1 Attrezzatura di prova



Figura 4.2.2.5-2 Attrezzatura di prova - particolare del punto di ancoraggio fisso

## 4.3 Acquisizione dei dati

### 4.3.1 Sistema di acquisizione

Il sistema di acquisizione CompactRIO è composto da un controller embedded per la comunicazione e l'elaborazione, uno chassis nel quale è alloggiato il chip FPGA (field programmable gate array), i moduli di ingresso/uscita a caldo e il software LabVIEW.

Un controller embedded identifica genericamente un sistema elettronico di elaborazione a microprocessore progettato appositamente per una determinata applicazione non riprogrammabile dall'utente per altri scopi.

Il chip FPGA è programmabile dall'utente ed offre la possibilità di implementare un hardware personalizzato per controllo ad alta velocità, elaborazione dati inline oppure per temporizzazione e triggering complessi.

LabVIEW è un software che include strumenti basati sulla configurazione e funzioni di programmazione avanzate per lo sviluppo di applicazioni di controllo, analisi e misura.

Per l'esecuzione dei test di caduta è stata creata un'applicazione software specifica, denominata codice, in ambiente LabVIEW in grado di gestire il test garantendo la ripetibilità e la riproducibilità dei risultati.

I dati in uscita dal sistema CompactRIO (che non possono essere analizzati dallo stesso) vengono trasferiti ad un software specifico per la lettura e l'elaborazione, ideato allo scopo, denominato "Leggi prova".

### 4.3.2 Convenzioni

Le convenzioni utilizzate per descrivere le accelerazioni sono mostrate nella figura ed evidenziate nella tabella che seguono:

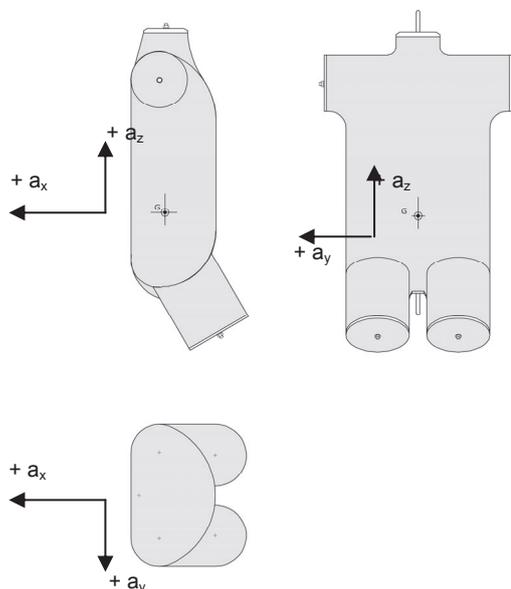


Figura 4.3.2-1 Convenzione utilizzata per descrivere le accelerazioni (convenzione centro del corpo)

convenzione (centro del corpo)	direzione accelerazione
+ $a_x$	da davanti
- $a_x$	da dietro
+ $a_z$	da sotto
- $a_z$	da sopra
+ $a_y$	da sinistra
- $a_y$	da destra

Tabella 4.3.2-2 Descrizione accelerazioni (convenzione centro del corpo)

## 4.4 Risultati sperimentali

### 4.4.1 Generalità

Per ogni sistema di arresto caduta utilizzato (F o I), le prove sono state eseguite per tutte le altezze di caduta libera ( $h_{cl} = 4, 3, 2, 1$  m) e per tutte le masse (60, 80, 100, 120 kg). Ogni prova è stata ripetuta 5 volte.

La massima altezza di caduta raggiungibile dal sistema di sollevamento è stata pari a 3,75 m. Per tale motivo  $h_{cl} = 4$  m è un valore nominale e indicato con  $h_{cl} = 4 (3,75)$  m.

Per ogni test effettuato sono disponibili:

- i grafici delle accelerazioni misurate dall'accelerometro solidale con il torso e della forza lungo il sistema di collegamento, misurata dalla cella di carico;
- il valore del picco di decelerazione misurata, espressa in numero di g:  $a_{\text{mis,max}}$  (g);
- il valore della forza frenante, espressa in kN, quale picco del grafico della forza misurata:  $F_{\text{max}}$  (kN);
- il valore dell'altezza di caduta frenata  $h_{\text{cf}}$ .

Al paragrafo 4.4.2 sono riportati alcuni grafici delle accelerazioni e delle forze misurate.

I dati relativi a tutti i test effettuati, per ogni massa, caduta e tipo di sistema di arresto caduta utilizzato, vengono riportati al paragrafo 4.4.3, con indicazione della forza frenante  $F_{\text{max}}$ , della massima accelerazione raggiunta  $a_{\text{mis,max}}$  e della caduta frenata  $h_{\text{cf}}$ .

I risultati sono sintetizzati nelle tabelle nel paragrafo 4.4.4.

Al paragrafo 4.4.5 vengono determinati alcuni parametri statistici.

#### 4.4.2 Grafici relativi ad accelerazioni e forze

I grafici relativi ad accelerazioni e forze sono stati realizzati tramite il sistema acquisizione precedentemente descritto, applicando un filtro passa basso delle frequenze pari a 60 Hz in post analisi.

I grafici delle accelerazioni riportano la componente lungo z dell'accelerazione misurata dall'accelerometro solidale con il torso, nel tempo t e indicata con  $a_{\text{mis}}$  (g), espressa in unità g. Il picco dell'accelerazione (decelerazione) misurata viene indicata con  $a_{\text{mis,max}}$ .

I grafici della forza lungo il sistema di collegamento, misurata dalla cella di carico, riportano il valore di F(kN) misurata nel tempo t in corrispondenza dell'attacco dorsale dell'imbragatura. La forza frenante  $F_{\text{max}}$  (kN) è il picco della curva (F-t).

Per semplicità di trattazione, rispetto alla campagna totale, vengono proposti i test effettuati con massa pari a 100 kg equipaggiata con l'assorbitore del tipo F e I alle varie cadute e denominati 100/1 F, 100/2 F, 100/3 F, 100/4 F, 100/1 I, 100/2 I, 100/3 I e 100/4 I. Nella didascalia delle figure viene riportato il riferimento della corrispondente in appendice.

Tutti i grafici sono stati riportati in appendice.

I dati relativi a tutti i test effettuati, per ogni massa, caduta e tipo di sistema di arresto caduta utilizzato, vengono riportati nelle tabelle del paragrafo 4.4.4.

Nel grafico dell'accelerazione (Figura 4.4.2-1) e in quello della forza (Figura 4.4.2-2) sono stati evidenziati i punti significativi del test di caduta:

- $P_0$ , punto che individua l'inizio del fenomeno, cioè l'istante in cui avviene lo sgancio ed inizia la caduta libera;
- $P_1$ , punto che individua la fine della caduta libera e l'inizio della caduta frenata;
- $P_2$ , punto che individua il picco della decelerazione misurata  $a_{\text{mis,max}}$  e il valore della forza frenante  $F_{\text{max}}$ ;
- $P_3$ , punto che individua l'istante in cui l'accelerazione misurata ritorna a 0 la prima volta;
- $P_4$ , punto che individua la fine del fenomeno.

L'andamento dell'accelerazione (Figura 4.4.2-1) può essere così rappresentato:

- Il torso sospeso all'ancoraggio è in quiete ed il sistema di collegamento di opportuna lunghezza non è teso (tratto antecedente  $P_0$ ).
- Il torso è in caduta libera e si muove con moto accelerato. L'accelerazione del torso a passa da  $0 \text{ m/s}^2$  a  $-9,81 \text{ m/s}^2 = -1g$ . L'accelerazione misurata  $a_{\text{mis}}(g)$  passa da 1 a 0 (tratto  $P_0 P_1$ ).
- Il sistema di collegamento prende il carico del torso e si tende; il torso è in caduta frenata. Esso si muove di moto decelerato con l'accelerazione del torso a che passa da  $-9,81 \text{ m/s}^2 = -1g$  ( $P_1$ ) al picco della decelerazione ( $P_2$ ) per poi tornare nuovamente a  $-9,81 \text{ m/s}^2 = -1g$  ( $P_3$ ). Oltre  $P_3$  e prima di  $P_4$  il corpo rimbalza attorno alla posizione di equilibrio. L'accelerometro misura  $a_{\text{mis}} = 0g$  in  $P_1$  e in  $P_3$ ,  $a_{\text{mis,max}}$  in  $P_2$  e  $a_{\text{mis}} = 1g$  in  $P_4$ .
- Oltre  $P_4$ , il torso è in equilibrio dopo l'arresto ed appeso al sistema di collegamento. L'accelerazione misurata risulta  $a_{\text{mis}} = 1g$ .

L'andamento della forza  $F$  (Figura 4.4.2-2) può essere così rappresentato:

- Il torso sospeso all'ancoraggio è in quiete ed il sistema di collegamento di opportuna lunghezza non è teso (tratto antecedente  $P_0$ ).
- Il torso è in caduta libera e si muove con moto accelerato, la forza  $F$  è pari a 0 kN perché il sistema di collegamento non è ancora teso (tratto  $P_0 P_1$ ).
- Il sistema di collegamento prende il carico del torso e si tende; il torso è in caduta frenata. Esso si muove di moto decelerato con  $F$  (kN) che passa da 0 ( $P_1$ ) a  $F_{\text{max}}$  ( $P_2$ ) per poi tornare nuovamente a 0 ( $P_3$ ). Oltre  $P_3$  il corpo rimbalza attorno alla posizione di equilibrio.
- Oltre  $P_4$ , il torso è in equilibrio dopo l'arresto ed appeso al sistema di collegamento.  $F$  risulta uguale al peso  $P$  del torso di prova ( $F = P = mg$ , con  $m$  massa del torso).

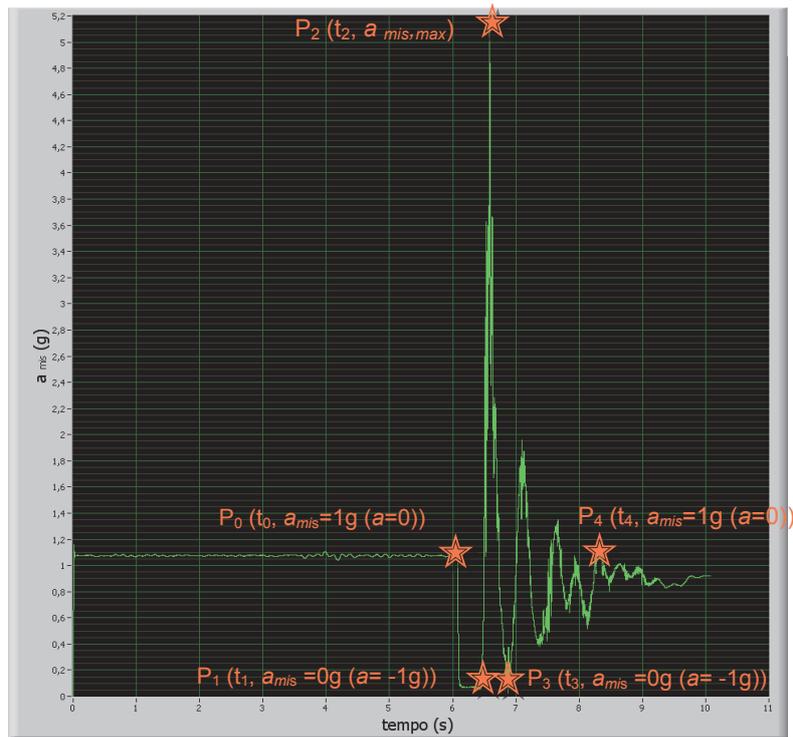


Figura 4.4.2-1 Andamento di  $a_{mis}$  (g) - indicazione dei punti significativi del fenomeno

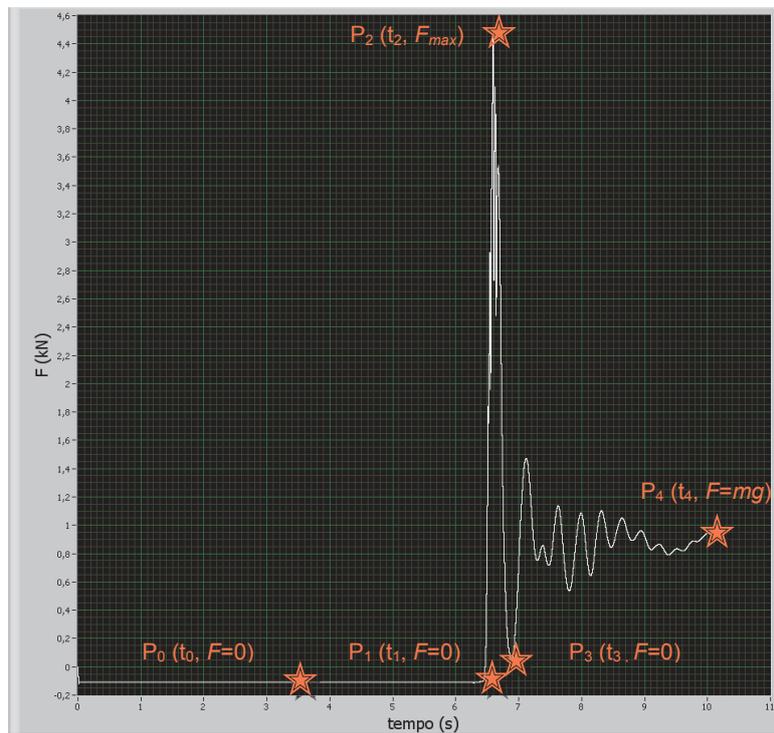


Figura 4.4.2-2 Andamento di  $F$  (kN) - indicazione dei punti significativi del fenomeno

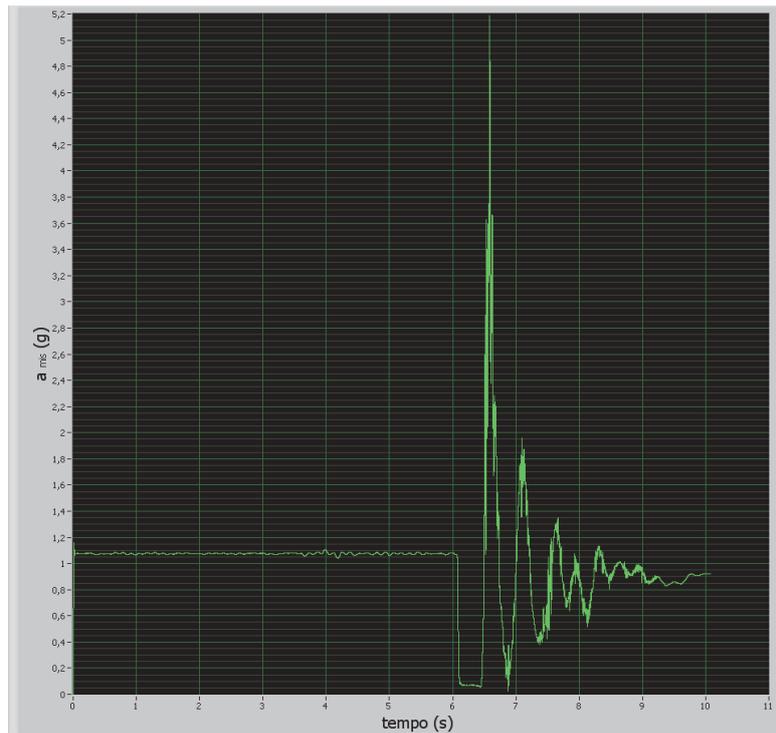


Figura 4.4.2-3: Prova 100/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s] (Figura A-81)

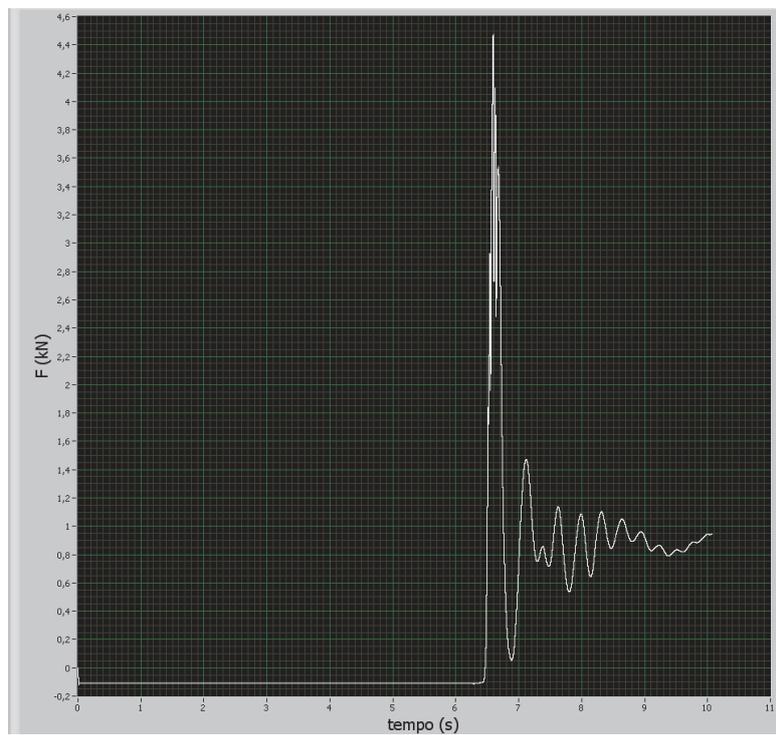


Figura 4.4.2-4: Prova 100/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s] (Figura A-82)

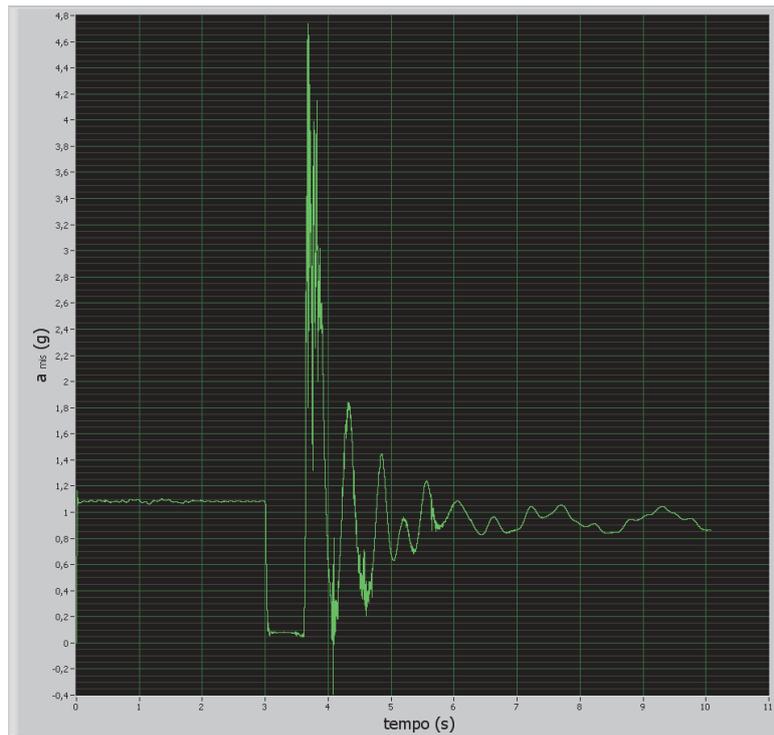


Figura 4.4.2-5: Prova 100/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s] (Figura A-91)

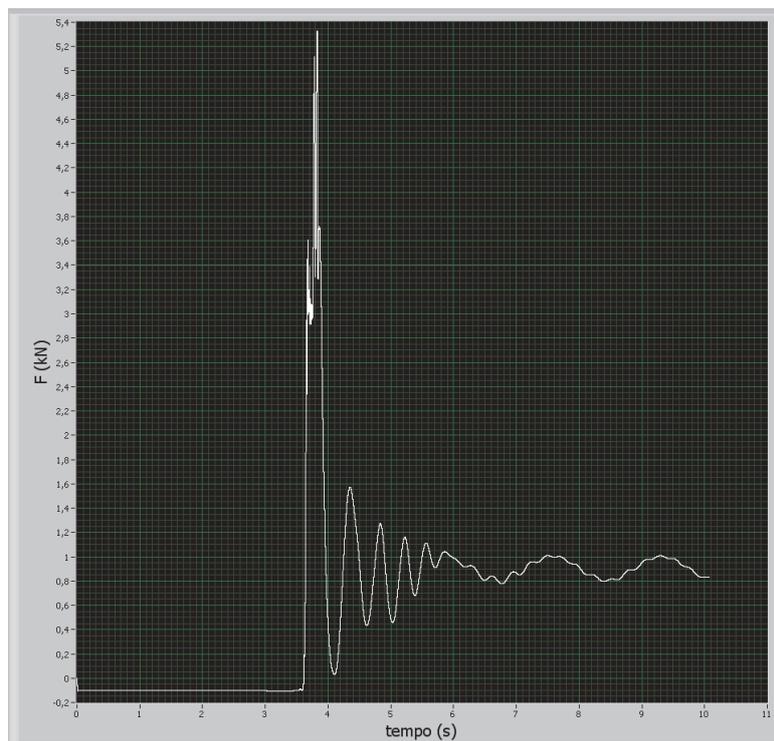


Figura 4.4.2-6: Prova 100/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s] (Figura A-92)

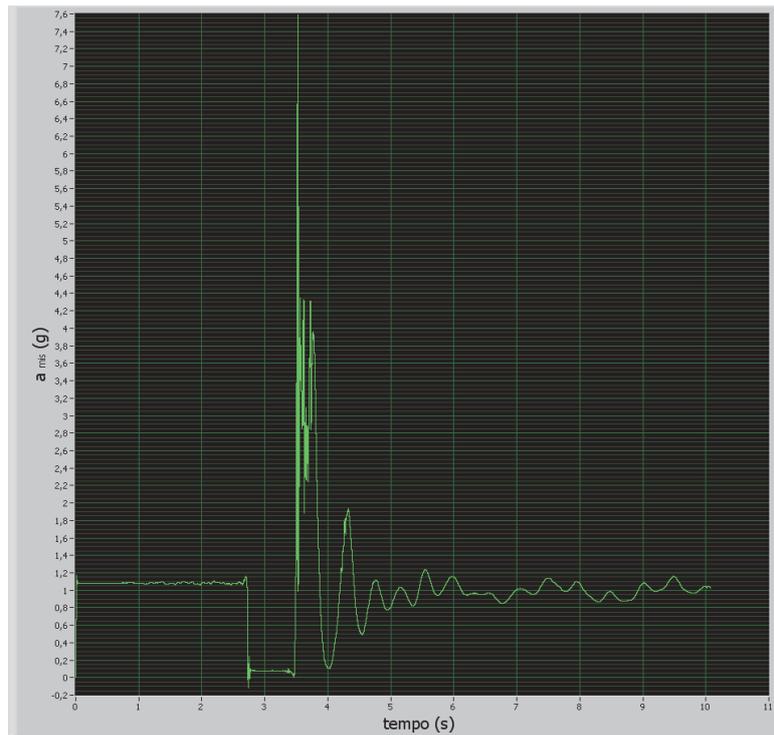


Figura 4.4.2-7: Prova 100/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s] (Figura A-101)

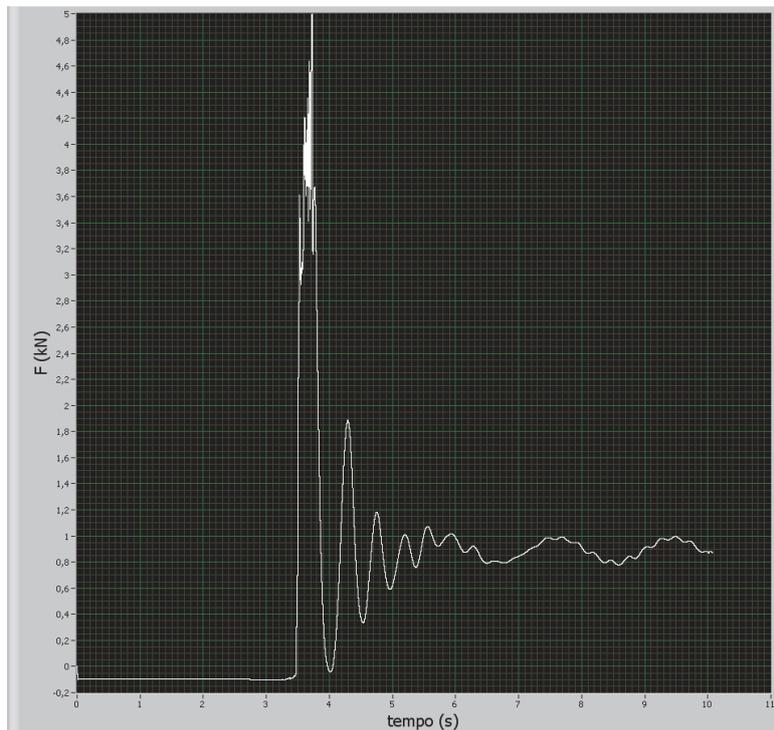


Figura 4.4.2-8: Prova 100/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s] (Figura A-102)

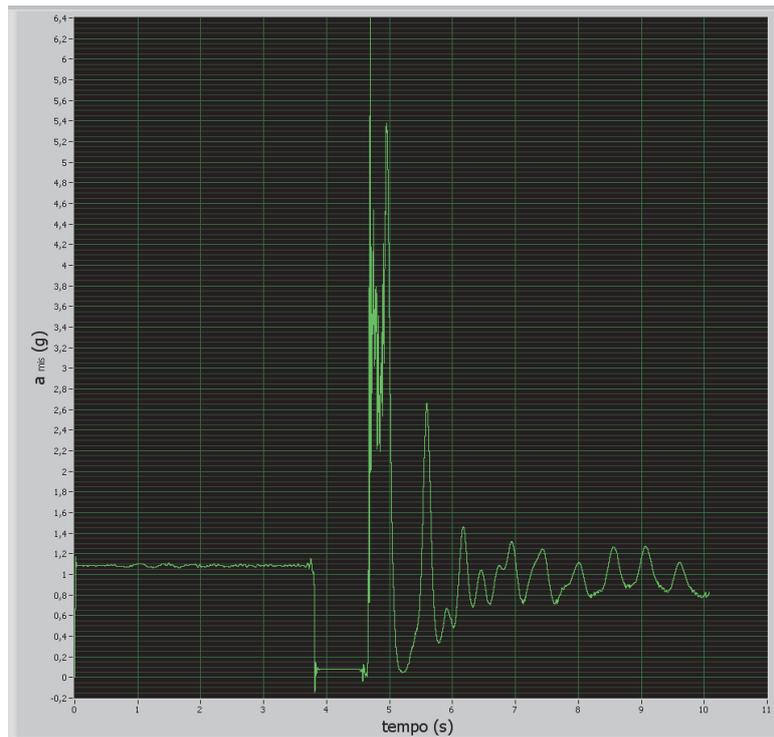


Figura 4.4.2-9: Prova 100/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s] (Figura A-111)

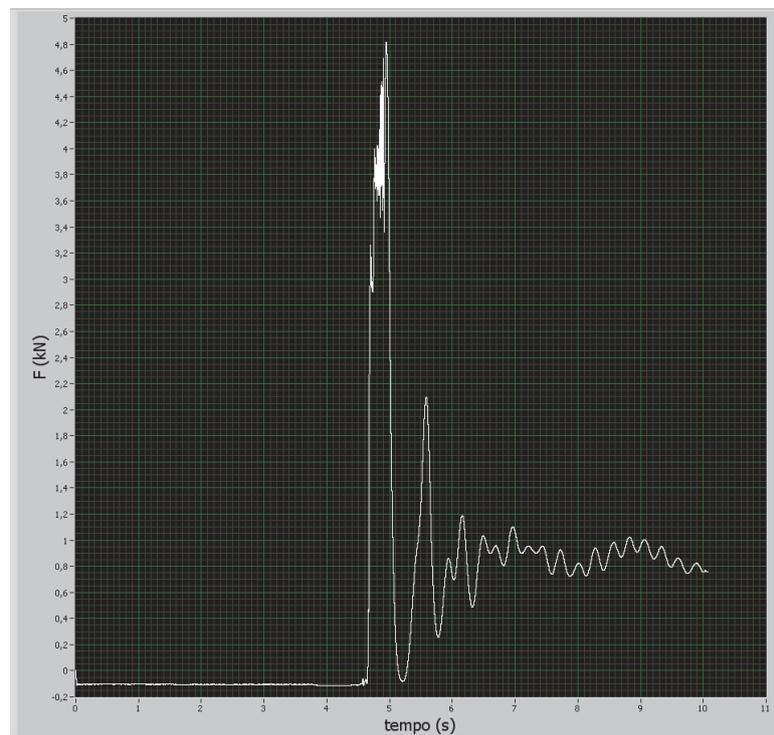


Figura 4.4.2-10: Prova 100/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s] (Figura A-112)

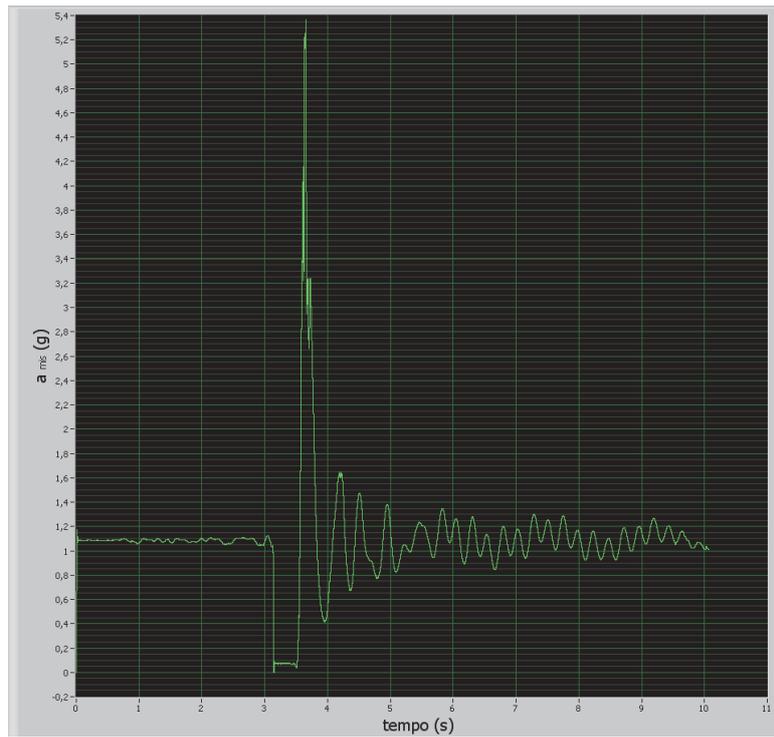


Figura 4.4.2-11: Prova 100/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s] (Figura A-241)

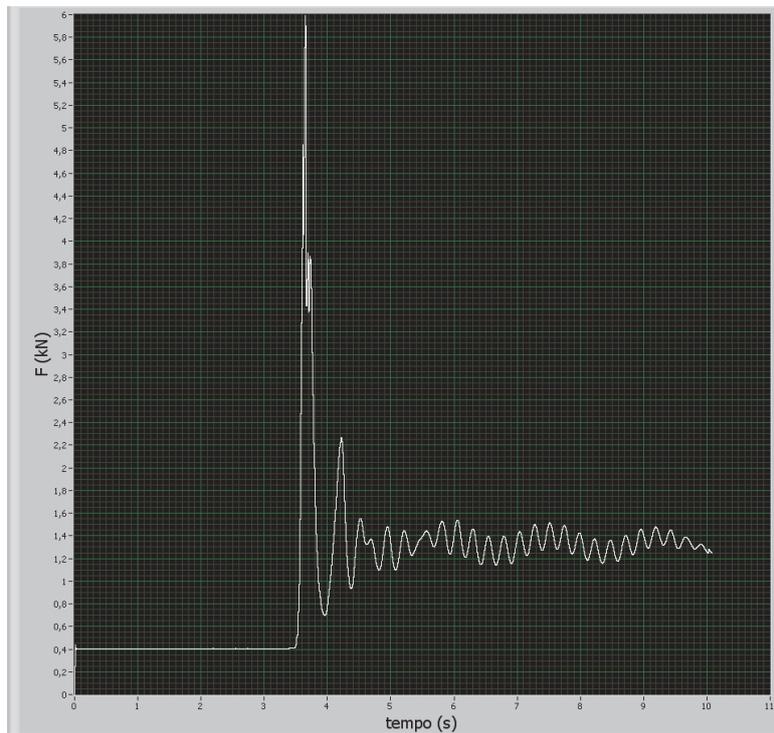


Figura 4.4.2-12: Prova 100/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s] (Figura A-242)

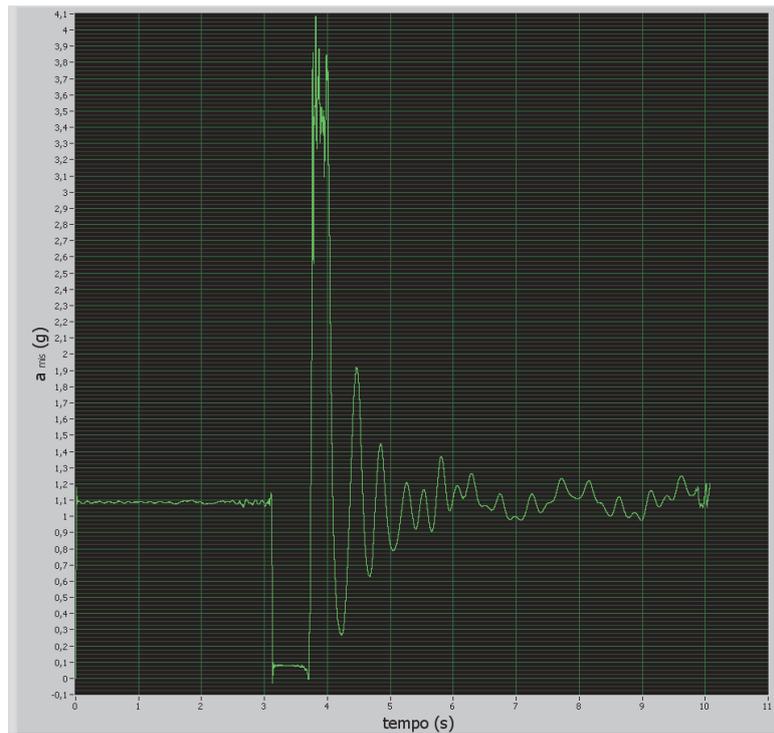


Figura 4.4.2-13: Prova 100/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s] (Figura A-251)

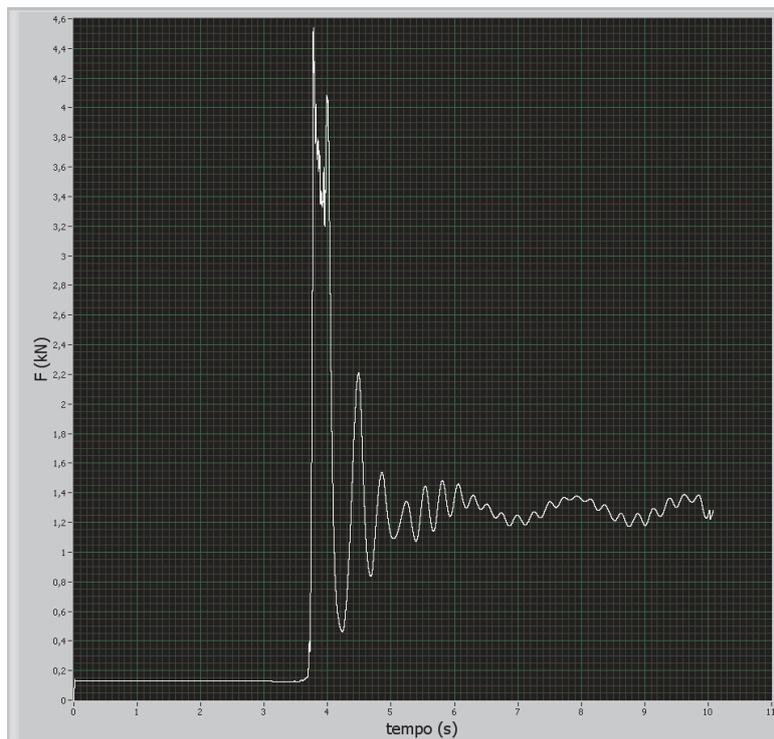


Figura 4.4.2-14: Prova 100/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s] (Figura A-252)

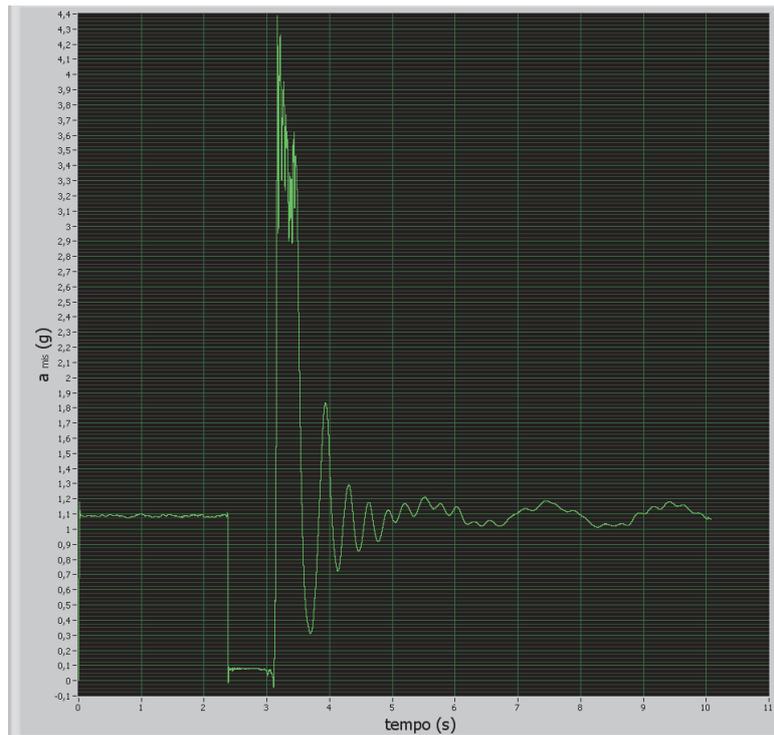


Figura 4.4.2-15: Prova 100/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s] (Figura A-261)

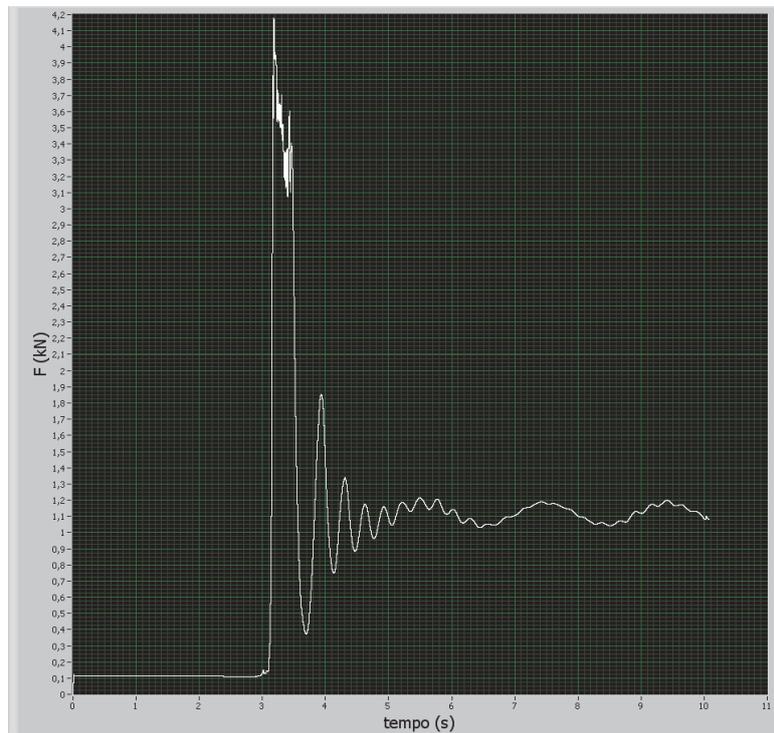


Figura 4.4.2-16: Prova 100/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s] (Figura A-262)

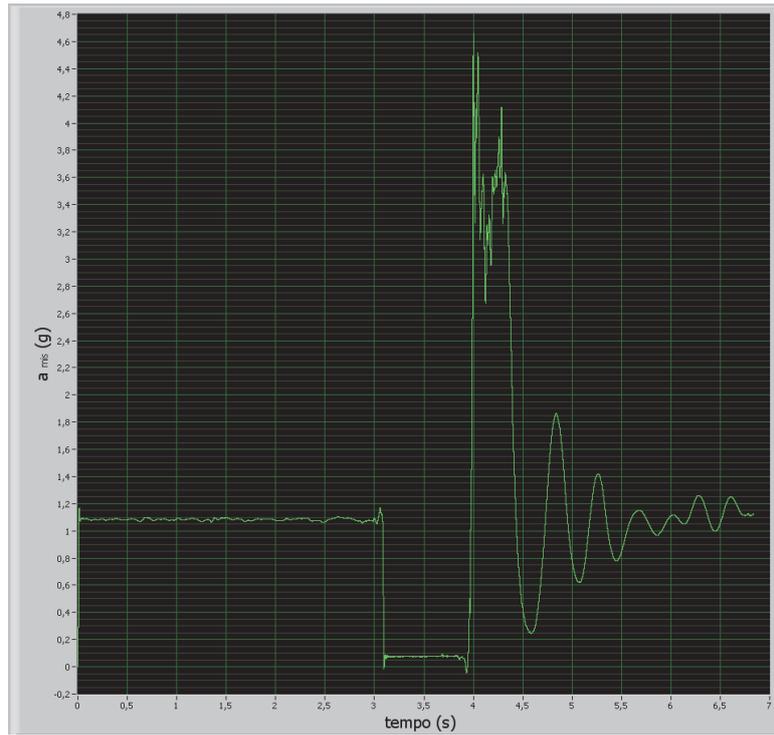


Figura 4.4.2-17: Prova 100/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s] (Figura A-271)

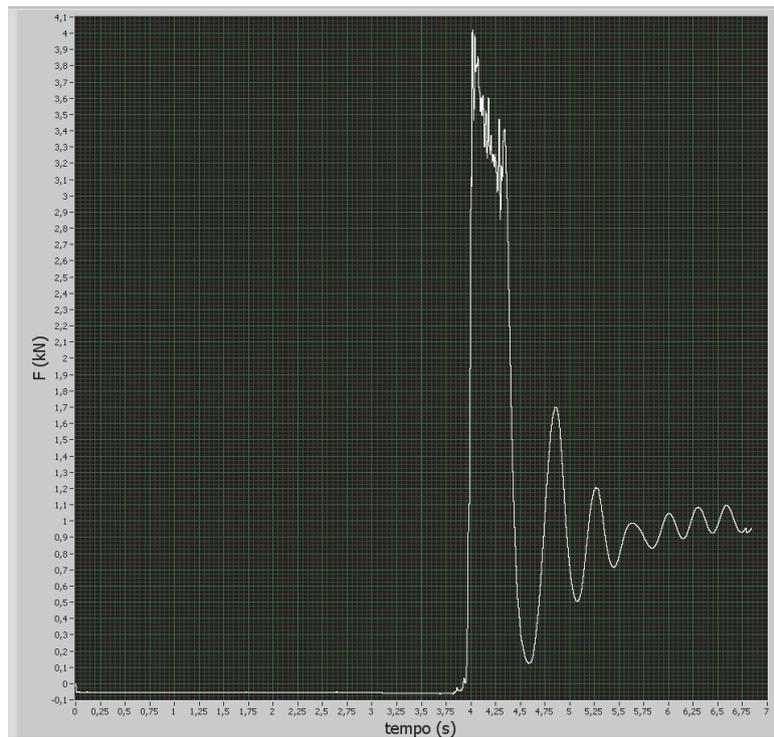


Figura 4.4.2-18: Prova 100/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s] (Figura A-272)

#### 4.4.3 Caduta frenata e allungamento del sistema di arresto caduta

Nella condizione di equilibrio prima della caduta (torso appeso all'ancoraggio e collegato al sistema di arresto caduta) è stata rilevata la quota  $h_1$  del punto di attacco dell'imbragatura al sistema di collegamento, rispetto al terreno. Dopo ogni caduta, con il torso sospeso e fermo nella posizione finale di equilibrio, è stata misurata la stessa quota indicata con  $h_2$ .

La differenza ( $h_1 - h_2$ ) rappresenta l'allungamento del sistema di collegamento dopo la caduta e dunque la caduta frenata  $h_{cf}$ .

#### 4.4.4 Sintesi dei risultati

I risultati più significativi delle prove effettuate vengono sintetizzati nelle seguenti tabelle riepilogative; essi sono stati raggruppati per caduta libera nominale. Le tabelle riportano:

1. sistema di arresto caduta,
2. massa,
3. accelerazione misurata  $a_{mis}$ ,
4. forza frenante  $F_{max}$ ,
5. caduta frenata  $h_{cf}$ .

Esse sono state elaborate per le due tipologie di sistema di arresto caduta (F o I).

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione misurata $a_{mis}$ (g)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
caduta libera $h_{cl} = 4$ m (3,75 m)	F	60	7,90	4,80	0,59
	F	60	7,80	4,60	0,55
	F	60	7,35	5,15	0,56
	F	60	7,75	4,60	0,57
	F	60	7,85	4,75	0,58
	F	80	5,65	5,25	0,78
	F	80	5,55	5,20	0,78
	F	80	5,95	4,60	0,82
	F	80	5,40	4,55	0,84
	F	80	5,60	5,20	0,84
	F	100	6,40	4,90	1,08
	F	100	6,40	4,90	1,16
	F	100	5,15	4,60	1,13
	F	100	4,75	4,70	1,14
	F	100	4,75	4,70	1,10
	F	120	4,90	5,30	1,33
	F	120	4,50	5,00	1,33
	F	120	5,20	5,90	1,28
F	120	4,60	5,10	1,34	
F	120	5,20	5,90	1,27	

Tabella 4.4.4-1 - Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 4 metri - Sistema F

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione misurata a <sub>mis</sub> (g)	forza frenante F <sub>max</sub> (kN)	caduta frenata h <sub>cf</sub> (m)
caduta libera h <sub>cl</sub> = 3 m	F	60	6,65	4,55	0,39
	F	60	7,85	4,75	0,44
	F	60	8,10	4,25	0,48
	F	60	8,05	4,70	0,44
	F	60	6,70	4,55	0,45
	F	80	5,50	4,65	0,66
	F	80	5,35	4,50	0,64
	F	80	5,35	4,75	0,61
	F	80	5,25	4,85	0,67
	F	80	5,85	4,95	0,61
	F	100	7,55	5,05	0,84
	F	100	8,70	5,05	0,83
	F	100	6,75	5,10	0,84
	F	100	6,80	5,20	0,84
	F	100	6,95	5,55	0,83
	F	120	5,60	5,75	1,00
	F	120	5,55	5,10	1,05
	F	120	4,90	4,95	1,03
F	120	4,35	5,25	1,05	
F	120	4,35	5,25	1,04	

Tabella 4.4.4-2 - Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 3 metri - Sistema F

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione misurata a <sub>mis</sub> (g)	forza frenante F <sub>max</sub> (kN)	caduta frenata h <sub>cf</sub> (m)
caduta libera h <sub>cl</sub> = 2 m	F	60	7,60	4,25	0,26
	F	60	7,10	4,05	0,30
	F	60	7,35	4,05	0,28
	F	60	7,35	4,05	0,29
	F	60	7,35	4,20	0,28
	F	80	5,50	4,20	0,44
	F	80	5,65	4,85	0,42
	F	80	5,75	4,35	0,43
	F	80	5,45	4,60	0,42
	F	80	5,50	4,70	0,43
	F	100	4,70	5,45	0,56
	F	100	4,75	5,75	0,52
	F	100	4,80	4,85	0,54
	F	100	4,80	4,95	0,54
	F	100	4,95	4,90	0,52
	F	120	5,30	5,45	0,64
	F	120	6,60	5,05	0,70
	F	120	4,95	5,10	0,68
F	120	4,75	5,35	0,68	
F	120	5,00	5,10	0,67	

Tabella 4.4.4-3 - Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 2 metri - Sistema F

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione misurata a <sub>mis</sub> (g)	forza frenante F <sub>max</sub> (kN)	caduta frenata h <sub>cf</sub> (m)
caduta libera h <sub>cl</sub> = 1 m	F	60	7,20	4,20	0,08
	F	60	7,15	3,93	0,12
	F	60	7,20	4,23	0,08
	F	60	6,95	4,15	0,08
	F	60	6,85	4,15	0,09
	F	80	5,85	4,40	0,10
	F	80	5,35	4,25	0,06
	F	80	5,50	4,20	0,13
	F	80	5,90	4,35	0,15
	F	80	5,80	4,30	0,16
	F	100	5,20	4,60	0,21
	F	100	5,10	4,35	0,25
	F	100	4,25	4,15	0,25
	F	100	4,25	4,20	0,23
	F	100	5,20	4,60	0,20
	F	120	4,50	4,65	0,27
	F	120	4,10	4,10	0,27
	F	120	4,10	4,20	0,29
F	120	4,15	4,00	0,24	
F	120	4,35	4,20	0,28	

Tabella 4.4.4-4 - Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 1 metro - Sistema F

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione misurata a <sub>mis</sub> (g)	forza frenante F <sub>max</sub> (kN)	caduta frenata h <sub>cf</sub> (m)
caduta libera h <sub>cl</sub> = 4 m	I	60	6,95	3,40	0,68
	I	60	6,95	2,80	0,68
	I	60	7,30	2,75	0,67
	I	60	7,10	2,65	0,70
	I	60	7,55	2,80	0,61
	I	80	5,60	3,75	0,71
	I	80	5,75	4,25	0,90
	I	80	6,75	4,35	0,91
	I	80	6,10	4,05	0,94
	I	80	6,50	4,45	0,92
	I	100	4,60	4,05	1,32
	I	100	4,25	3,85	1,36
	I	100	4,85	4,00	1,30
	I	100	4,40	3,90	1,33
	I	100	5,25	4,35	1,33
	I	120	4,70	5,25	1,62
	I	120	4,60	5,00	1,63
	I	120	4,35	4,70	1,59
I	120	4,70	5,15	1,58	
I	120	4,65	4,40	1,57	

Tabella 4.4.4-5 - Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 4 metri - Sistema I

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione misurata a <sub>mis</sub> (g)	forza frenante F <sub>max</sub> (kN)	caduta frenata h <sub>cf</sub> (m)
caduta libera h <sub>cl</sub> = 3 m	I	60	7,10	4,85	0,48
	I	60	7,30	3,90	0,53
	I	60	7,50	4,45	0,48
	I	60	7,30	3,75	0,49
	I	60	6,70	4,90	0,48
	I	80	6,75	4,35	0,65
	I	80	6,20	4,65	0,67
	I	80	5,90	3,95	0,66
	I	80	6,40	4,55	0,70
	I	80	5,65	4,23	0,68
	I	100	4,35	4,05	1,00
	I	100	4,05	4,90	1,01
	I	100	4,85	5,05	0,99
	I	100	4,75	4,20	0,99
	I	100	5,30	5,10	0,97
	I	120	4,00	4,30	1,25
	I	120	3,80	4,35	1,19
	I	120	3,85	3,65	1,17
I	120	3,65	3,90	1,26	
I	120	3,55	4,75	1,21	

Tabella 4.4.4-6 - Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 3 metri - Sistema I

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione misurata a <sub>mis</sub> (g)	forza frenante F <sub>max</sub> (kN)	caduta frenata h <sub>cf</sub> (m)
caduta libera h <sub>cl</sub> = 2 m	I	60	8,00	4,70	0,30
	I	60	8,05	4,95	0,28
	I	60	9,00	5,20	0,28
	I	60	7,90	4,70	0,30
	I	60	8,95	5,25	0,29
	I	80	5,95	4,15	0,43
	I	80	6,40	4,50	0,47
	I	80	7,25	4,95	0,44
	I	80	6,70	5,00	0,43
	I	80	6,70	4,90	0,41
	I	100	4,05	4,40	0,64
	I	100	4,45	3,85	0,62
	I	100	4,40	5,25	0,65
	I	100	4,10	5,15	0,65
	I	100	4,40	5,15	0,66
	I	120	3,80	4,05	0,83
	I	120	3,85	4,45	0,83
	I	120	3,85	4,65	0,78
I	120	3,40	3,80	0,86	
I	120	3,60	4,70	0,81	

Tabella 4.4.4-7 - Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 2 metri - Sistema I

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione misurata a <sub>mis</sub> (g)	forza frenante F <sub>max</sub> (kN)	caduta frenata h <sub>cf</sub> (m)
caduta libera h <sub>cl</sub> = 1 m	I	60	6,00	3,65	0,13
	I	60	6,60	3,80	0,12
	I	60	6,30	3,95	0,13
	I	60	6,60	3,85	0,11
	I	60	8,00	4,15	0,10
	I	80	7,00	5,10	0,12
	I	80	6,00	4,85	0,14
	I	80	5,70	4,70	0,13
	I	80	6,10	4,90	0,13
	I	80	5,90	4,85	0,12
	I	100	5,35	5,50	0,24
	I	100	5,15	7,50	0,23
	I	100	5,45	6,55	0,23
	I	100	6,40	6,90	0,21
	I	100	5,00	6,60	0,23
	I	120	4,75	5,00	0,33
	I	120	4,50	5,15	0,30
	I	120	4,70	5,00	0,32
	I	120	4,80	4,80	0,34
	I	120	4,60	4,90	0,36

Tabella 4.4.4-8 - Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 1 metro - Sistema I

#### 4.4.5 Parametri statistici

Fissato il tipo di sistema di arresto caduta, la caduta libera e la massa, ogni prova è stata ripetuta per 5 volte.

Posti  $y_1, y_2, y_3, y_4$  ed  $y_5$  valori delle grandezze determinate per ogni prova eseguita, se ne determinano il valore medio, la varianza e l'errore standard.

Risulterà:

prova i	1	2	3	4	5
	$y_{,1}$	$y_{,2}$	$y_{,3}$	$y_{,4}$	$y_{,5}$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \quad \text{valore medio dei valori } y_i$$

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad \text{varianza}$$

$$s_y \quad \text{errore standard}$$

Per l'accelerazione  $a_{mis}$  risulta:

	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $a_{mis}$ (g)	varianza (g <sup>2</sup> )	errore standard (g)
<b>sistema di arresto caduta F</b>	4	60	7,73	0,05	0,22
	3	60	7,47	0,54	0,73
	2	60	7,35	0,03	0,18
	1	60	7,07	0,03	0,16
	4	80	5,63	0,04	0,20
	3	80	5,46	0,06	0,24
	2	80	5,57	0,02	0,13
	1	80	5,68	0,06	0,24
	4	100	5,49	0,72	0,85
	3	100	7,35	0,67	0,82
	2	100	4,80	0,01	0,09
	1	100	4,80	0,25	0,50
	4	120	4,88	0,11	0,33
	3	120	4,95	0,38	0,61
	2	120	5,32	0,55	0,74
	1	120	4,24	0,03	0,18

Tabella 4.4.5-1 - Accelerazione misurata per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema F

sistema di arresto caduta I	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $a_{mis}$ (g)	varianza (g <sup>2</sup> )	errore standard (g)
	4	60	7,17	0,07	0,26
	3	60	7,18	0,09	0,30
	2	60	8,38	0,30	0,55
	1	60	6,70	0,59	0,77
	4	80	6,14	0,24	0,49
	3	80	6,18	0,18	0,43
	2	80	6,60	0,23	0,48
	1	80	6,14	0,25	0,50
	4	100	4,67	0,16	0,39
	3	100	4,66	0,23	0,48
	2	100	4,28	0,04	0,19
	1	100	5,47	0,30	0,55
	4	120	4,60	0,02	0,15
	3	120	3,77	0,03	0,18
	2	120	3,70	0,04	0,20
1	120	4,67	0,01	0,12	

Tabella 4.4.5-2 - Accelerazione misurata per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema I

Per la forza frenante  $F_{max}$  risulta:

sistema di arresto caduta F	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $F_{max}$ (kN)	varianza (kN <sup>2</sup> )	errore standard (kN)
	4	60	4,78	0,05	0,23
	3	60	4,56	0,04	0,19
	2	60	4,12	0,01	0,10
	1	60	4,13	0,01	0,12
	4	80	4,96	0,12	0,35
	3	80	4,74	0,03	0,17
	2	80	4,54	0,07	0,26
	1	80	4,30	0,01	0,08
	4	100	4,76	0,02	0,13
	3	100	5,19	0,04	0,21
	2	100	5,18	0,16	0,40
	1	100	4,38	0,05	0,21
	4	120	5,44	0,19	0,43
	3	120	5,26	0,09	0,30
	2	120	5,21	0,03	0,18
1	120	4,23	0,06	0,25	

Tabella 4.4.5-3 - Forza frenante per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema F

sistema di arresto caduta I	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $F_{max}$ (kN)	varianza (kN <sup>2</sup> )	errore standard (kN)
	4	60	2,88	0,09	0,30
	3	60	4,37	0,28	0,53
	2	60	4,95	0,07	0,26
	1	60	3,88	0,03	0,19
	4	80	4,17	0,08	0,28
	3	80	4,35	0,08	0,28
	2	80	4,70	0,13	0,37
	1	80	4,88	0,02	0,14
	4	100	4,03	0,04	0,20
	3	100	4,66	0,25	0,50
	2	100	4,76	0,38	0,61
	1	100	6,61	0,53	0,73
	4	120	4,90	0,12	0,35
	3	120	4,19	0,18	0,43
	2	120	4,33	0,15	0,39
1	120	4,97	0,02	0,13	

Tabella 4.4.5-4 - Forza frenante per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema I

Per la caduta frenata  $h_{cf}$  risulta:

sistema di arresto caduta F	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $h_{cl}$ (m)	varianza (m <sup>2</sup> )	errore standard (m)
	4	60	0,57	0,00	0,02
	3	60	0,44	0,00	0,03
	2	60	0,28	0,00	0,01
	1	60	0,09	0,00	0,02
	4	80	0,81	0,00	0,03
	3	80	0,64	0,00	0,03
	2	80	0,43	0,00	0,01
	1	80	0,12	0,00	0,04
	4	100	1,12	0,00	0,03
	3	100	0,84	0,00	0,01
	2	100	0,54	0,00	0,02
	1	100	0,23	0,00	0,02
	4	120	1,31	0,00	0,03
	3	120	1,03	0,00	0,02
	2	120	0,67	0,00	0,02
1	120	0,27	0,00	0,02	

Tabella 4.4.5- 5 - Caduta frenata per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema F

sistema di arresto caduta I	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $h_{cl}$ (m)	varianza (m <sup>2</sup> )	errore standard (m)
	4	60	0,67	0,00	0,03
	3	60	0,49	0,00	0,02
	2	60	0,29	0,00	0,01
	1	60	0,12	0,00	0,01
	4	80	0,88	0,01	0,09
	3	80	0,67	0,00	0,02
	2	80	0,44	0,00	0,02
	1	80	0,13	0,00	0,01
	4	100	1,33	0,00	0,02
	3	100	0,99	0,00	0,01
	2	100	0,64	0,00	0,02
	1	100	0,23	0,00	0,01
	4	120	1,60	0,00	0,03
	3	120	1,22	0,00	0,04
	2	120	0,82	0,00	0,03
1	120	0,33	0,00	0,02	

Tabella 4.4.5- 6 - Caduta frenata per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema I

#### 4.4.6 Considerazioni sui risultati

I risultati delle prove riportati nei paragrafi 4.4.4 e 4.4.5 dimostrano che gli assorbitori utilizzati nei test sono conformi al requisito previsto nella norma di prodotto UNI EN 355.

La forza frenante  $F_f$  è stata infatti sempre inferiore a 6 kN in corrispondenza di una distanza di arresto  $h$  inferiore a  $(2L_t + 1,75 \text{ m})$ , dove per  $L_t$  si intende la lunghezza del cordino più l'assorbitore e la caduta frenata  $h_{cf}$  è stata sempre inferiore a 1,75 m come si evince dalla tabella che segue:

sistema di arresto caduta	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
F	4,00 (3,75)	100	4,76	1,12
I	4,00	100	4,03	1,33

Tabella 4.4.6- 1 - Forza frenante e caduta frenata per masse di prova di 100 kg

I dati riportati nel paragrafo 4.4.5 sono stati riordinati in due tabelle successive (4.4.6- 2 e 4.4.6-3) che riportano i valori medi della accelerazione  $a_{mis}$ , della forza frenante  $F_{max}$  e della caduta frenata  $h_{cf}$ .

Da esse si evince che all'aumentare della massa diminuisce la accelerazione  $a_{mis}$  ed aumentano sia la forza frenante  $F_{max}$  che la caduta frenata  $h_{cf}$ .

	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $a_{mis}$ (g)	valore medio $F_{max}$ (kN)	valore medio $h_{cf}$ (m)
sistema di arresto caduta F	4	60	7,73	4,78	0,57
	3	60	7,47	4,56	0,44
	2	60	7,35	4,12	0,28
	1	60	7,07	4,13	0,09
	4	80	5,63	4,96	0,81
	3	80	5,46	4,74	0,64
	2	80	5,57	4,54	0,43
	1	80	5,68	4,30	0,12
	4	100	5,49	4,76	1,12
	3	100	7,35	5,19	0,84
	2	100	4,80	5,18	0,54
	1	100	4,80	4,38	0,23
	4	120	4,88	5,44	1,31
	3	120	4,95	5,26	1,03
	2	120	5,32	5,21	0,67
	1	120	4,24	4,23	0,27

Tabella 4.4.6- 2 - Valore medio di  $a_{mis}$ ,  $F_{max}$  e  $h_{cf}$  per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema F

sistema di arresto caduta I	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa ( $kg_m$ )	valore medio $a_{mis}(g)$	valore medio $F_{max}(kN)$	valore medio $h_{cf}$ (m)
	4	60	7,17	2,88	0,67
	3	60	7,18	4,37	0,49
	2	60	8,38	4,95	0,29
	1	60	6,70	3,88	0,00
	4	80	6,14	4,17	0,88
	3	80	6,18	4,35	0,67
	2	80	6,60	4,70	0,44
	1	80	6,14	4,88	0,13
	4	100	4,67	4,03	1,33
	3	100	4,66	4,66	0,99
	2	100	4,28	4,76	0,64
	1	100	5,47	6,61	0,23
	4	120	4,60	4,90	1,60
	3	120	3,77	4,19	1,22
	2	120	3,70	4,33	0,82
1	120	4,67	4,97	0,33	

Tabella 4.4.6- 3 - Valore medio di  $a_{mis}$ ,  $F_{max}$  e  $h_{cf}$  per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema I

#### 4.4.7 Sistemi di arresto caduta e normativa internazionale

Quando la massa supera i 100 kg il lavoratore durante la caduta è esposto al possibile “run-out” del dispositivo e conseguentemente ad una forza di arresto che può arrecare danni al corpo in quanto l'assorbitore ha esaurito la propria capacità.

L'efficacia dell'assorbitore è sempre minore man mano che la massa del corpo diminuisce: per uno stesso decremento della massa si ha sempre un maggiore incremento della decelerazione ed un conseguente aumento della caduta frenata massima che in base a quanto prescritto dalla UNI EN 355 deve essere al massimo 1,75 m. Con l'aumentare della massa invece diminuisce la decelerazione così come la caduta frenata massima.

Ci sono situazioni di lavoro in cui sul corpo di un “lavoratore leggero” agiscono sollecitazioni che possono risultare critiche (in genere con numero  $n$  superiore a 5) o cadute frenate troppo elevate per le quali non è sempre disponibile un adeguato tirante d'aria.

Ce ne sono altre in cui in cui sul corpo di un “lavoratore pesante” agiscono sollecitazioni che possono risultare critiche in quanto si genera una forza di arresto elevata a causa dell'assorbitore che ha esaurito la propria capacità pur avendo a disposizione un adeguato tirante d'aria.

In tal senso esiste un esempio previsto dall'organismo di normazione canadese CSA (Canadian Standards Association) che nella norma CSA Z259.11-05 “Energy absorbers and lanyards” (revisione 2015) in cui vengono individuate due classi E4 ed E6.

Un assorbitore E4 limita la forza di arresto a 4 kN in condizioni normali e consente che essa aumenti a 6 kN se esso è bagnato o congelato. Un assorbitore E6 limita la forza di arresto di 6 kN in condizioni normali e consente che essa aumenti a 8 kN se esso è bagnato o congelato.

CSA ha creato le due classi per tutelare meglio i lavoratori di diverso peso corpore. L'assorbitore E4 è destinato all'uso da parte dei lavoratori del peso compreso tra 45 e 115 kg mentre l'E6 è destinato all'uso da parte di lavoratori che pesano tra 90 e 175 kg.

È importante sottolineare come gli assorbitori CSA Z259.11-05 hanno massima estensione e capacità di assorbire energia inferiore rispetto a quelli europei. I “lavoratori pesanti” che li utilizzano saranno quindi soggetti alle forze prima evidenziate.

Nel caso dunque di un lavoratore pesante che lavora in una posizione in cui è richiesto un notevole tirante d'aria, perché magari ancorato in basso, un assorbitore europeo può essere la scelta migliore in quanto, con l'allungamento di 1,75 metri, dovrebbe essere in grado di assorbire tutta l'energia della caduta.

#### 4.4.8 Esperienze in altri paesi

Test analoghi a quelli effettuati nel presente studio sono stati effettuati da Y. M. Goh e P. E.D. Love [9]. Essi hanno dimostrato che gli assorbitori di energia certificati secondo lo standard Australia/New Zealand, 2007. 1891.1-2007 - Industrial Fall-arrest Systems and Devices – Part 1: Harnesses and Ancillary Equipment - possono raggiungere la loro massima estensione o produrre la forza d'arresto  $f_f$  massima superiore a 7 kN durante l'arresto caduta di un lavoratore pesante da 3,8 m.

Questo scenario è particolarmente pericoloso per i lavoratori obesi che di solito sono in peggiori condizioni di salute e meno resistenti in termini di energia meccanica sopportabile e quindi a rischio.

Lo studio raccomanda che gli attuali standard previsti nelle norme tecniche australiane e neozelandesi del settore debbano essere riesaminati per tener conto del peso dei lavoratori che lavorano in quota.

Se si dovesse aumentare la massa di prova per tener conto del peso dei lavoratori pesanti, la revisione nelle norme tecniche dovrebbe anche prendere in considerazione l'influenza di altri parametri simili come l'effetto di smorzamento del corpo umano, il numero  $n$  (g) e quindi la decelerazione durante la caduta ed il tempo.

Lo studio propone una misura che potrebbe essere adottata: quella di specificare nell'assorbitore, in base alla forza d'arresto  $f_f$  specifica, il numero  $n$  (g) e la caduta libera consentita in funzione del peso del lavoratore.

## 5. Conclusioni

I dati presenti sulle tabelle 4.4.5-1 e 4.4.5-2 relativi all'accelerazione  $a_{mis}$  mostrano che per la massa di 60 kg il numero  $n(g)$  assume valori superiori a quello tollerabile pari a 6. Per le masse di 100 e 120 kg tale valore non viene mai superato. Ciò vale nei due sistemi testati (F ed I).

Il valore tollerabile della  $a_{mis}$  viene superato anche per la massa di 80 kg in caso di utilizzo del sistema I.

Per le masse di 100 e 120 kg tale valore non viene mai superato, sia per il sistema F che I.

Da ciò discende che utilizzando assorbitori di tipo F ed I un lavoratore di peso compreso pari a 60 kg, in caso di caduta, subisce delle sollecitazioni superiori a quelle normalmente accettate. Il lavoratore di 80 kg presenta la stessa problematica in caso di utilizzo dell'assorbitore I.

Un lavoratore di peso compreso tra 100 e 120 kg, invece, è sottoposto ad accelerazioni inferiori a quelle normalmente accettate.

Sono dunque i lavoratori leggeri quelli soggetti al rischio legato al funzionamento dell'assorbitore. Essi infatti sono sottoposti ad elevate accelerazioni e ridotte cadute frenate che possono comportare danni all'organismo in quanto lo stesso potrebbe non sopportare l'elevata energia meccanica trasmessa. Ciò a prescindere dalle loro caratteristiche fisiche e dalle condizioni di salute.

Potrebbe utile introdurre delle classi per individuare le tipologie di assorbitori da impiegare nelle varie fasce di peso che potrebbero essere testati non solo con massa di 100 kg ma con taglie differenti (ad es. 60 kg ÷ 90 kg e 90 kg ÷ 120 kg). Ciò significherebbe sottoporre a revisione la UNI EN 355: 2003.

Indipendentemente da questo sull'assorbitore potrebbe essere indicato in funzione del peso del lavoratore il numero  $n(g)$  e la caduta libera massima consentita in maniera tale che in caso di caduta lo stesso non subisca danni.

I dati presenti sulle tabelle 4.4.5-3 e 4.4.5-4 relativi alla forza frenante  $F_{max}$  mostrano che essa è stata sempre inferiore a 6 kN.

Per contenere le decelerazioni a livello accettabile è dunque necessario ridurre le forze frenanti.

L'attuale limite di 6 kN previsto nelle norme EN appare ragionevole per le persone di peso corporeo compreso nella gamma tra 80 e 100 kg mentre la forza frenante massima per le persone comprese tra 60 kg e 80 kg dovrebbe essere di 4 kN e per quelle comprese tra 100 kg e 120 kg di 8 kN.

## Appendice

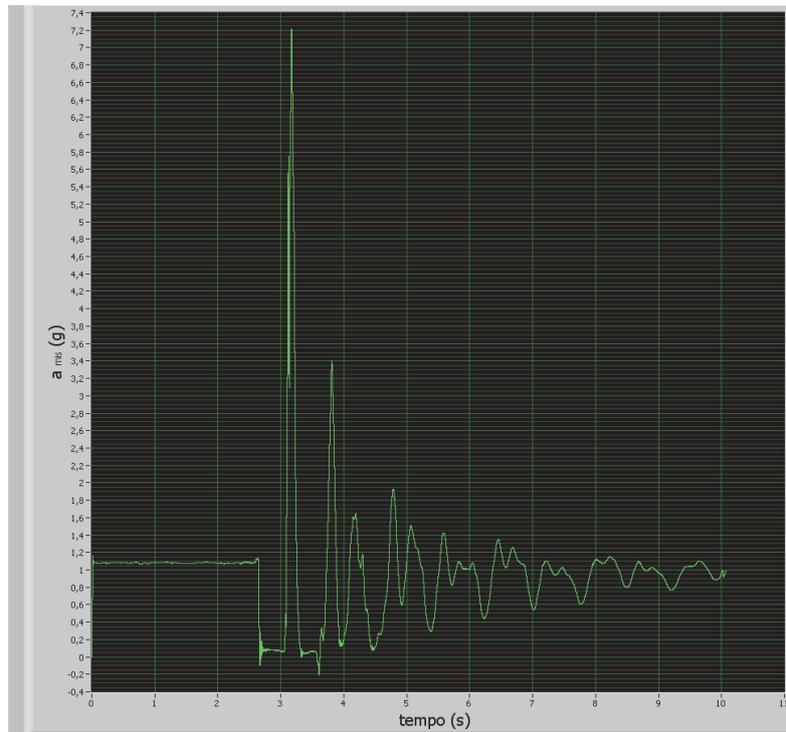


Figura A-1: Prova 60/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

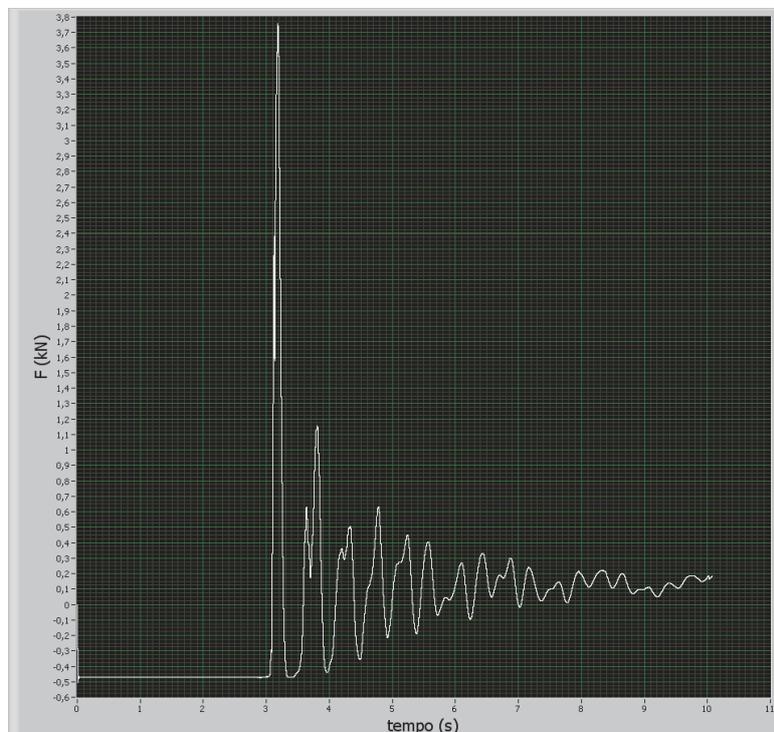


Figura A-2: Prova 60/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

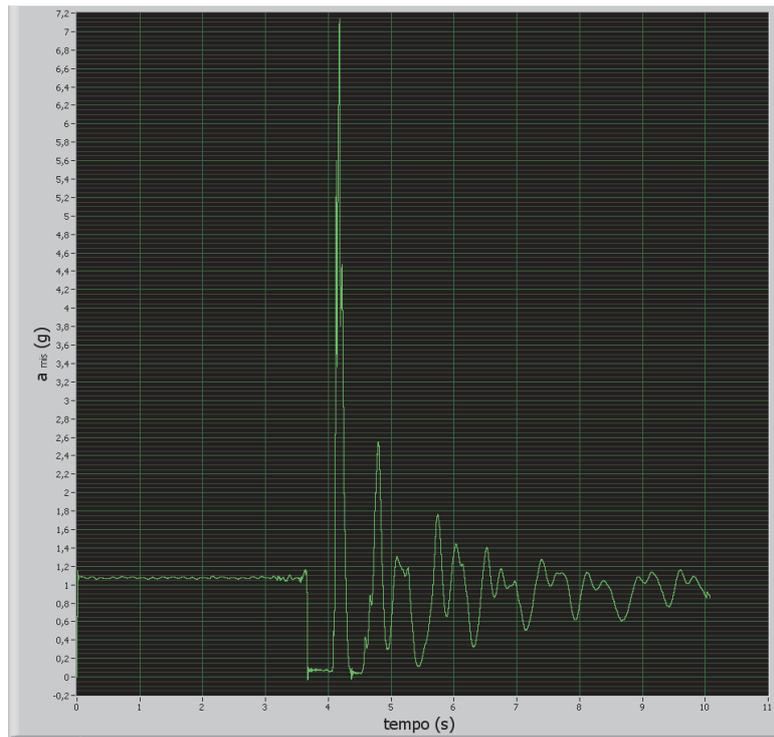


Figura A-3: Prova 60/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

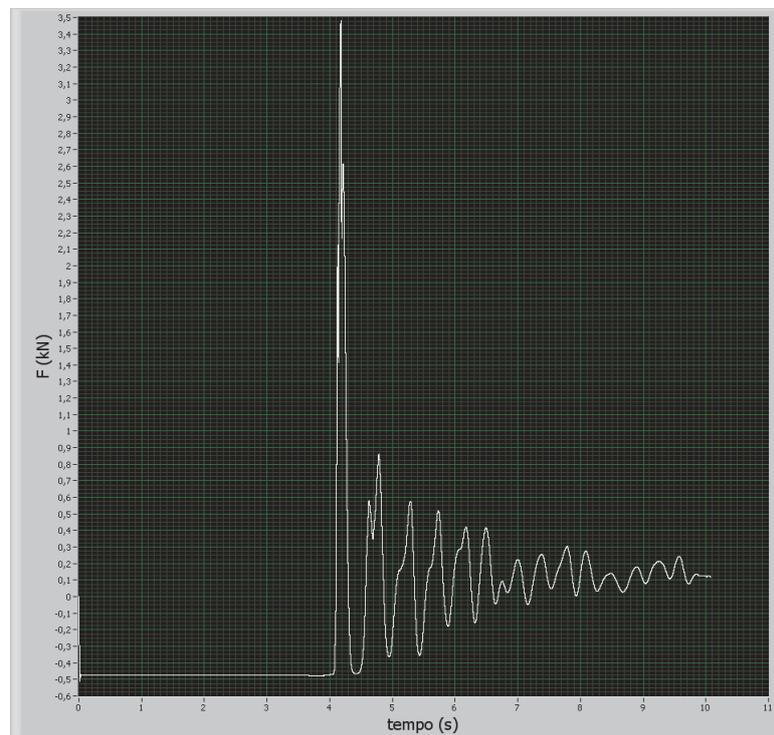


Figura A-4: Prova 60/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

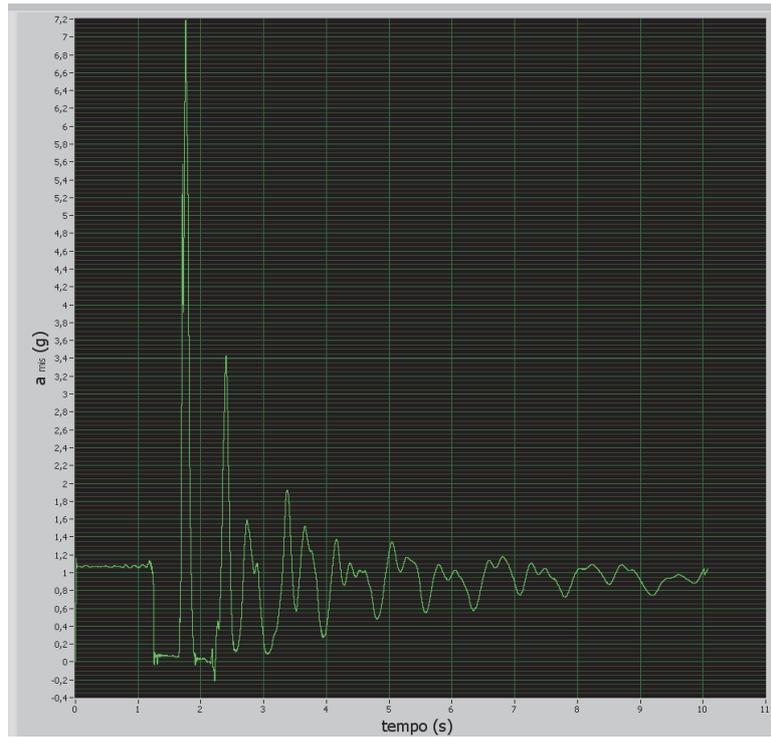


Figura A-5: Prova 60/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

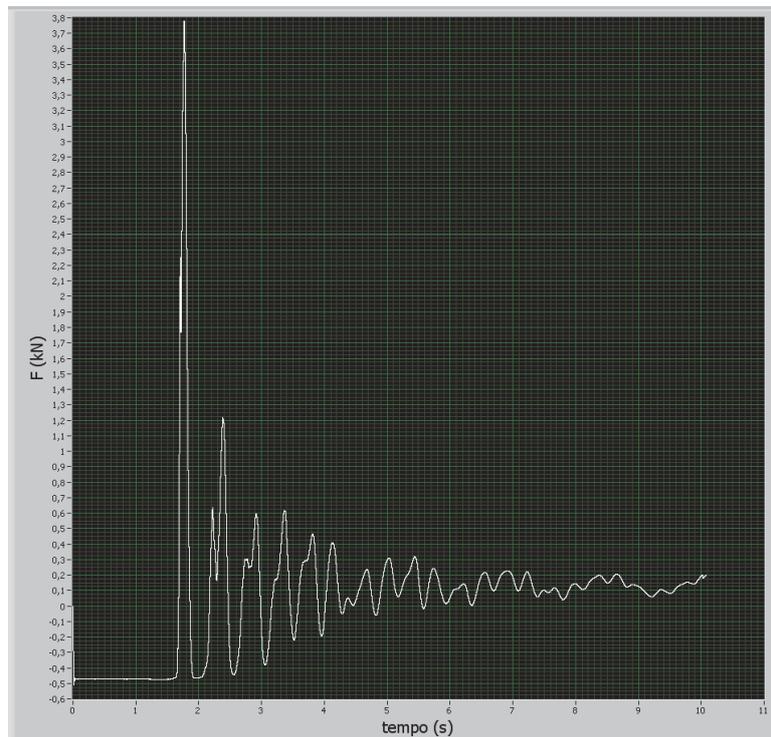


Figura A-6: Prova 60/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

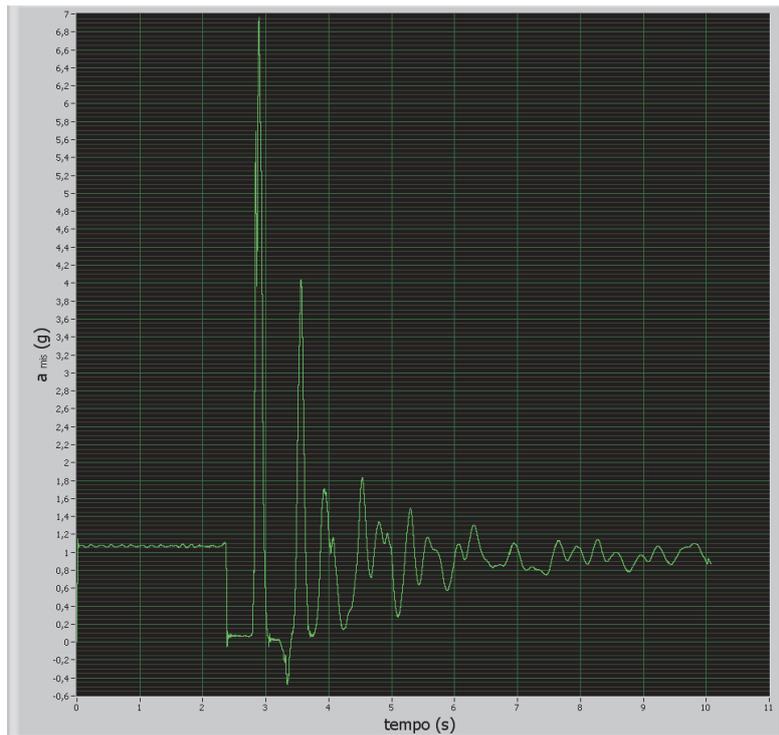


Figura A-7: Prova 60/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

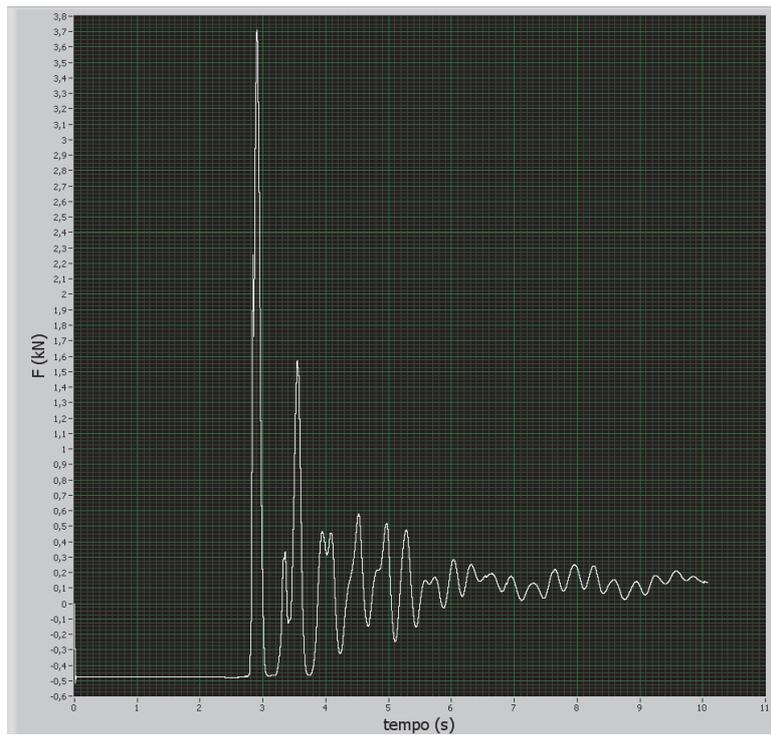


Figura A-8: Prova 60/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

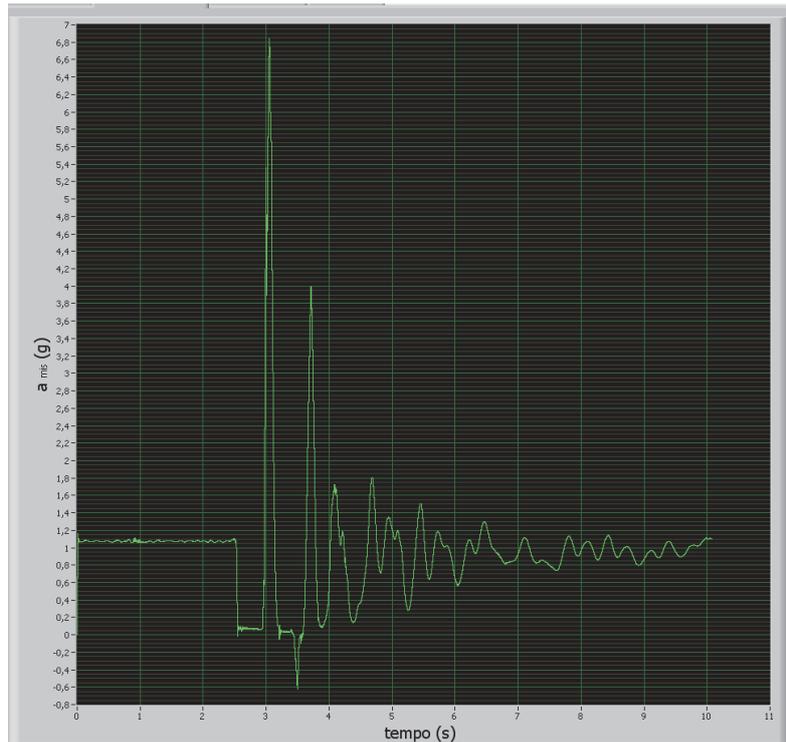


Figura A-9: Prova 60/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

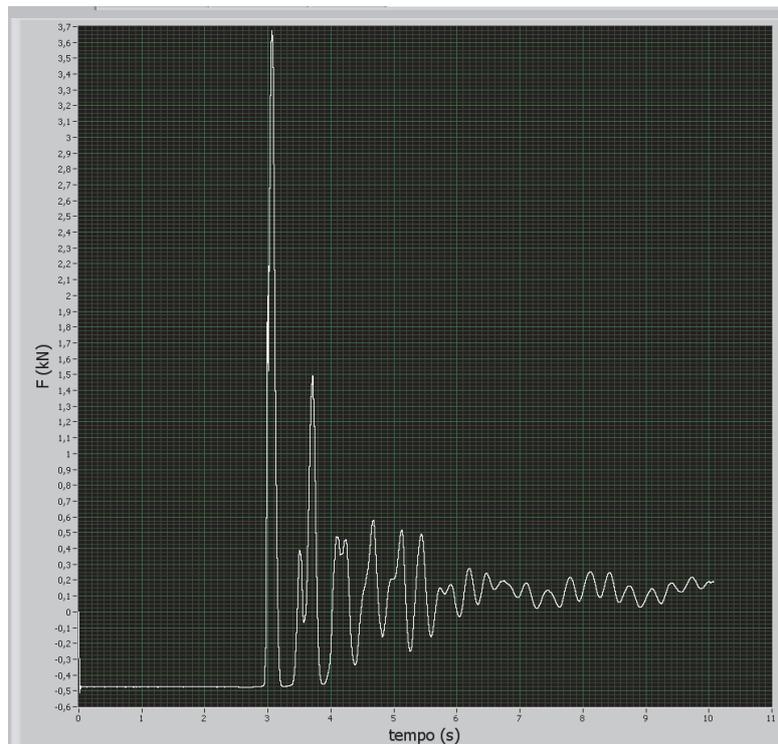


Figura A-10: Prova 60/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

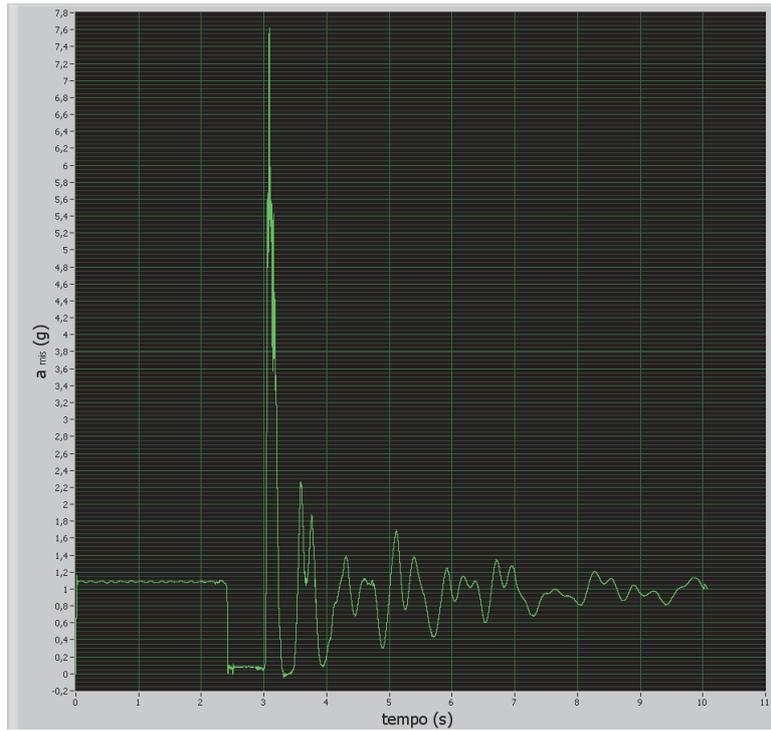


Figura A-11: Prova 60/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

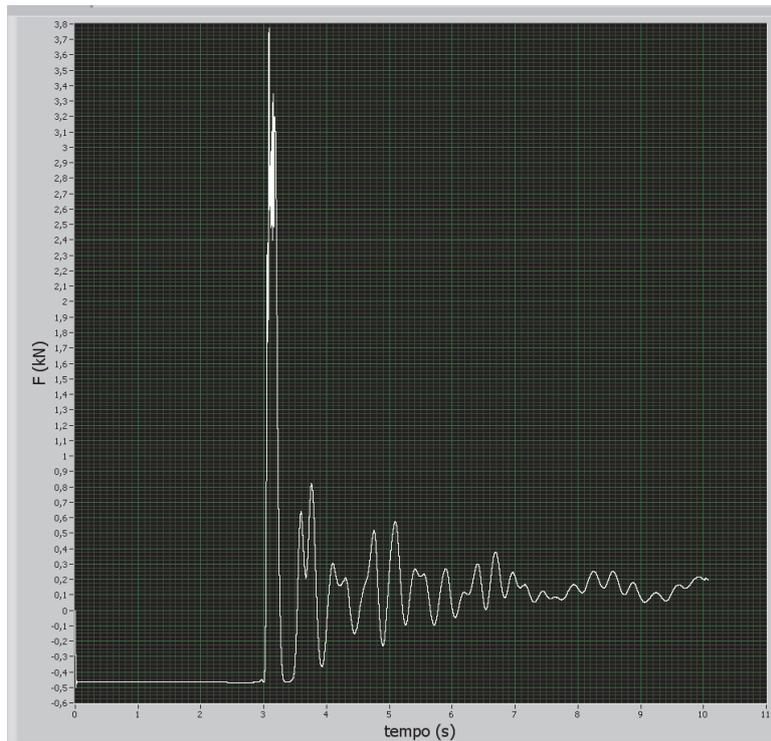


Figura A-12: Prova 60/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

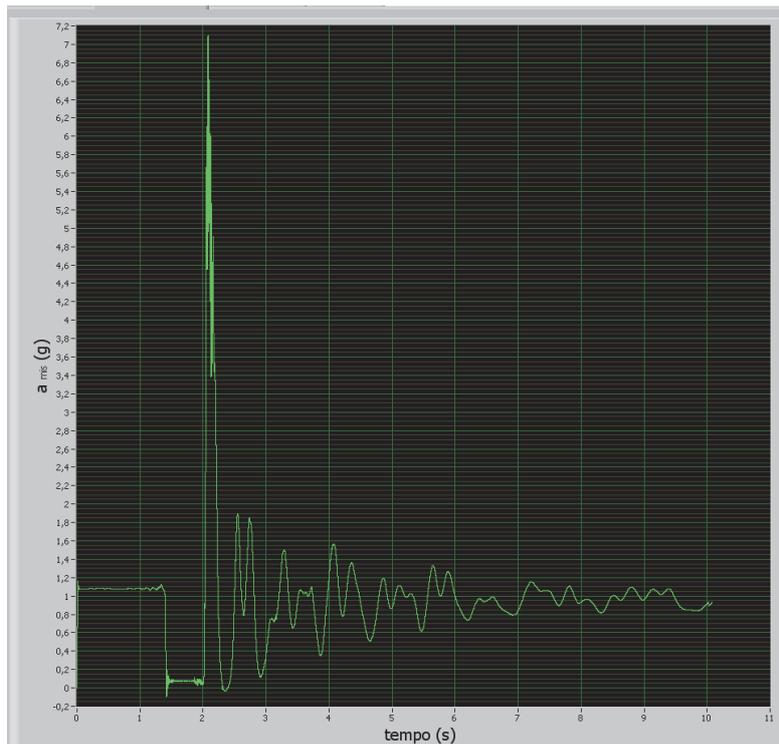


Figura A-13: Prova 60/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

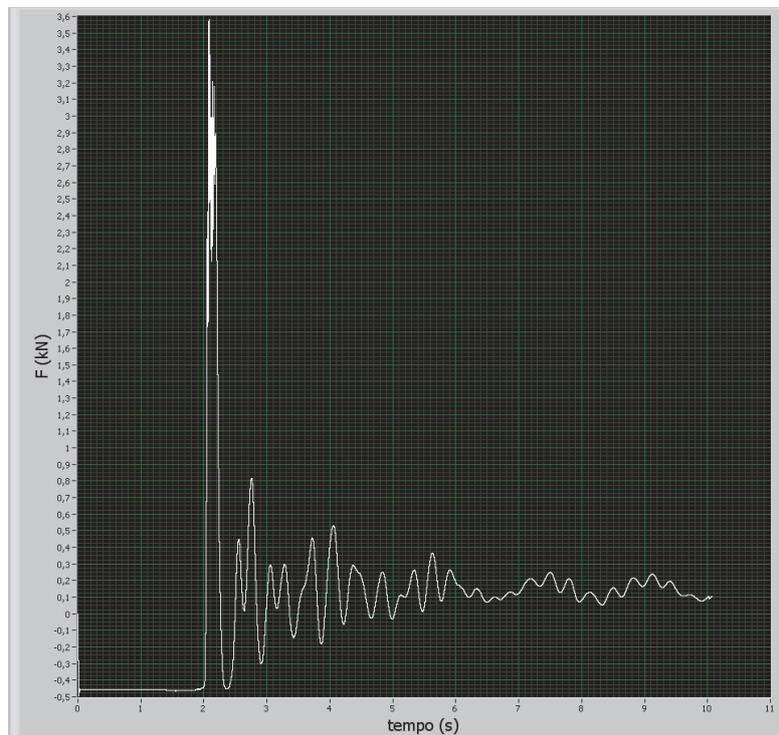


Figura A-14: Prova 60/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

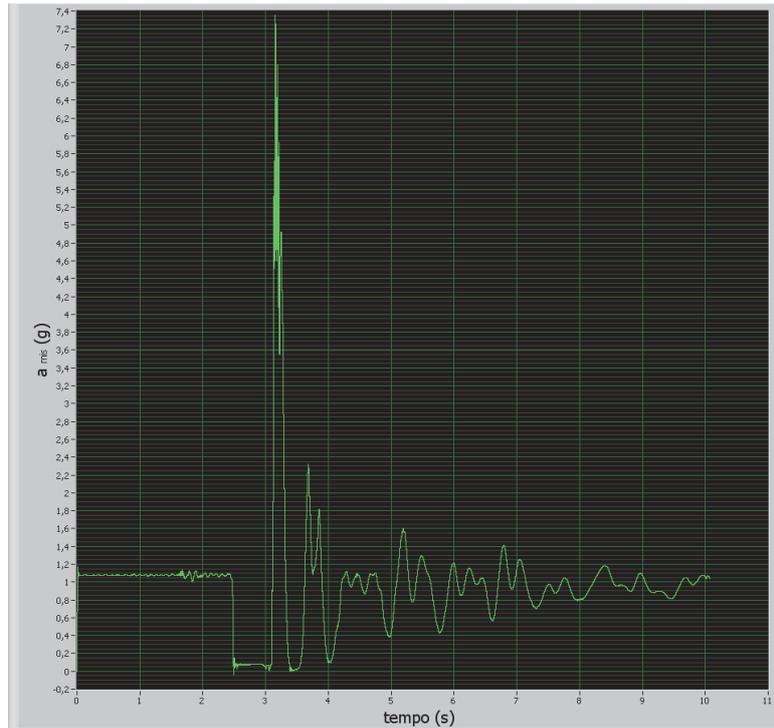


Figura A-15: Prova 60/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

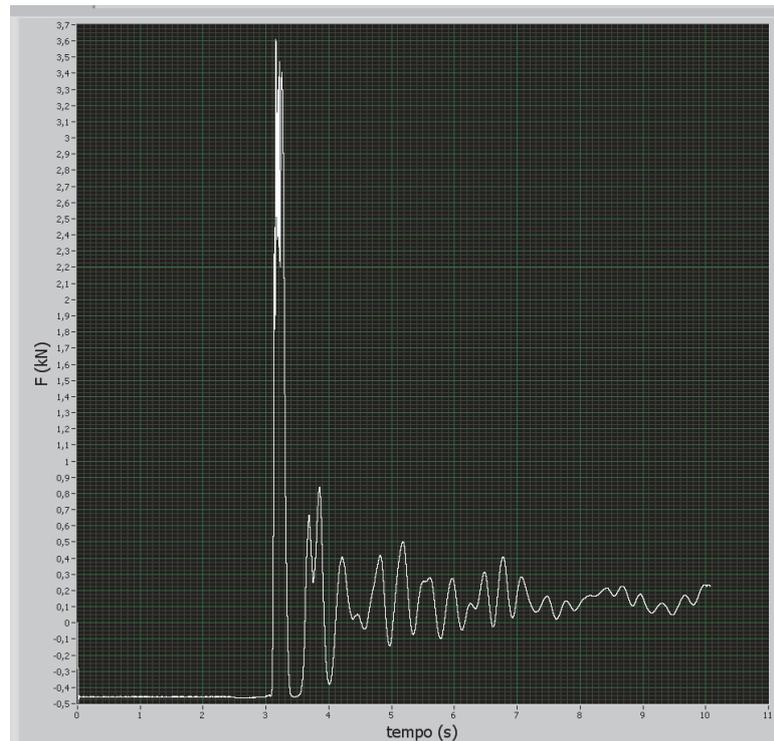


Figura A-16: Prova 60/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

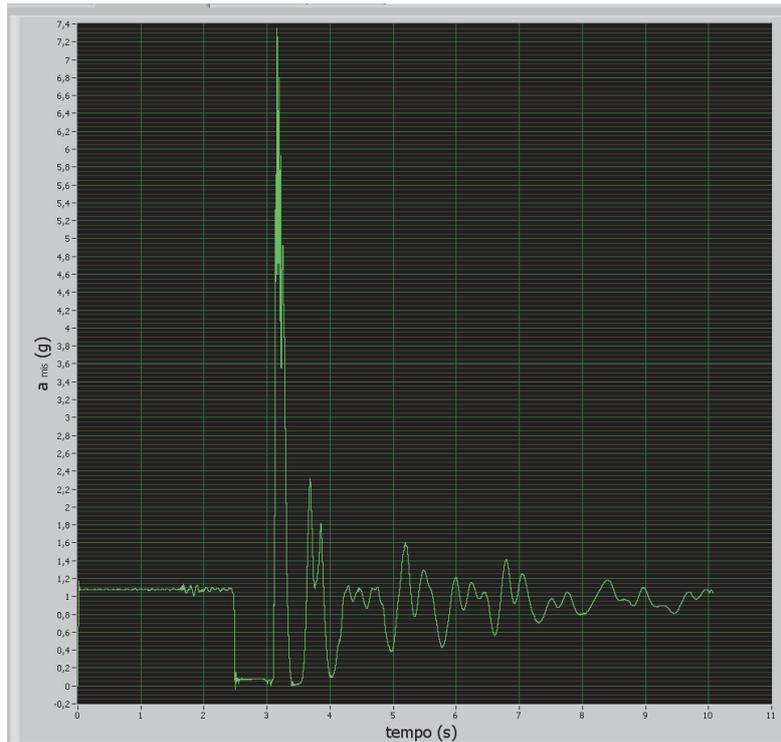


Figura A-17: Prova 60/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

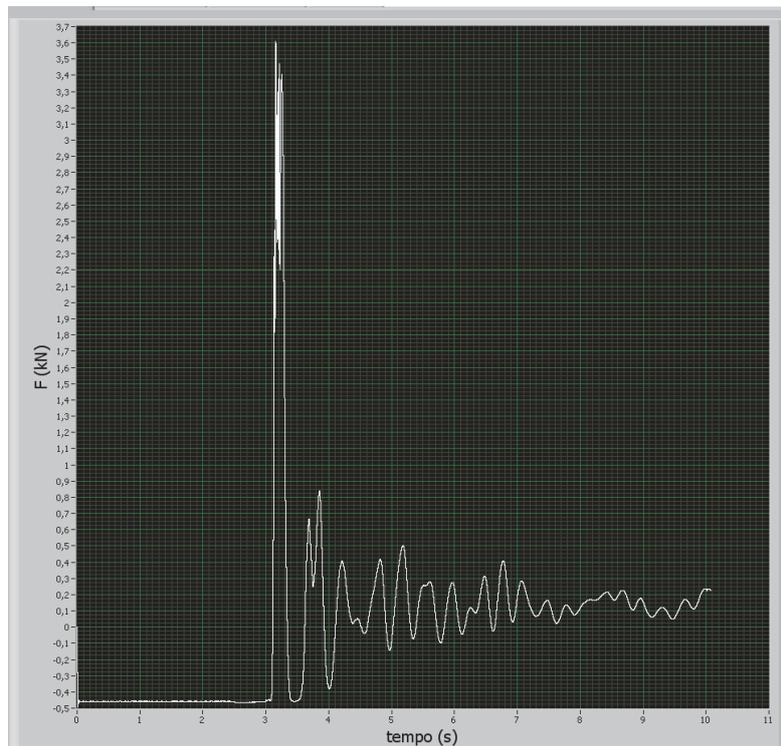


Figura A-18: Prova 60/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

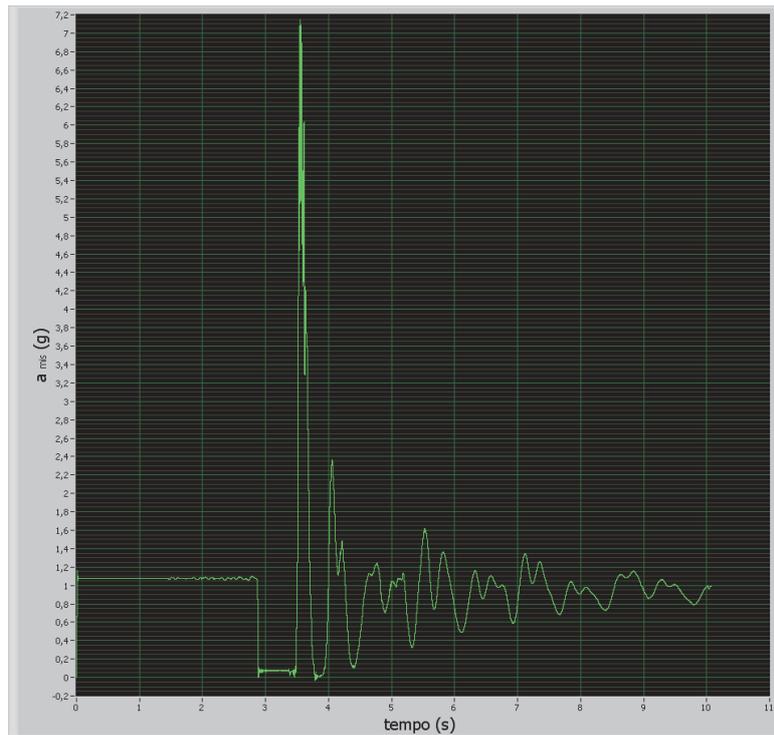


Figura A-19: Prova 60/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

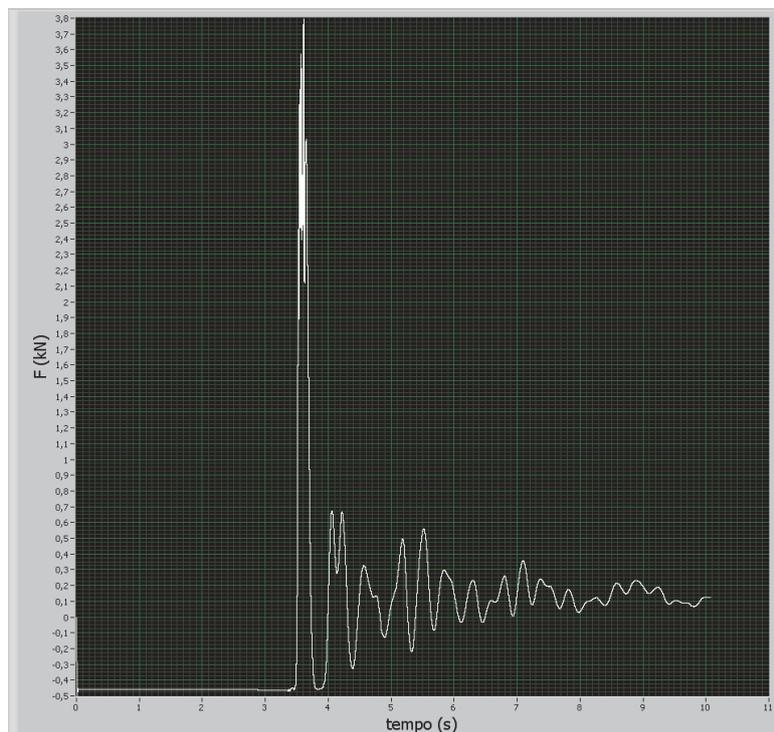


Figura A-20: Prova 60/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

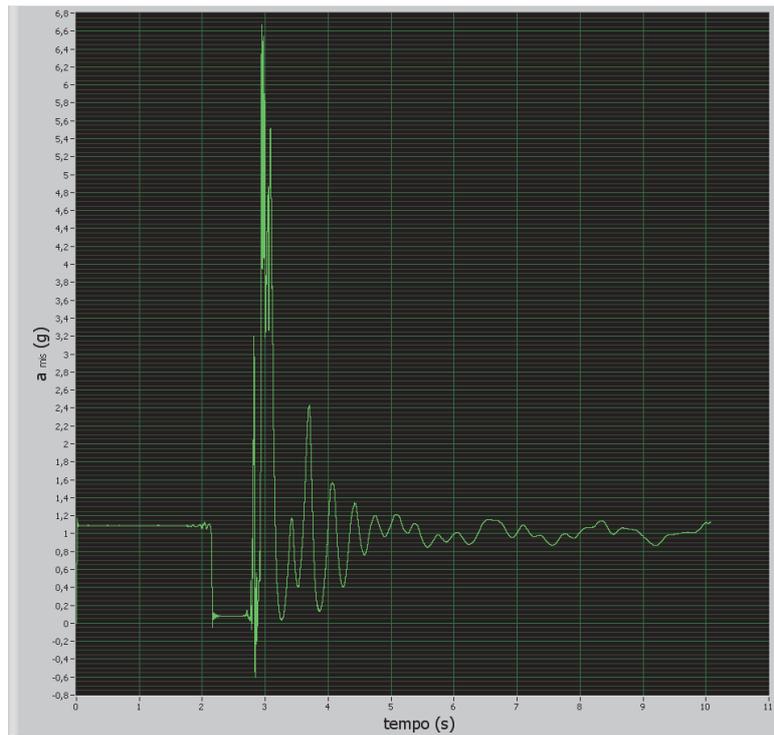


Figura A-21: Prova 60/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

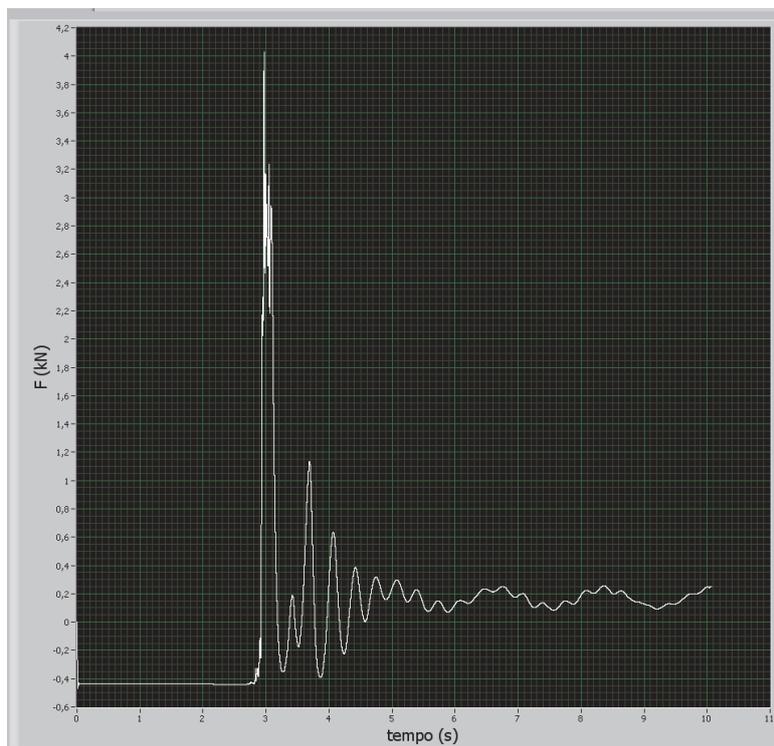


Figura A-22: Prova 60/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

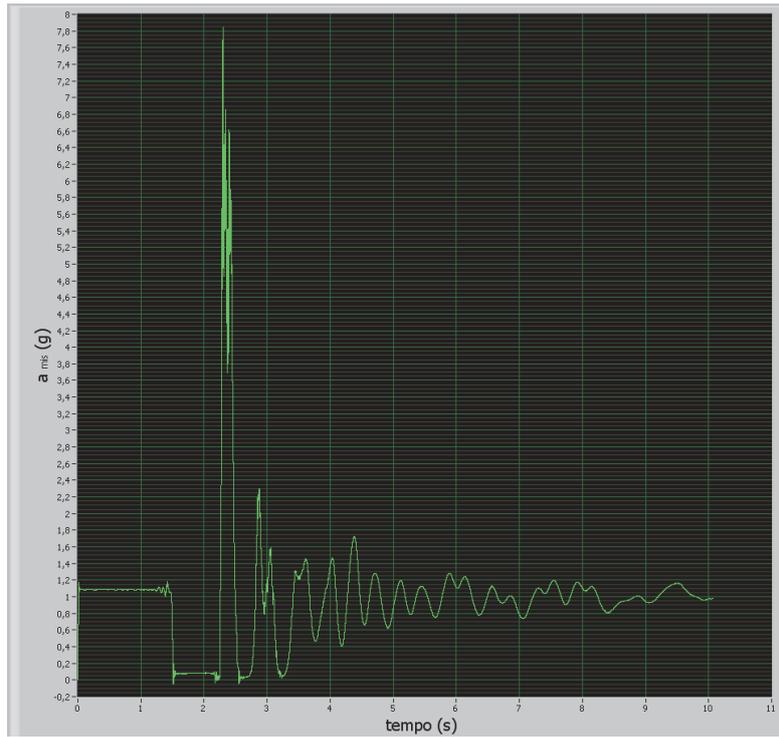


Figura A-23: Prova 60/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

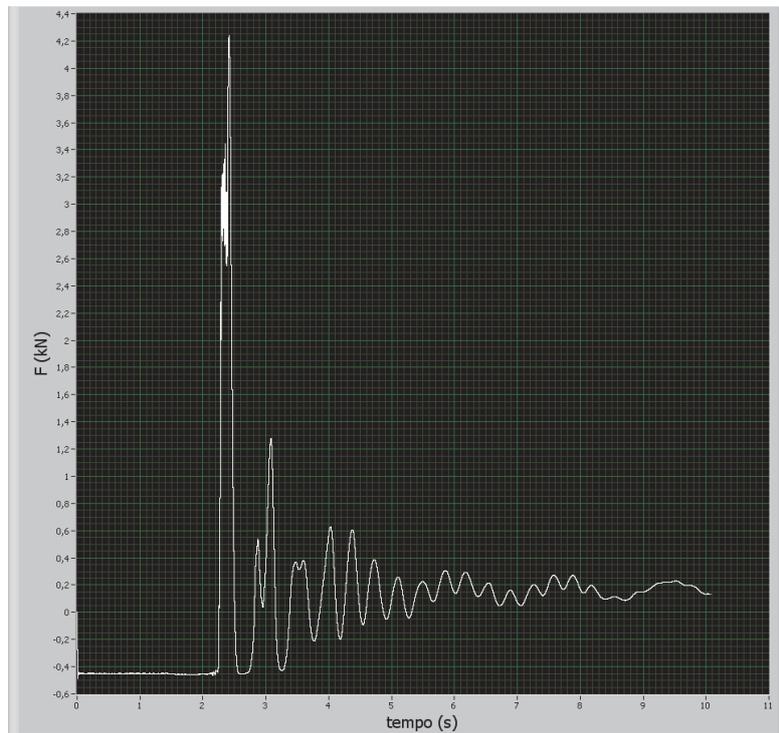


Figura A-24: Prova 60/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

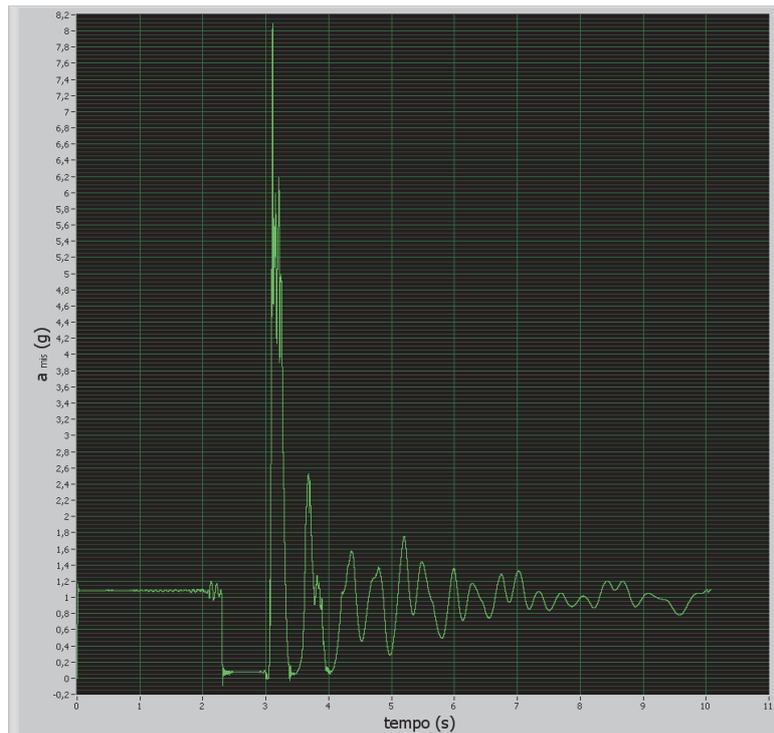


Figura A-25: Prova 60/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

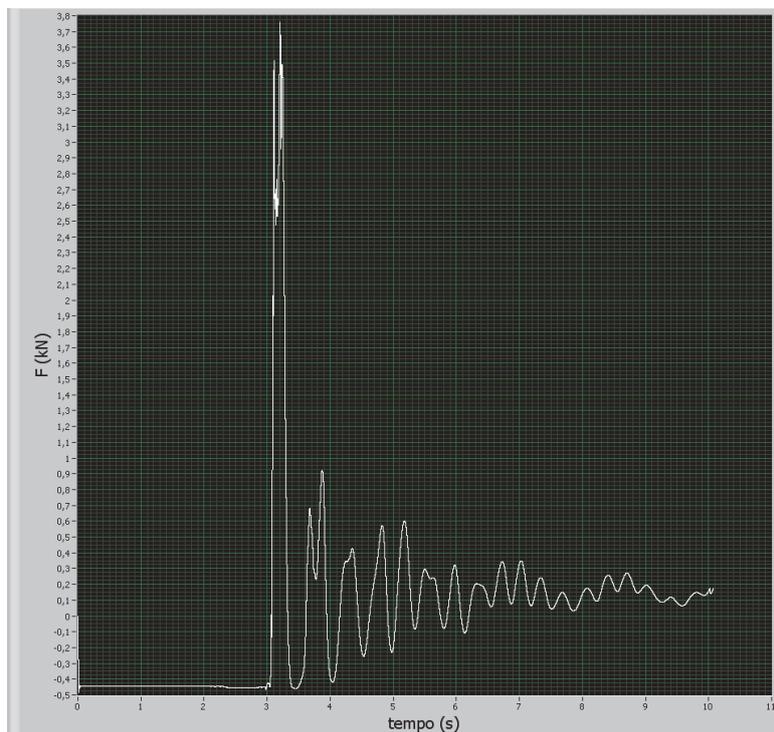


Figura A-26: Prova 60/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

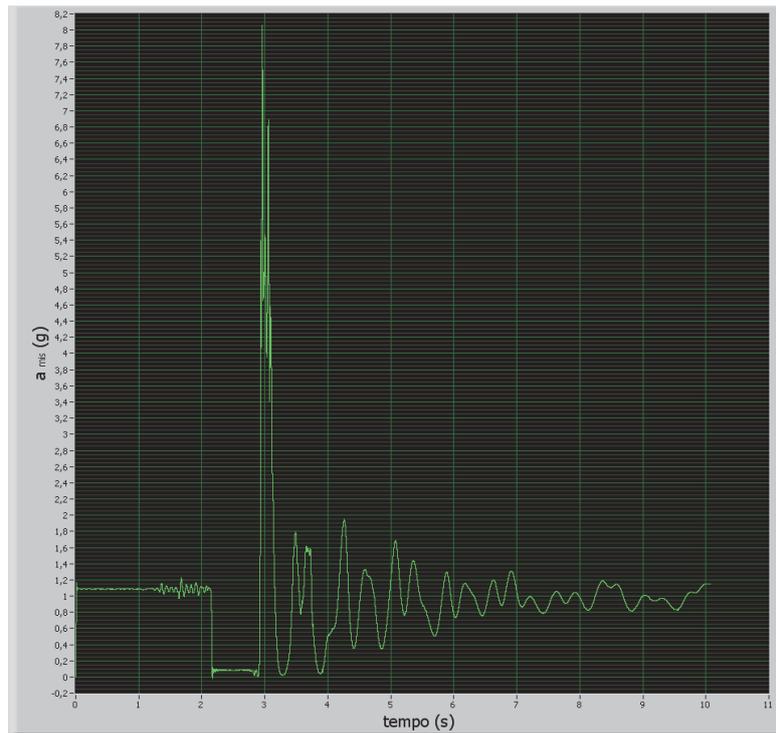


Figura A-27: Prova 60/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

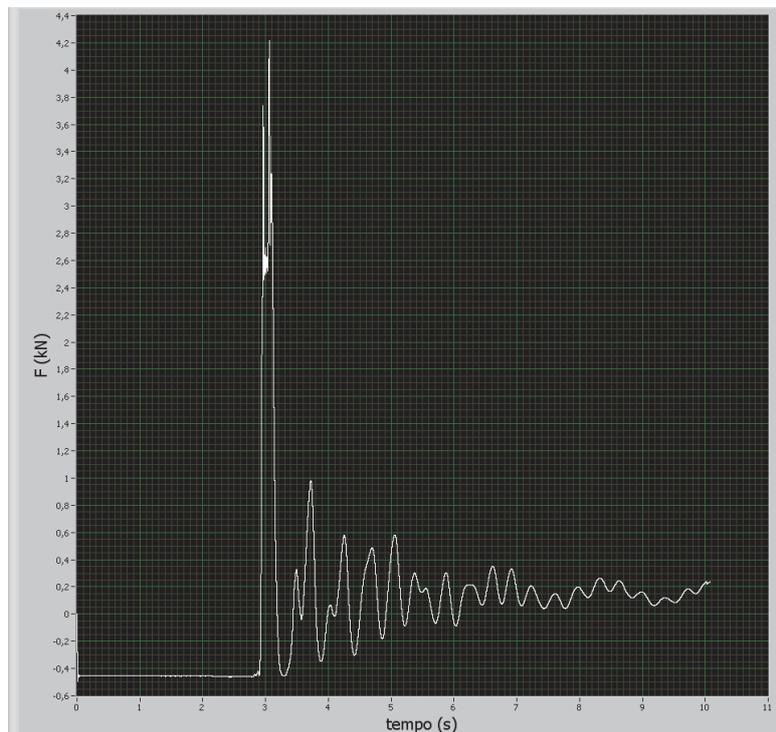


Figura A-28: Prova 60/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

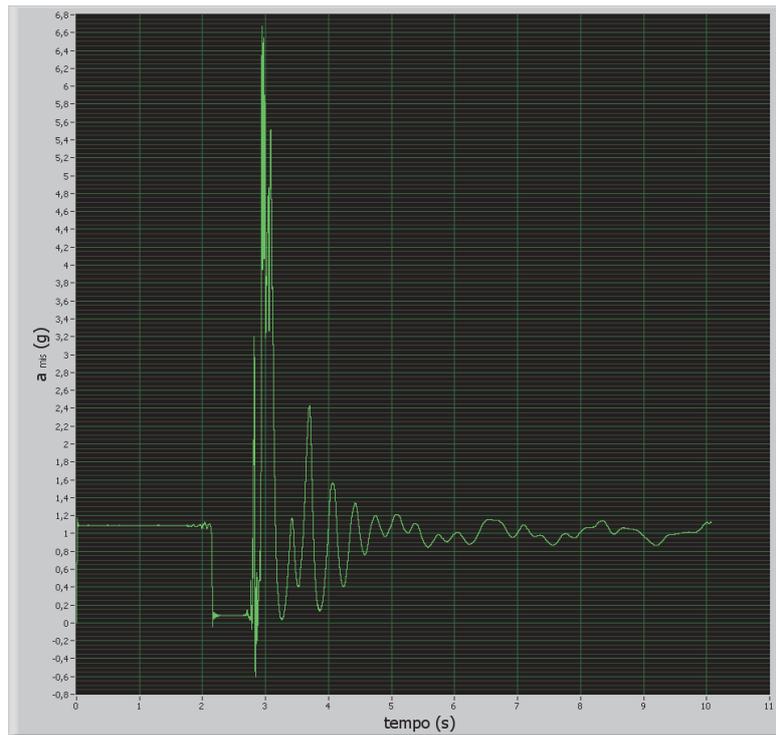


Figura A-29: Prova 60/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

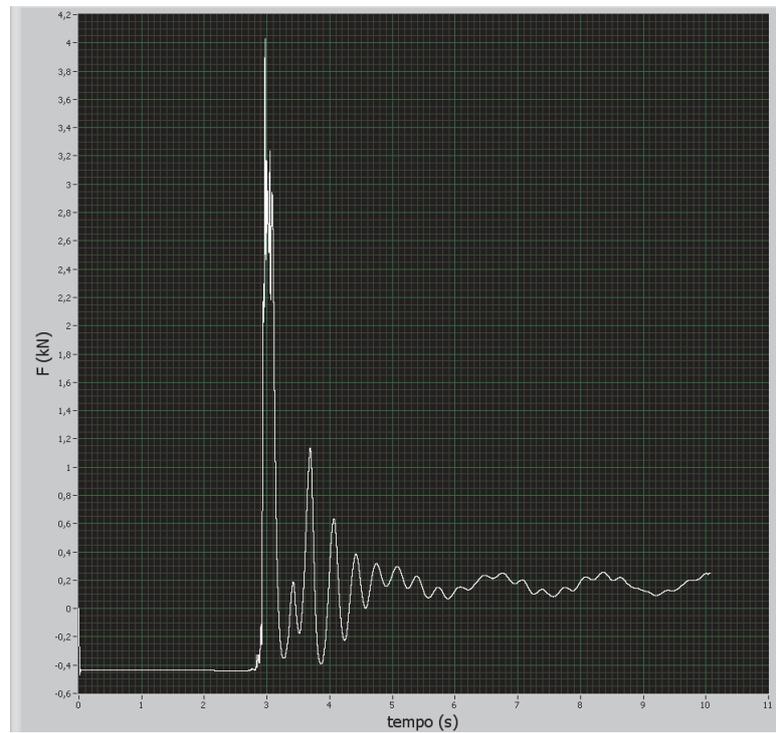


Figura A-30: Prova 60/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

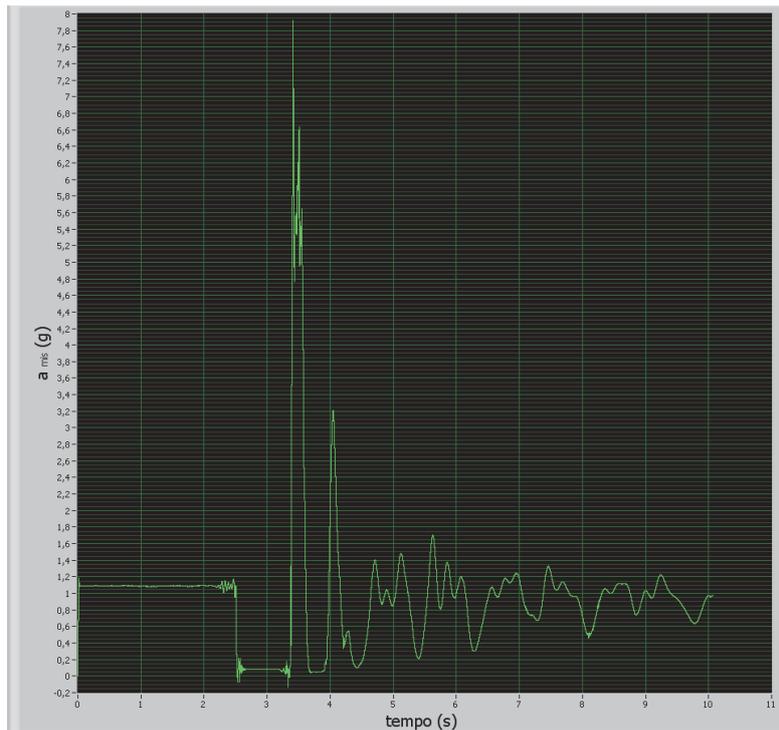


Figura A-31: Prova 60/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

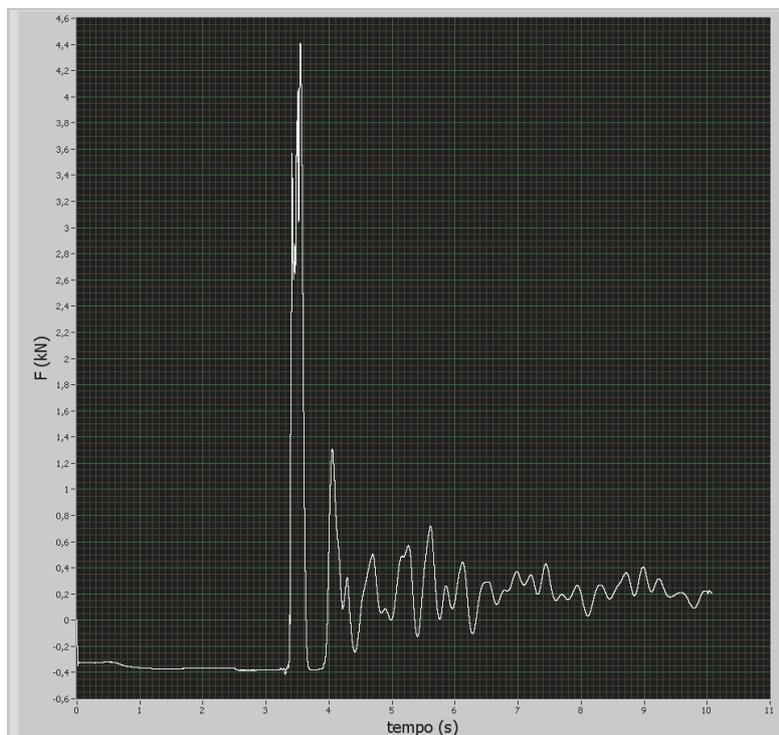


Figura A-32: Prova 60/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

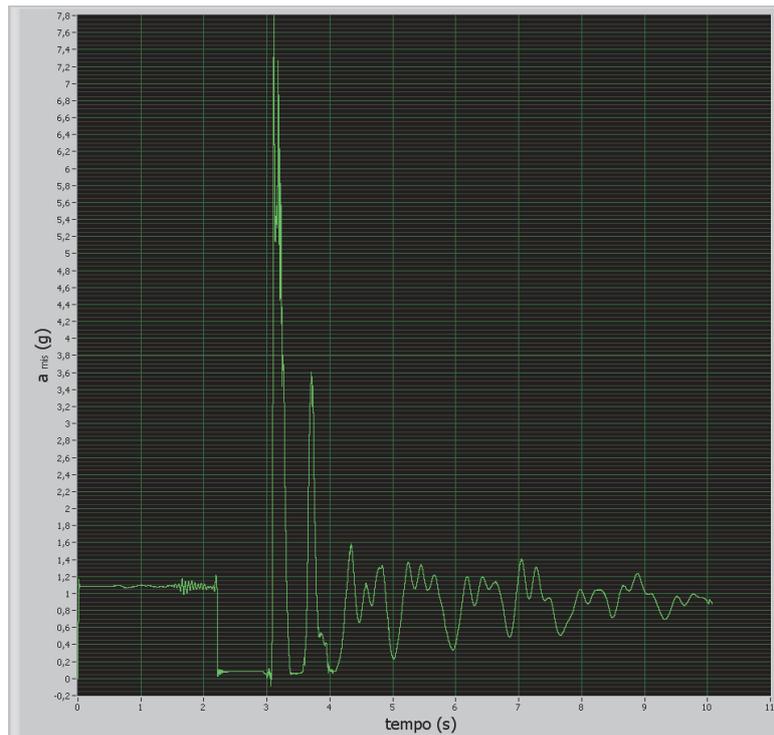


Figura A-33: Prova 60/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

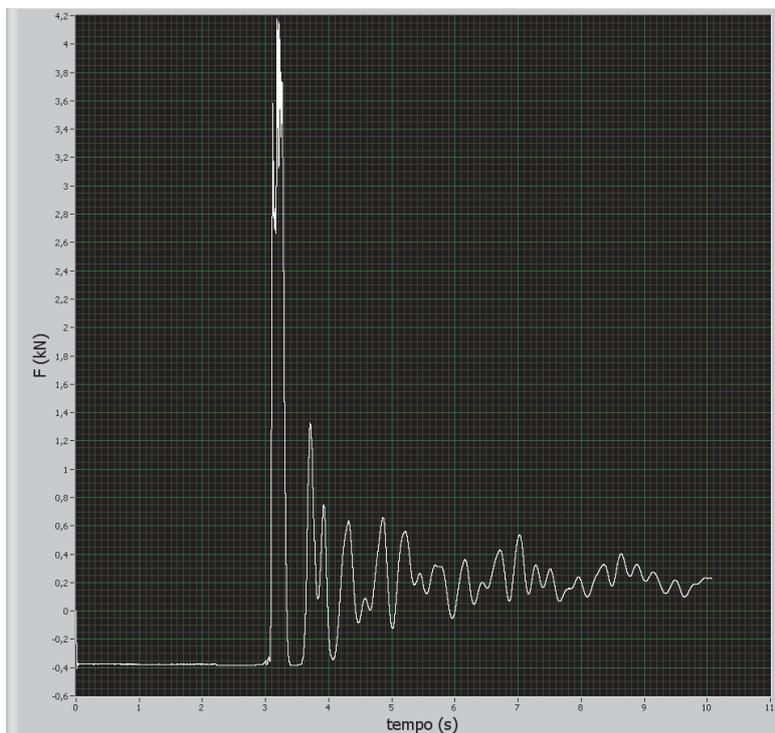


Figura A-34: Prova 60/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

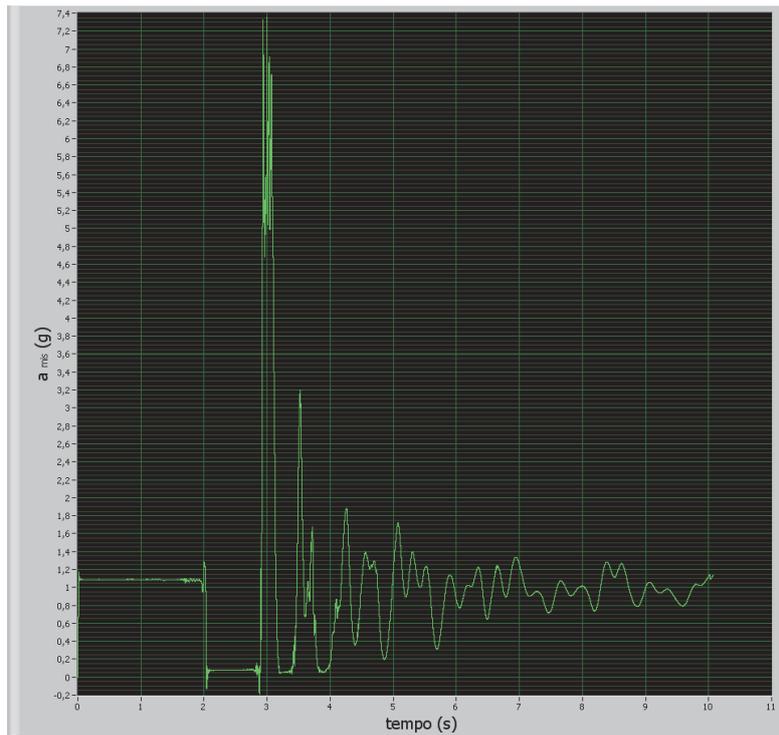


Figura A-35: Prova 60/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

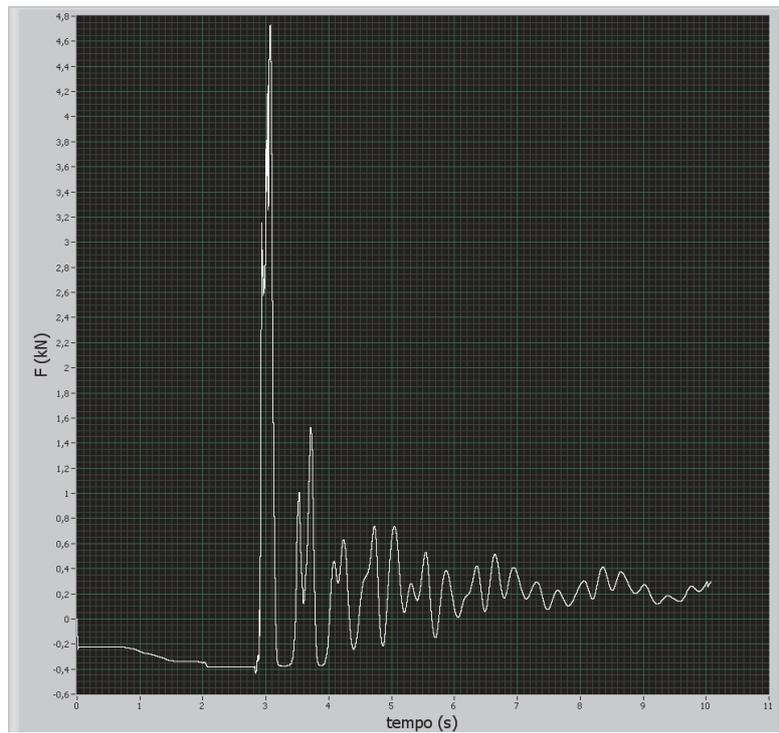


Figura A-36: Prova 60/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

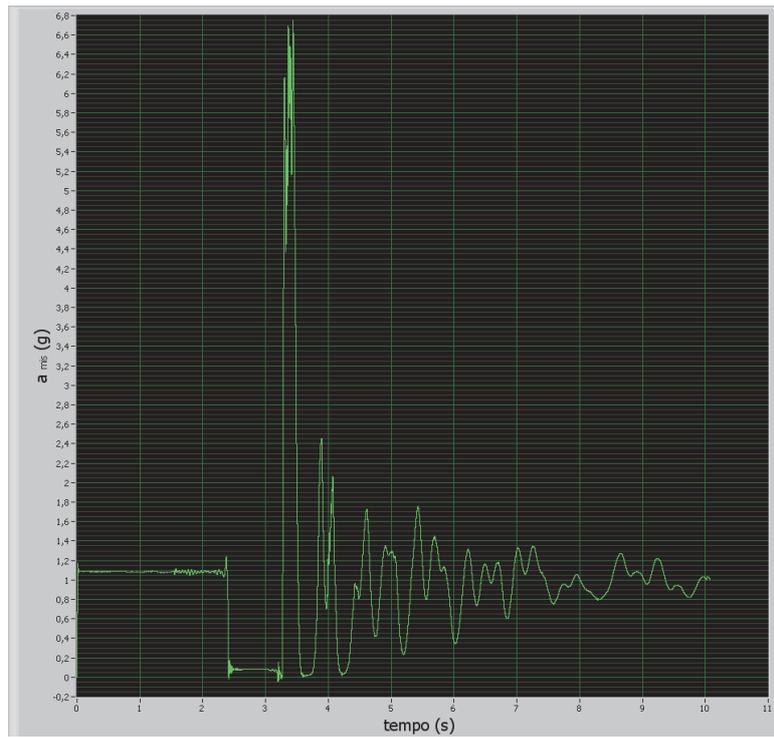


Figura A-37: Prova 60/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

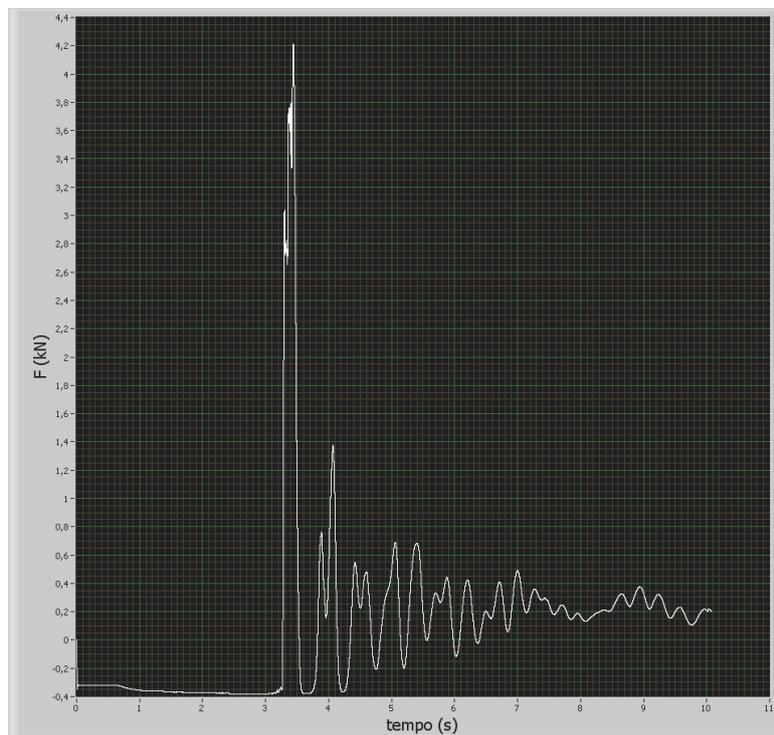


Figura A-38: Prova 60/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

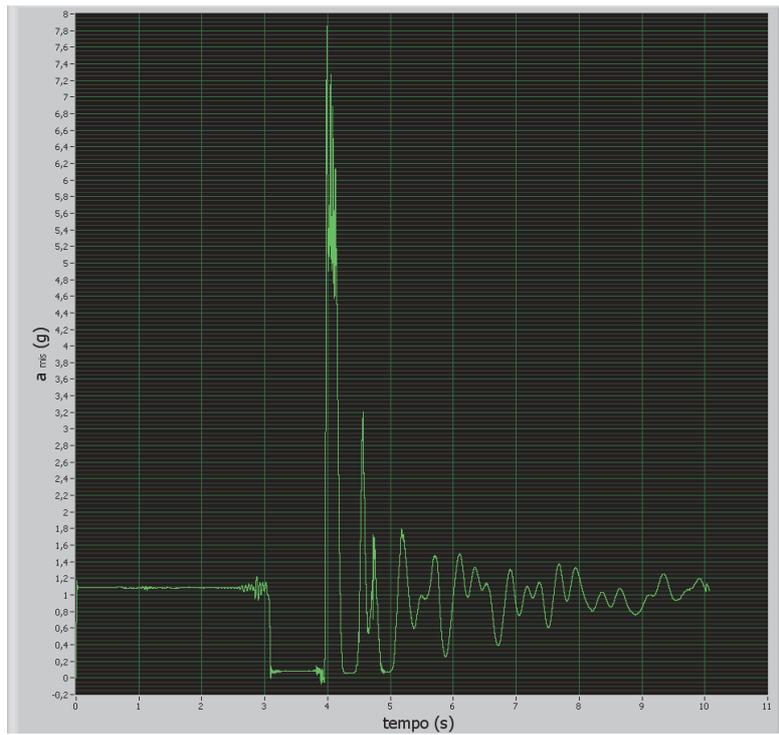


Figura A-39: Prova 60/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

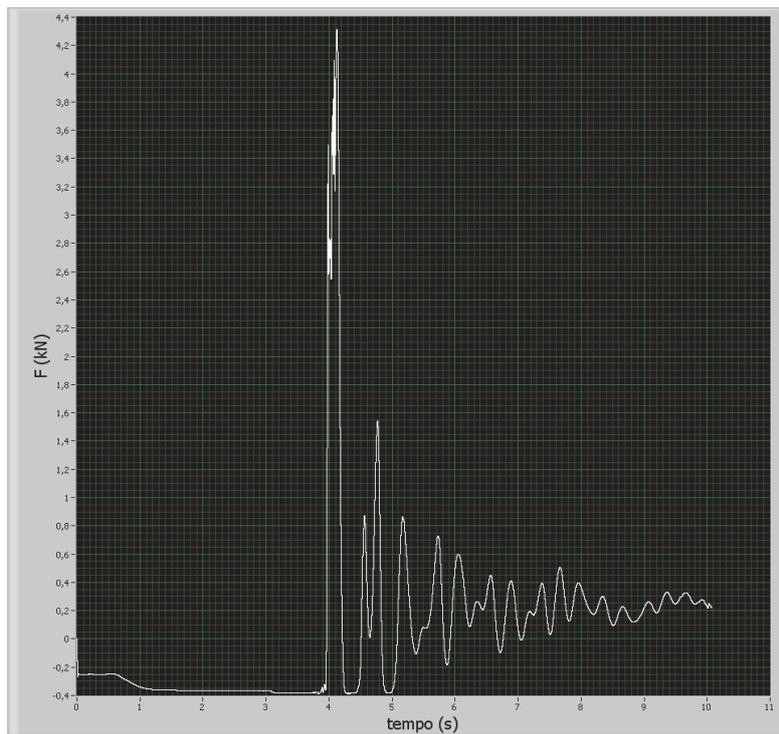


Figura A-40: Prova 60/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

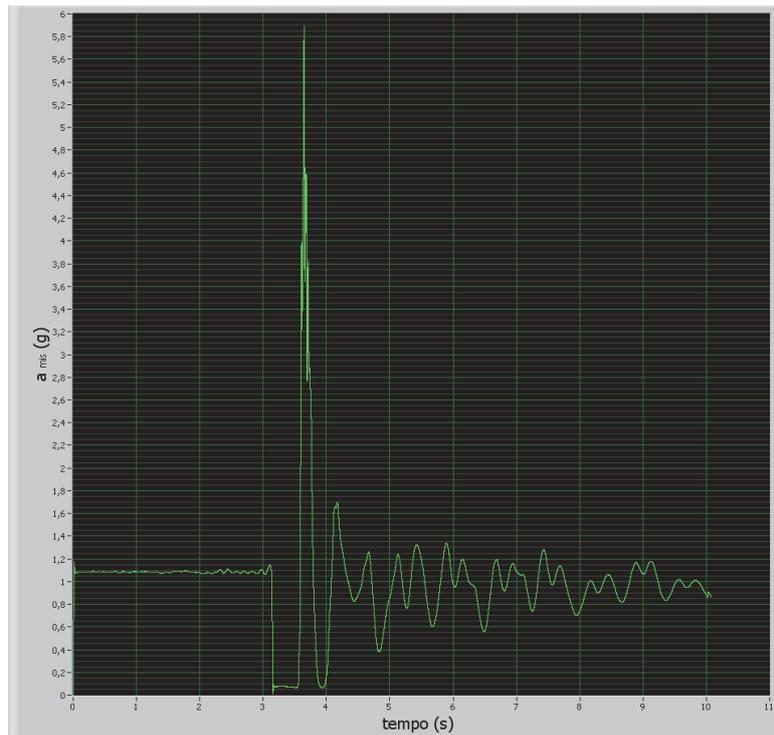


Figura A-41: Prova 80/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

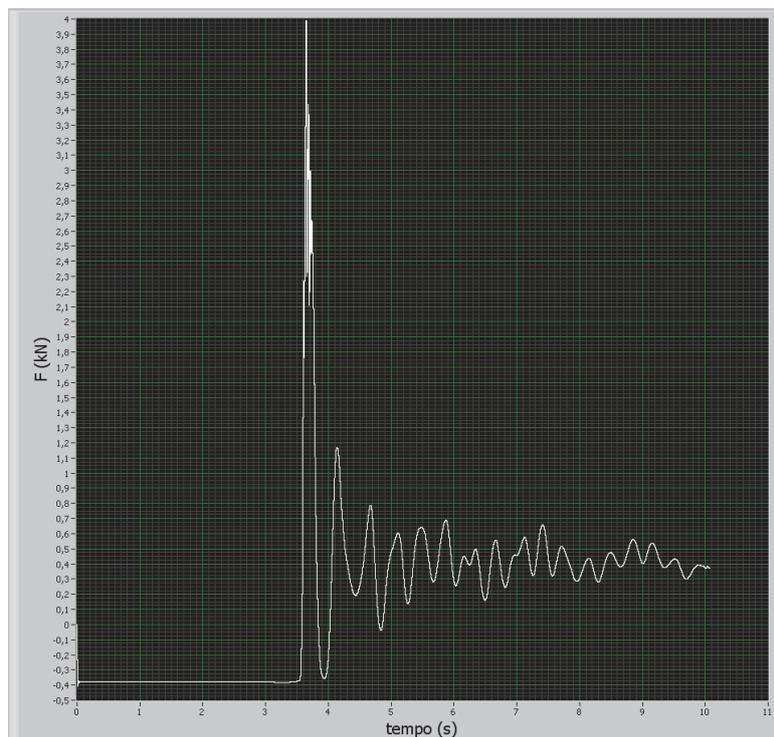


Figura A-42: Prova 80/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

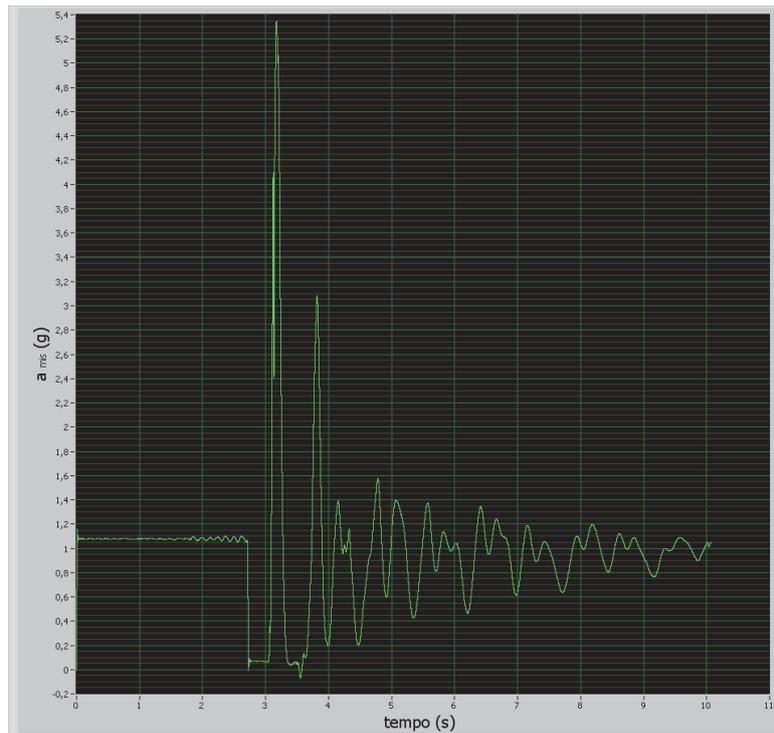


Figura A-43: Prova 80/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

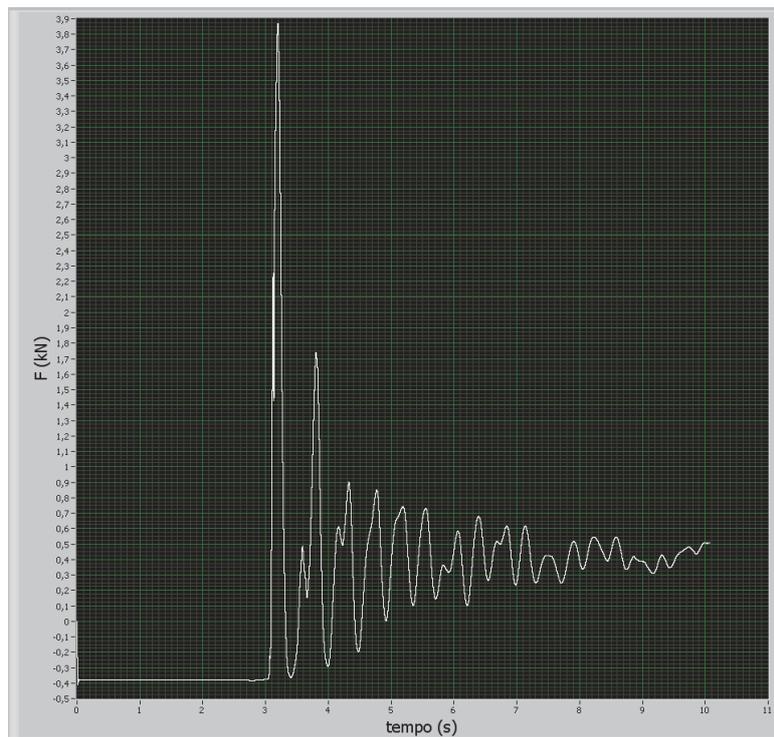


Figura A-44: Prova 80/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

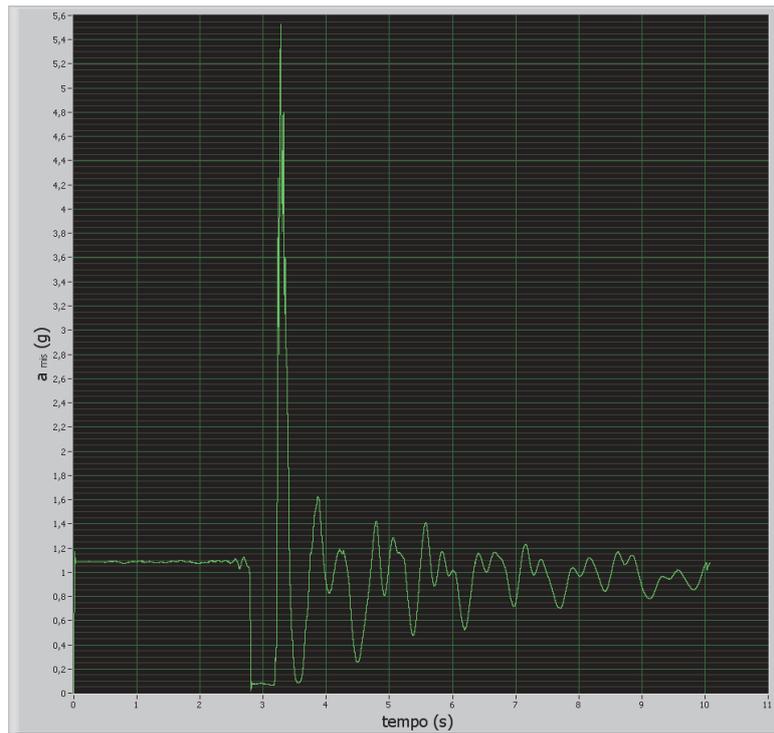


Figura A-45: Prova 80/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

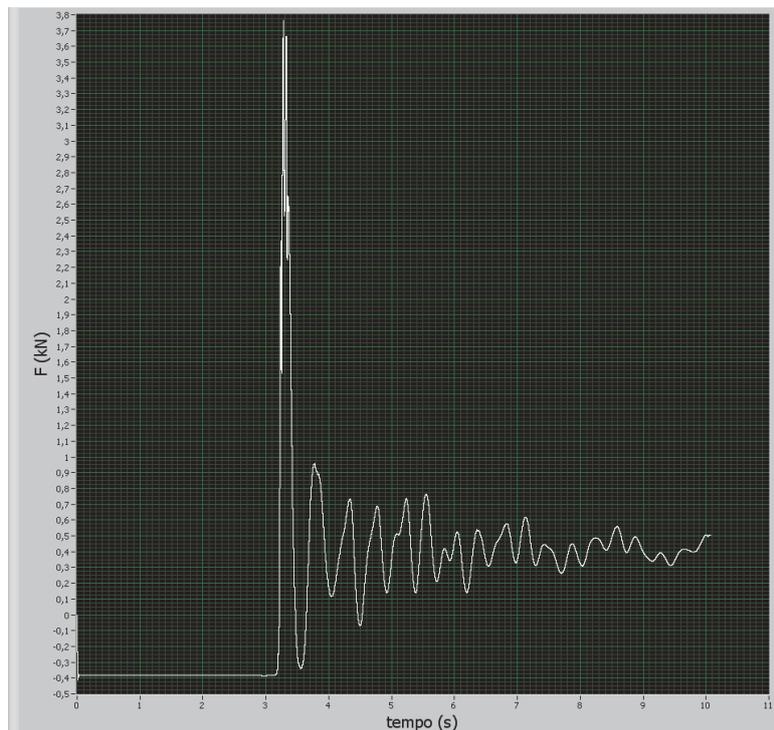


Figura A-46: Prova 80/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

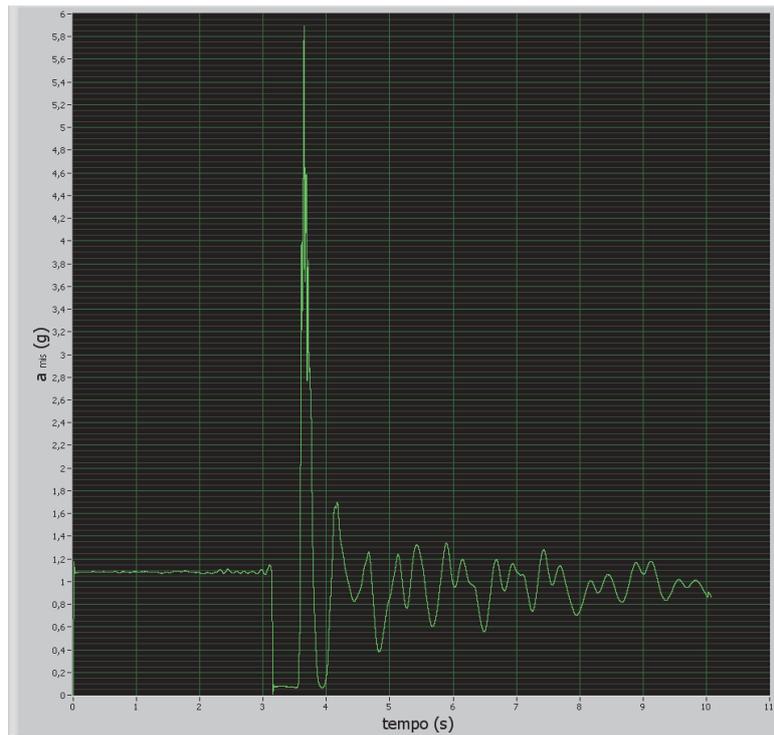


Figura A-47: Prova 80/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

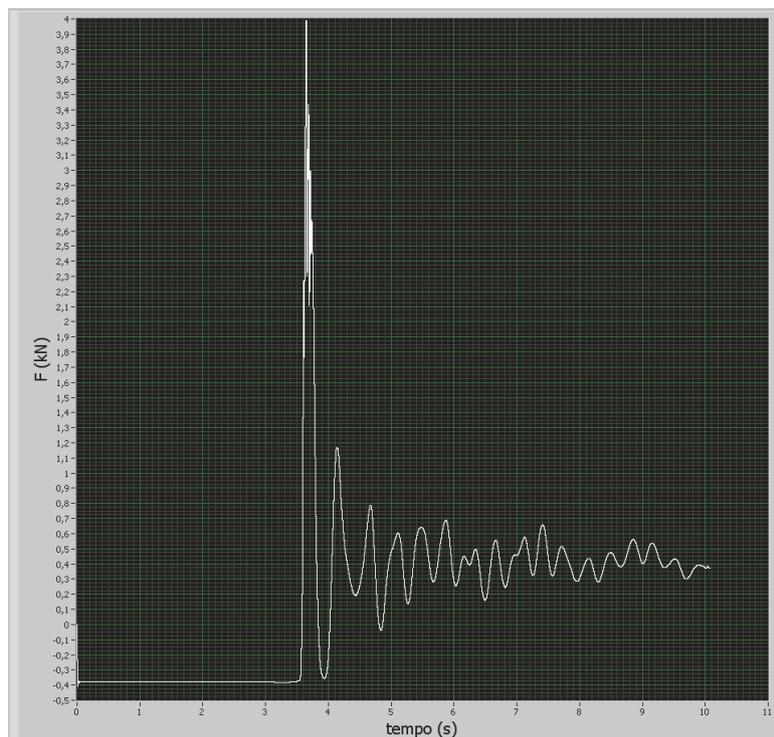


Figura A-48: Prova 80/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

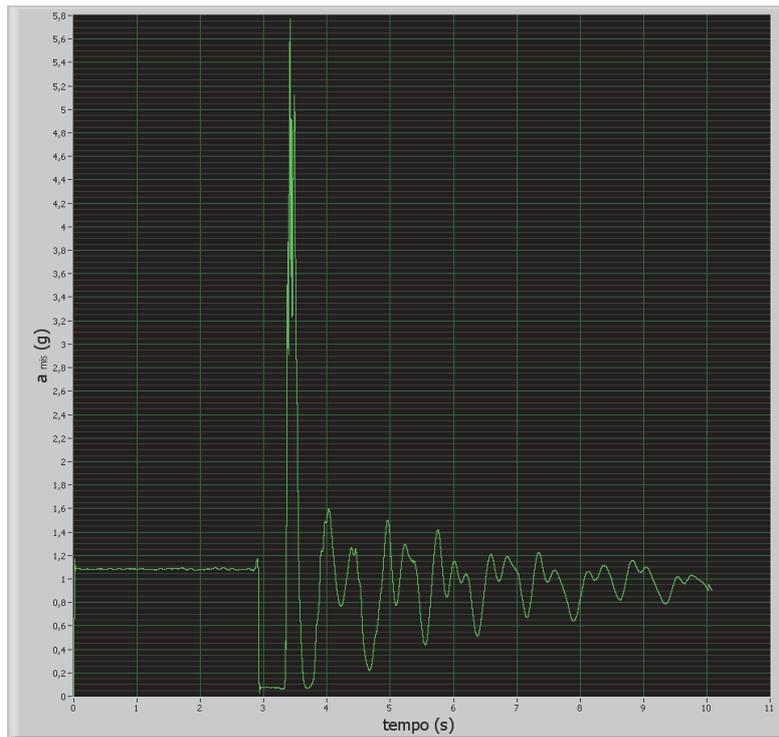


Figura A-49: Prova 80/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

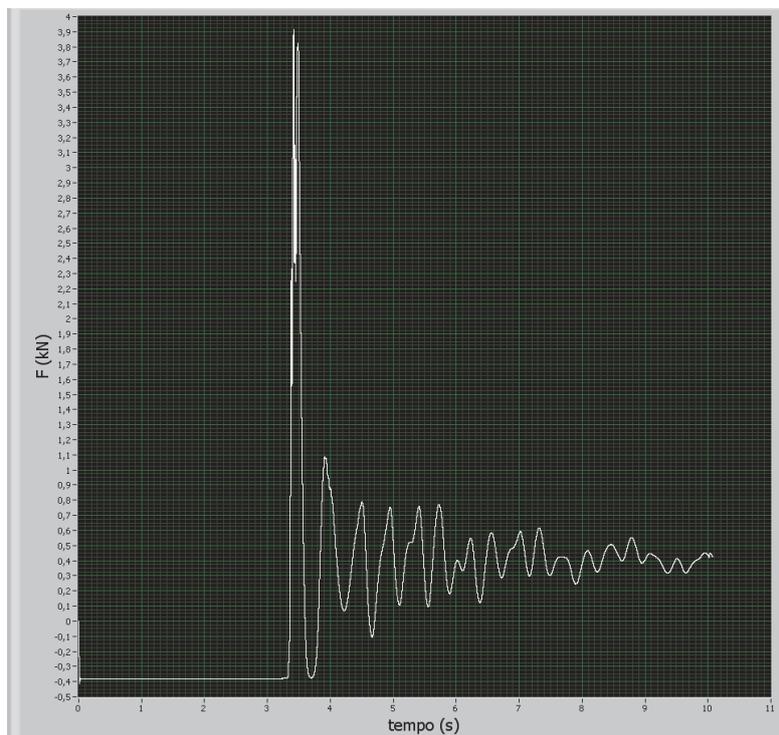


Figura A-50: Prova 80/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

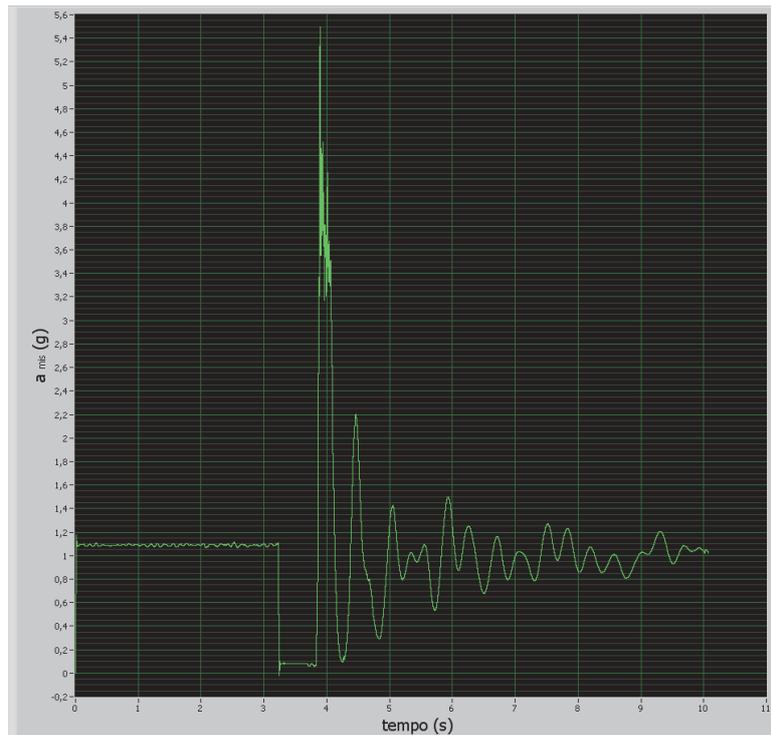


Figura A-51: Prova 80/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

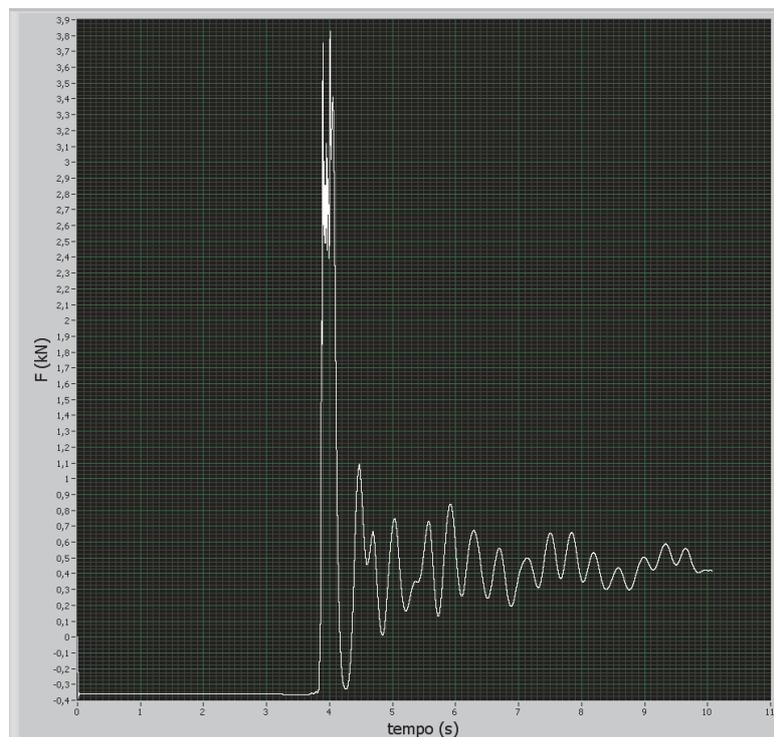


Figura A-52: Prova 80/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

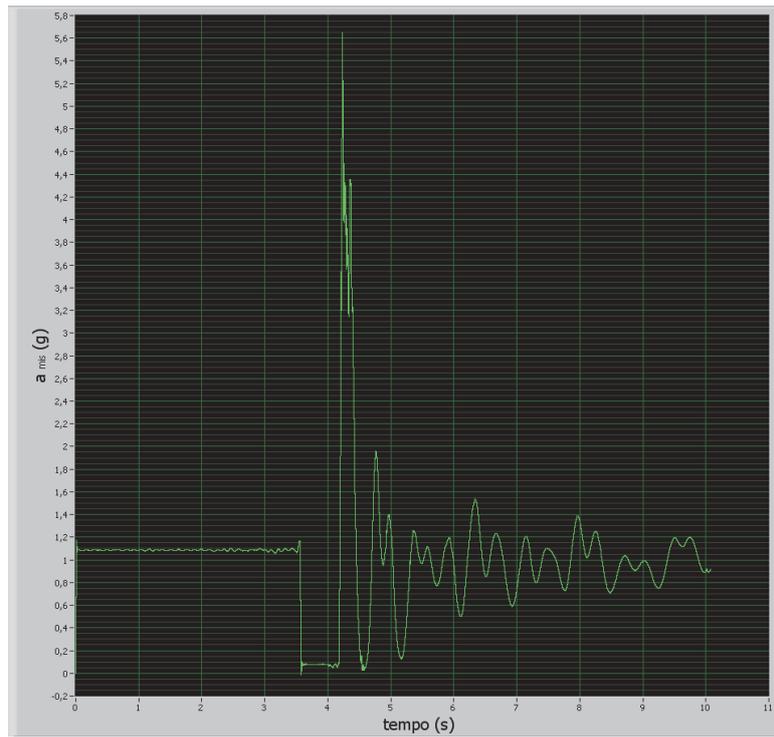


Figura A-53: Prova 80/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

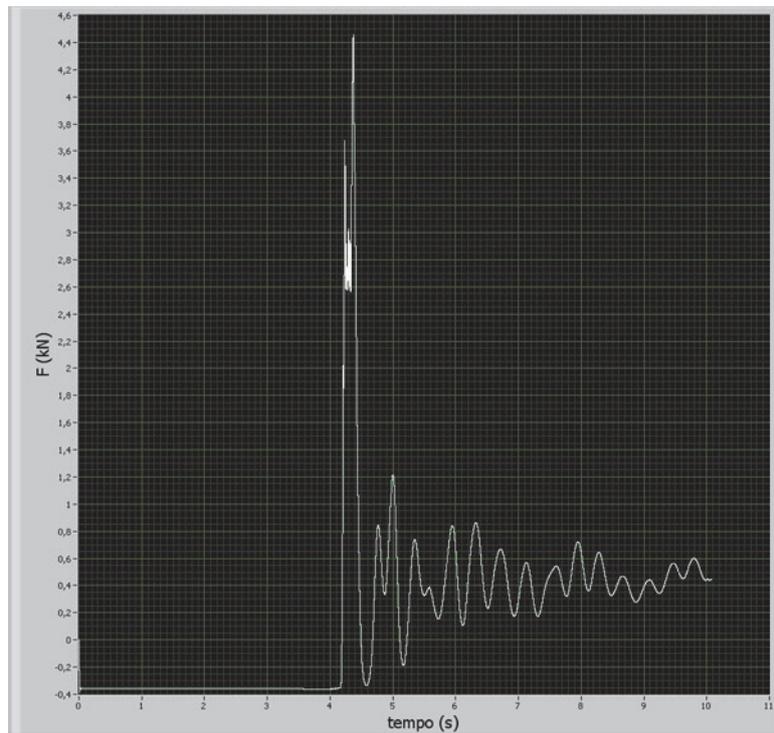


Figura A-54: Prova 80/2 F andamento di F [kN] rispetto al tempo [s]

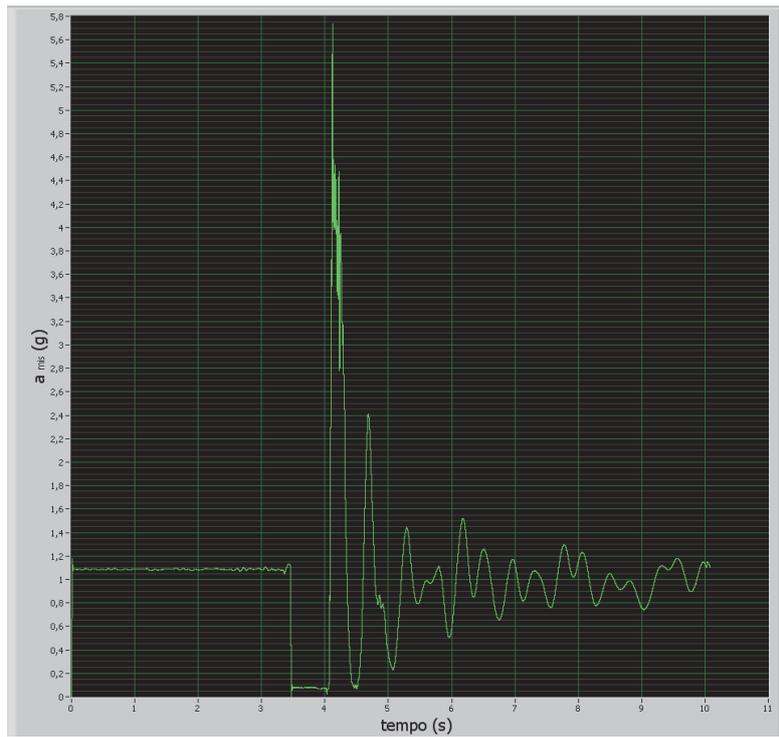


Figura A-55: Prova 80/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

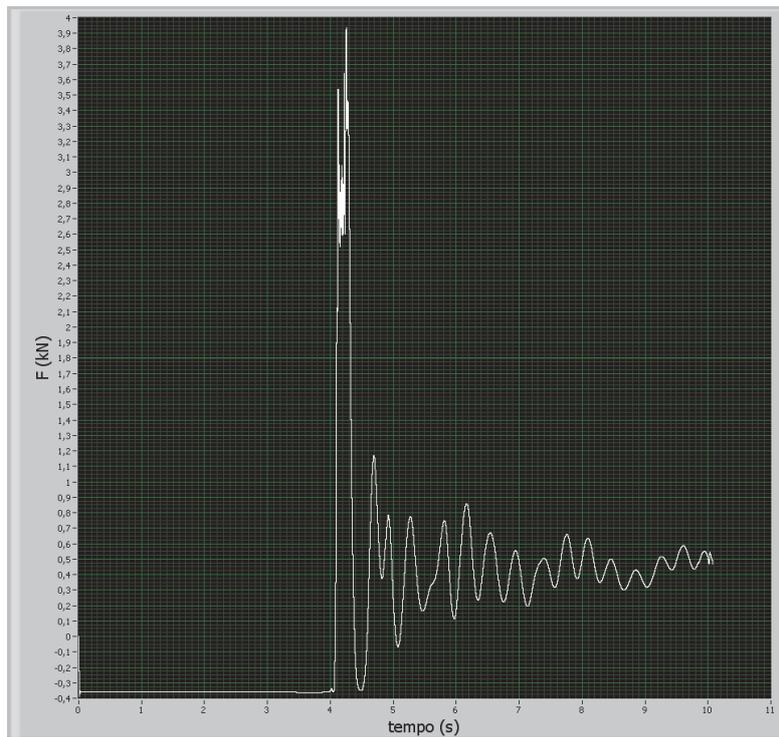


Figura A-56: Prova 80/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

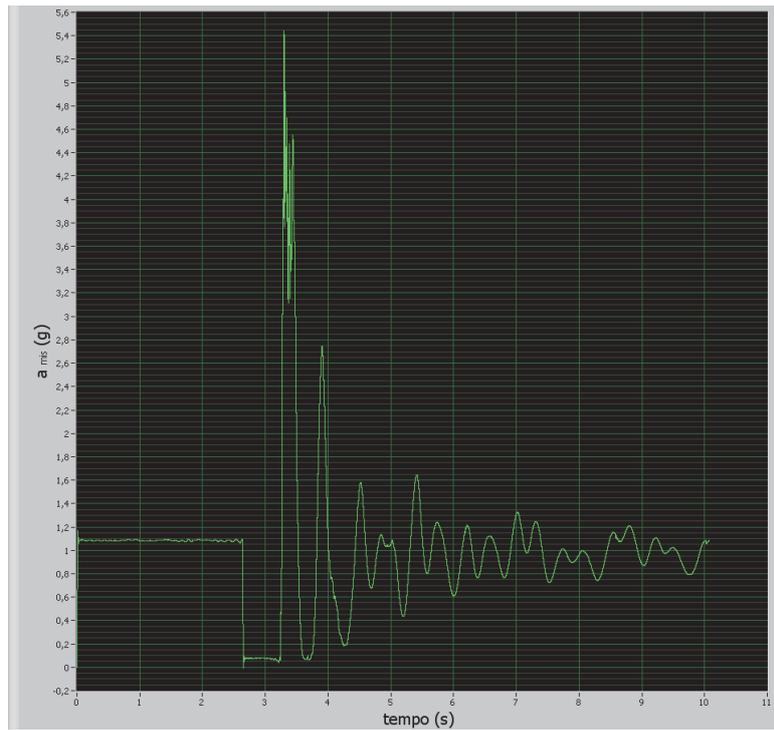


Figura A-57: Prova 80/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

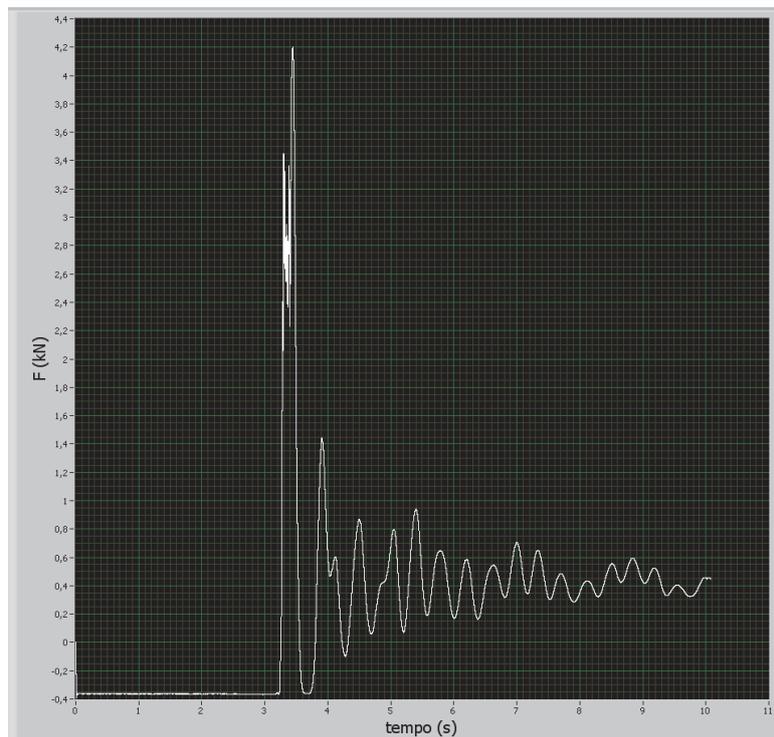


Figura A-58: Prova 80/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

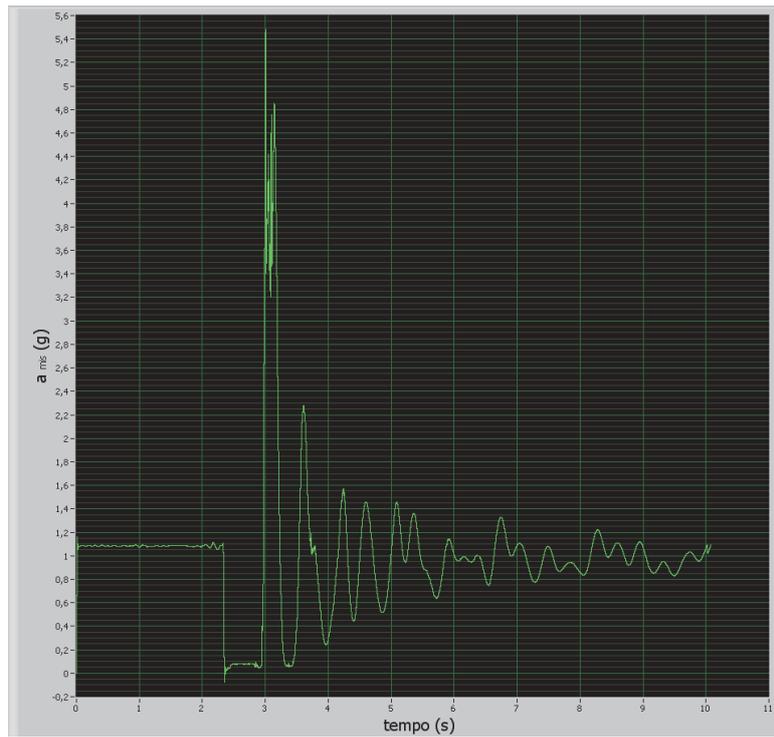


Figura A-59: Prova 80/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

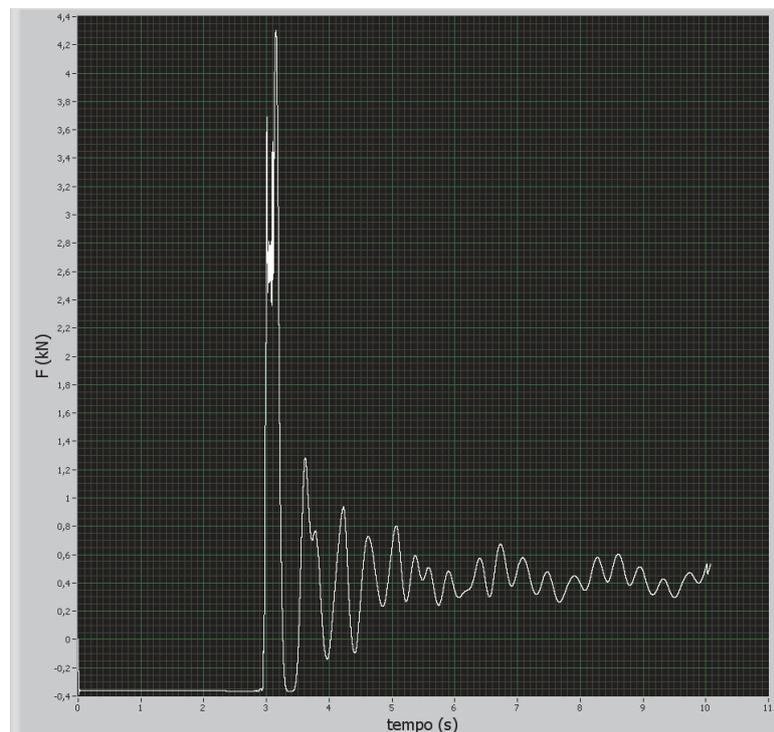


Figura A-60: Prova 80/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

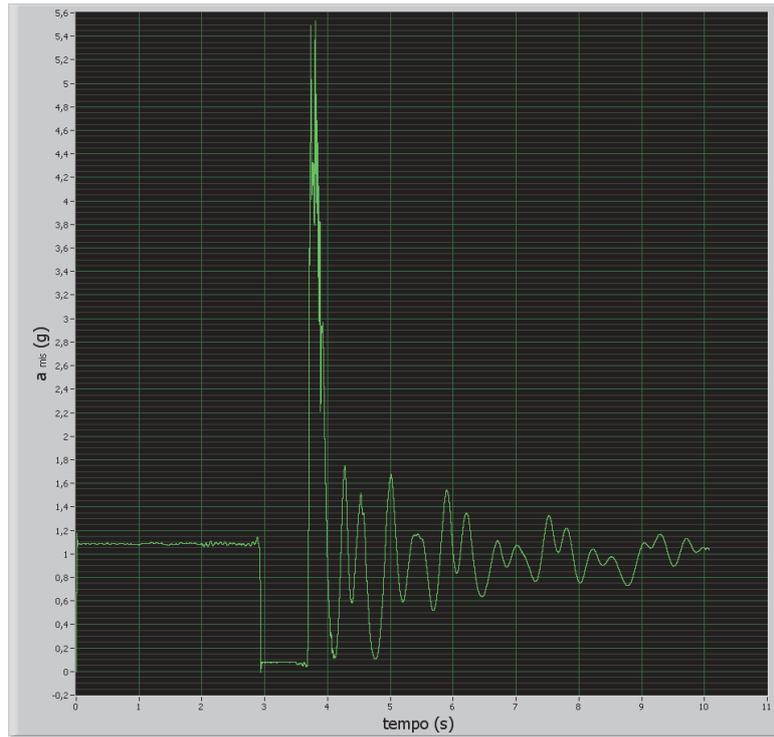


Figura A-61: Prova 80/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

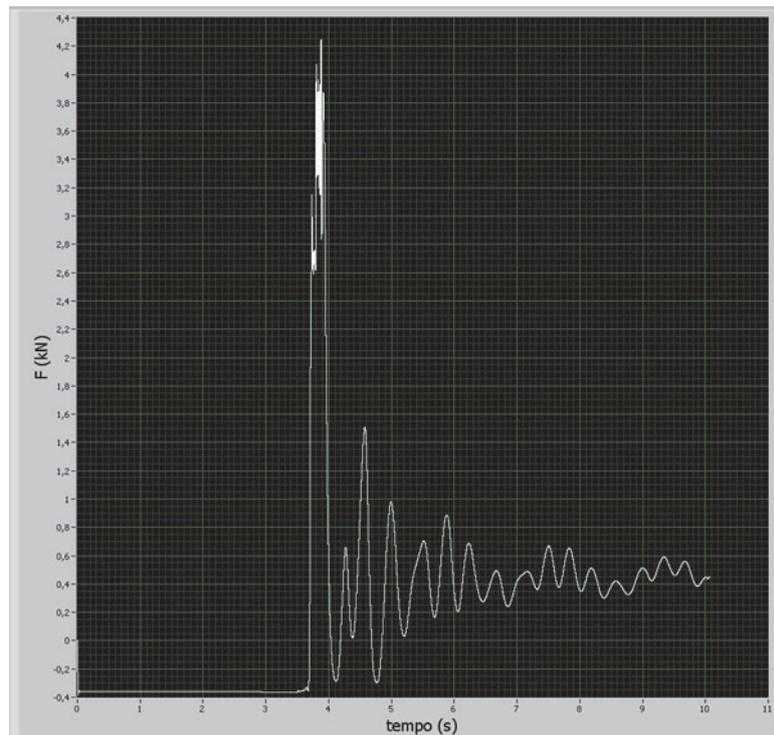


Figura A-62: Prova 80/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

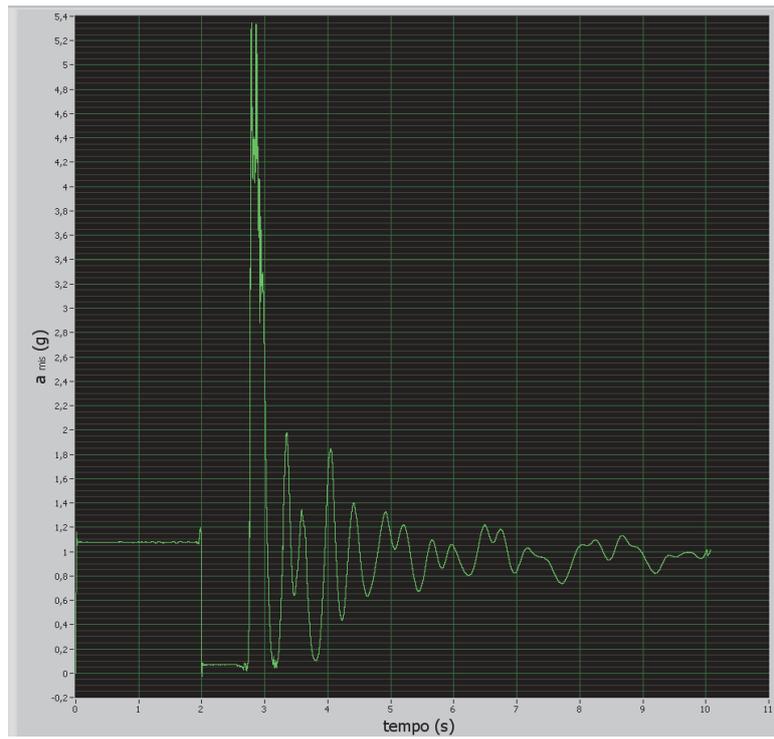


Figura A-63: Prova 80/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

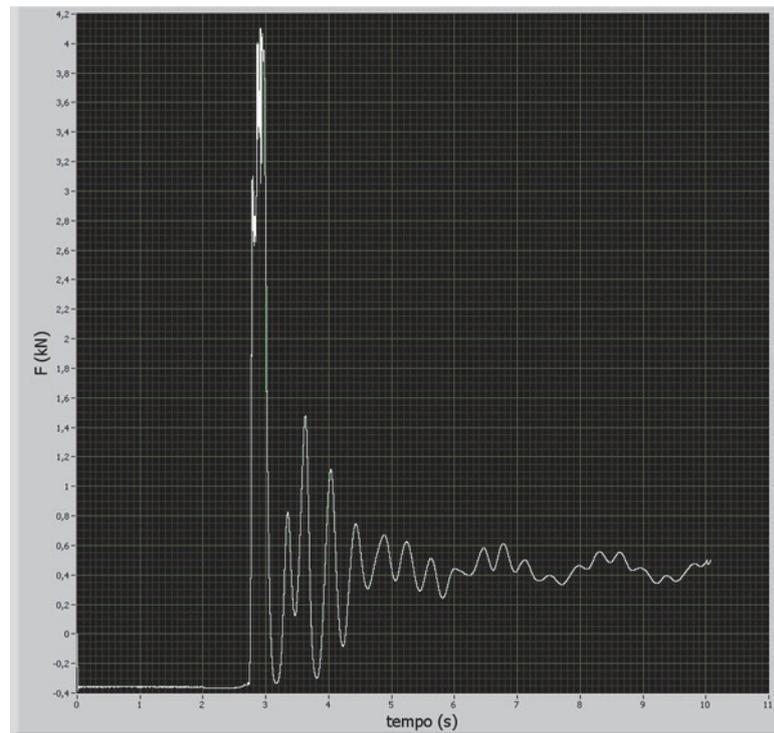


Figura A-64: Prova 80/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

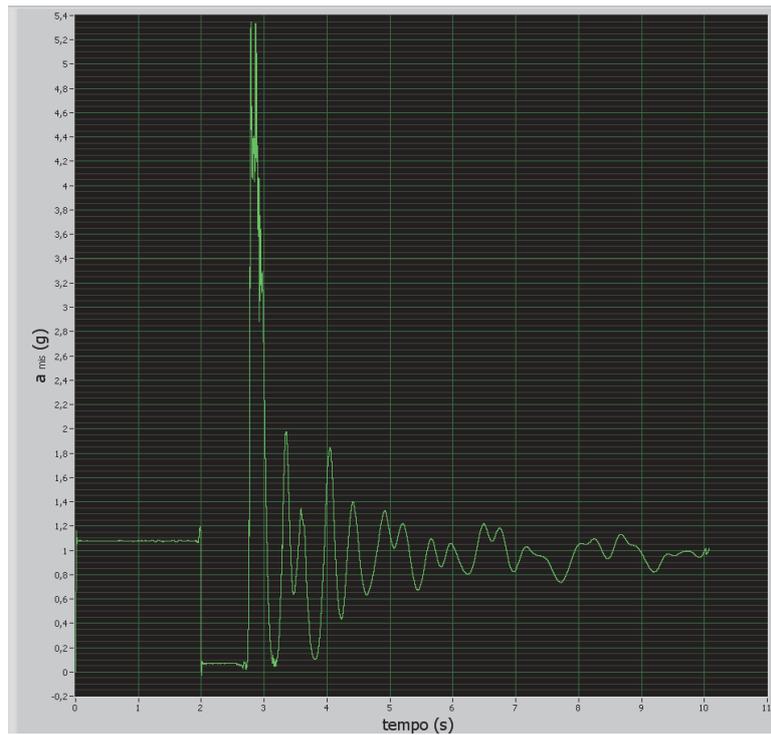


Figura A-65: Prova 80/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

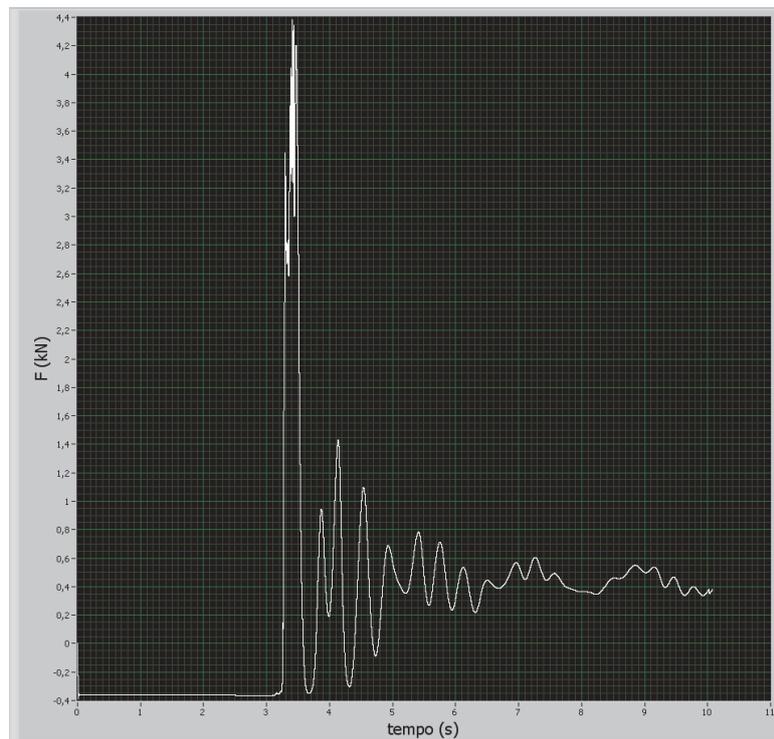


Figura A-66: Prova 80/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

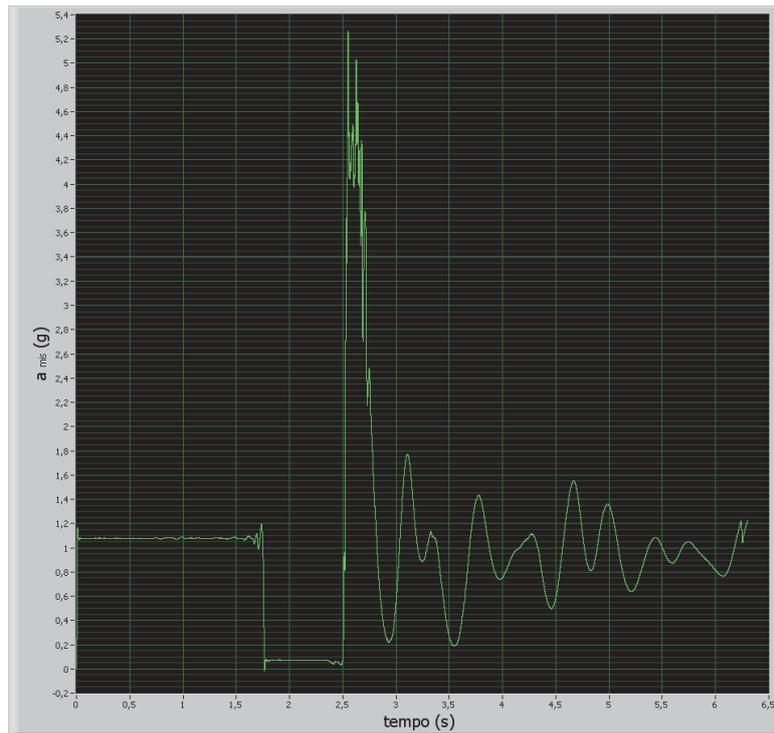


Figura A-67: Prova 80/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

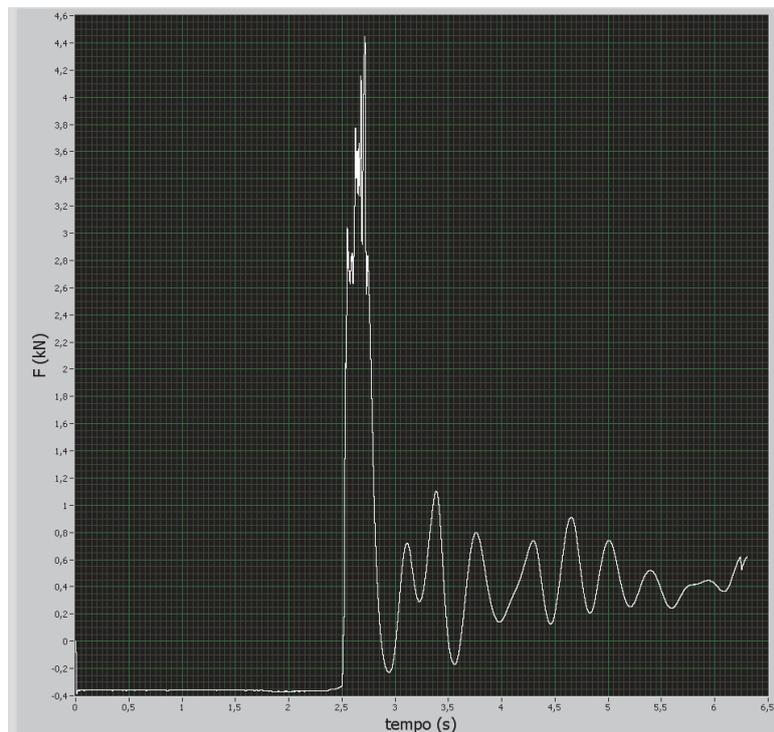


Figura A-68: Prova 80/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

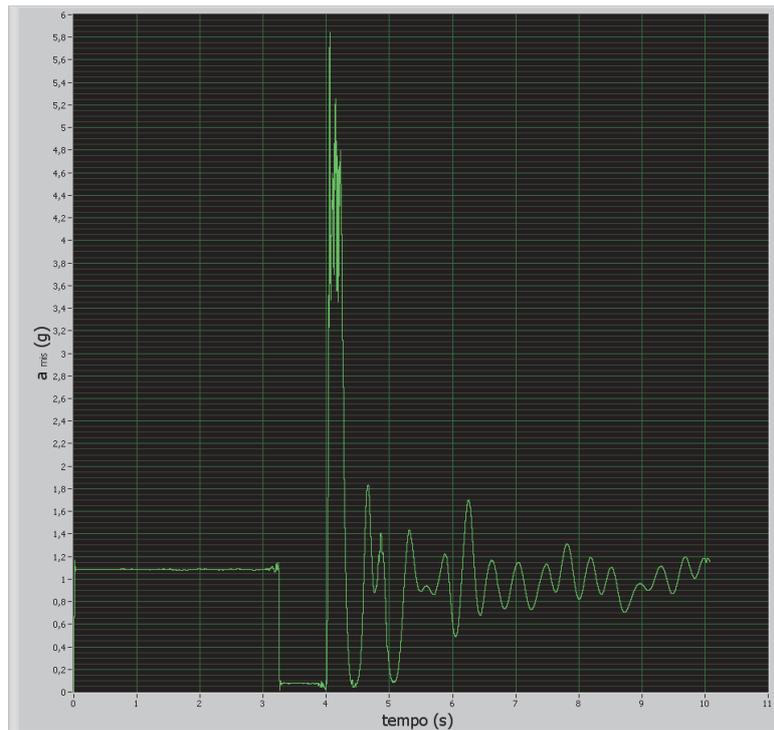


Figura A-69: Prova 80/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

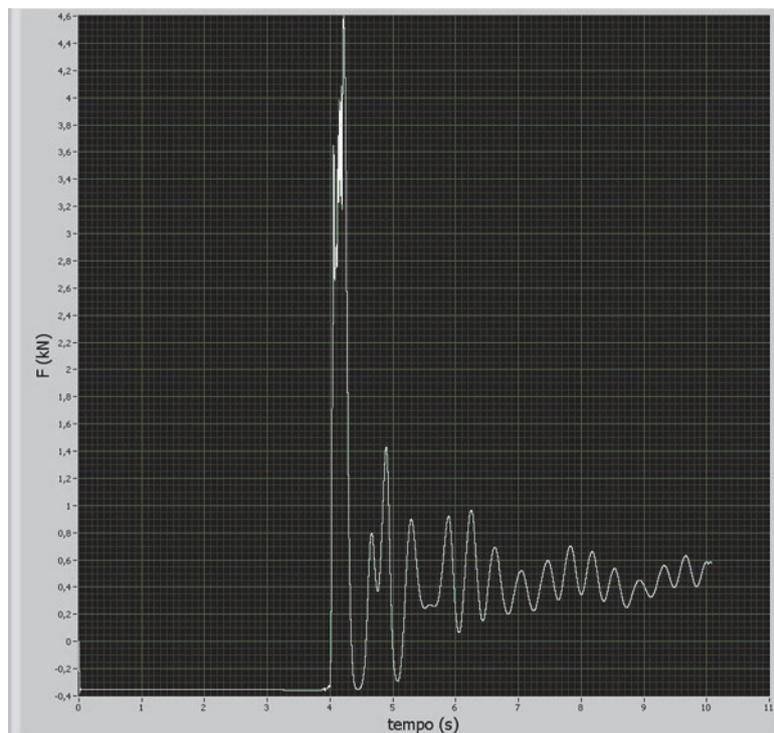


Figura A-70: Prova 80/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

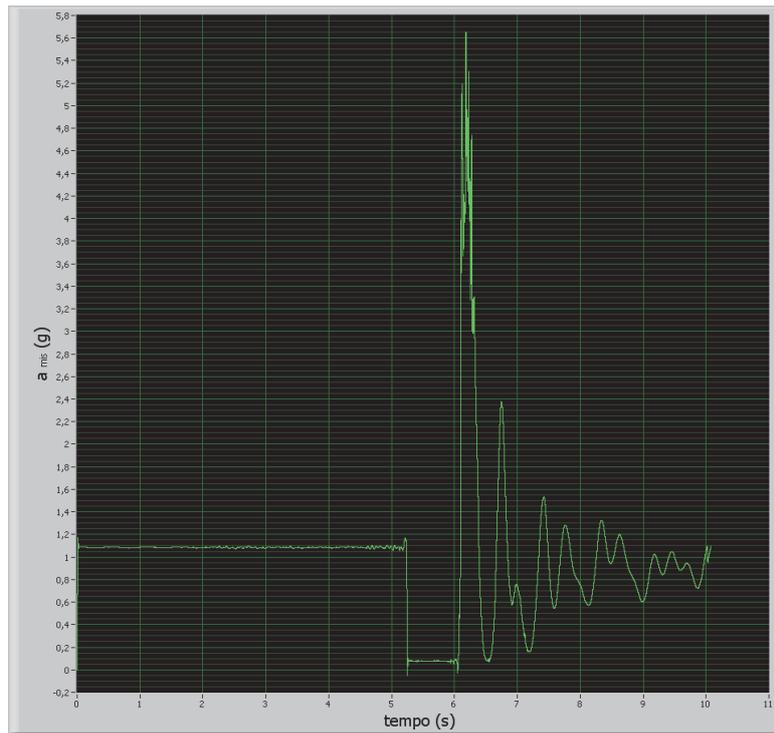


Figura A-71: Prova 80/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

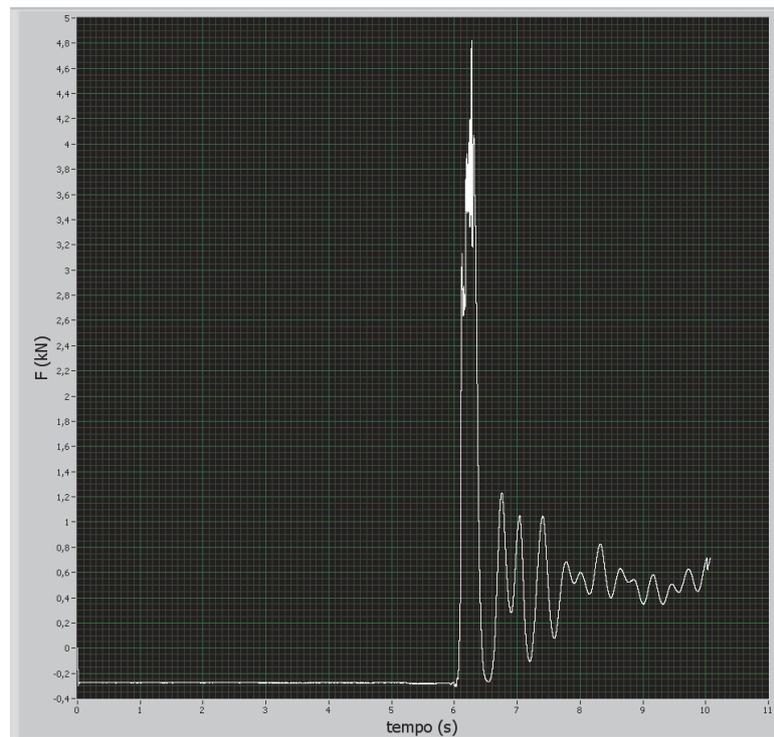


Figura A-72: Prova 80/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

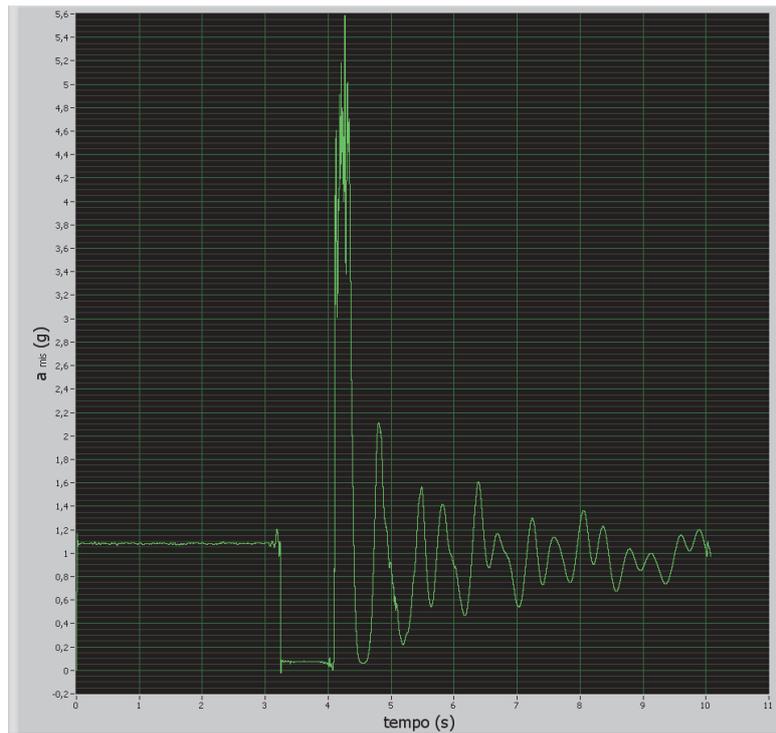


Figura A-73: Prova 80/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

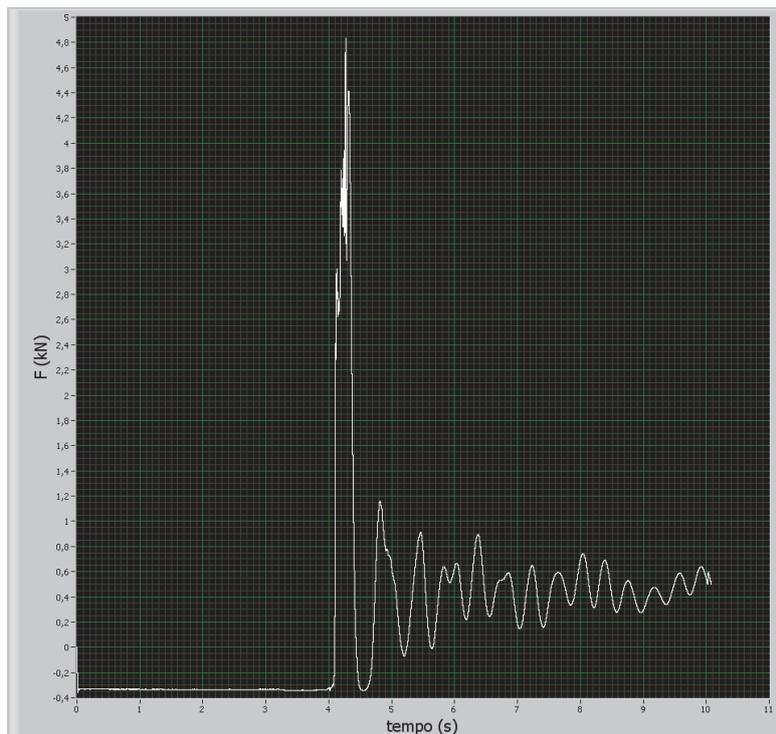


Figura A-74: Prova 80/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

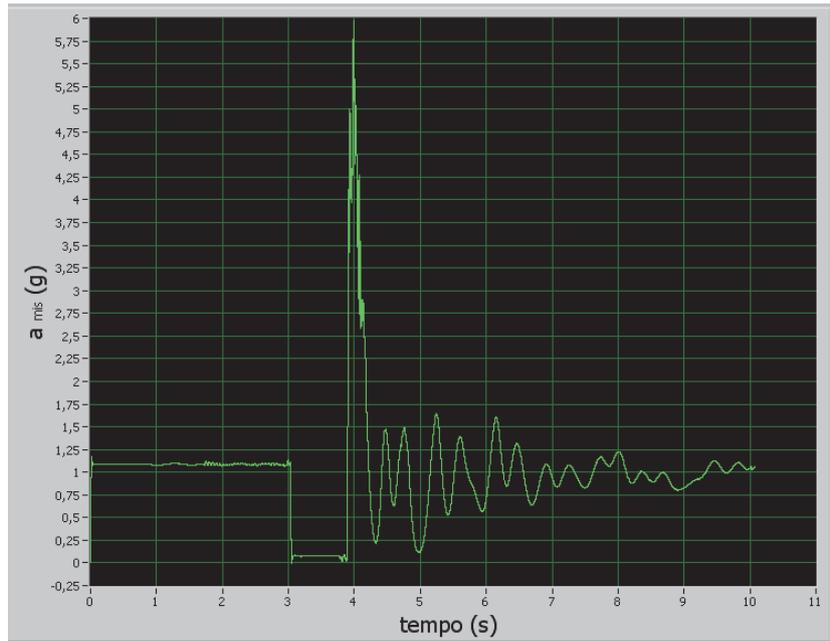


Figura A-75: Prova 80/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

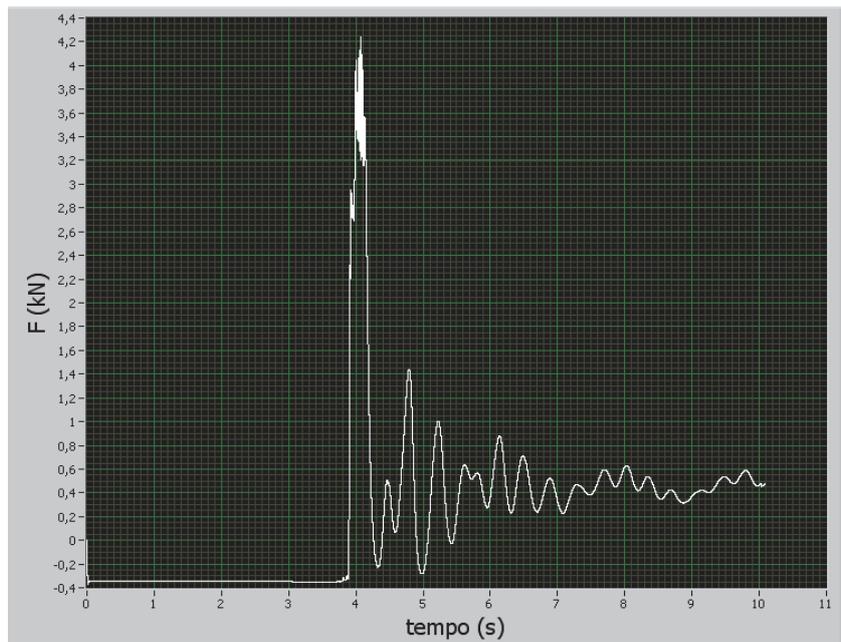


Figura A-76: Prova 80/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

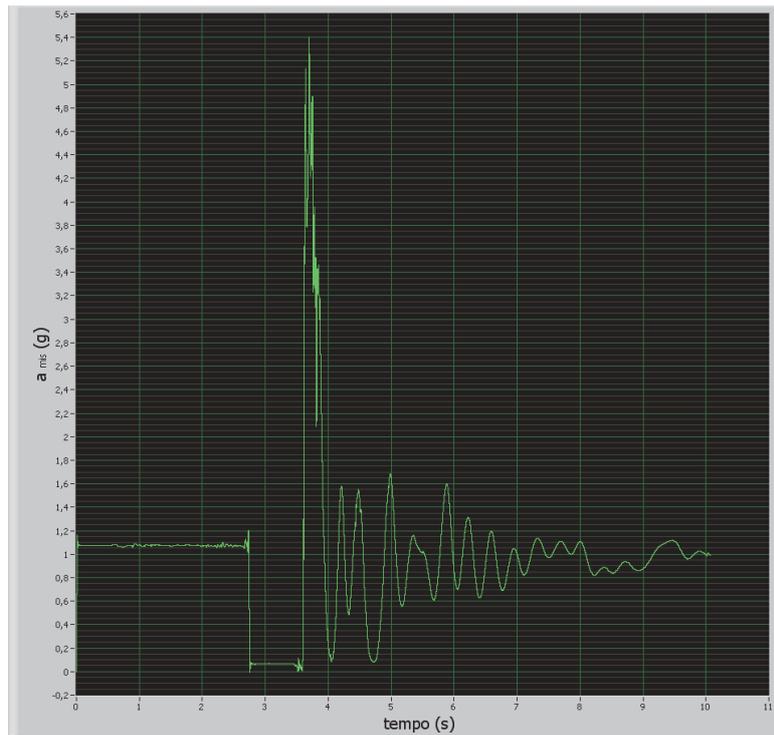


Figura A-77: Prova 80/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

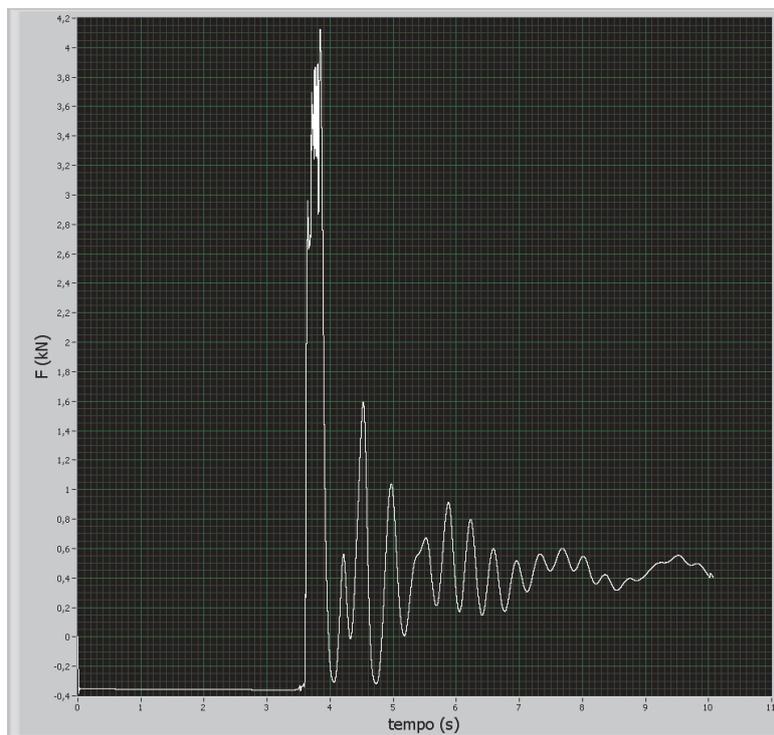


Figura A-78: Prova 80/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

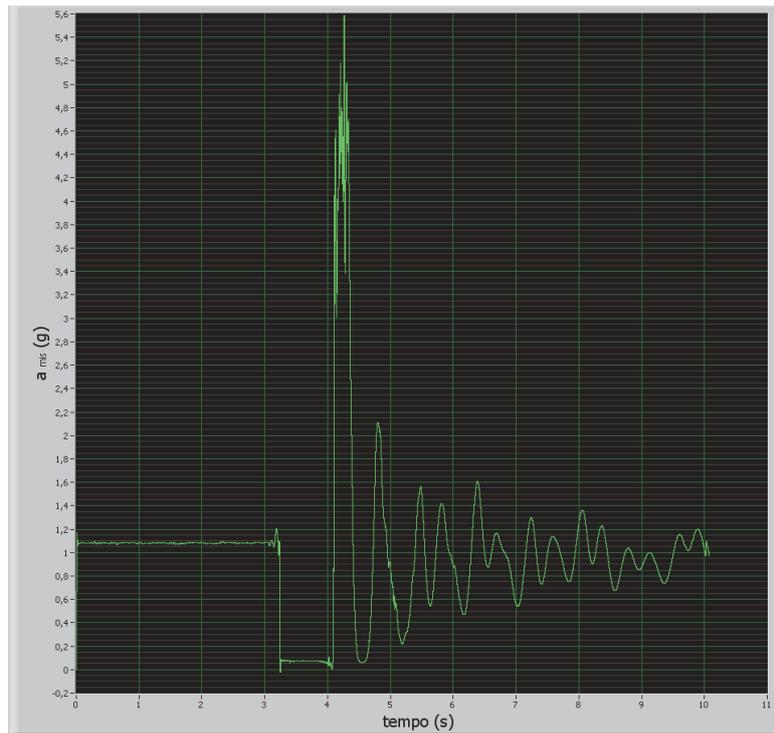


Figura A-79: Prova 80/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

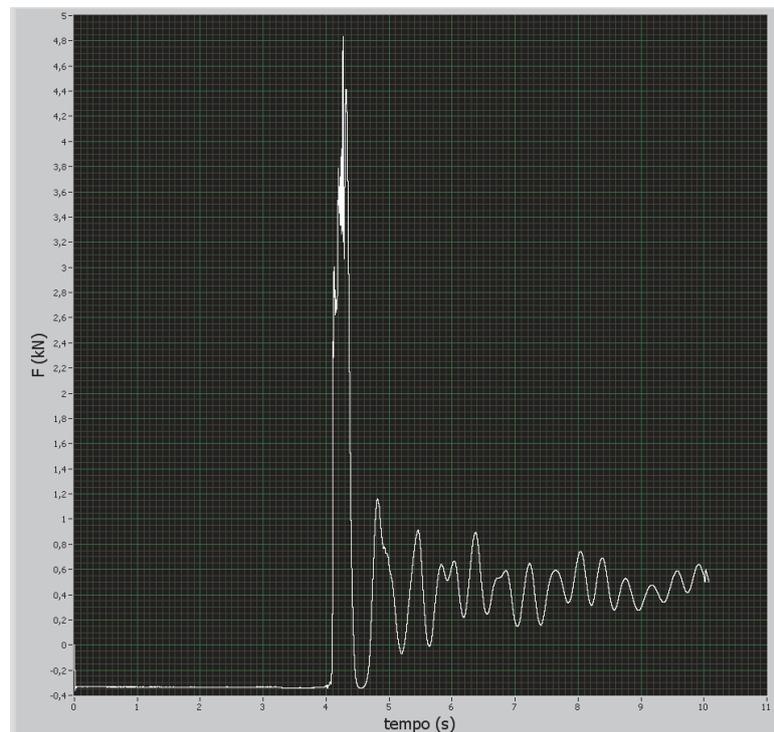


Figura A-80: Prova 80/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

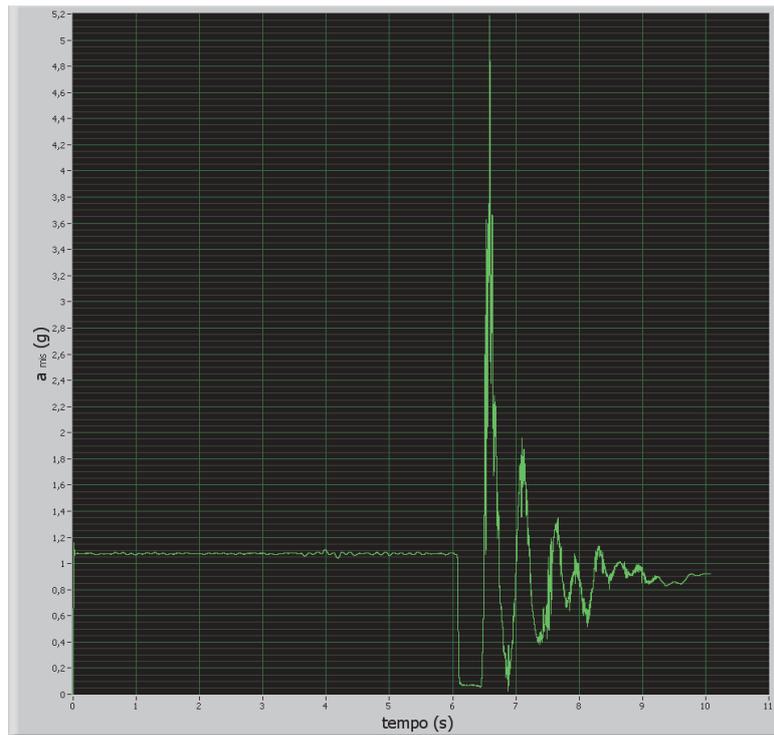


Figura A-81: Prova 100/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

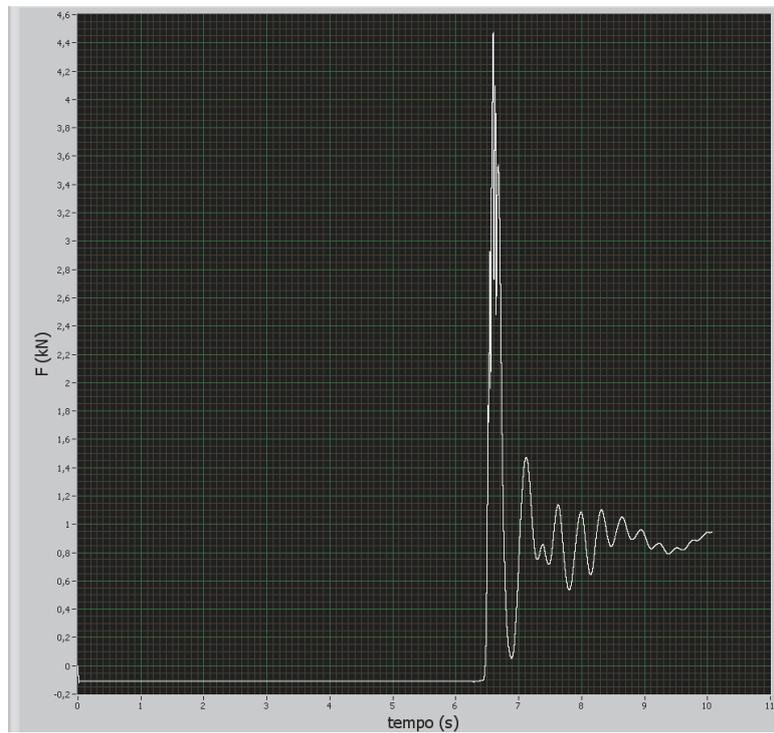


Figura A-82: Prova 100/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

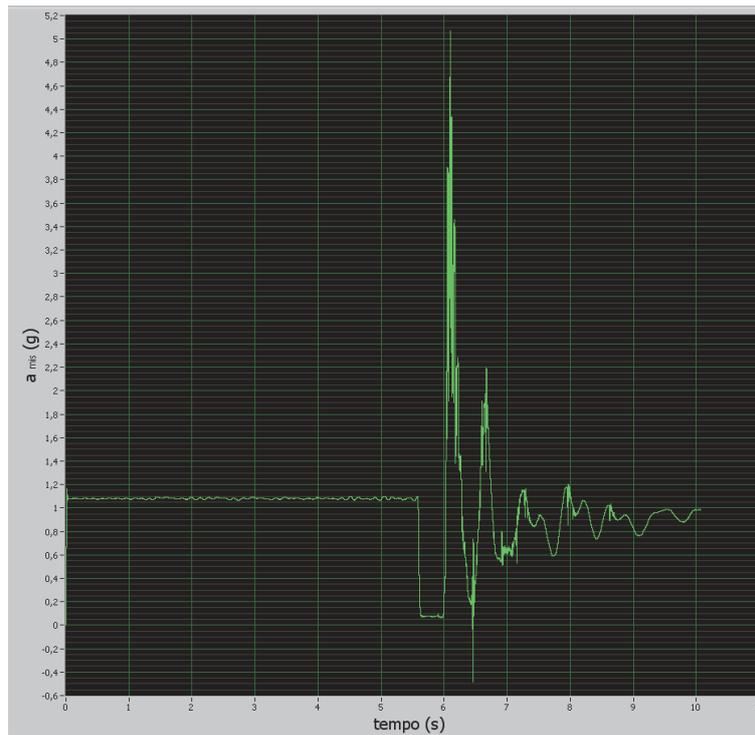


Figura A-83: Prova 100/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

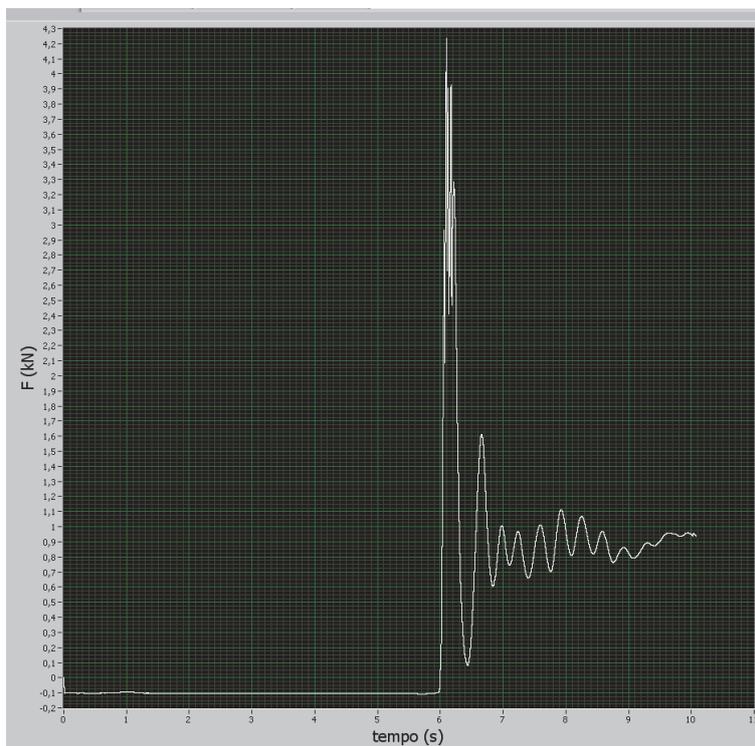


Figura A-84: Prova 100/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

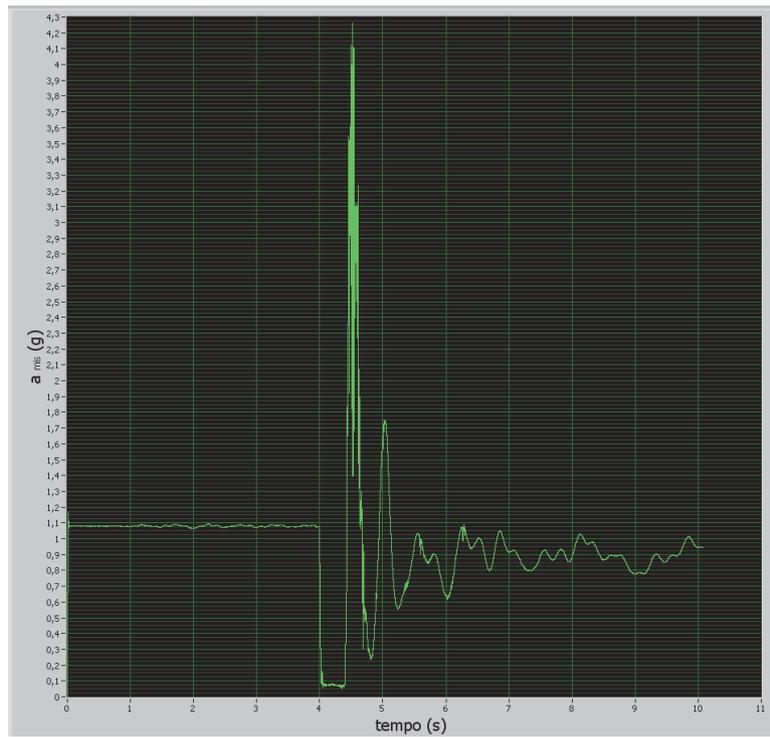


Figura A-85: Prova 100/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

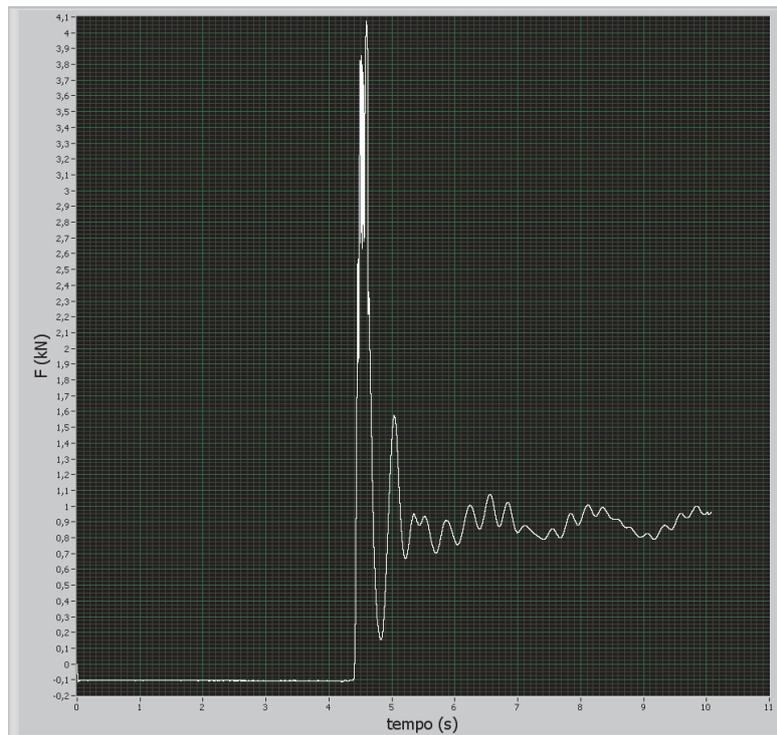


Figura A-86: Prova 100/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

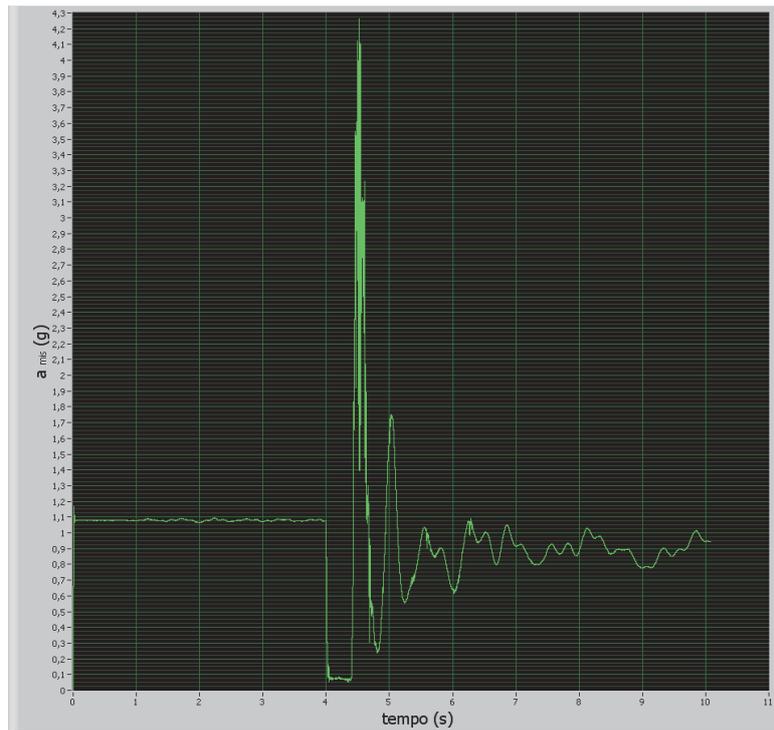


Figura A-87: Prova 100/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

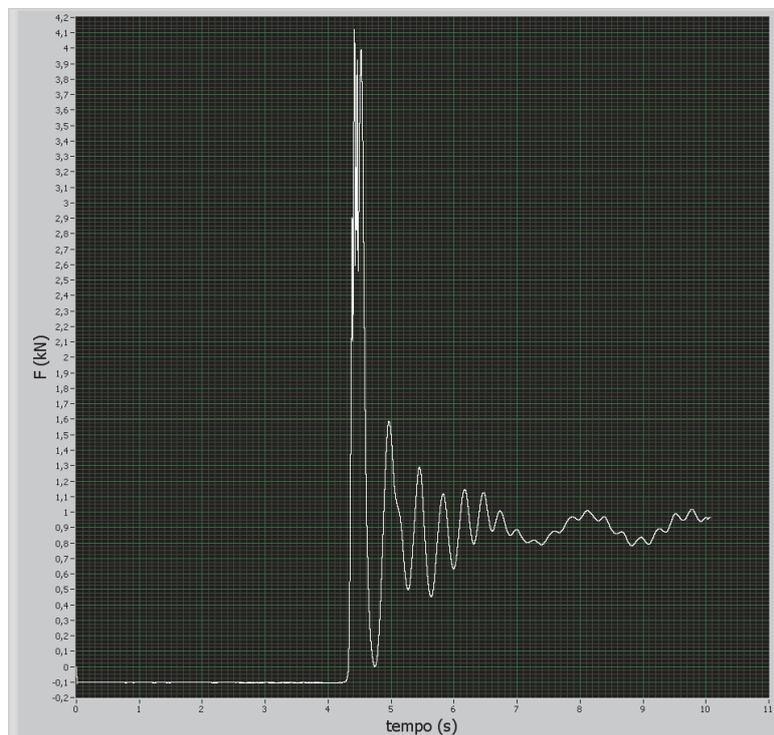


Figura A-88: Prova 100/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

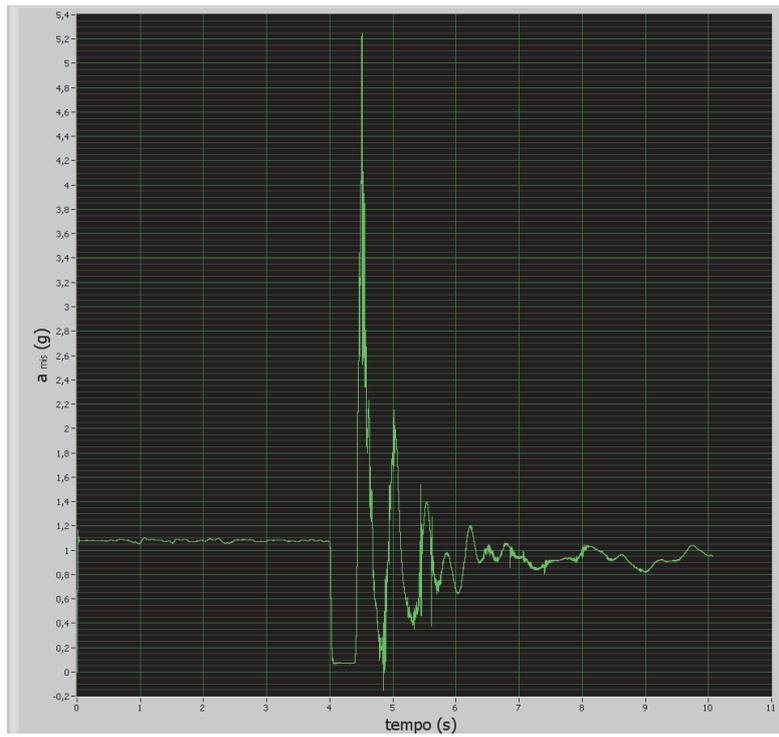


Figura A-89: Prova 100/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

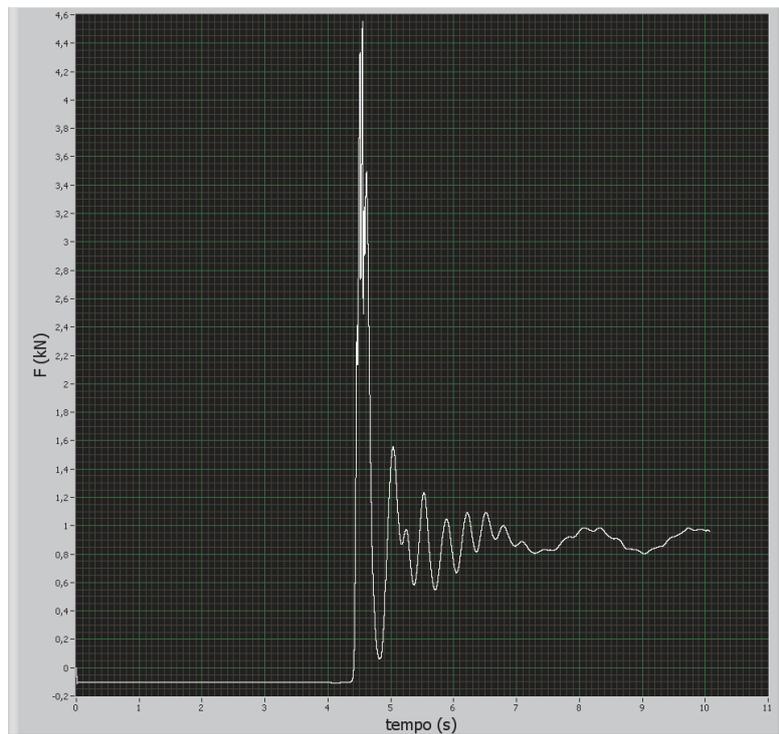


Figura A-90: Prova 100/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

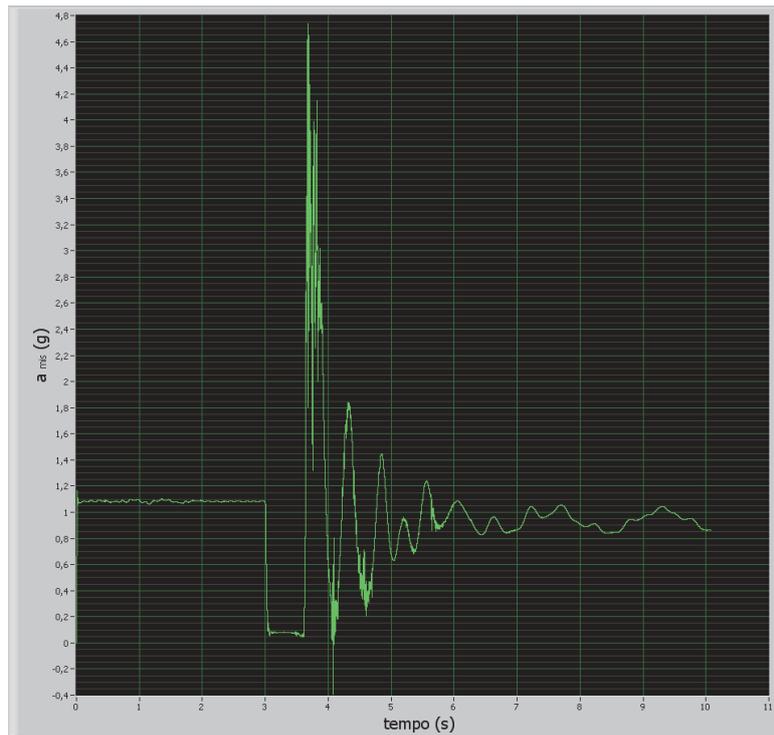


Figura A-91: Prova 100/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

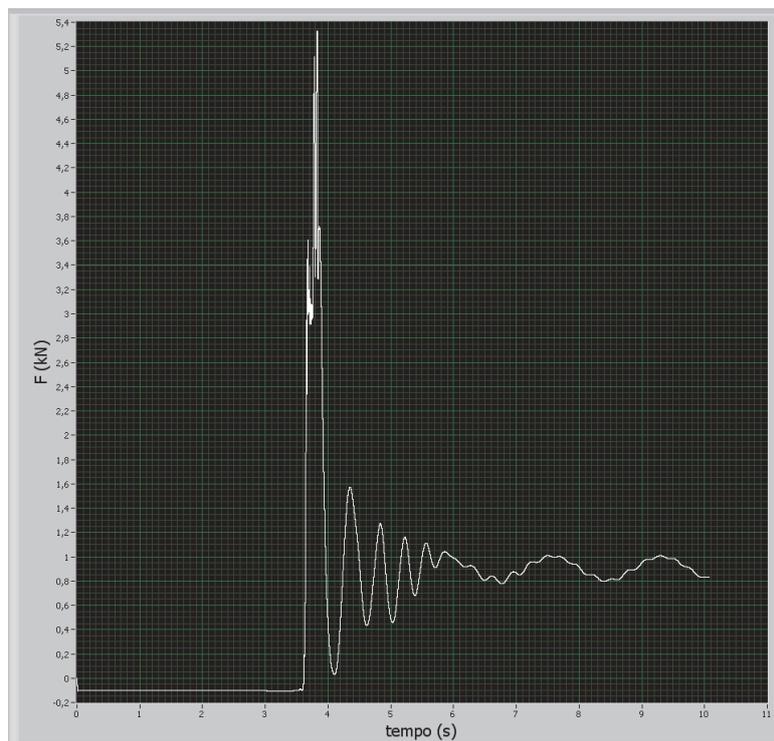


Figura A-92: Prova 100/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

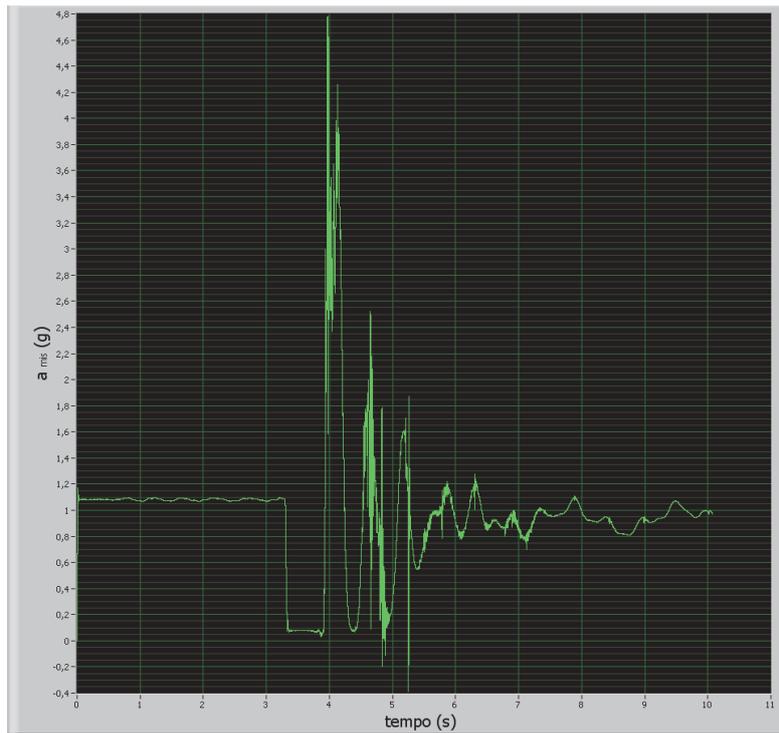


Figura A-93: Prova 100/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

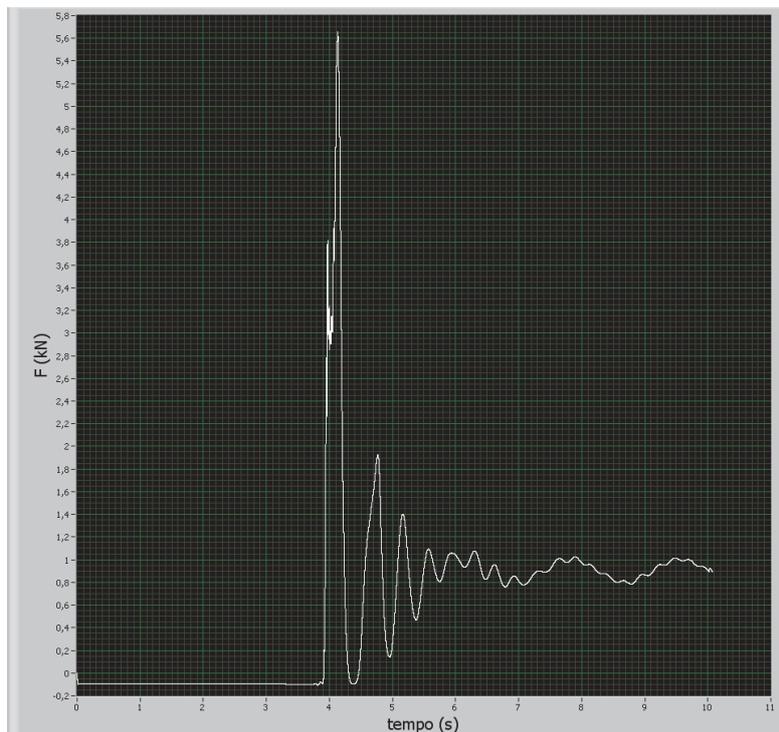


Figura A-94: Prova 100/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

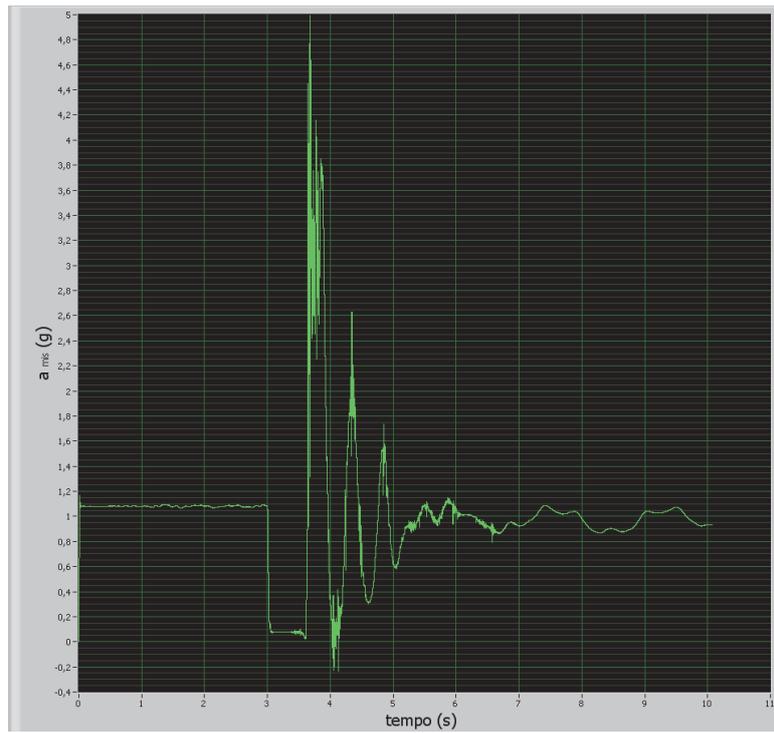


Figura A-95: Prova 100/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

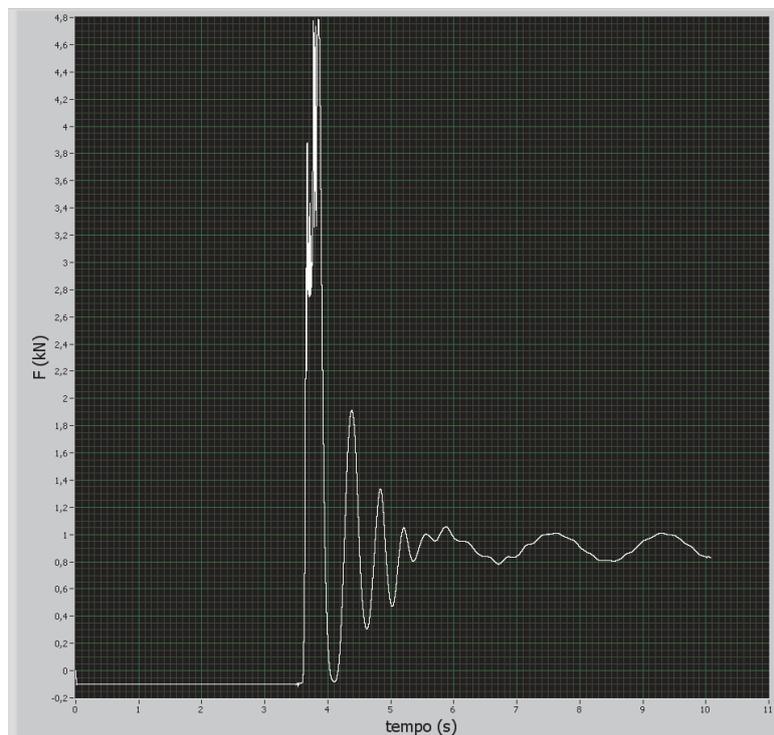


Figura A-96: Prova 100/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

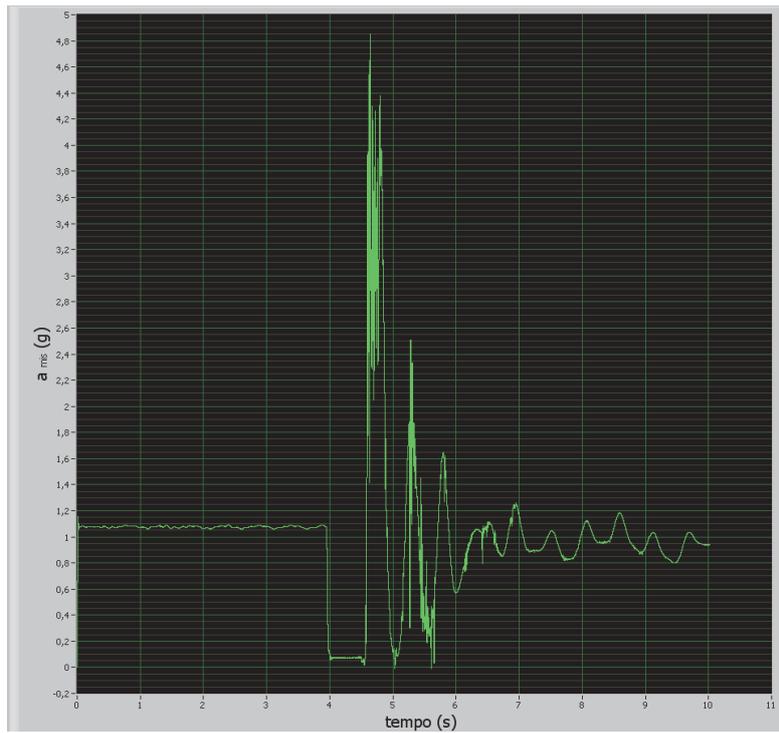


Figura A-97: Prova 100/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

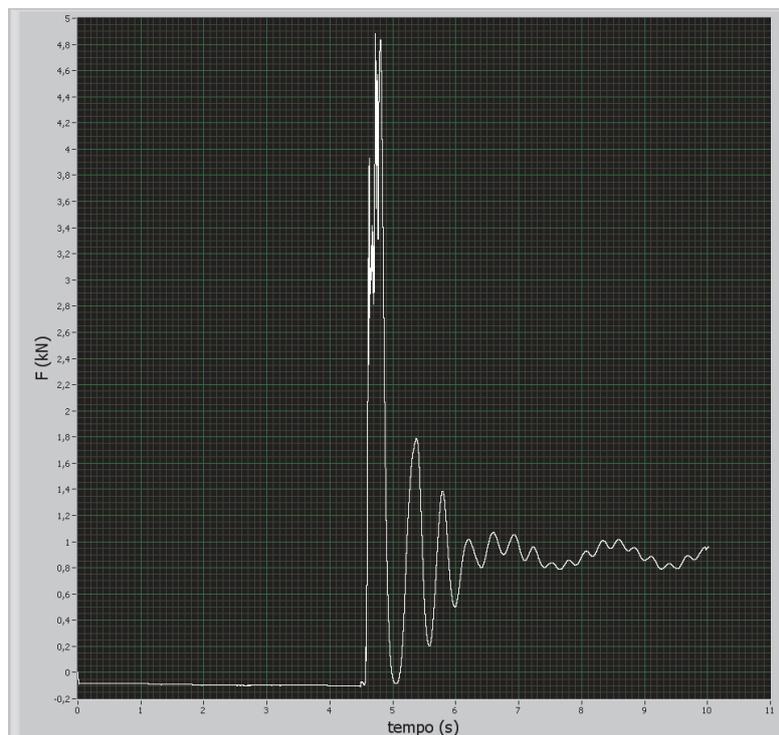


Figura A-98: Prova 100/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

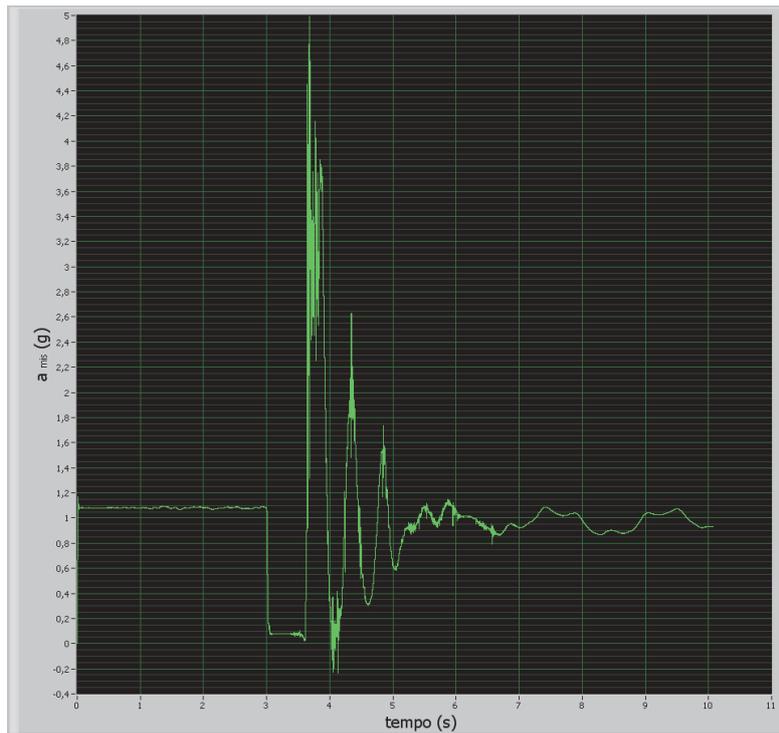


Figura A-99: Prova 100/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

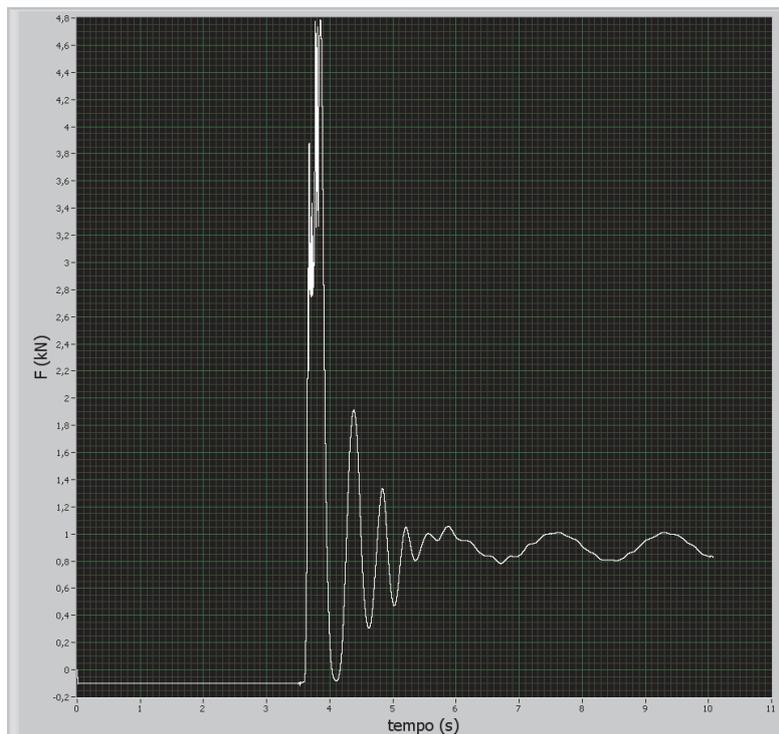


Figura A-100: Prova 100/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

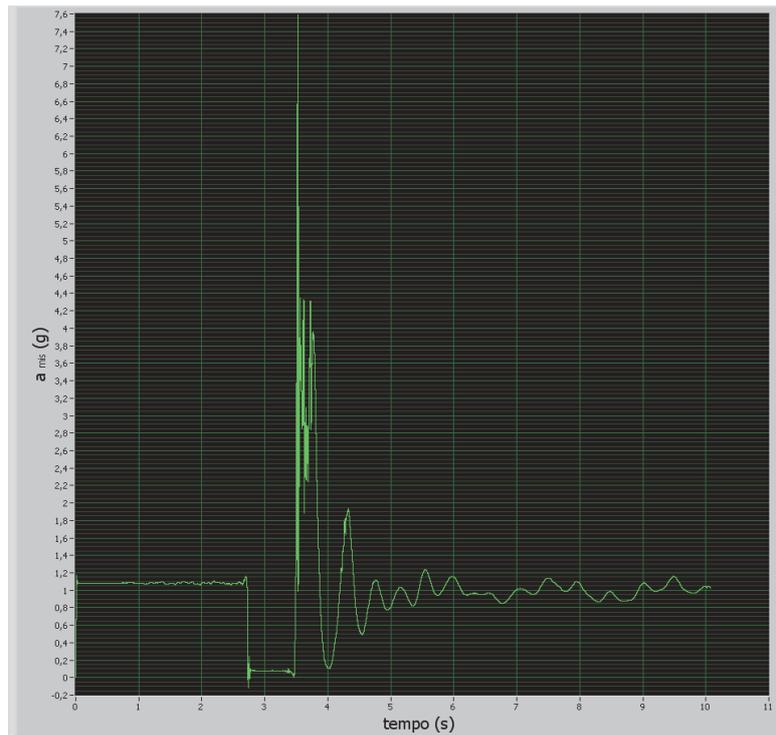


Figura A-101: Prova 100/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

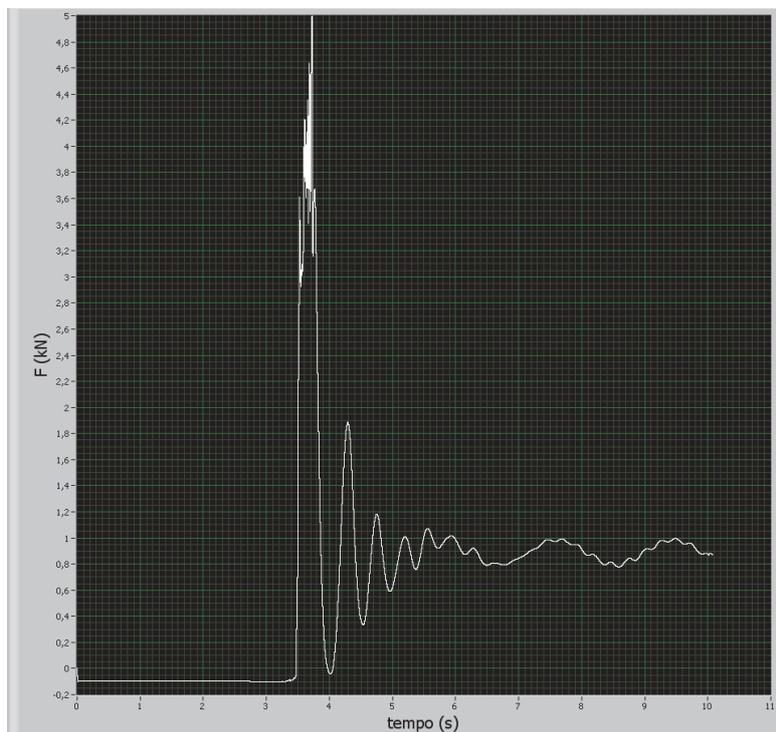


Figura A-102: Prova 100/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

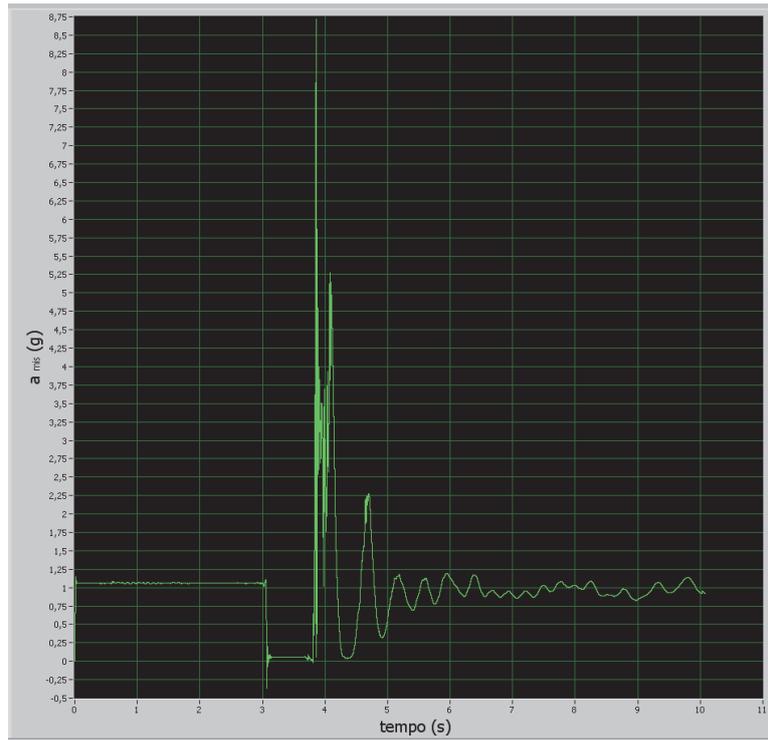


Figura A-103: Prova 100/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

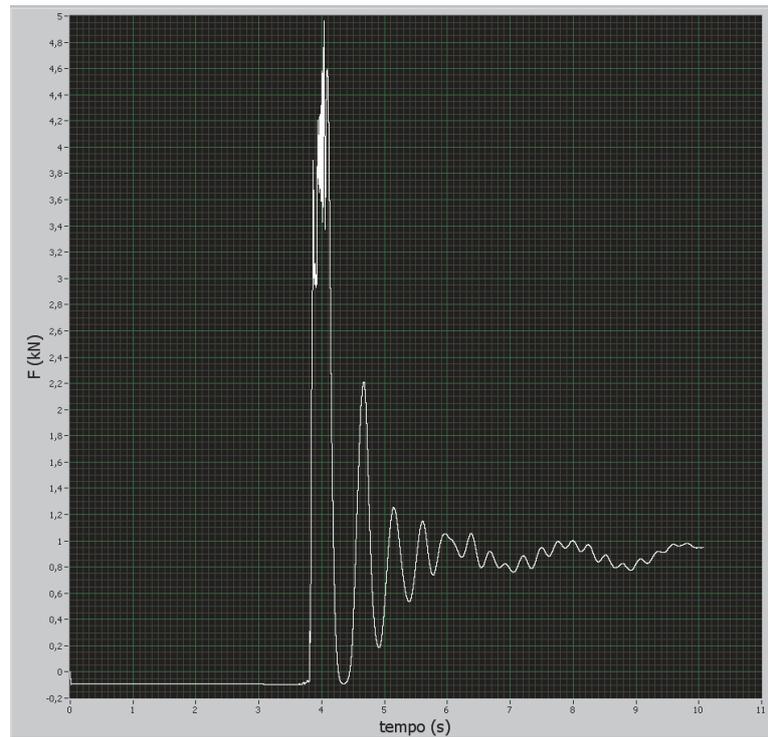


Figura A-104: Prova 100/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

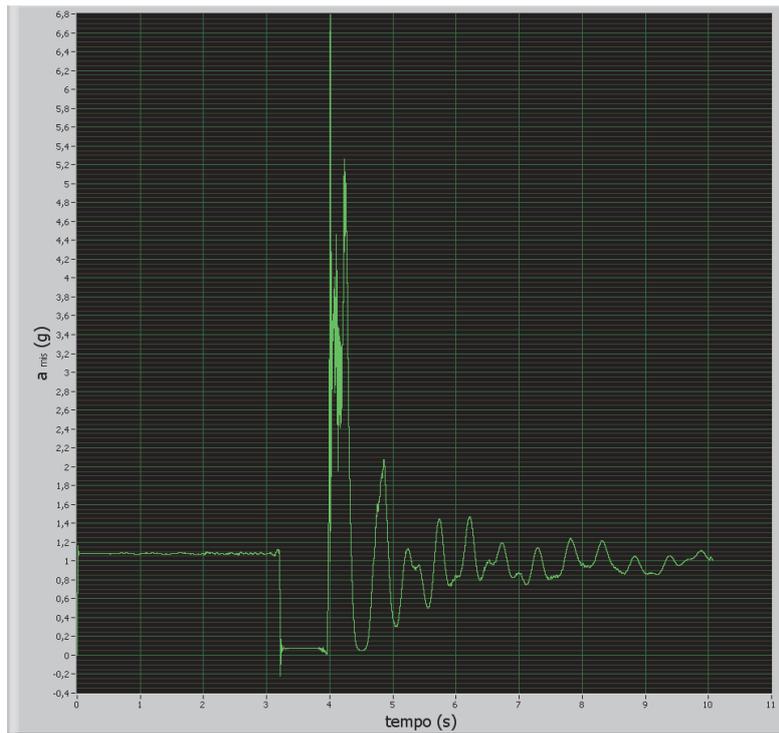


Figura A-105: Prova 100/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

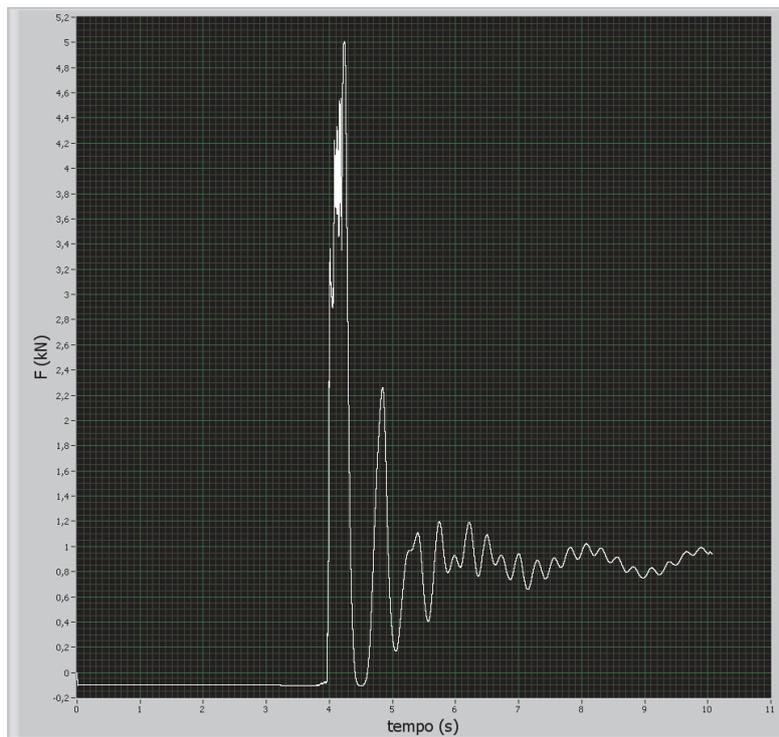


Figura A-106: Prova 100/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

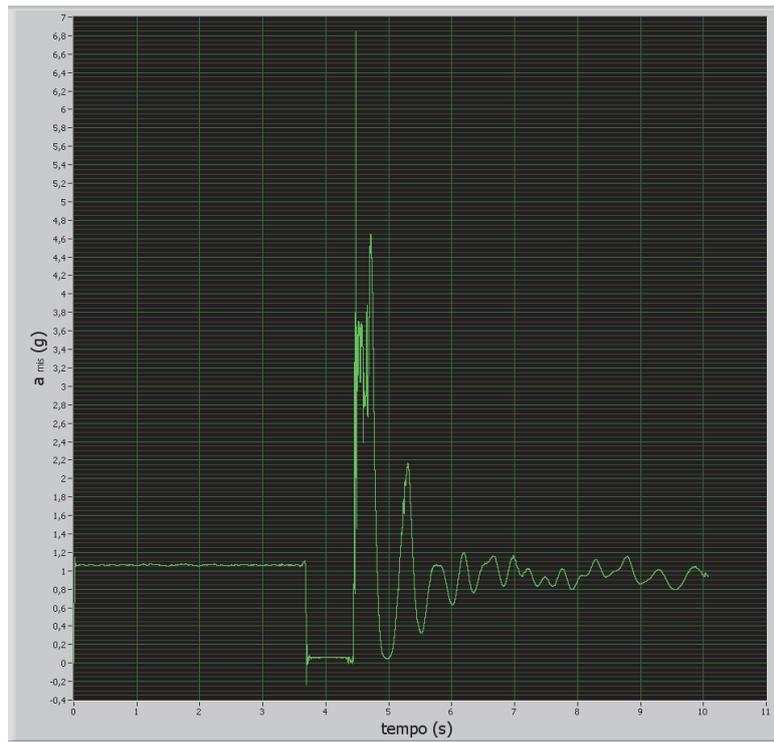


Figura A-107: Prova 100/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

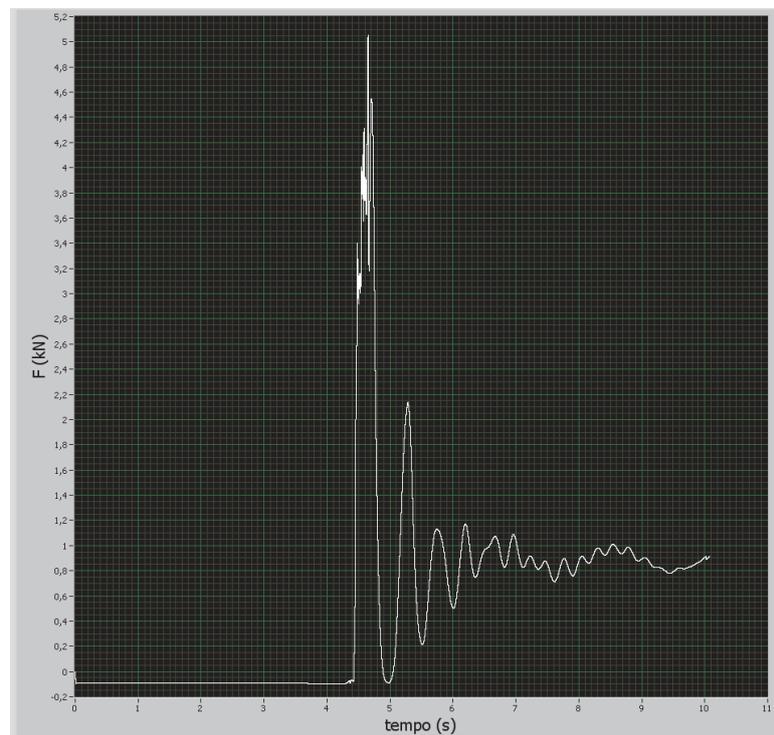


Figura A-108: Prova 100/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

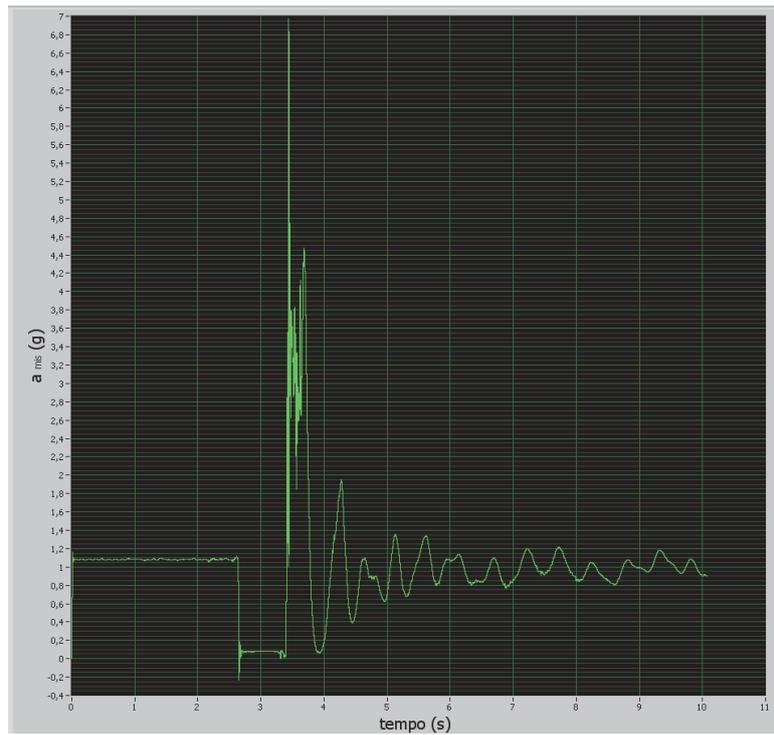


Figura A-109: Prova 100/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

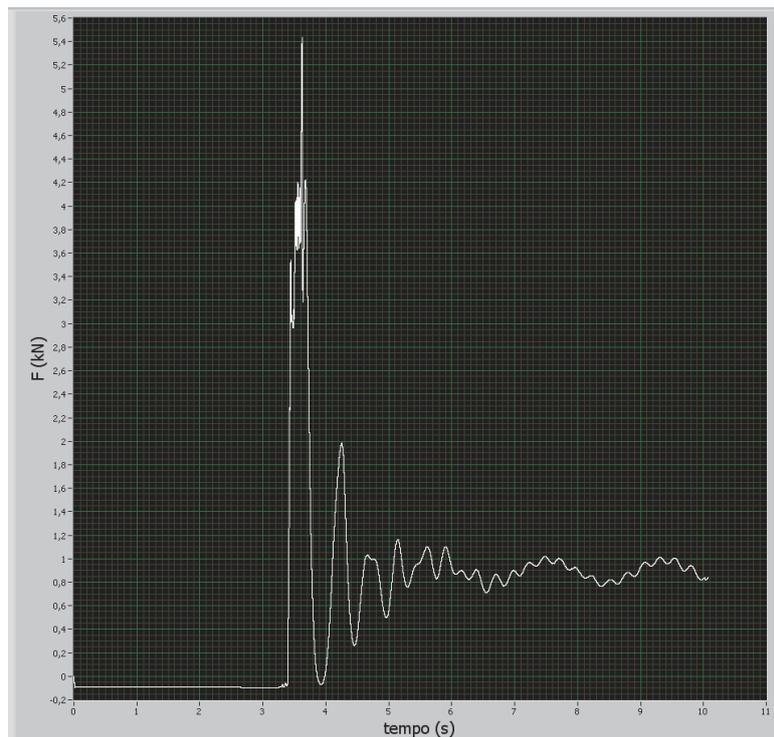


Figura A-110: Prova 100/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

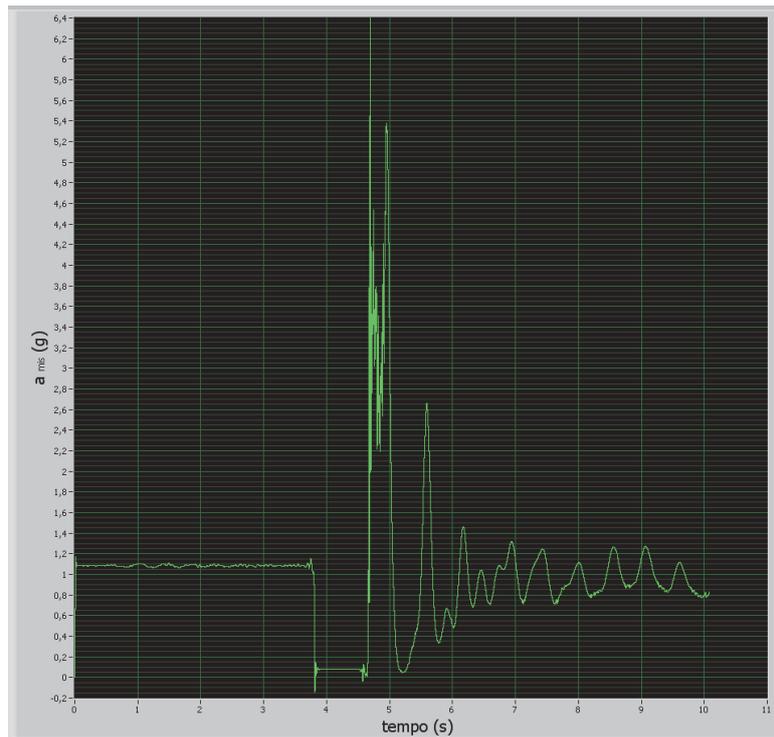


Figura A-111: Prova 100/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

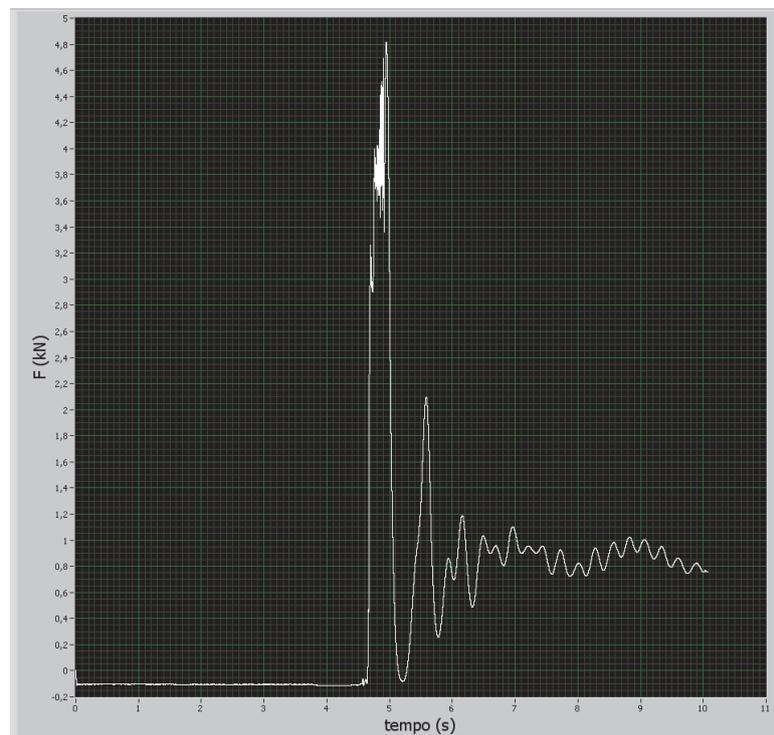


Figura A-112: Prova 100/4 F andamento di F [kN] rispetto al tempo [s]

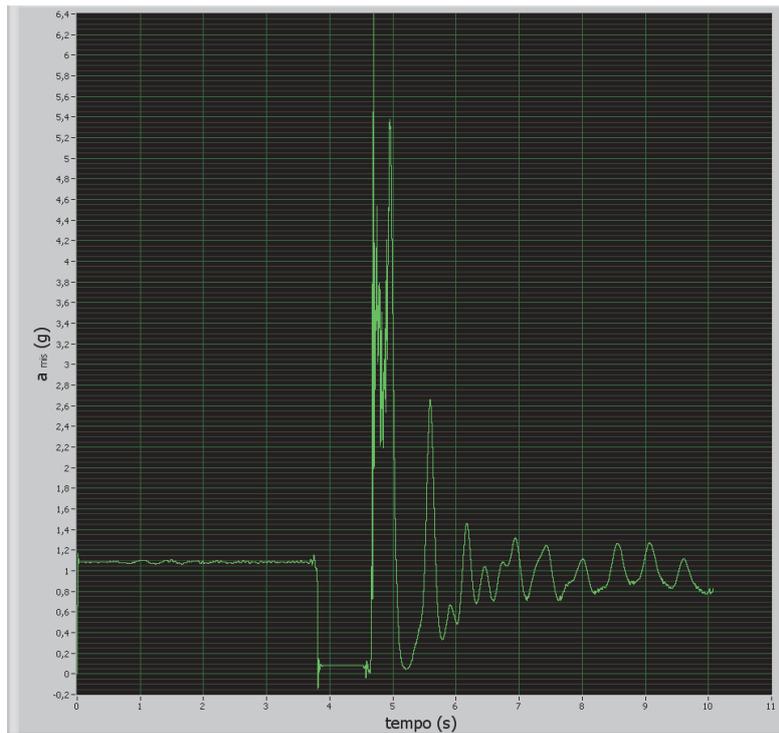


Figura A-113: Prova 100/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

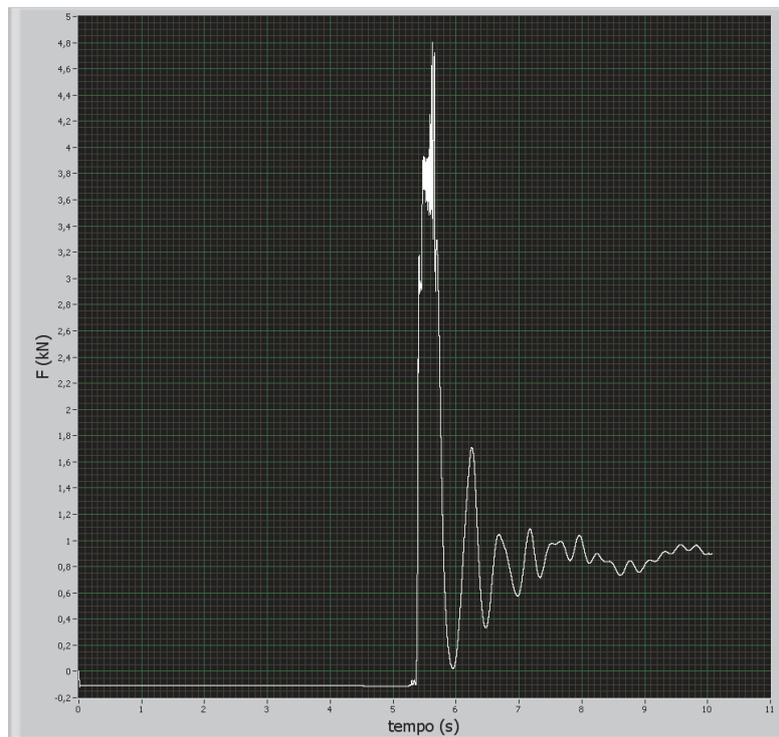


Figura A-114: Prova 100/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

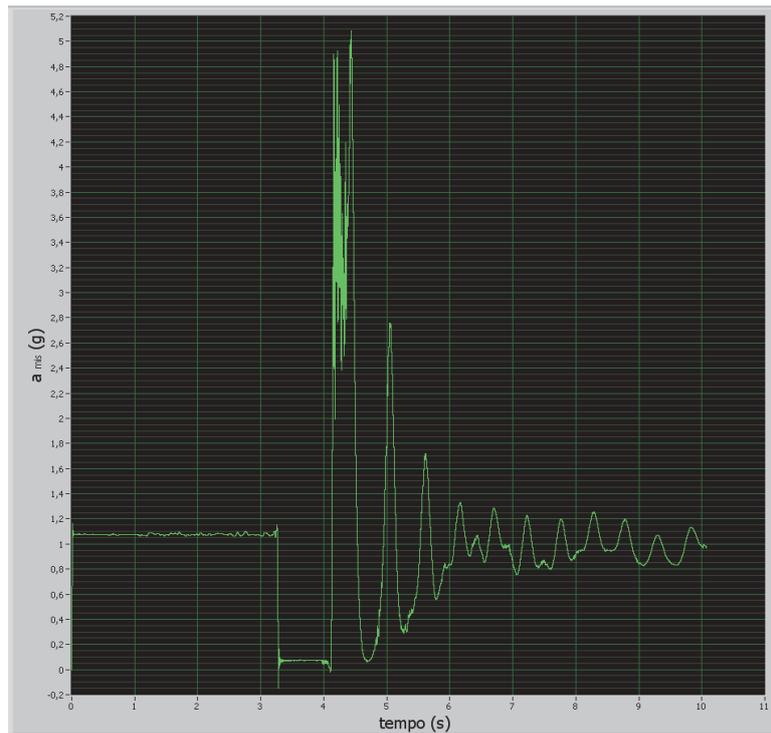


Figura A-115: Prova 100/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

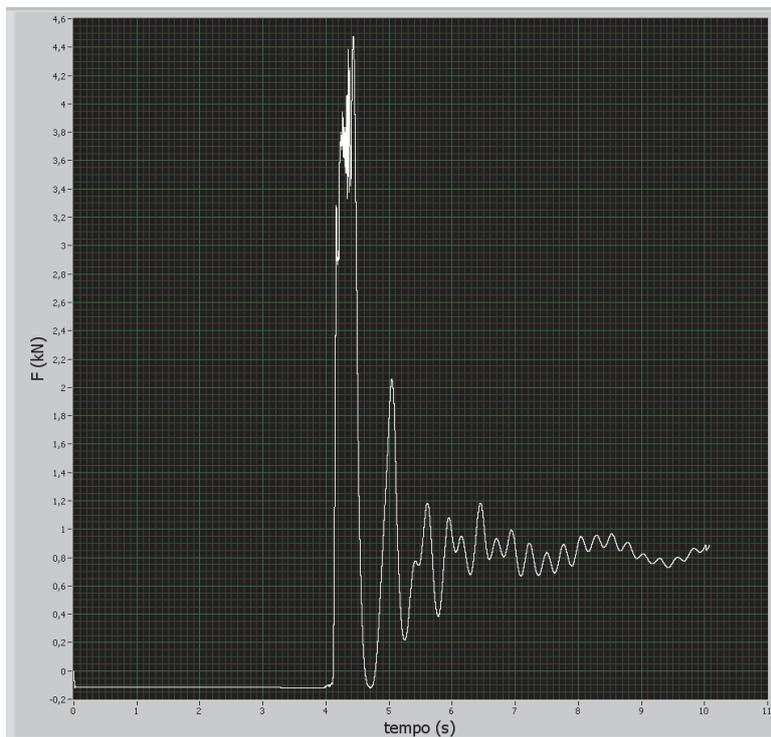


Figura A-116: Prova 100/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

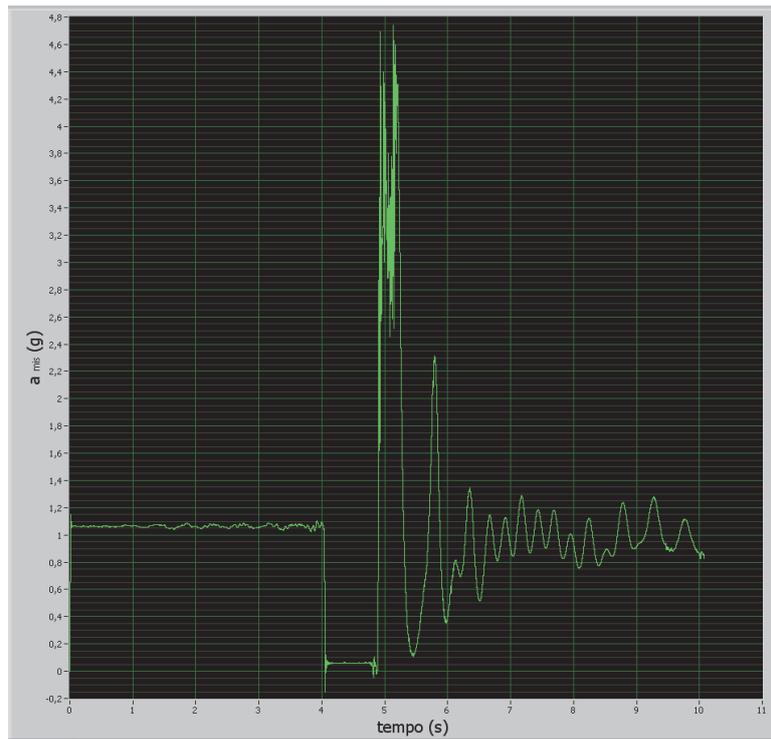


Figura A-117: Prova 100/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

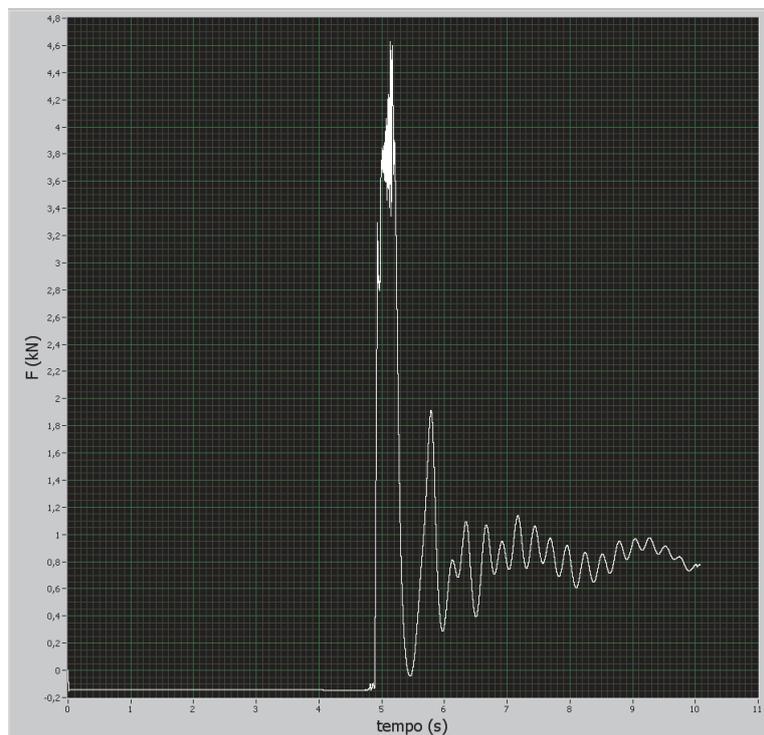


Figura A-118: Prova 100/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

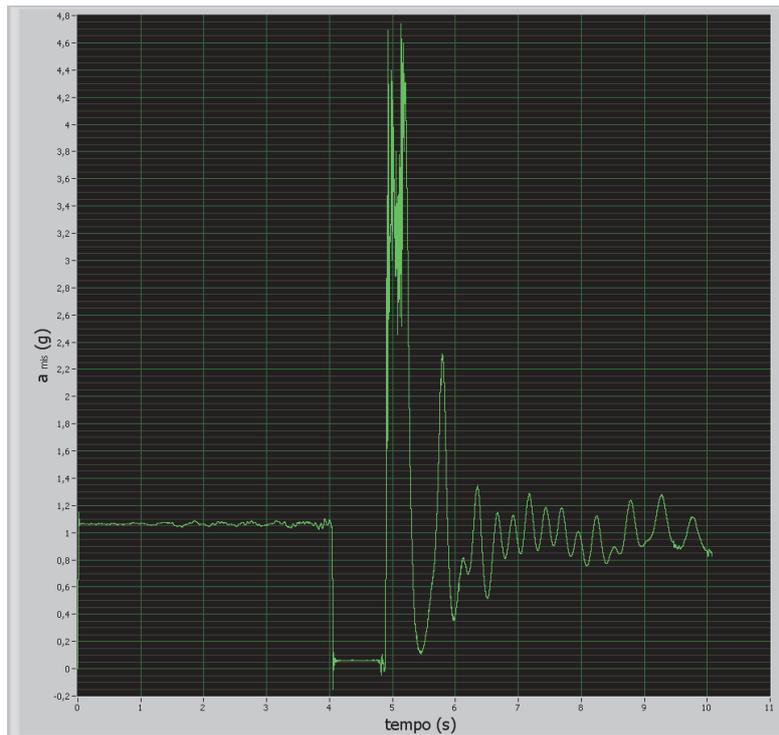


Figura A-119: Prova 100/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

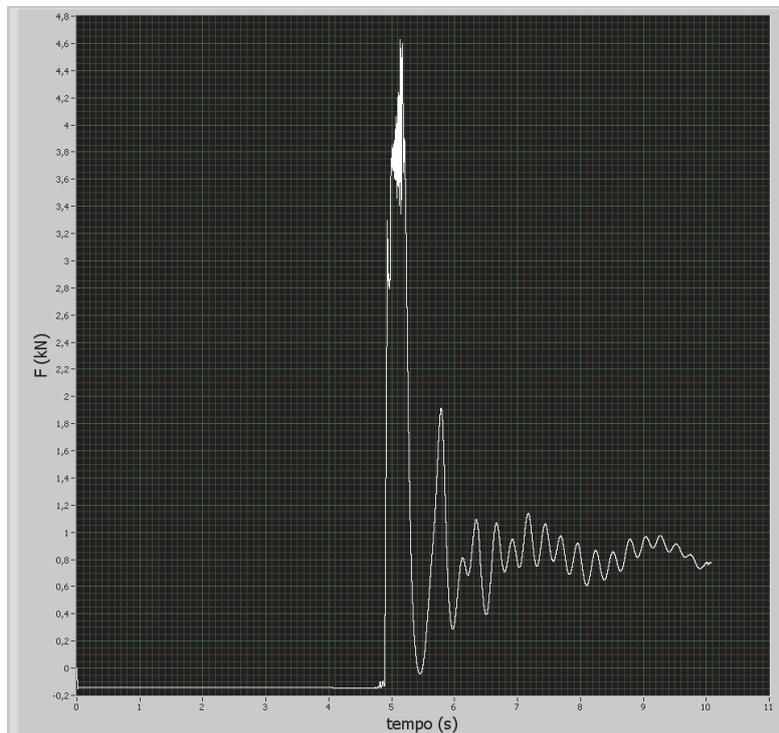


Figura A-120: Prova 100/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

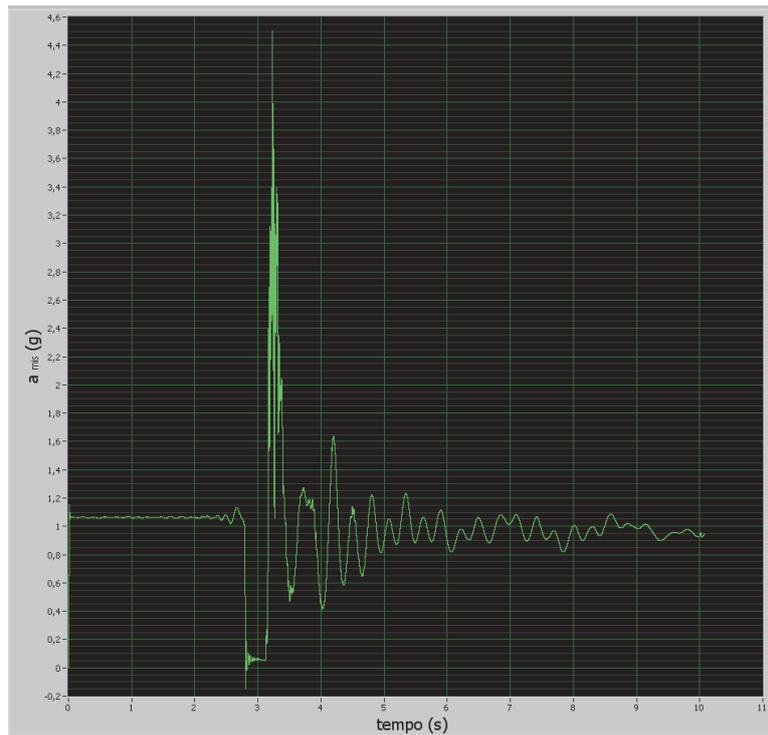


Figura A-121: Prova 120/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

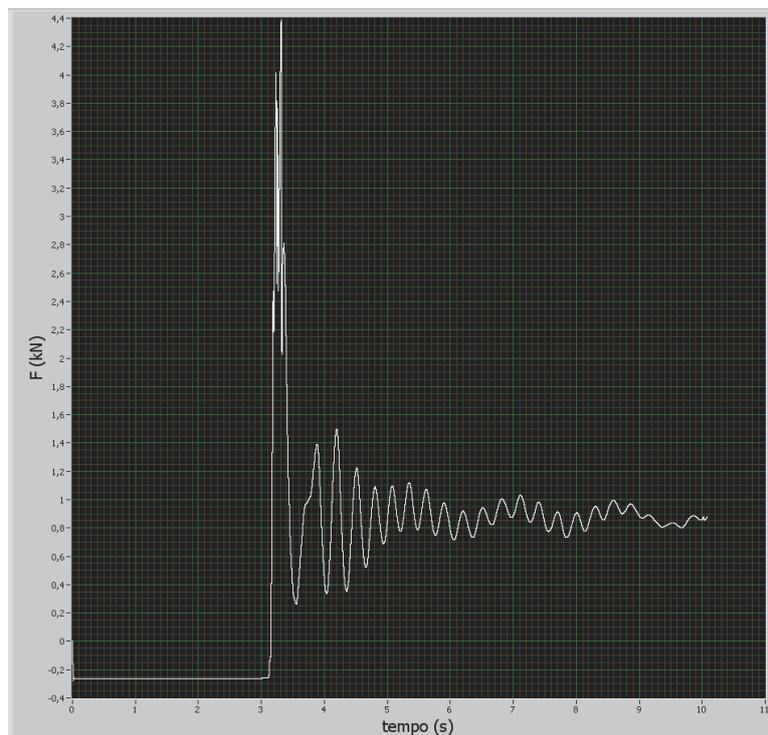


Figura A-122: Prova 120/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

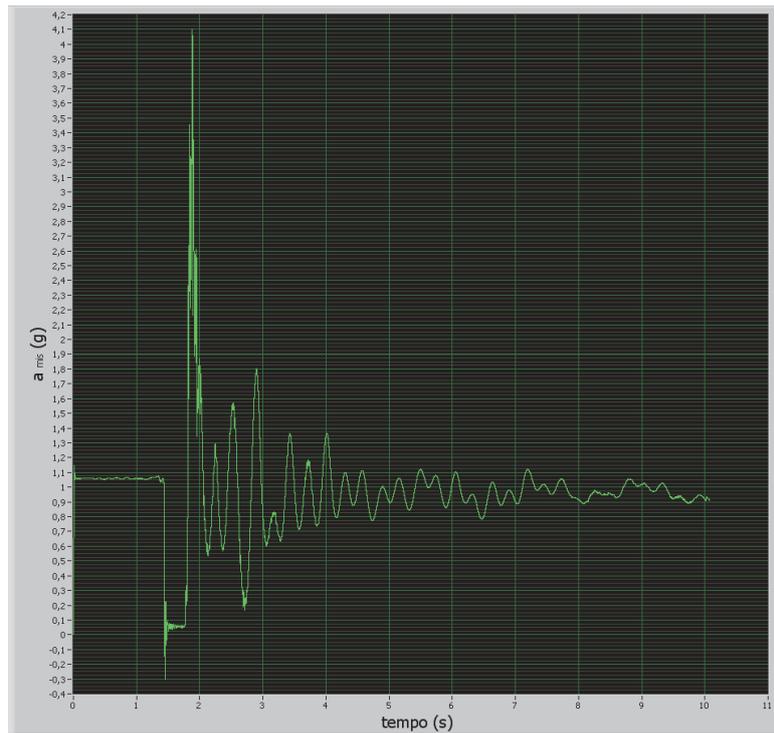


Figura A-123: Prova 120/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

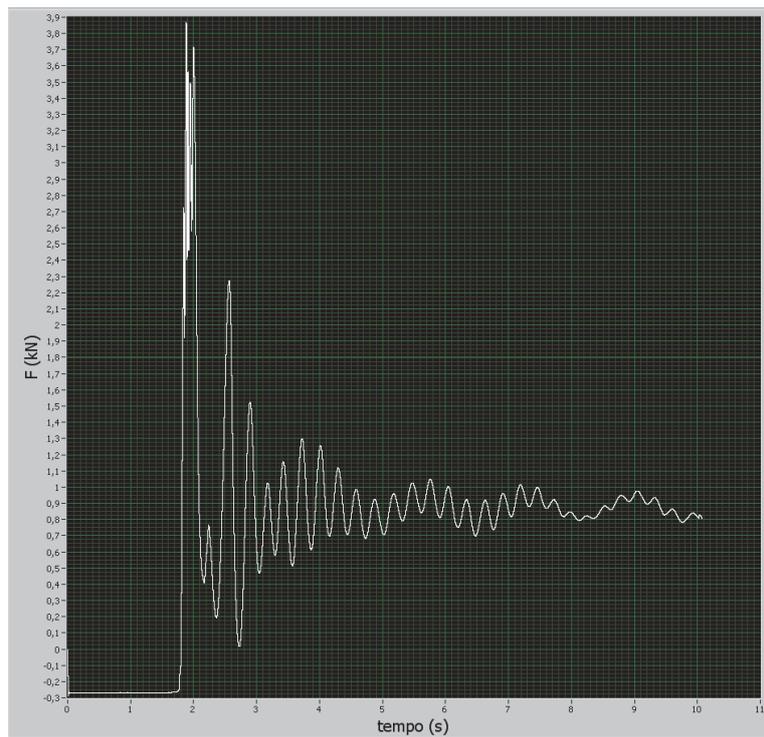


Figura A-124: Prova 120/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

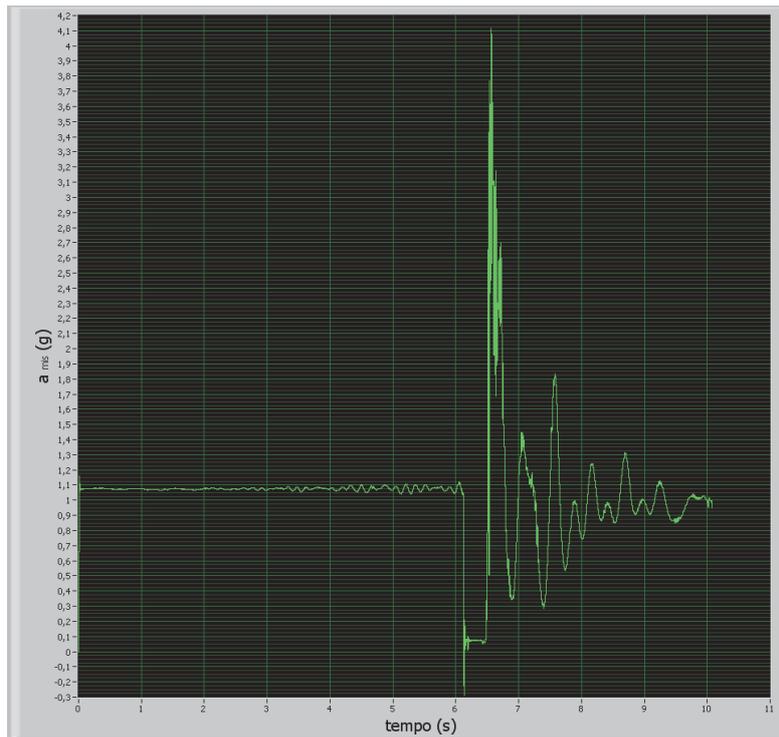


Figura A-125: Prova 120/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

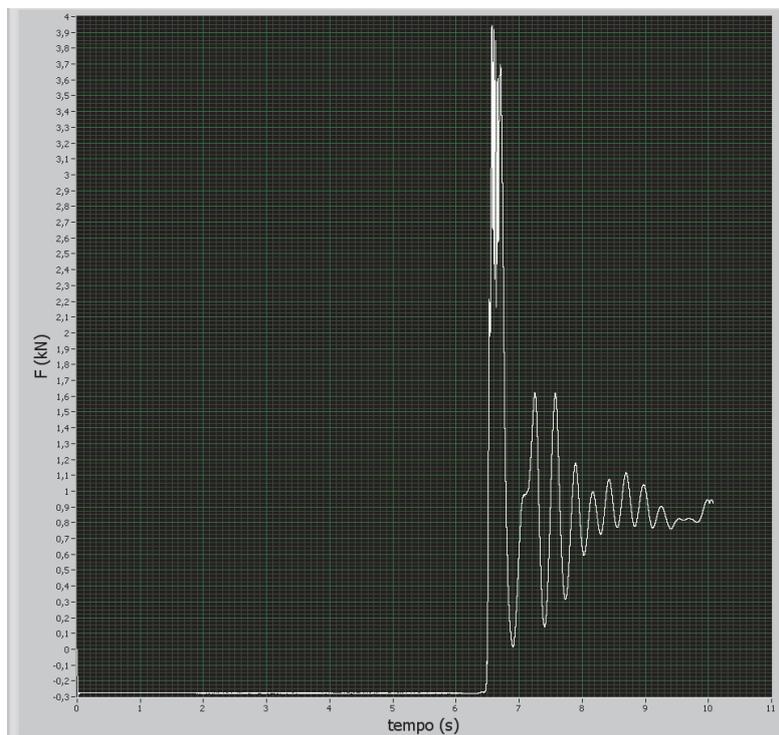


Figura A-126: Prova 120/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

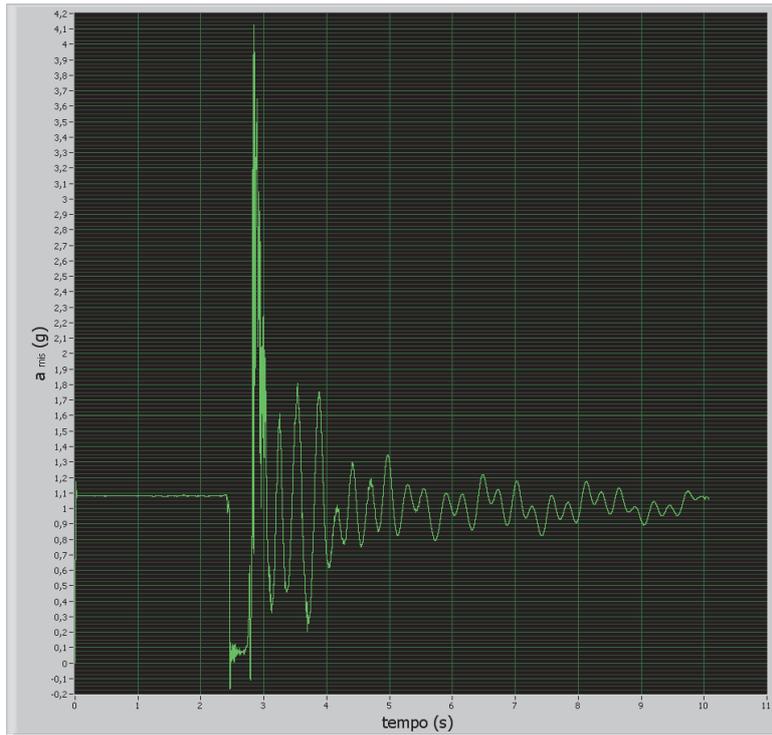


Figura A-127: Prova 120/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

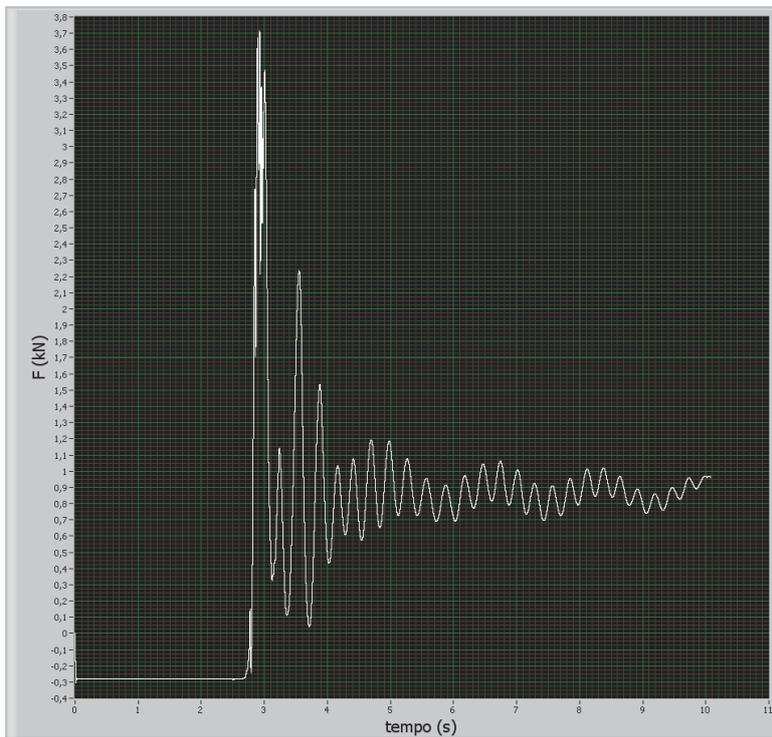


Figura A-128: Prova 120/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

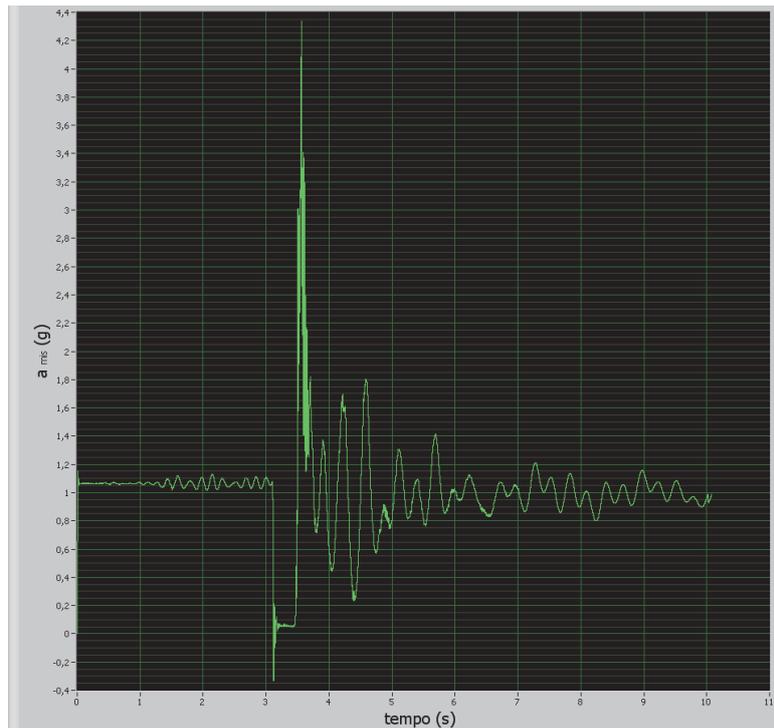


Figura A-129: Prova 120/1 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

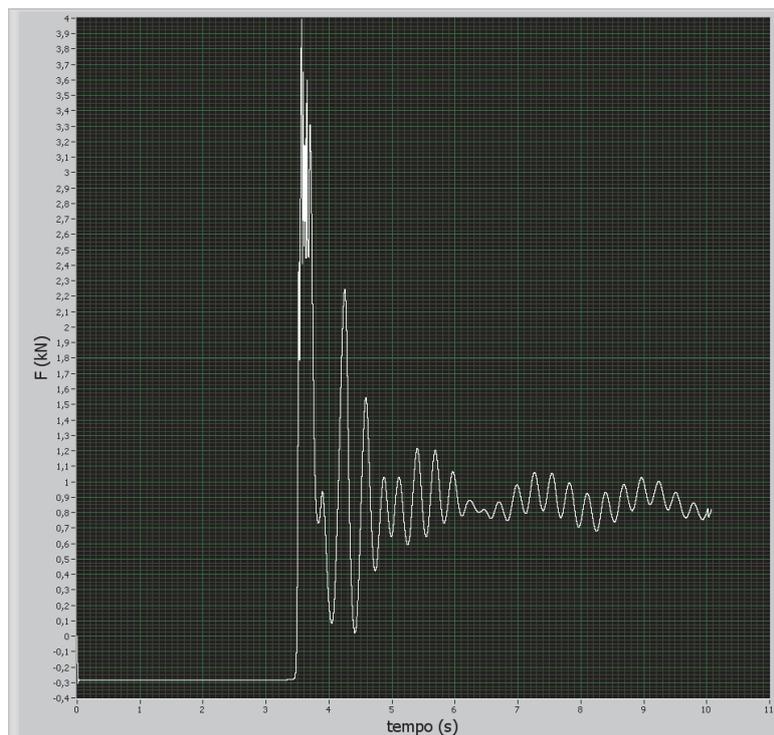


Figura A-130: Prova 120/1 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

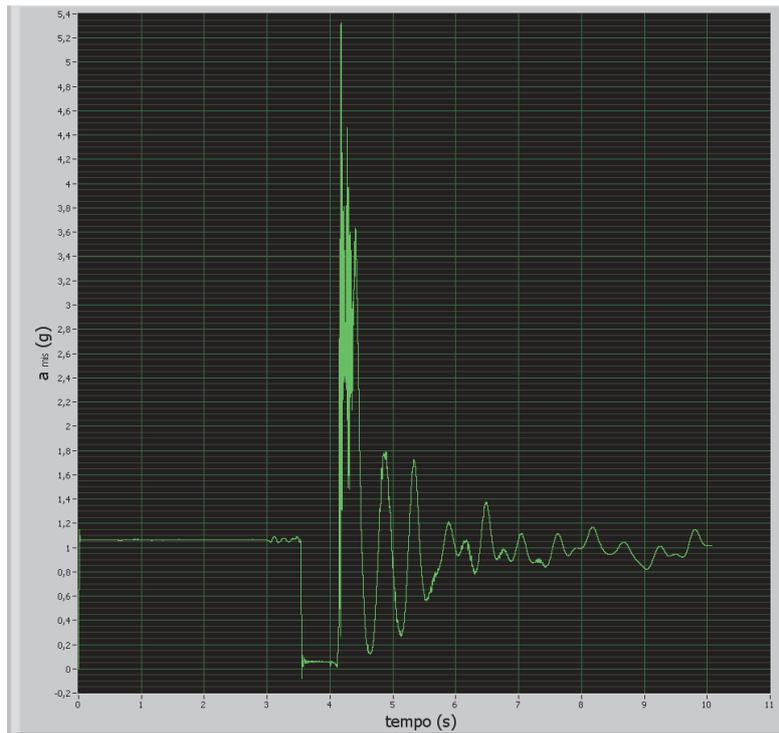


Figura A-131: Prova 120/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

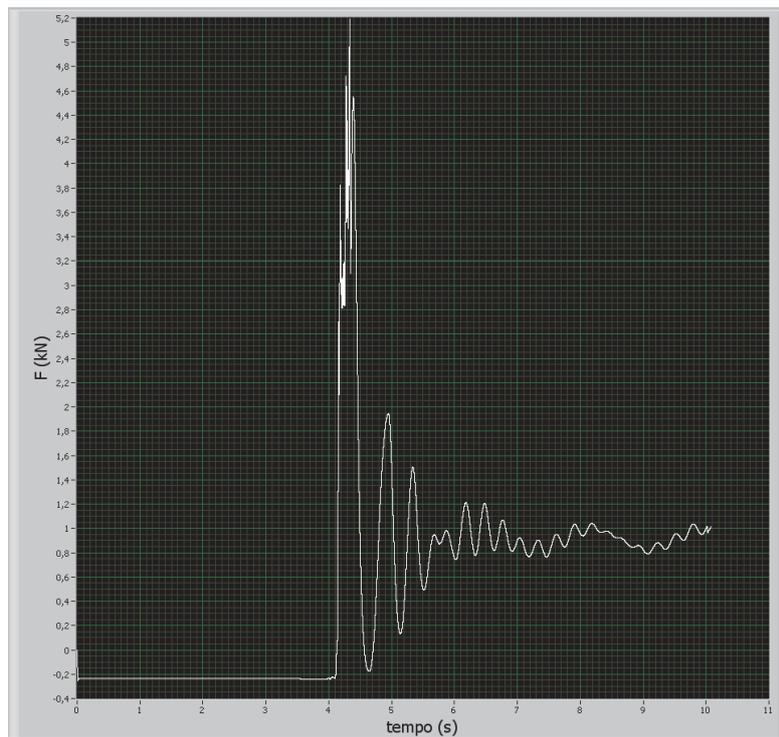


Figura A-132: Prova 120/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

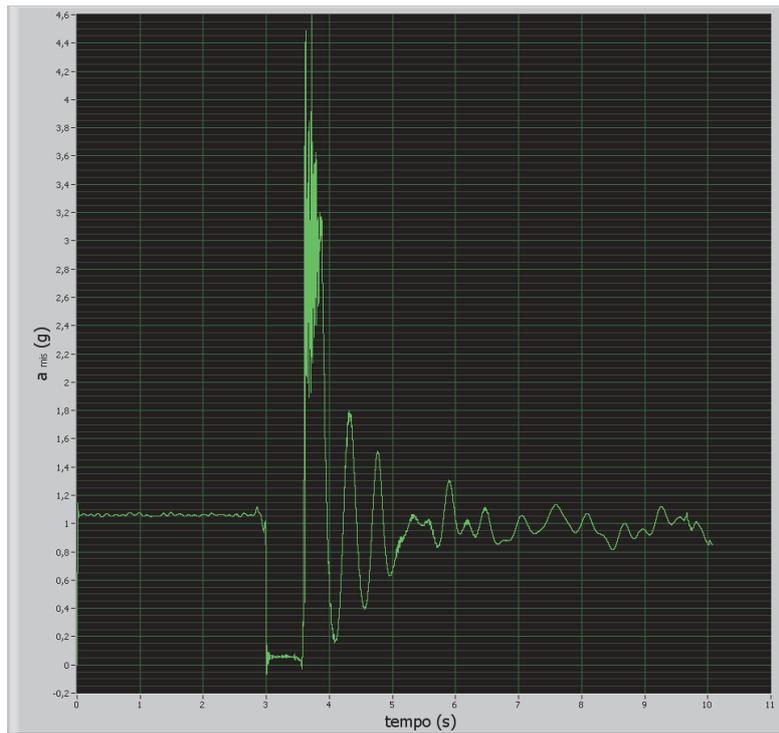


Figura A-133: Prova 120/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

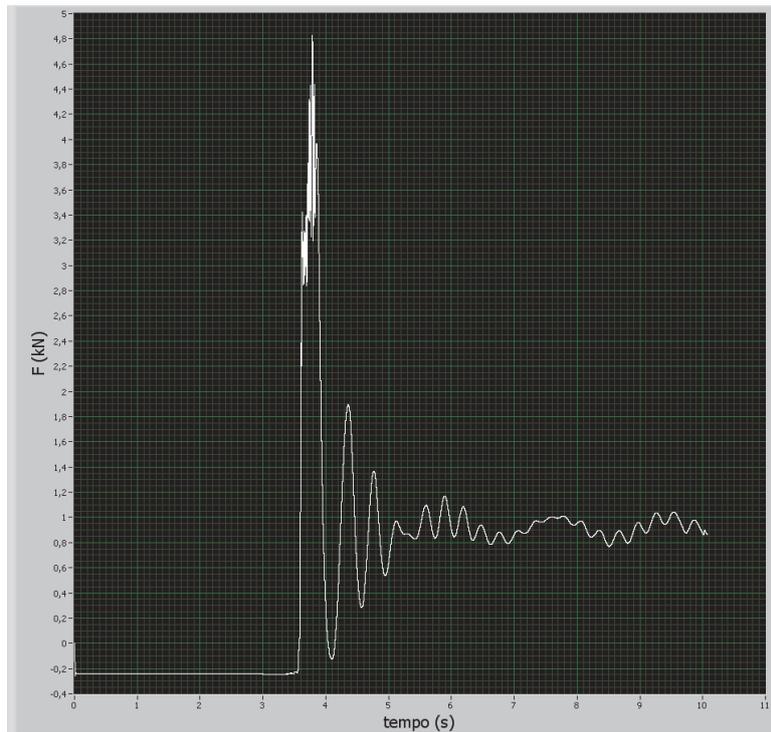


Figura A-134: Prova 120/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

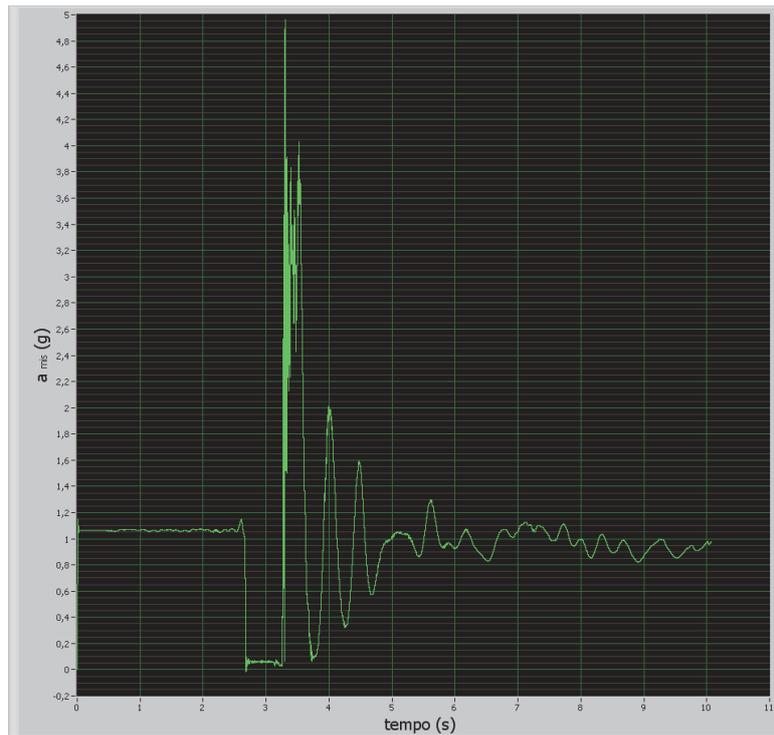


Figura A-135: Prova 120/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

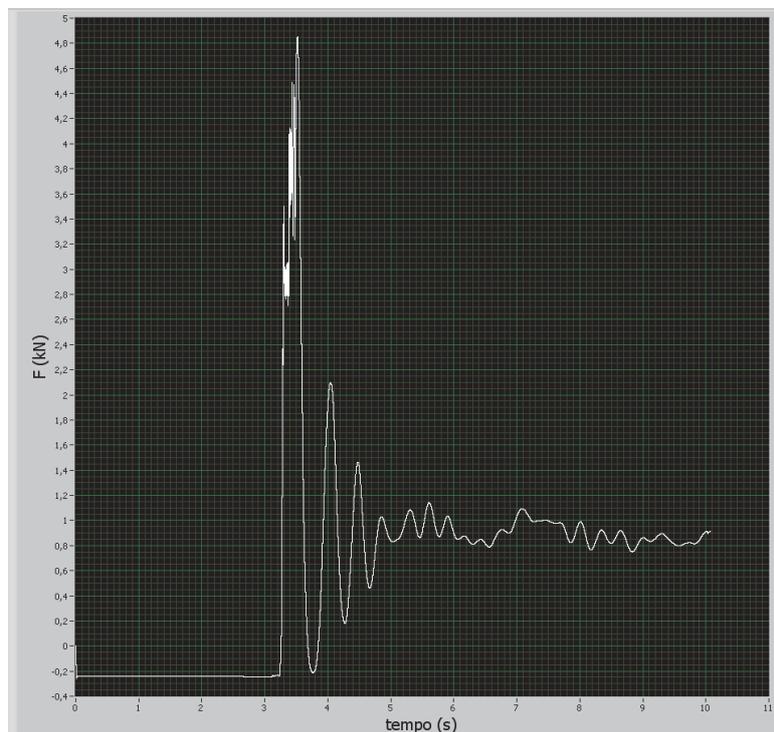


Figura A-136: Prova 120/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

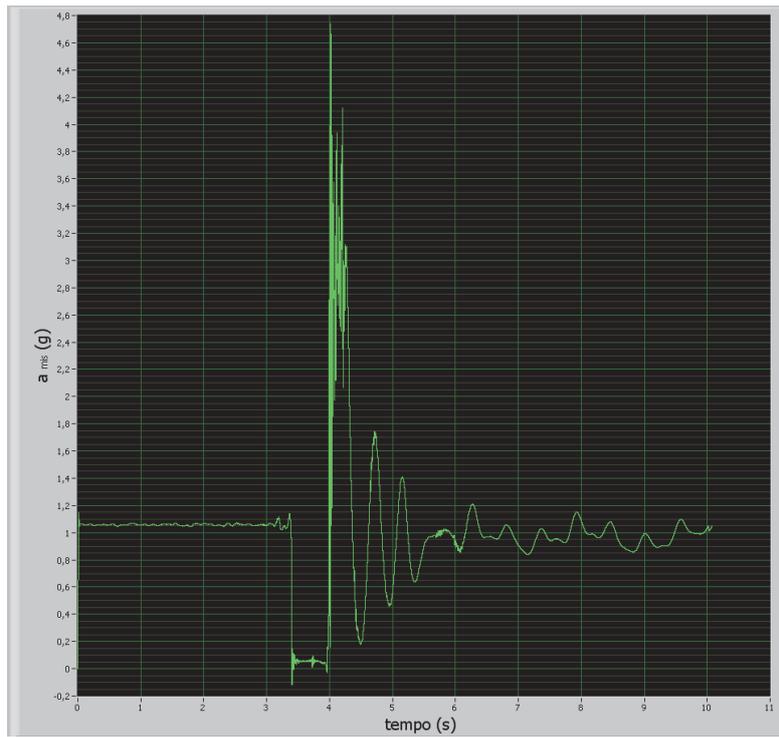


Figura A-137: Prova 120/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

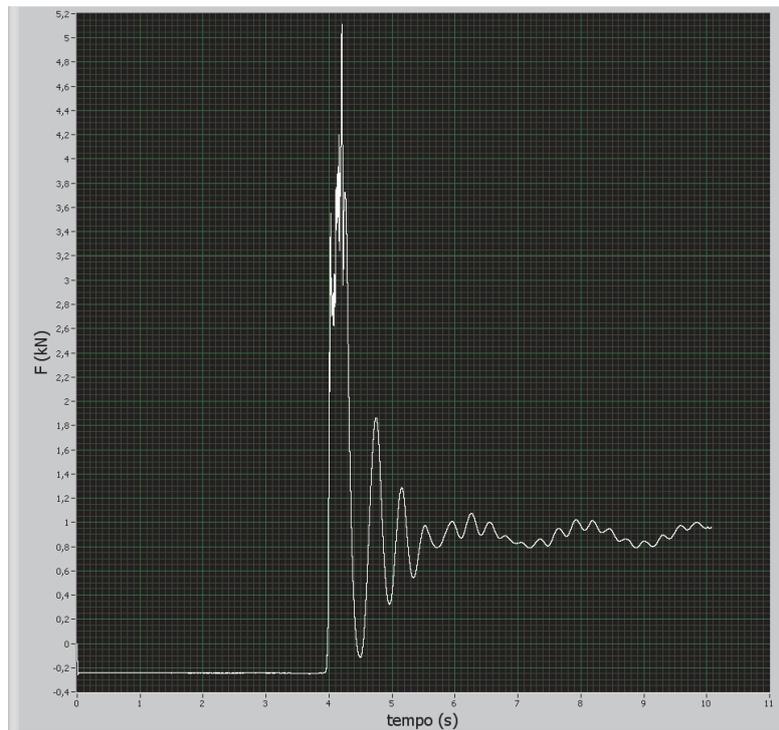


Figura A-138: Prova 120/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

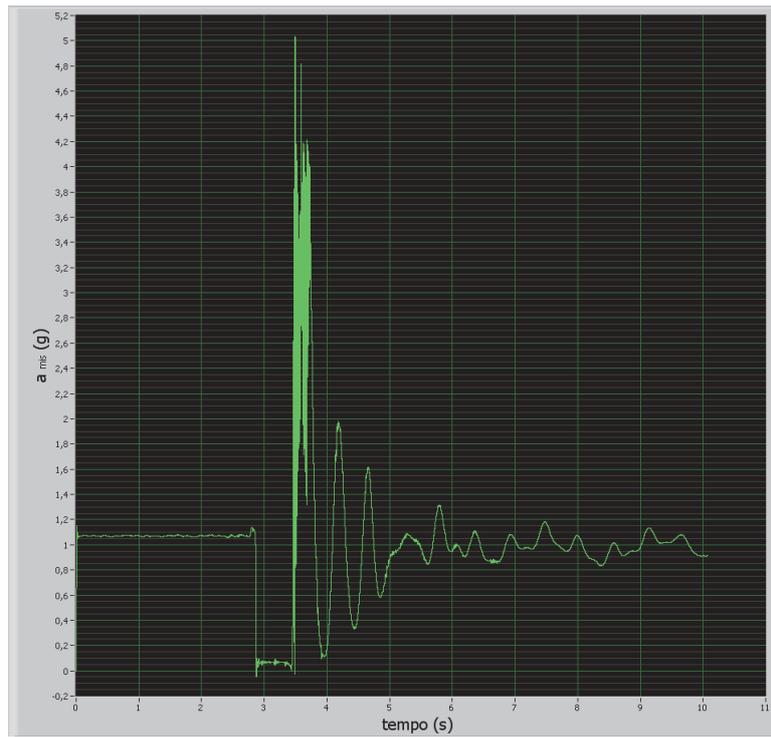


Figura A-139: Prova 120/2 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

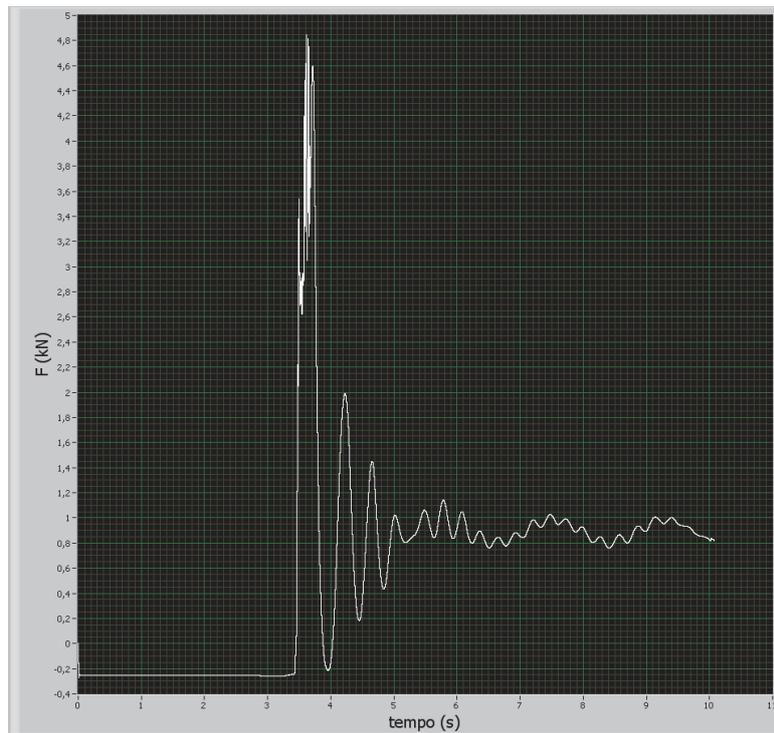


Figura A-140: Prova 120/2 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

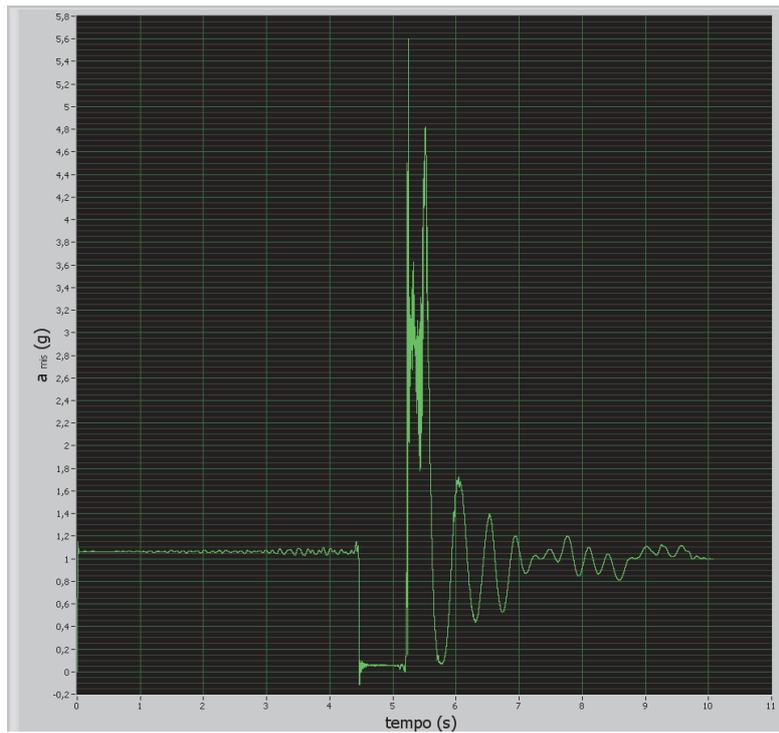


Figura A-141: Prova 120/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

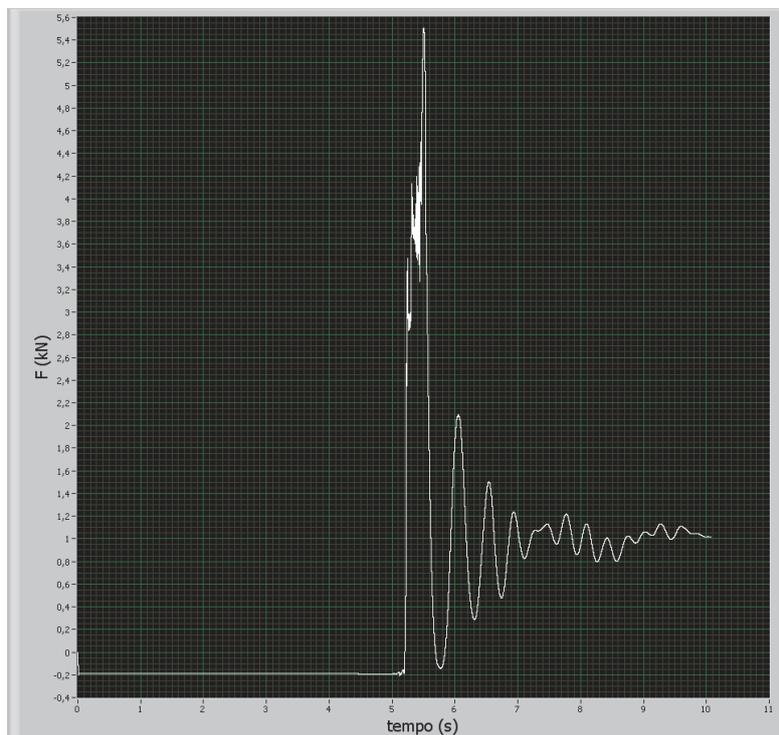


Figura A-142: Prova 120/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

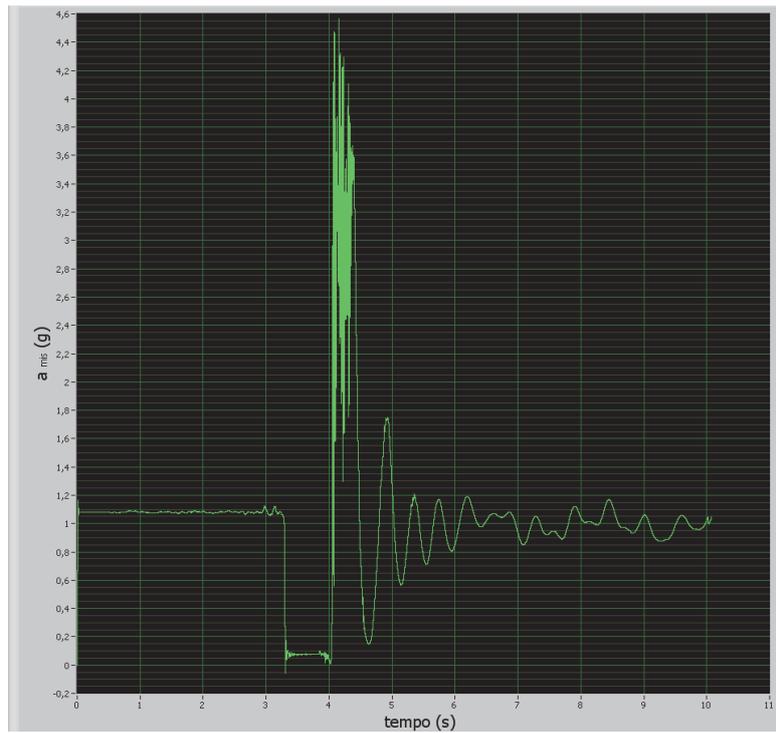


Figura A-143: Prova 120/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

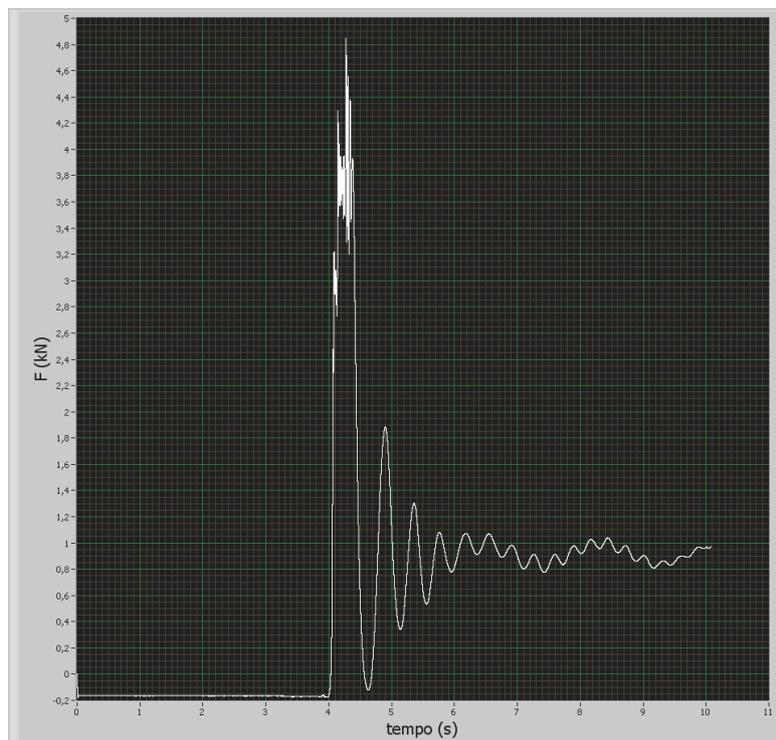


Figura A-144: Prova 120/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

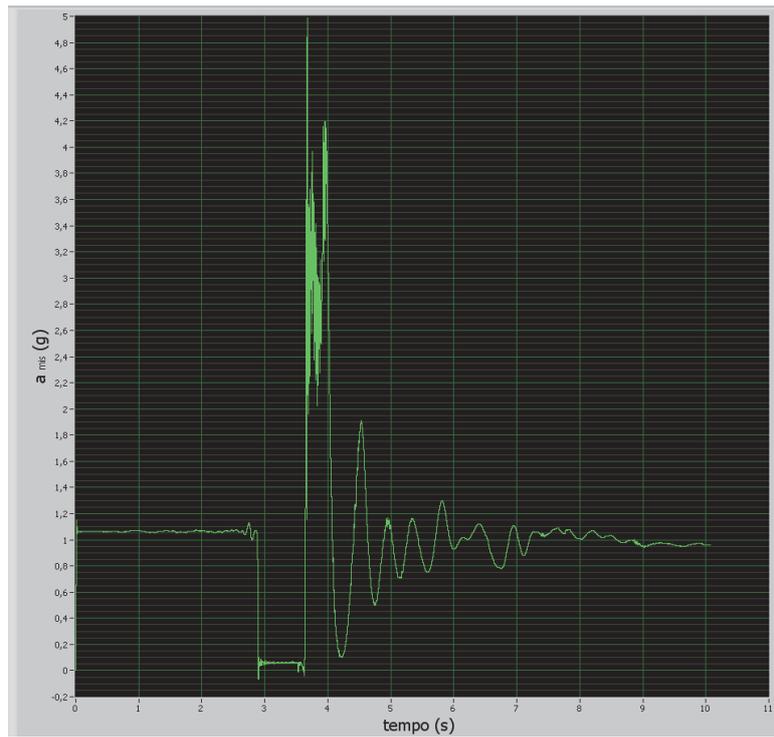


Figura A-145: Prova 120/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

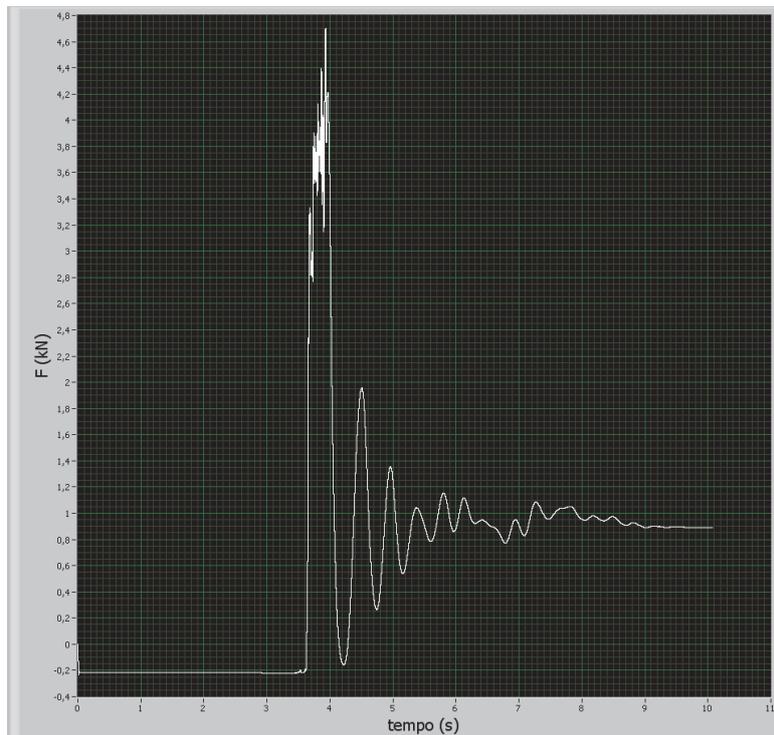


Figura A-146: Prova 120/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

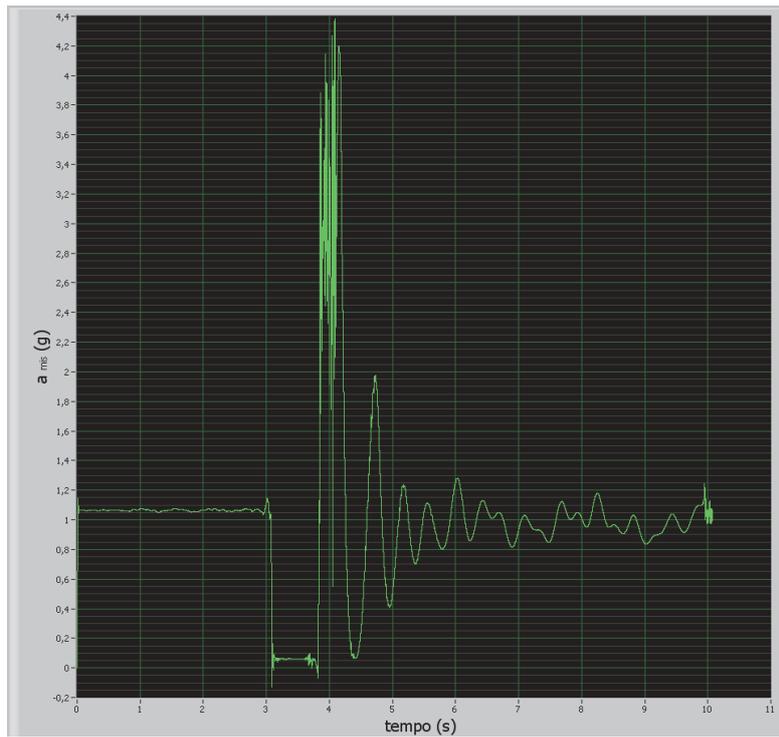


Figura A-147: Prova 120/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

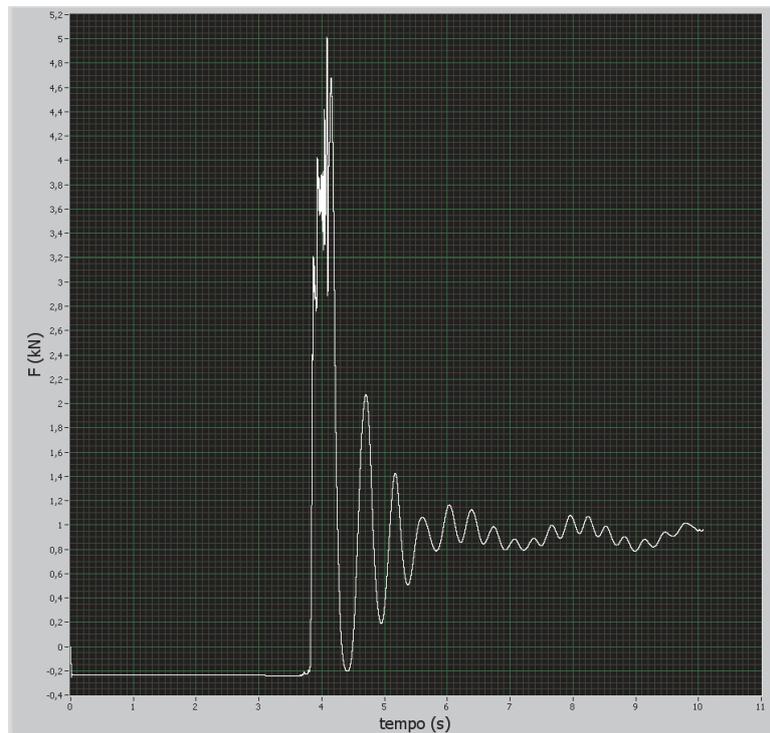


Figura A-148: Prova 120/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

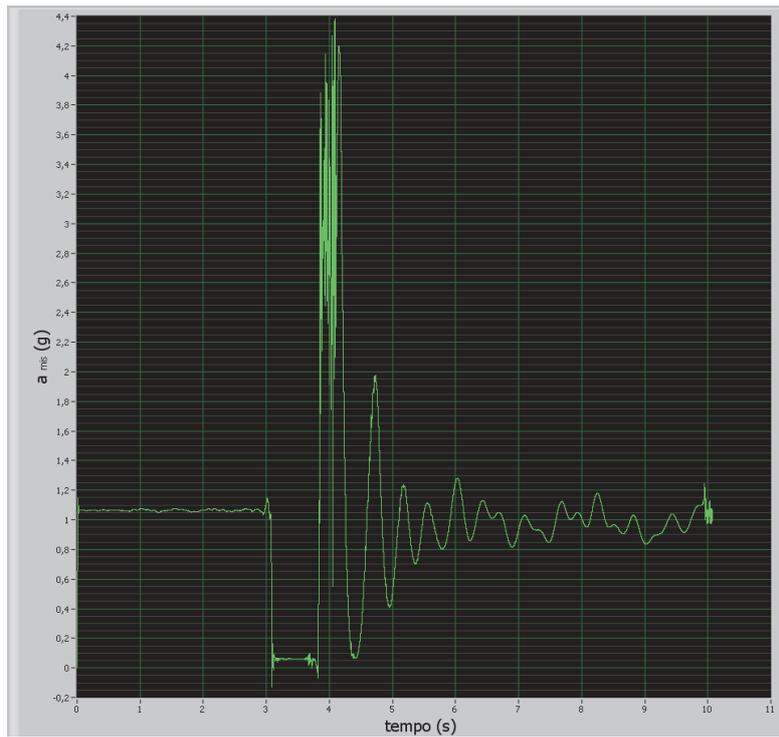


Figura A-149: Prova 120/3 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

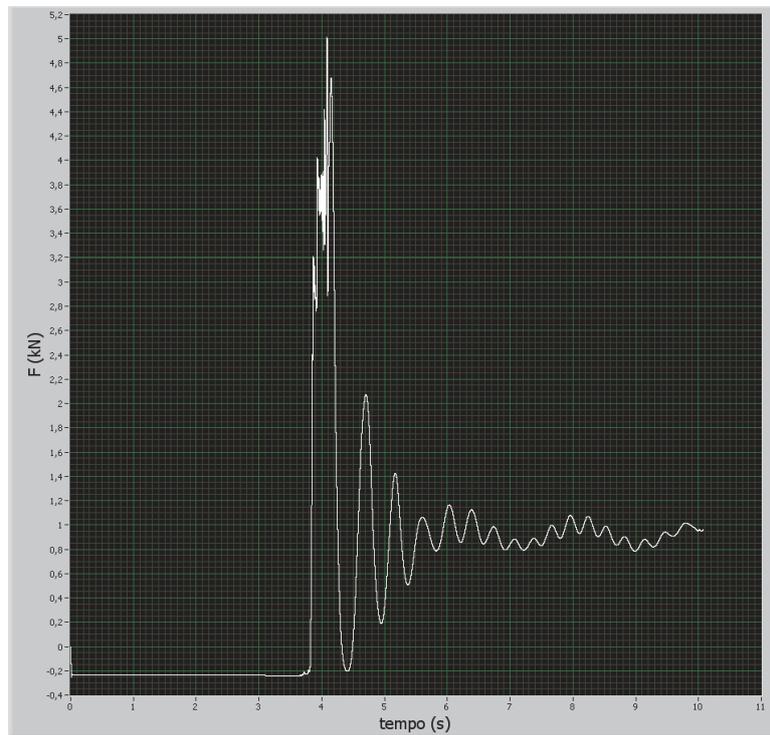


Figura A-150: Prova 120/3 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

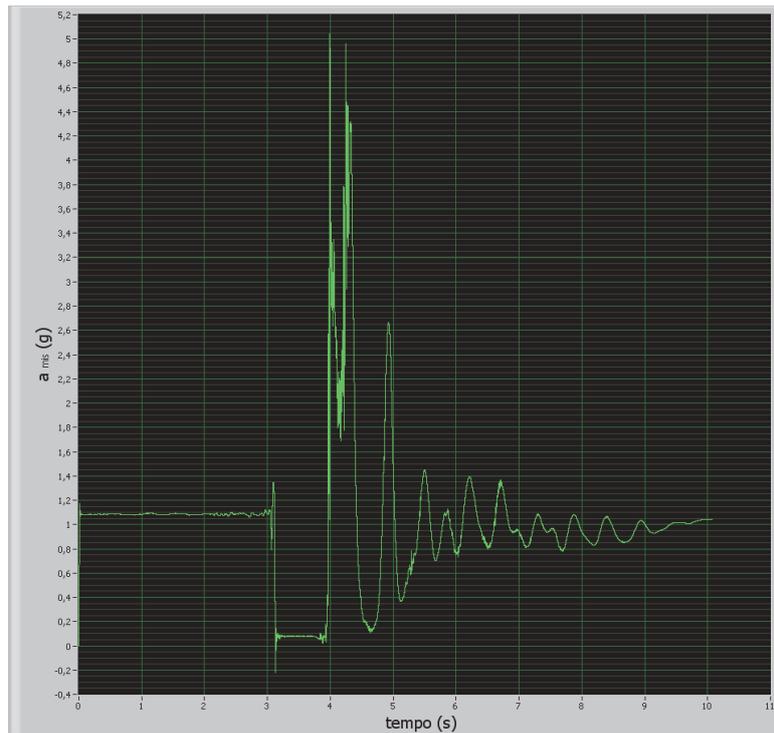


Figura A-151: Prova 120/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

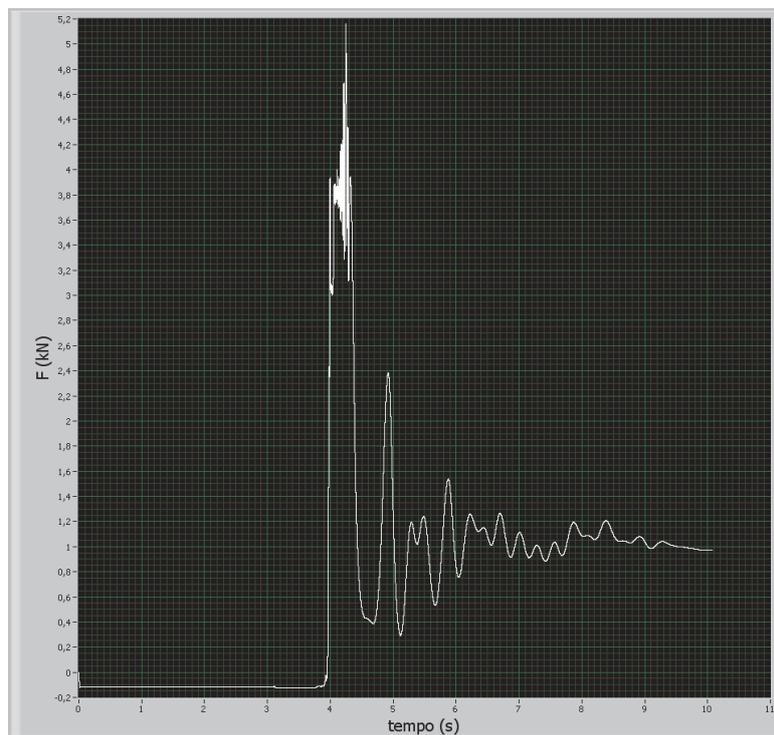


Figura A-152: Prova 120/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

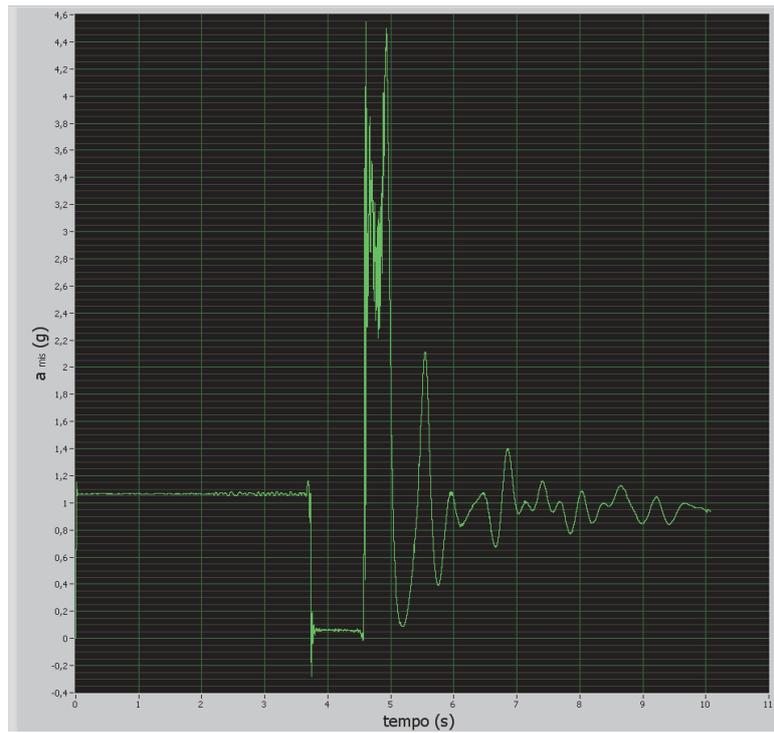


Figura A-153: Prova 120/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

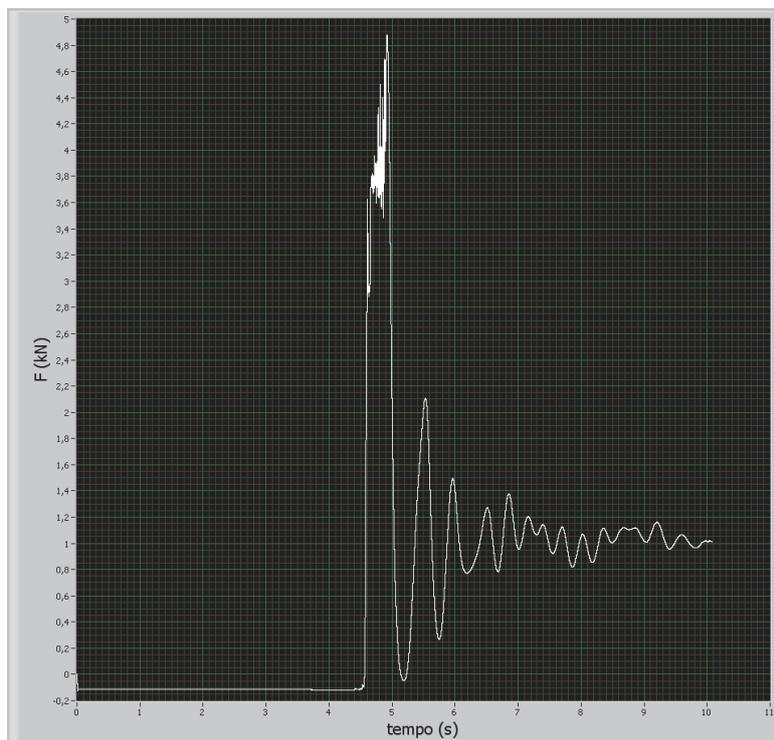


Figura A-154: Prova 120/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

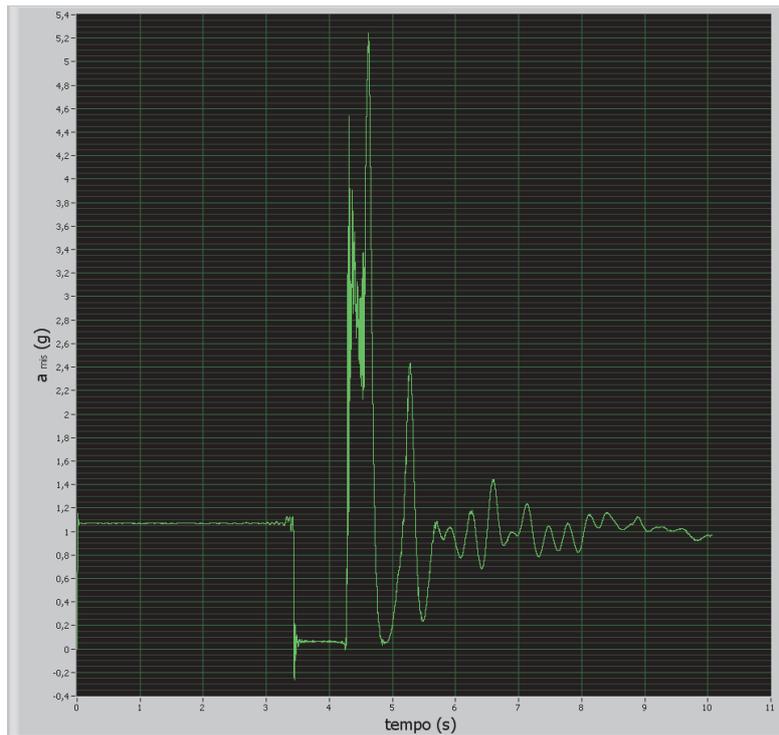


Figura A-155: Prova 120/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

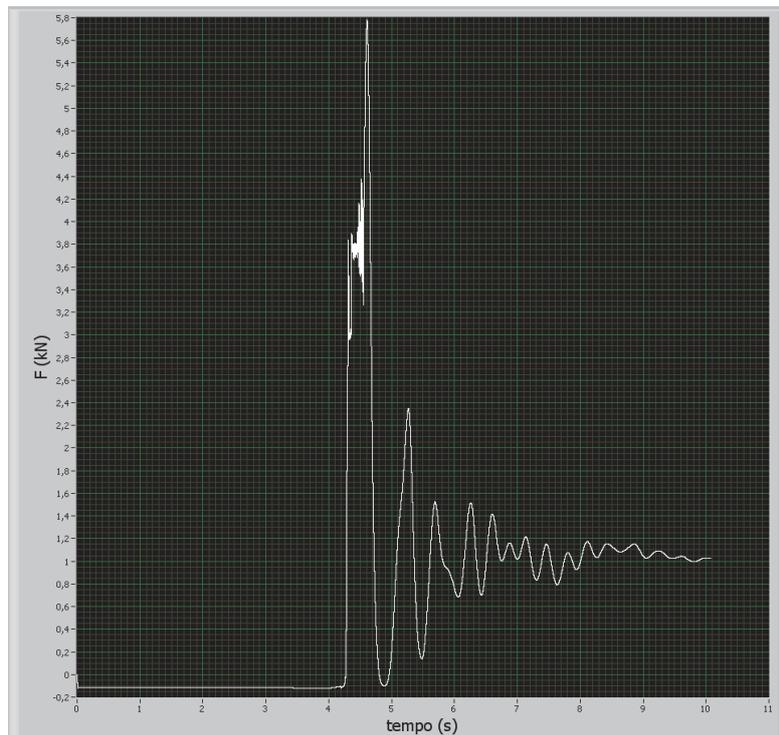


Figura A-156: Prova 120/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

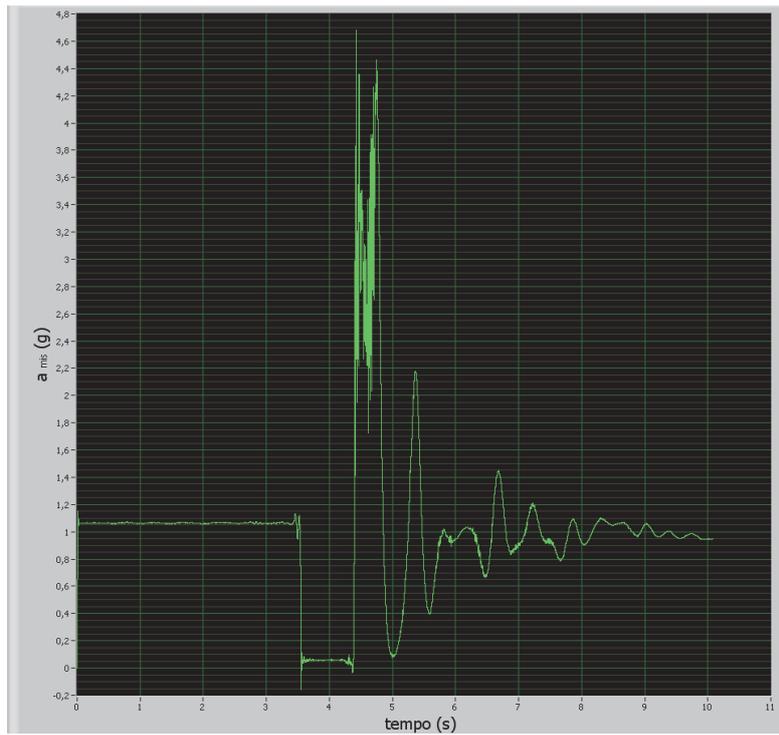


Figura A-157: Prova 120/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

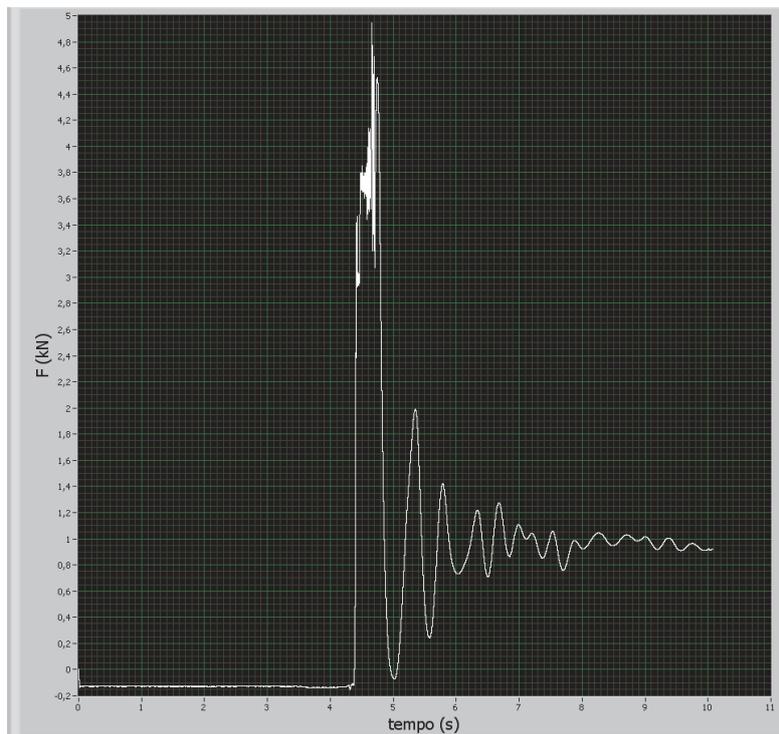


Figura A-158: Prova 120/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

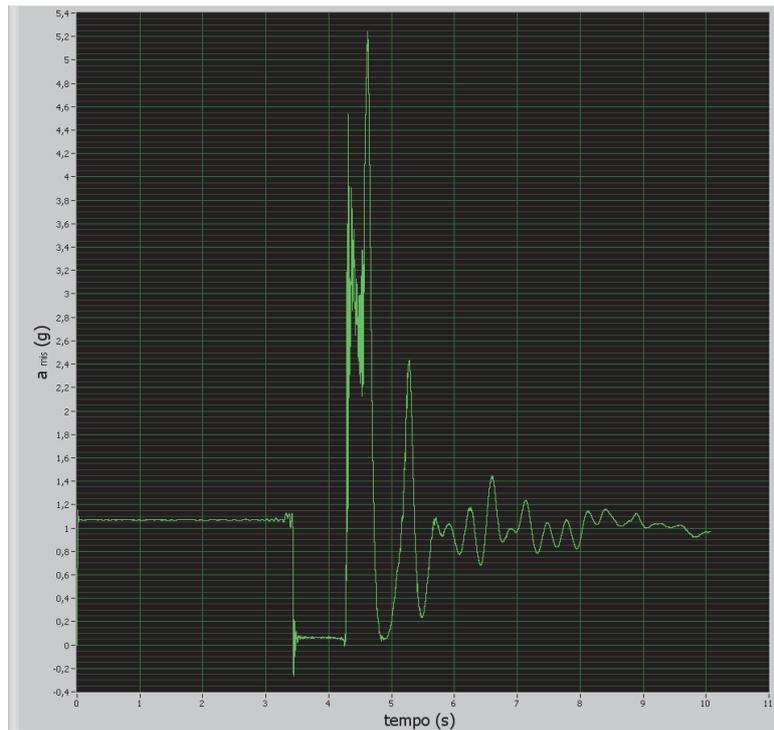


Figura A-159: Prova 120/4 F andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

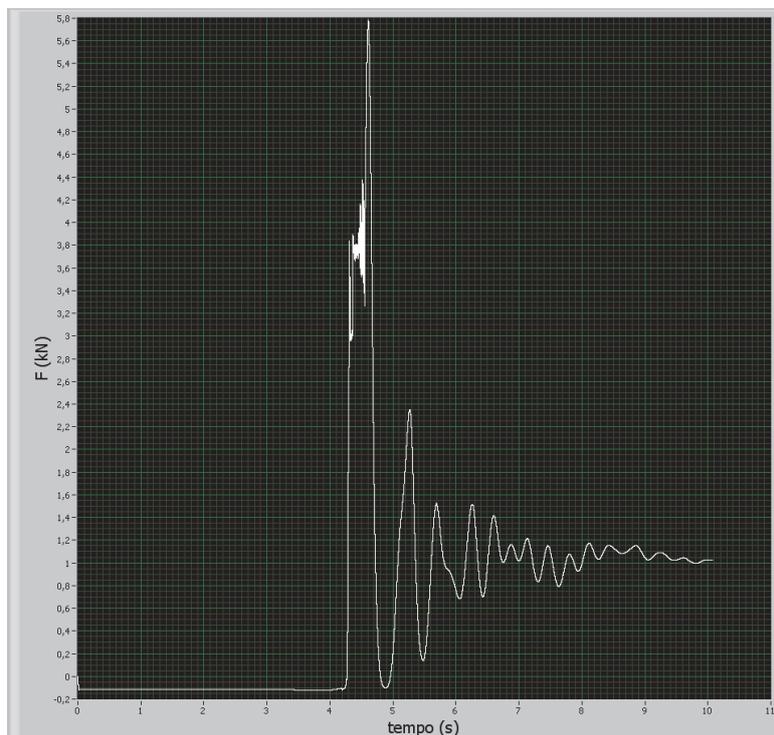


Figura A-160: Prova 120/4 F andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

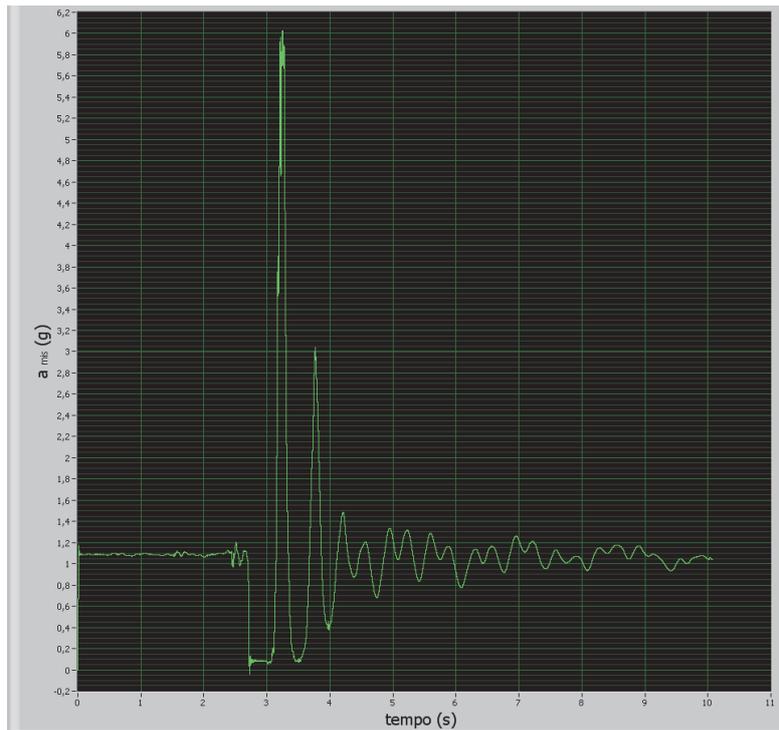


Figura A-161: Prova 60/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

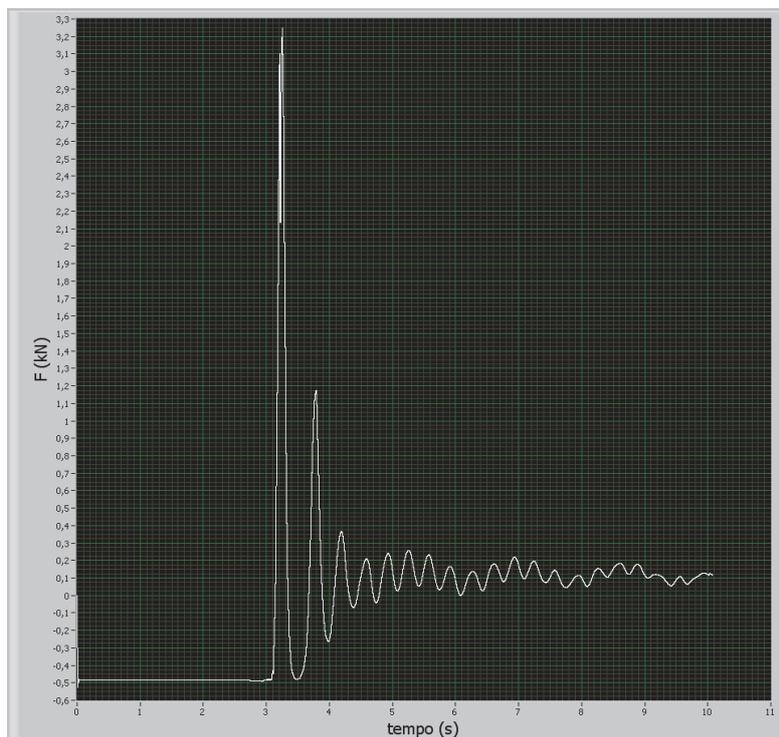


Figura A-162: Prova 60/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

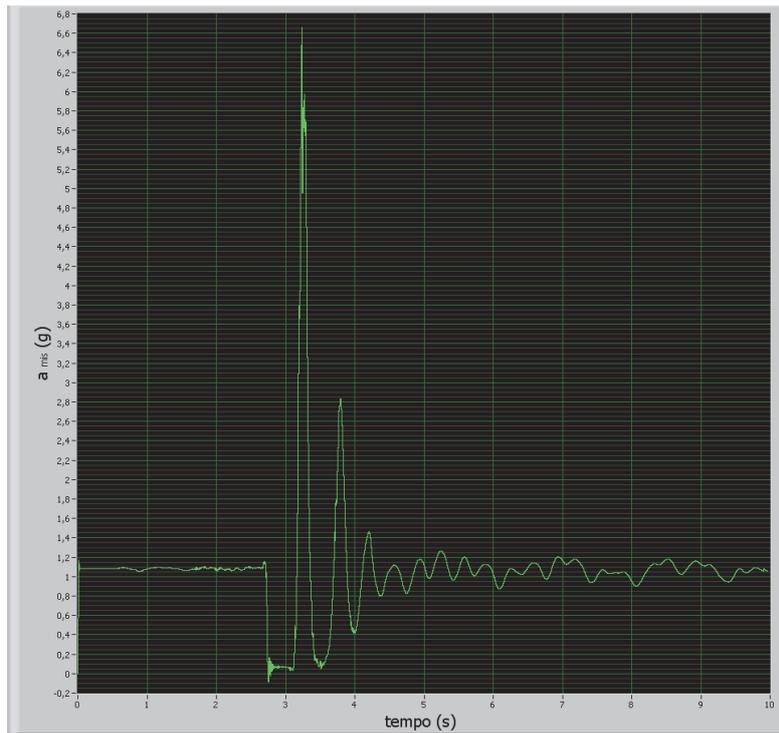


Figura A-163: Prova 60/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

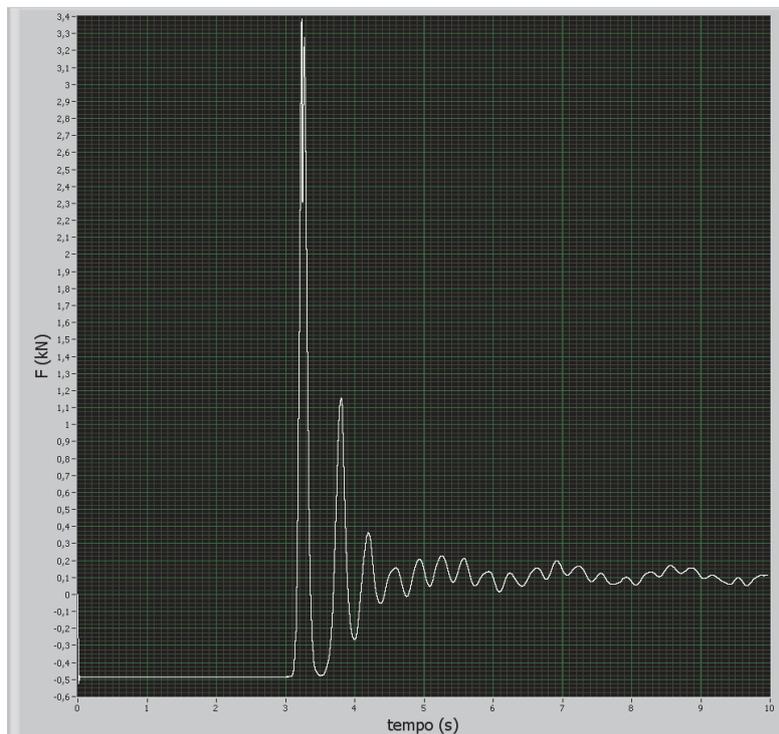


Figura A-164: Prova 60/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

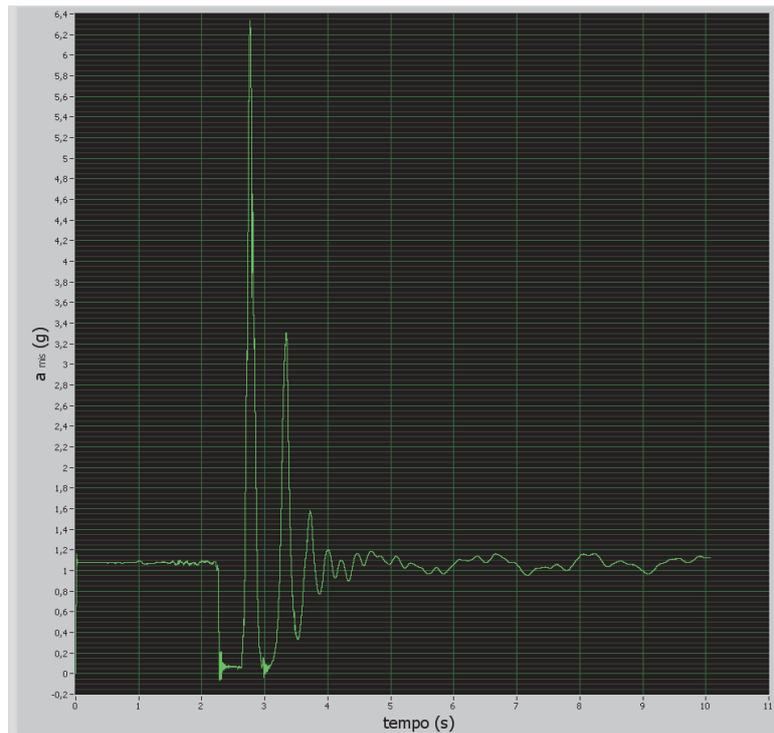


Figura A-165: Prova 60/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

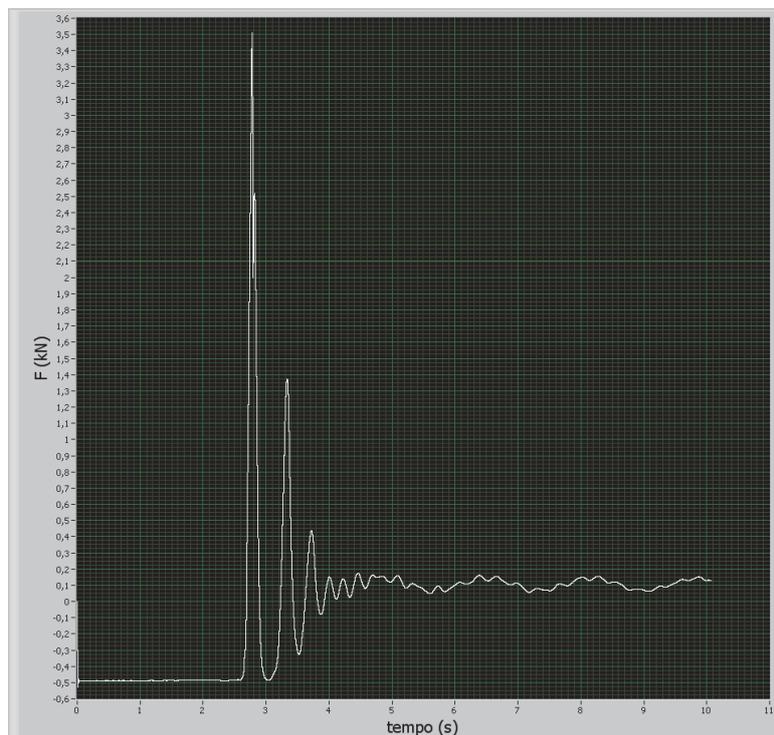


Figura A-166: Prova 60/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

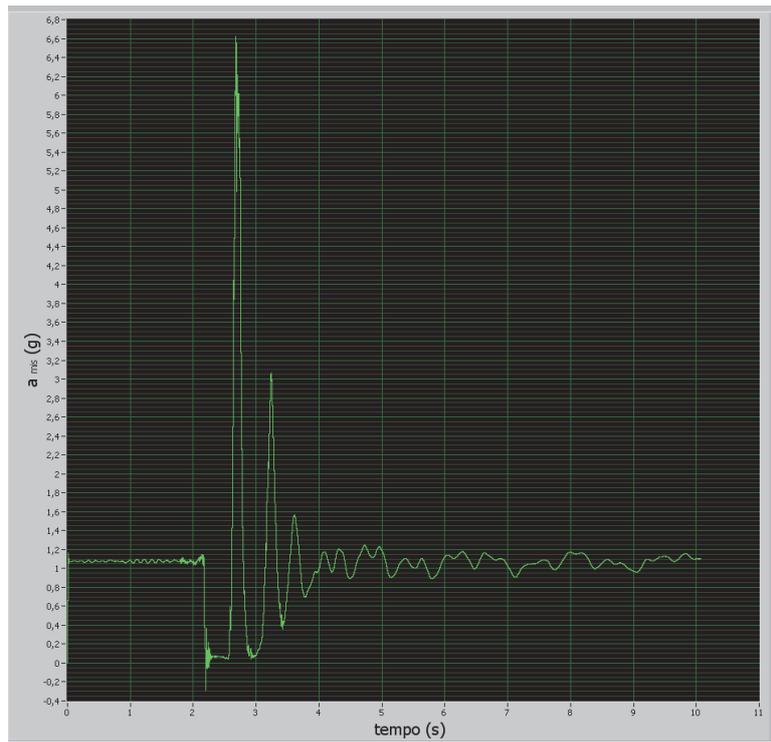


Figura A-167: Prova 60/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

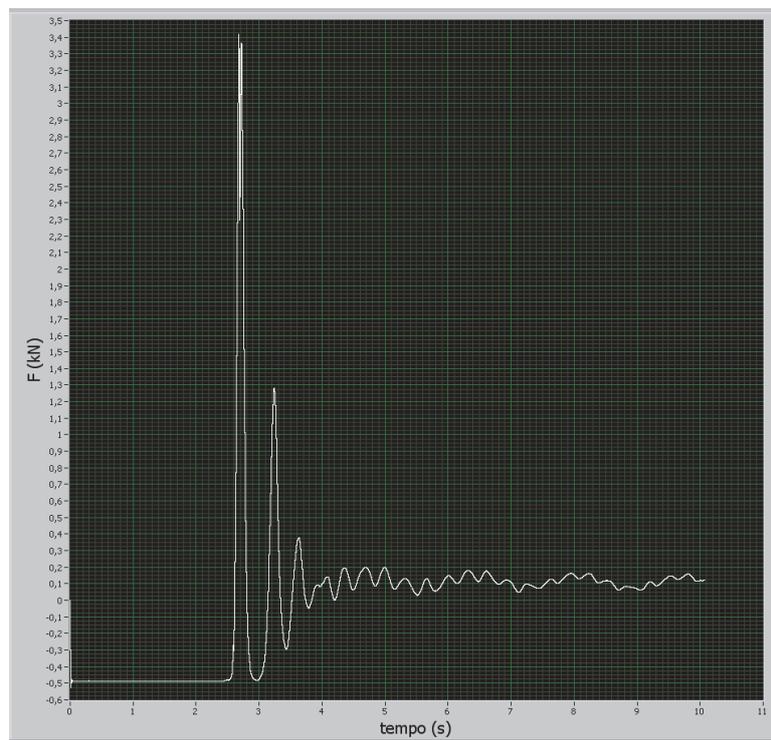


Figura A-168: Prova 60/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

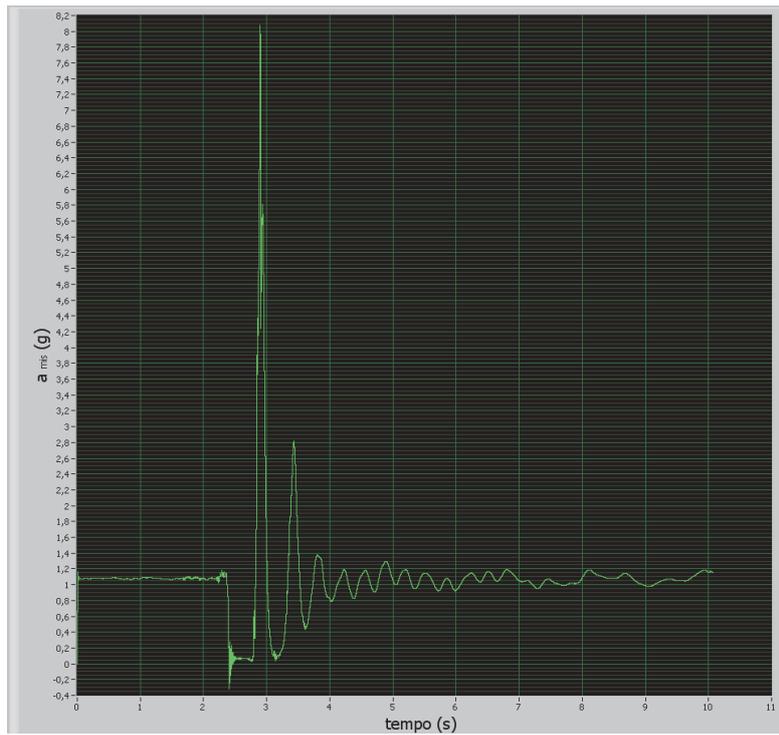


Figura A-169: Prova 60/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

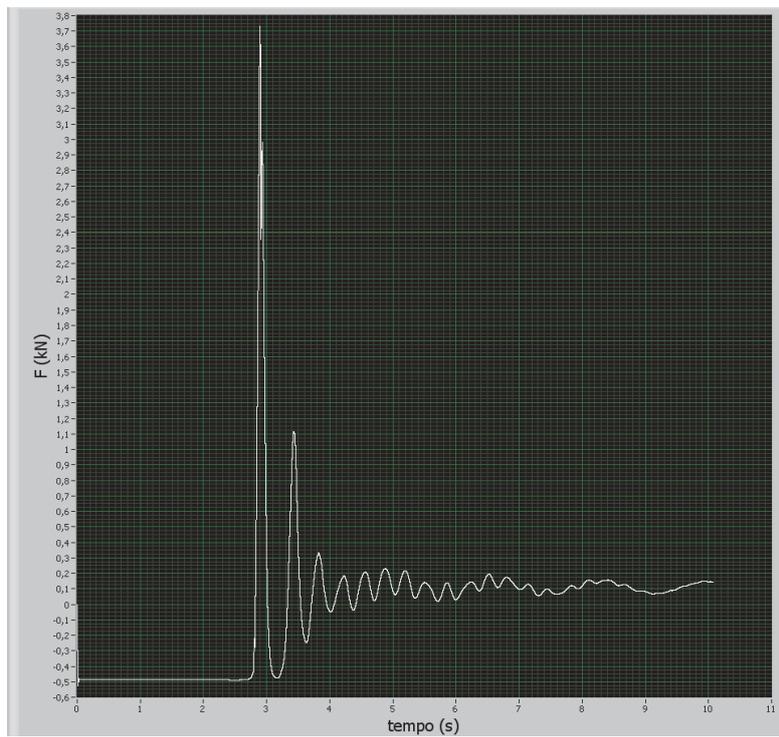


Figura A-170: Prova 60/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

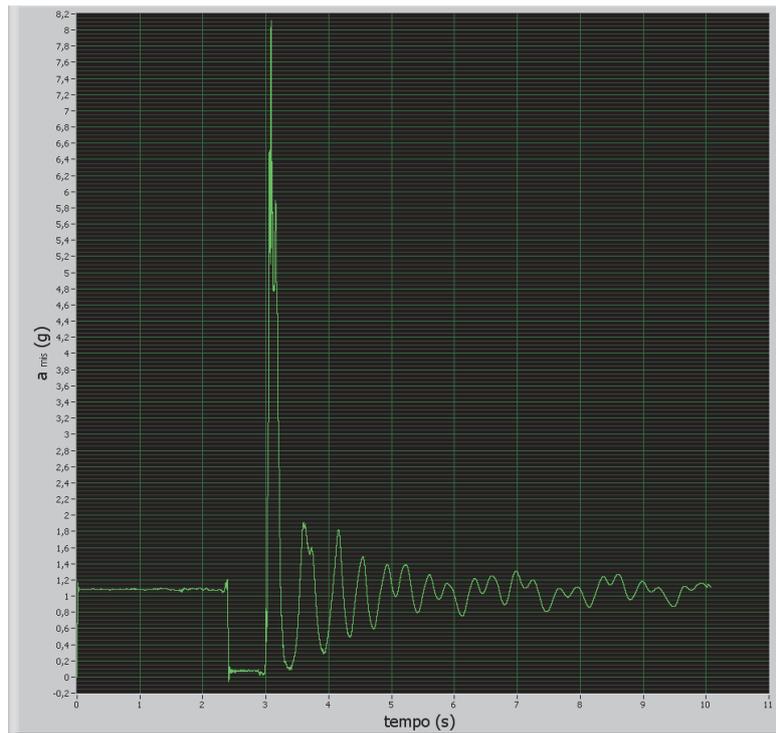


Figura A-171: Prova 60/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

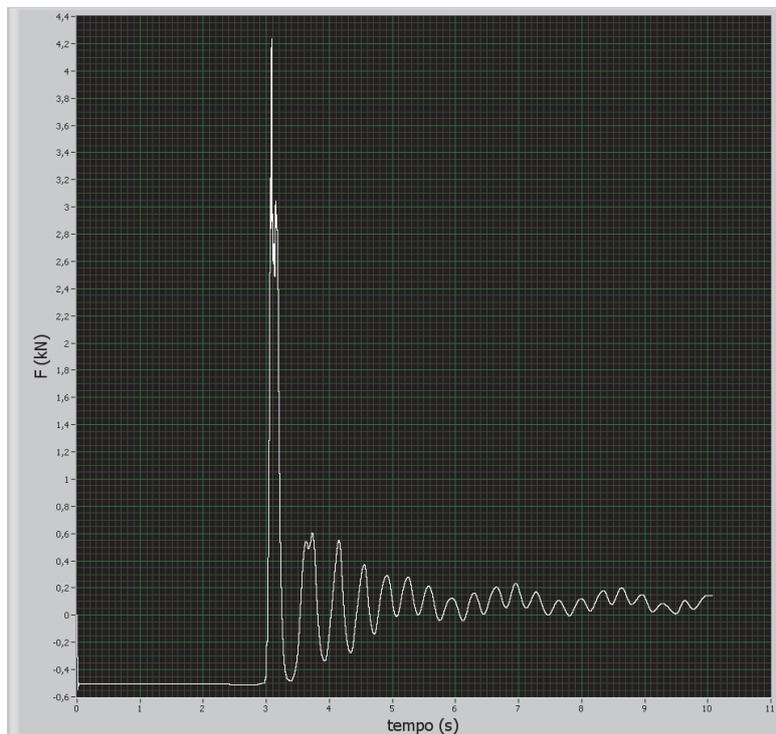


Figura A-172: Prova 60/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

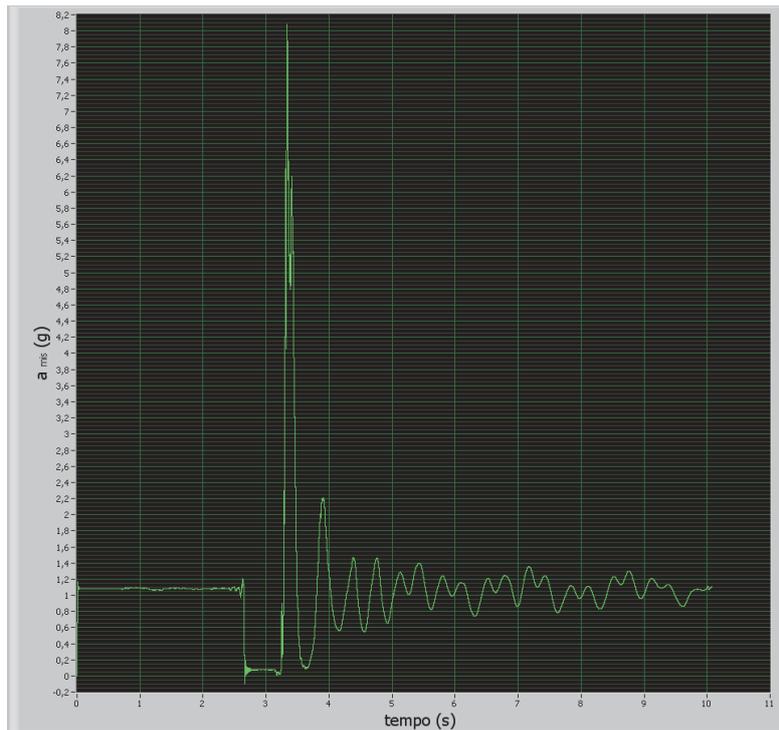


Figura A-173: Prova 60/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

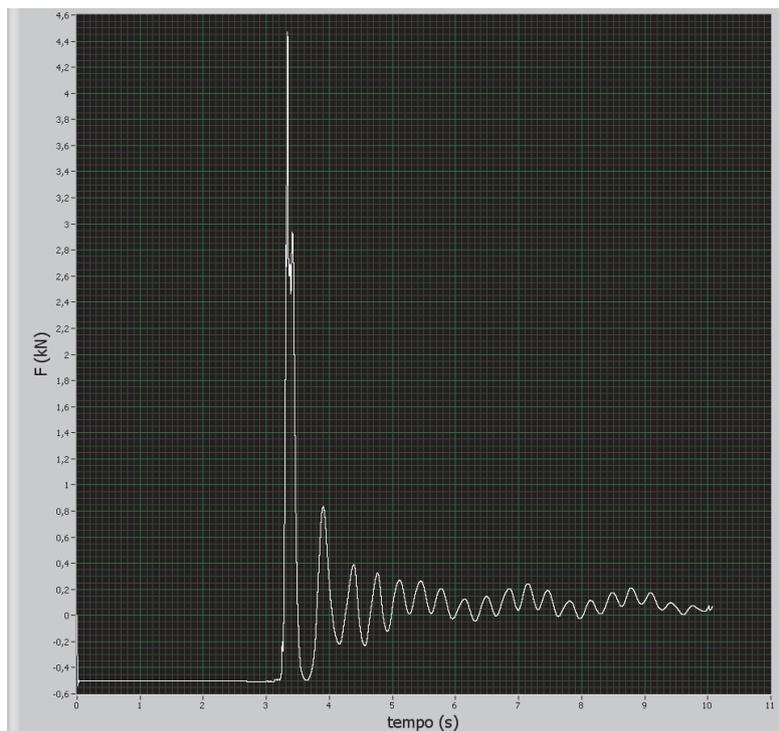


Figura A-174: Prova 60/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

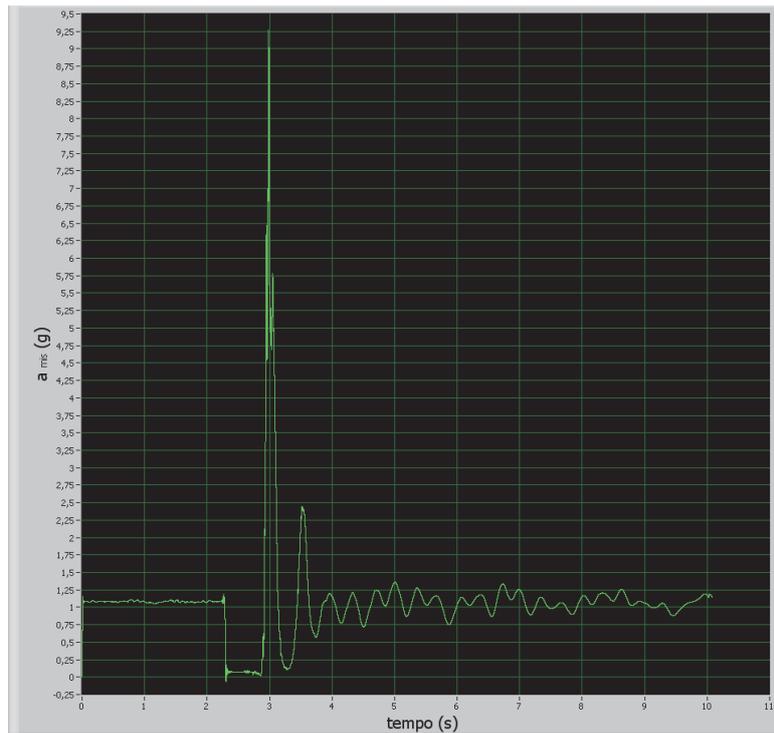


Figura A-175: Prova 60/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

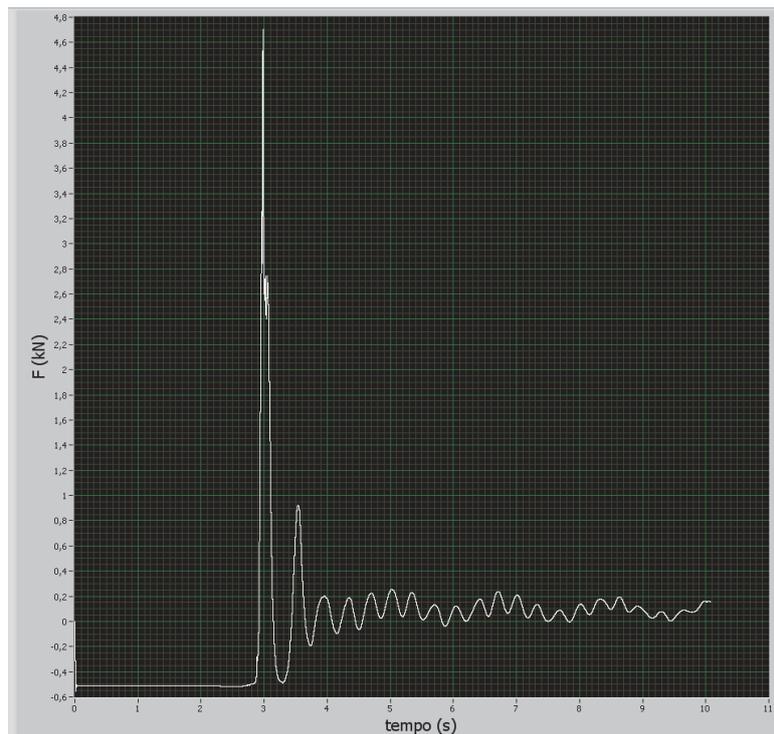


Figura A-176: Prova 60/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

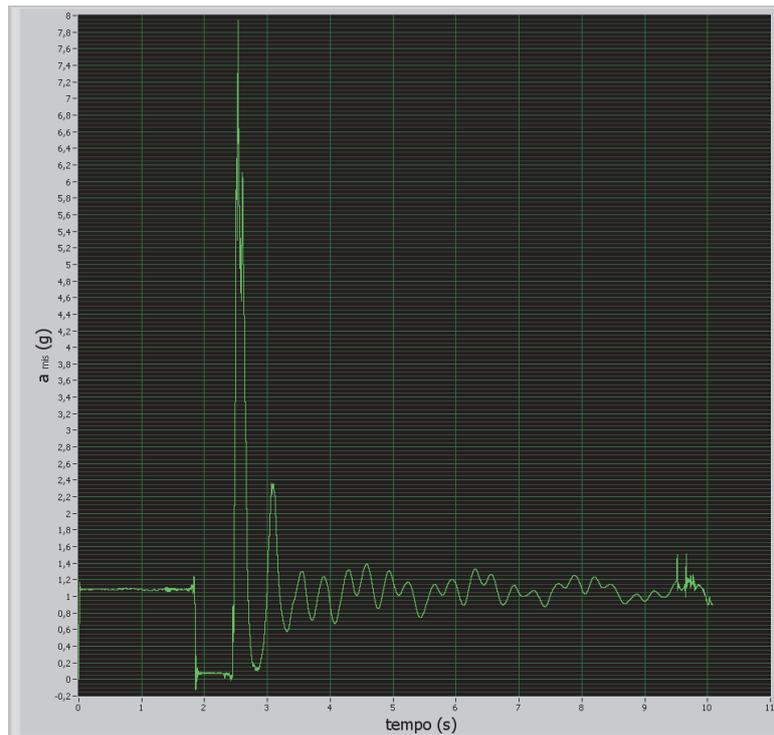


Figura A-177: Prova 60/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

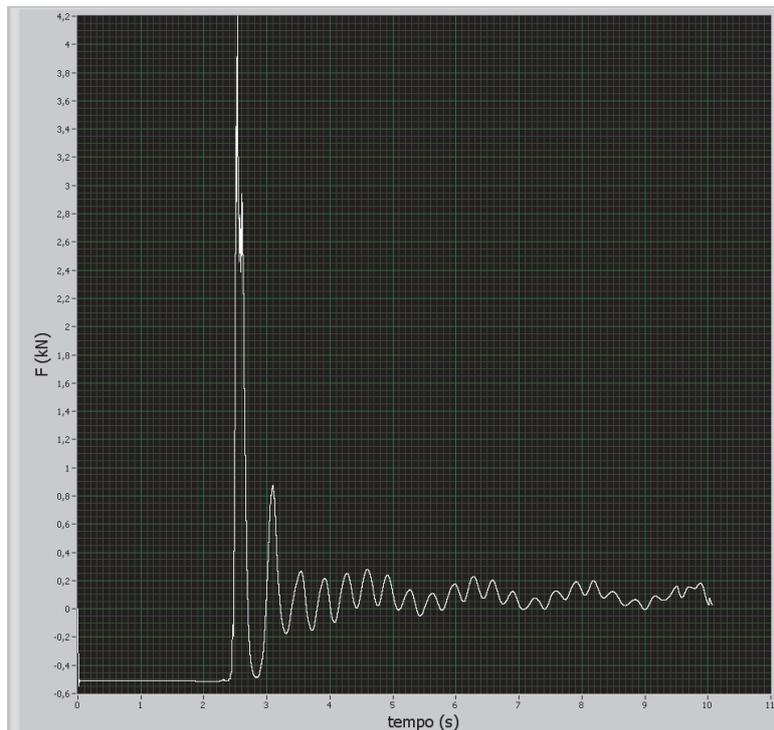


Figura A-178: Prova 60/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

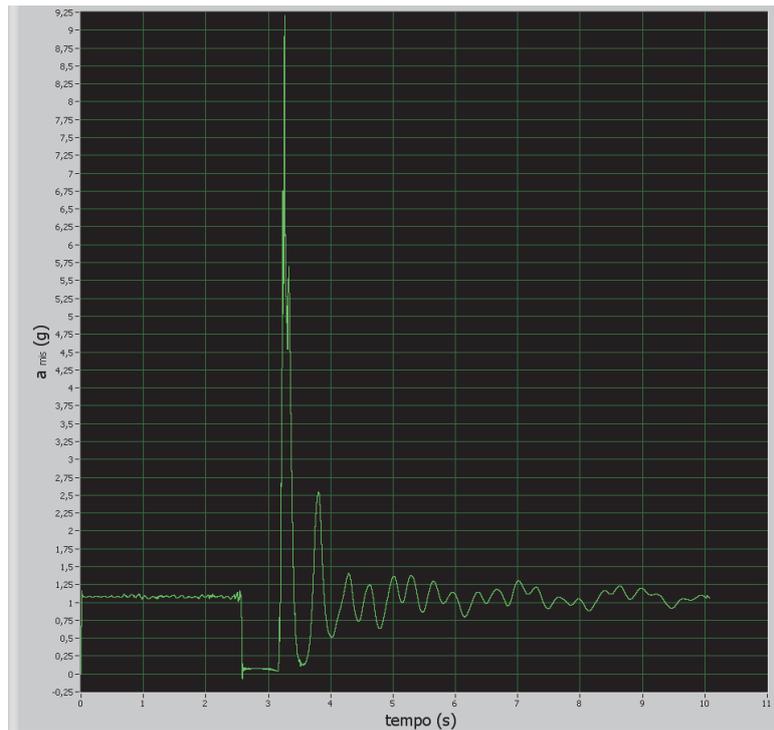


Figura A-179: Prova 60/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

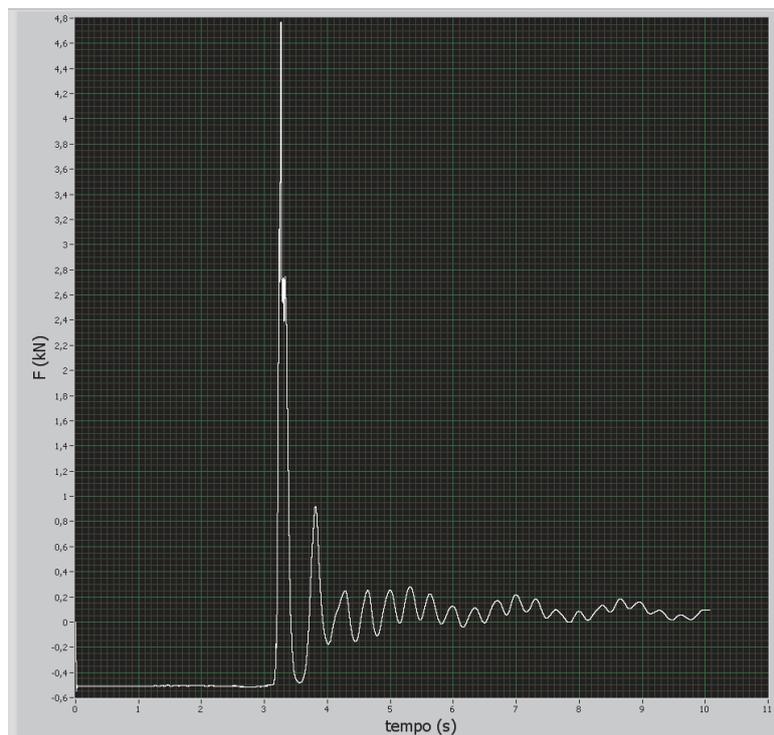


Figura A-180: Prova 60/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

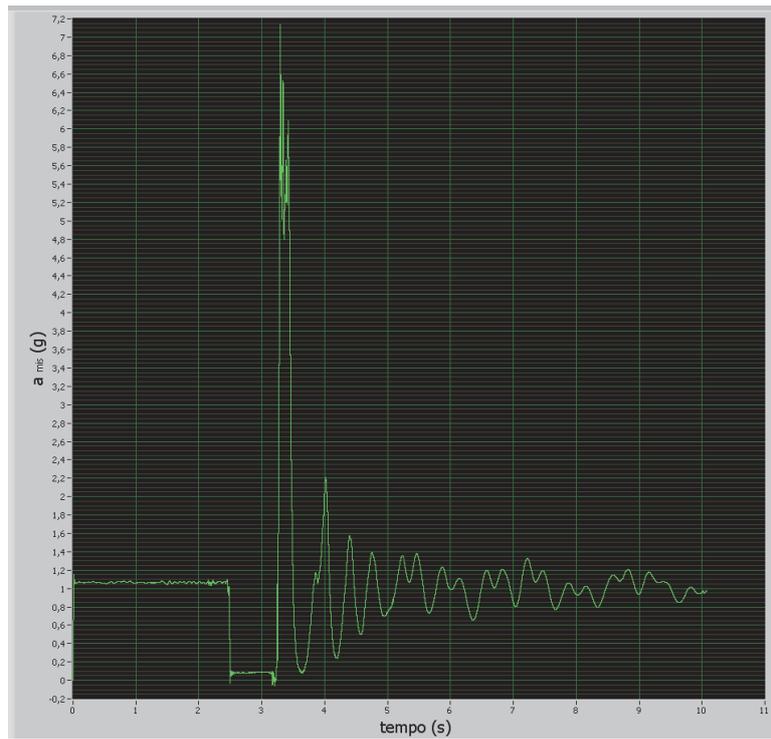


Figura A-181: Prova 60/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

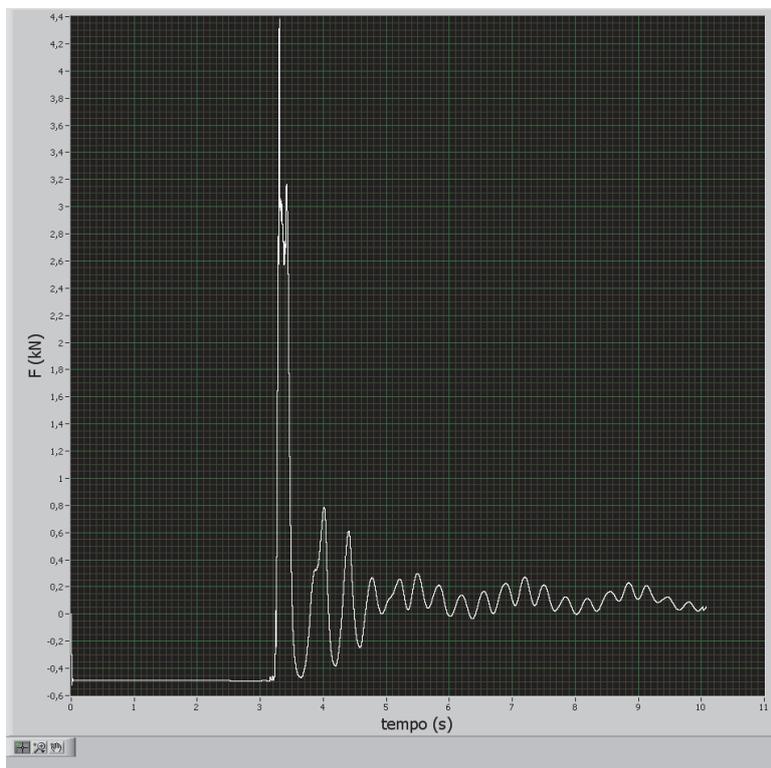


Figura A-182: Prova 60/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

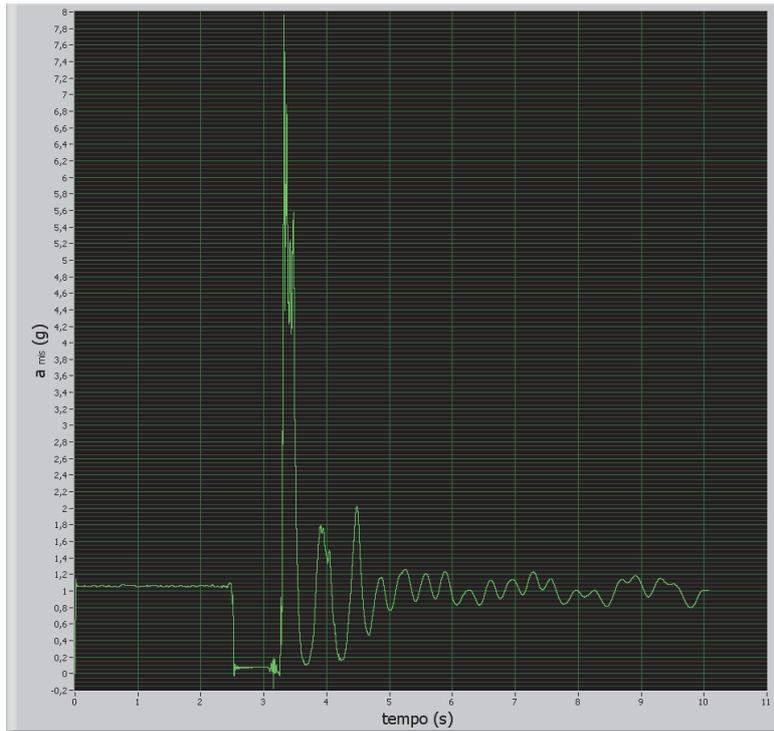


Figura A-183: Prova 60/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

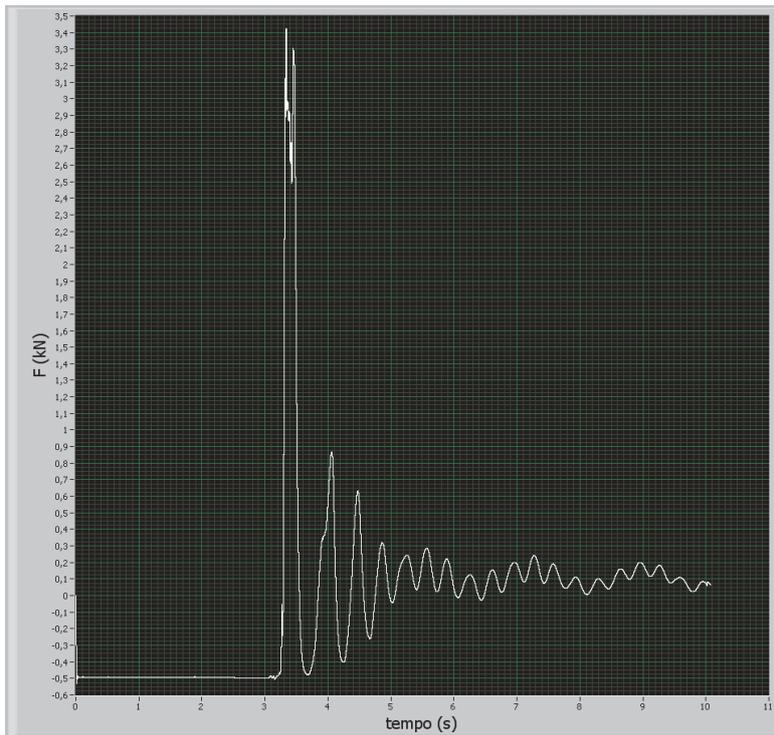


Figura A-184: Prova 60/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

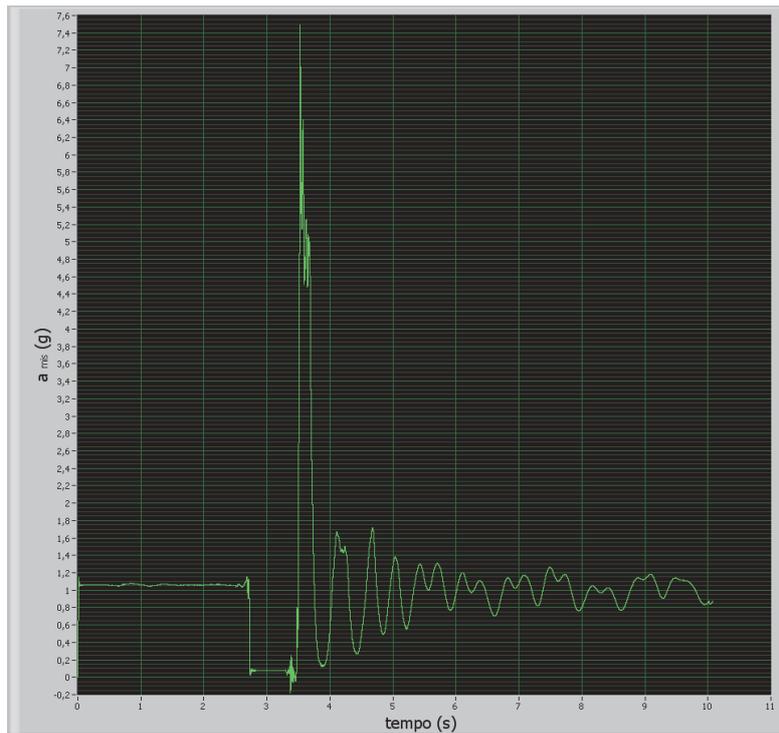


Figura A-185: Prova 60/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

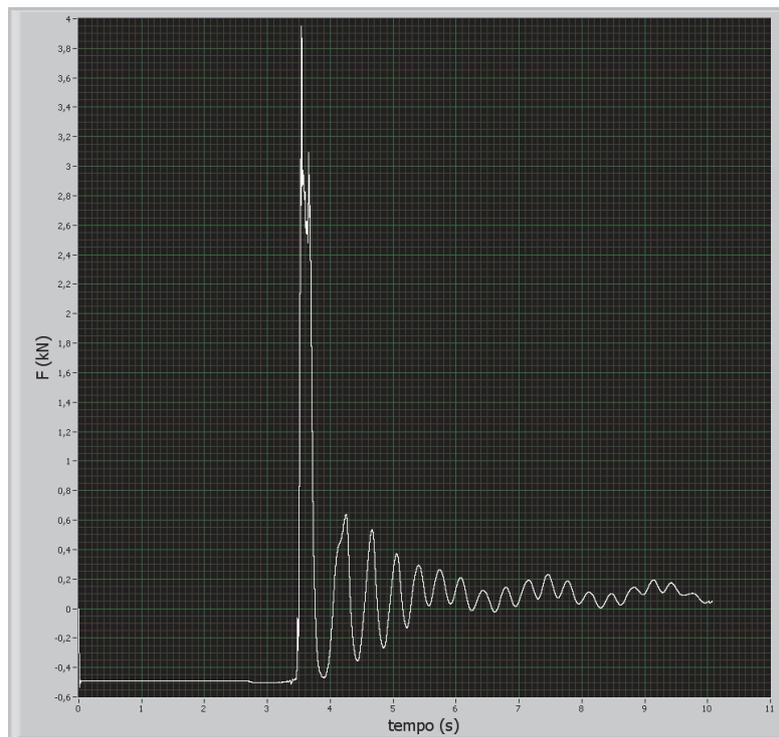


Figura A-186: Prova 60/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

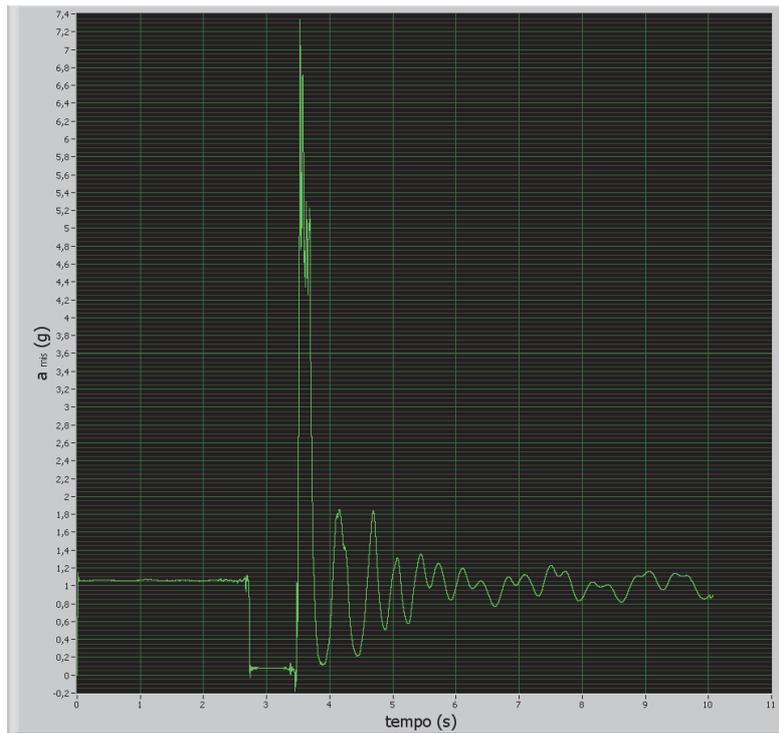


Figura A-187: Prova 60/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

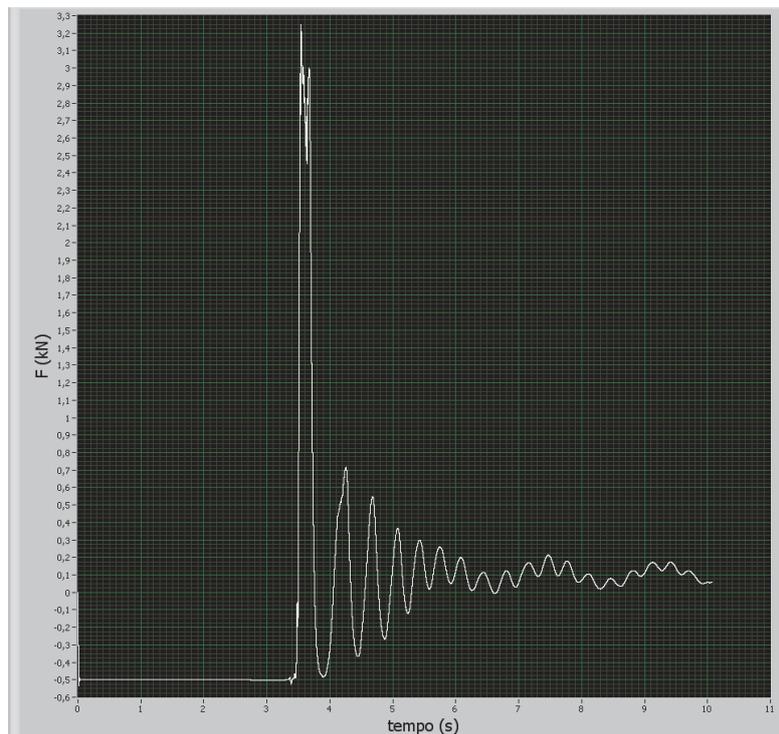


Figura A-188: Prova 60/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

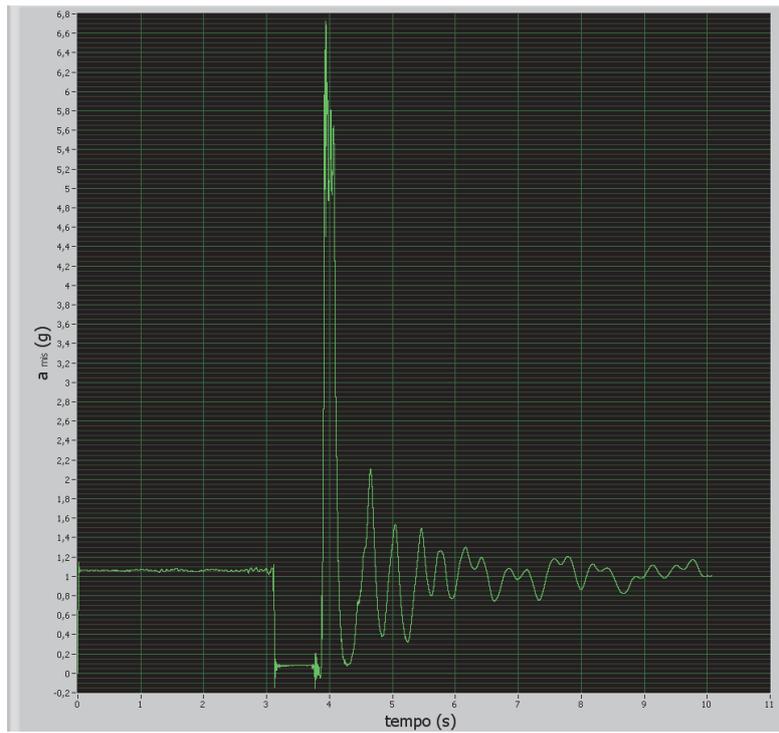


Figura A-189: Prova 60/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

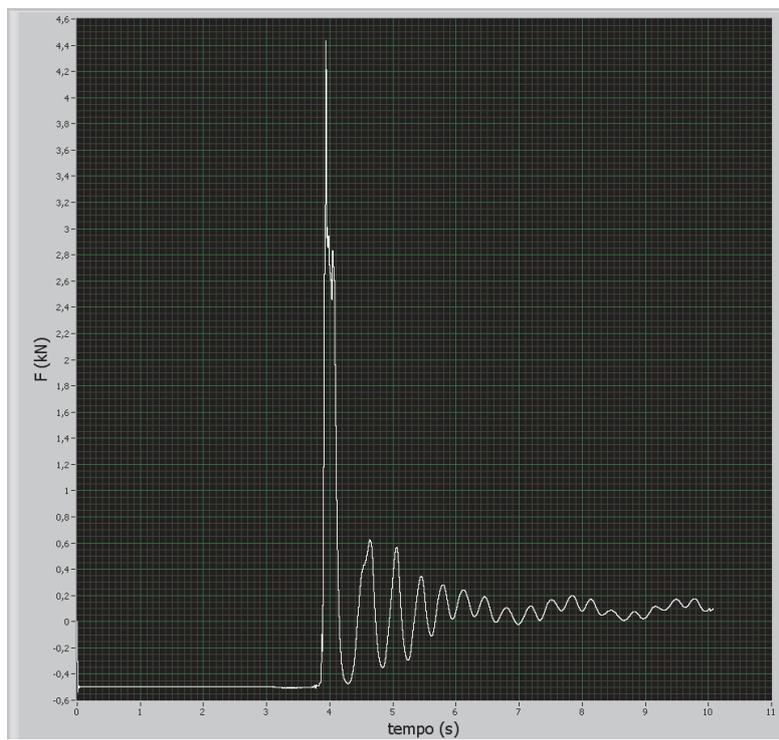


Figura A-190: Prova 60/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

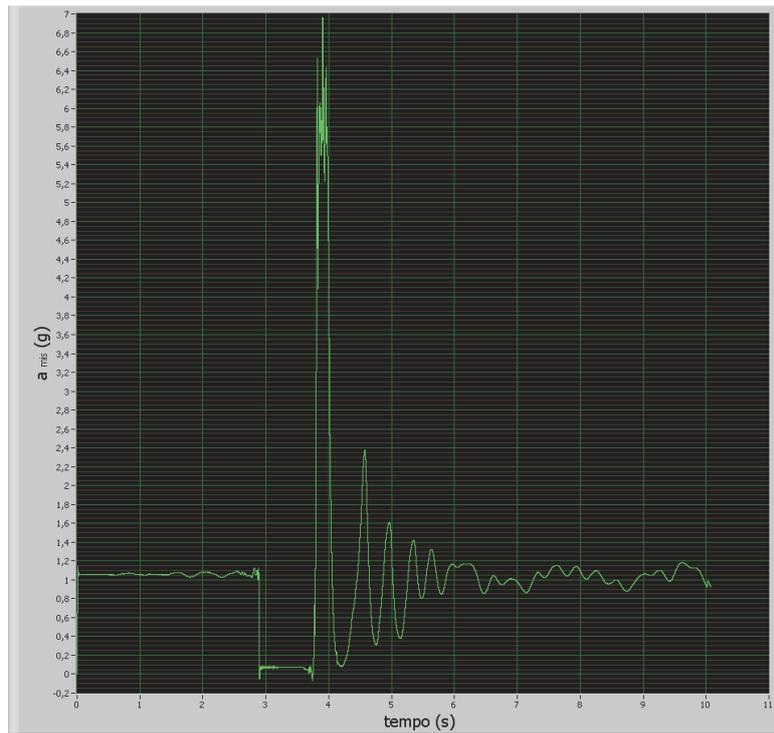


Figura A-191: Prova 60/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

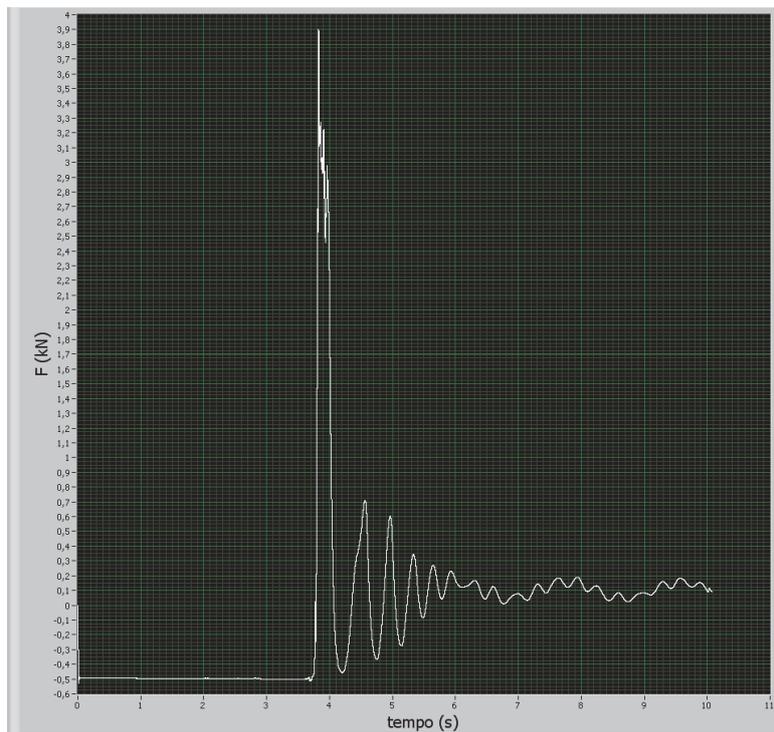


Figura A-192: Prova 60/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

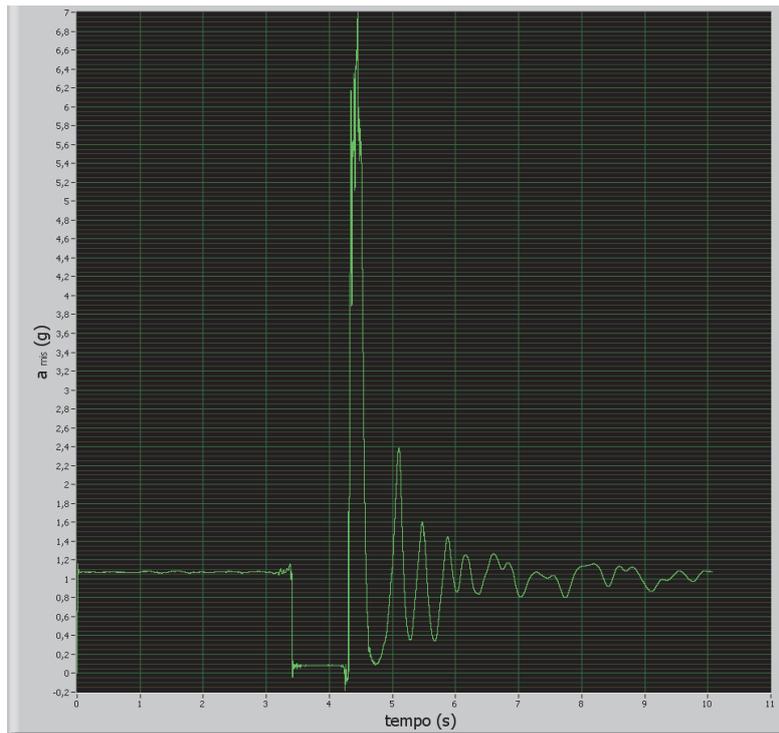


Figura A-193: Prova 60/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

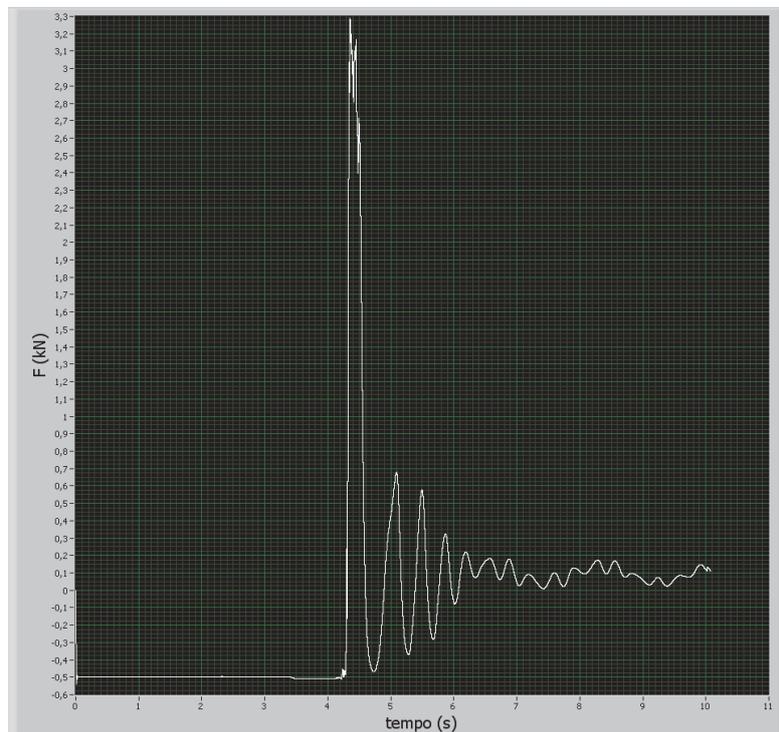


Figura A-194: Prova 60/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

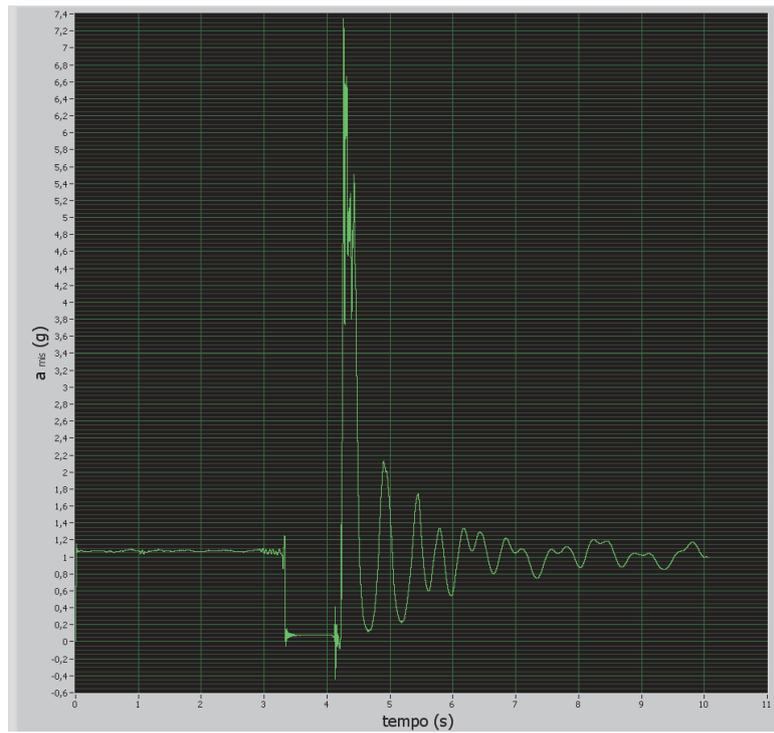


Figura A-195: Prova 60/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

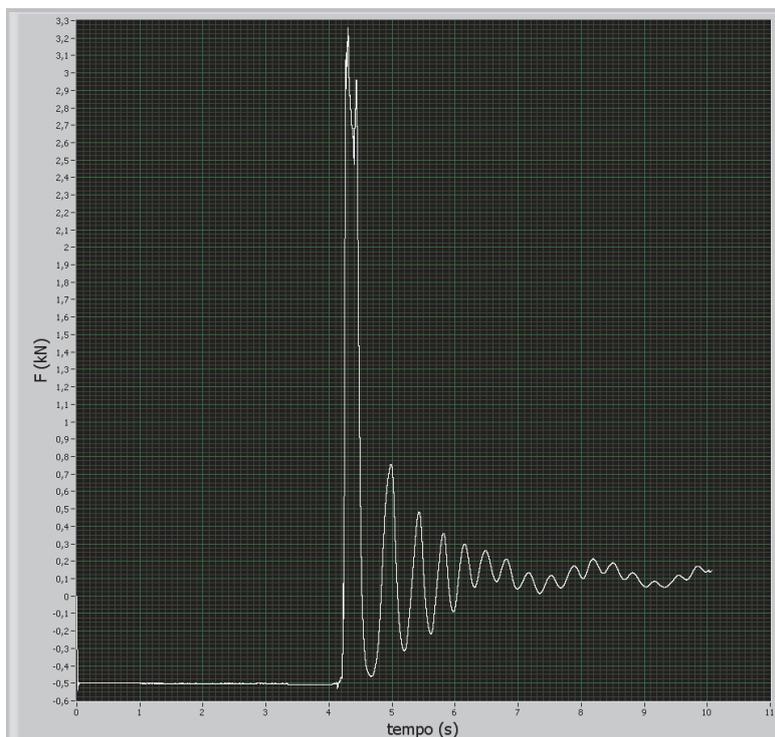


Figura A-196: Prova 60/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

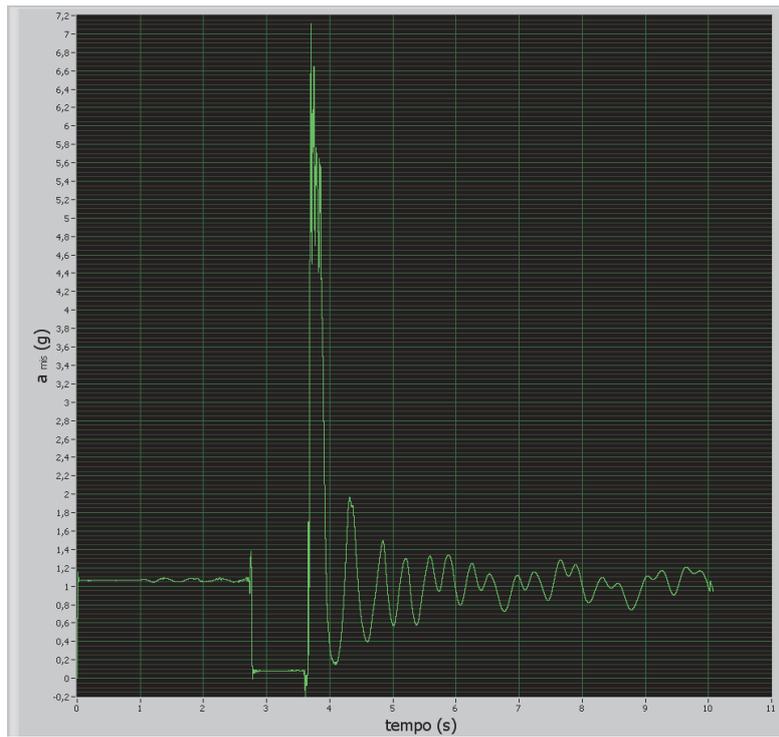


Figura A-197: Prova 60/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

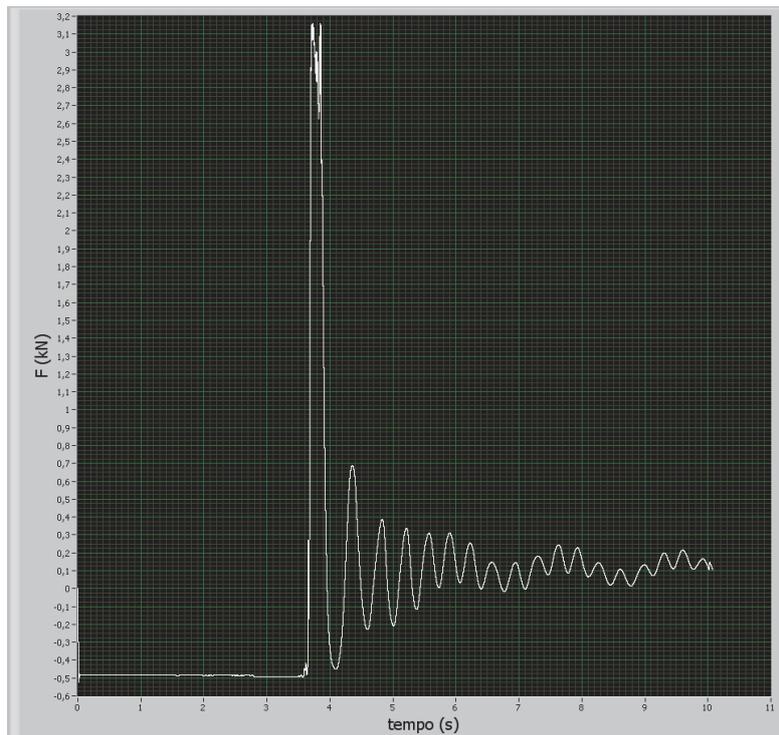


Figura A-198: Prova 60/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

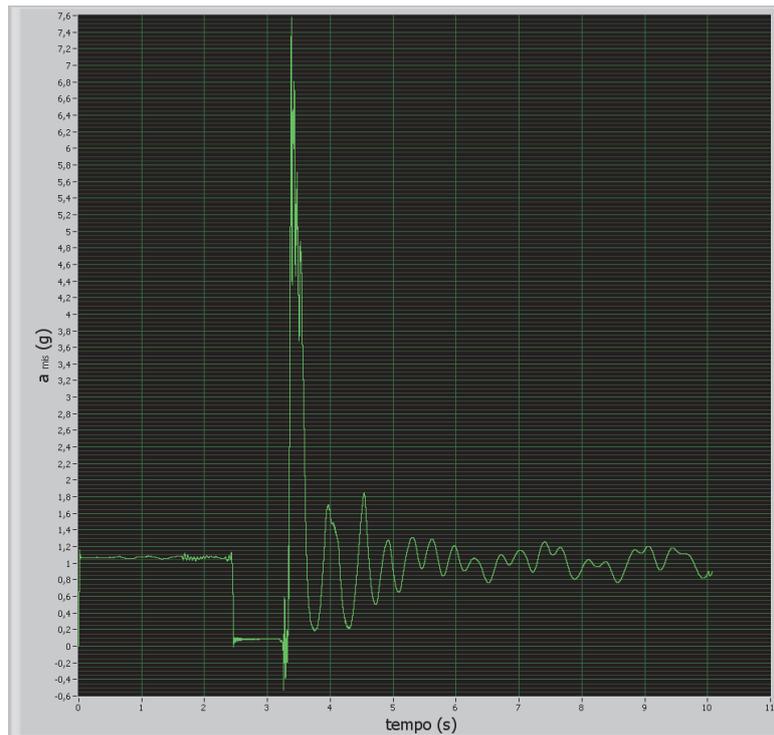


Figura A-199: Prova 60/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

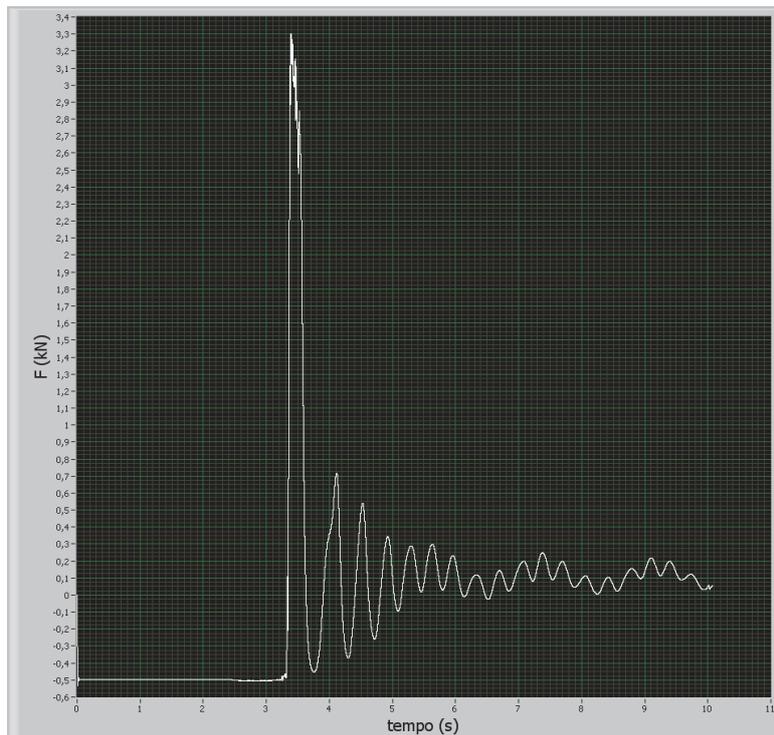


Figura A-200: Prova 60/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

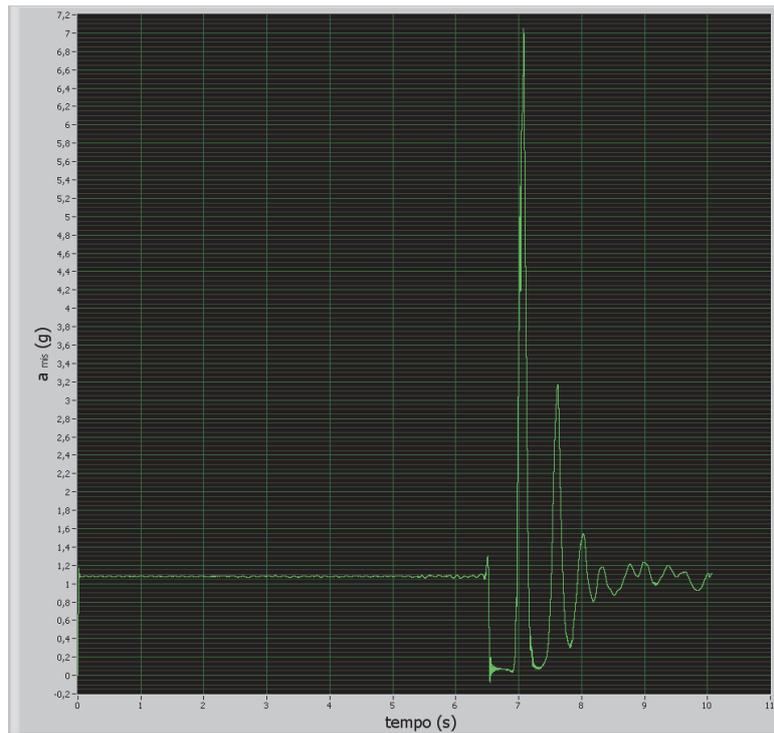


Figura A-201: Prova 80/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

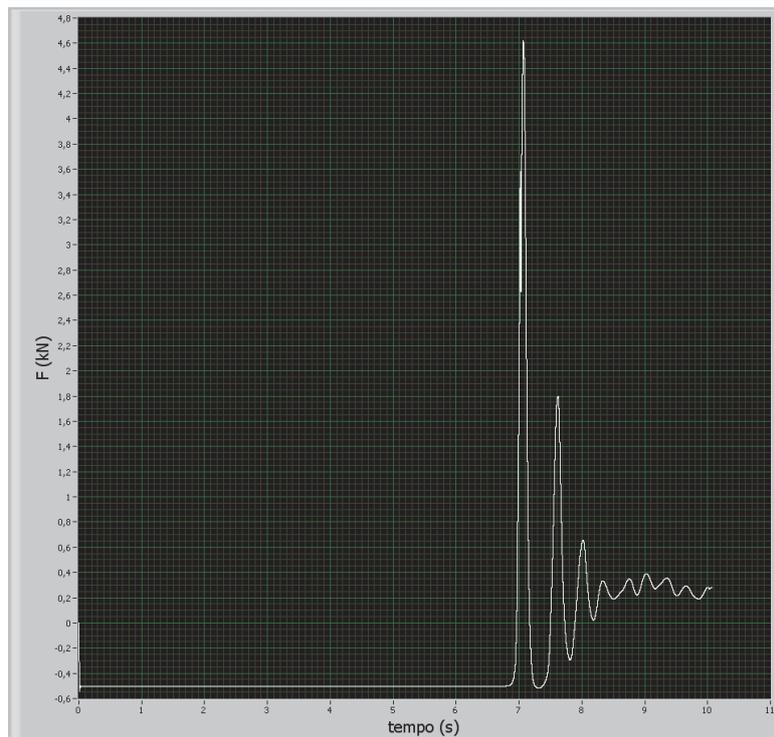


Figura A-202: Prova 80/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

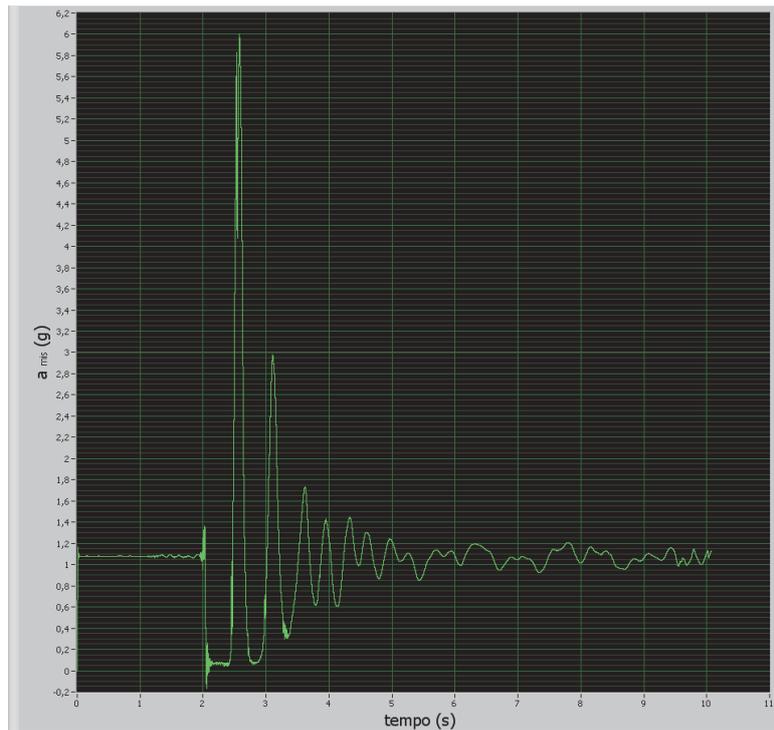


Figura A-203: Prova 80/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

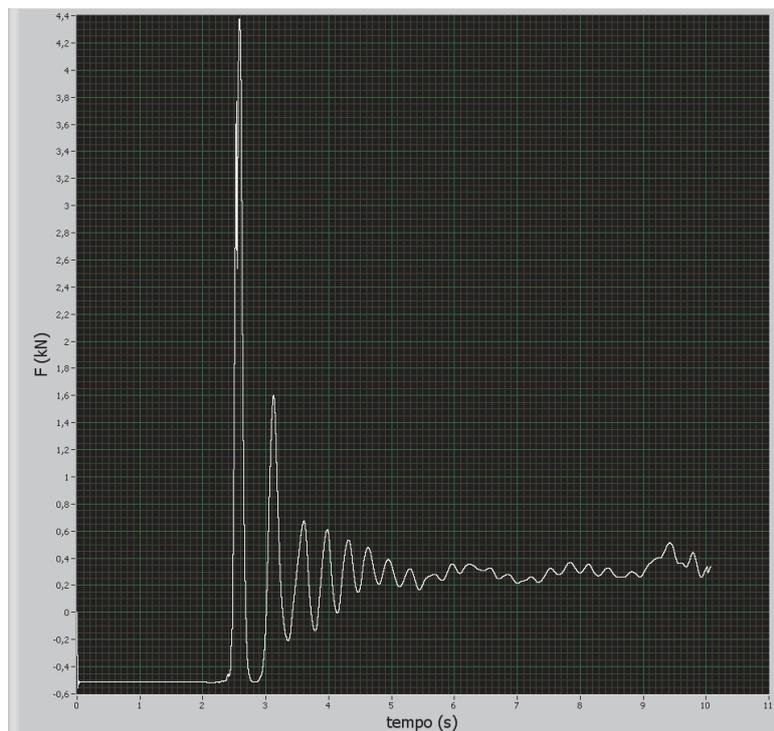


Figura A-204: Prova 80/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

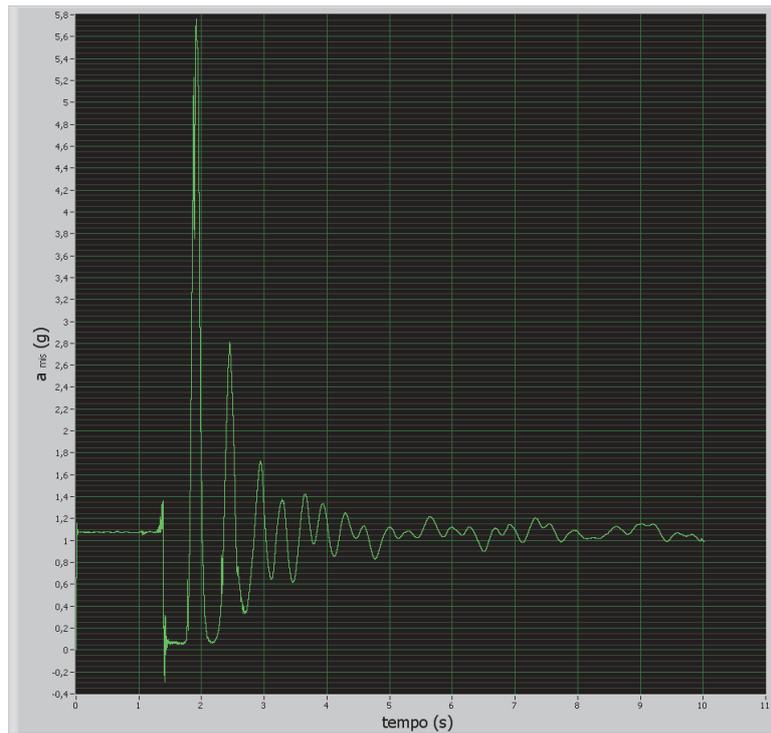


Figura A-205: Prova 80/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

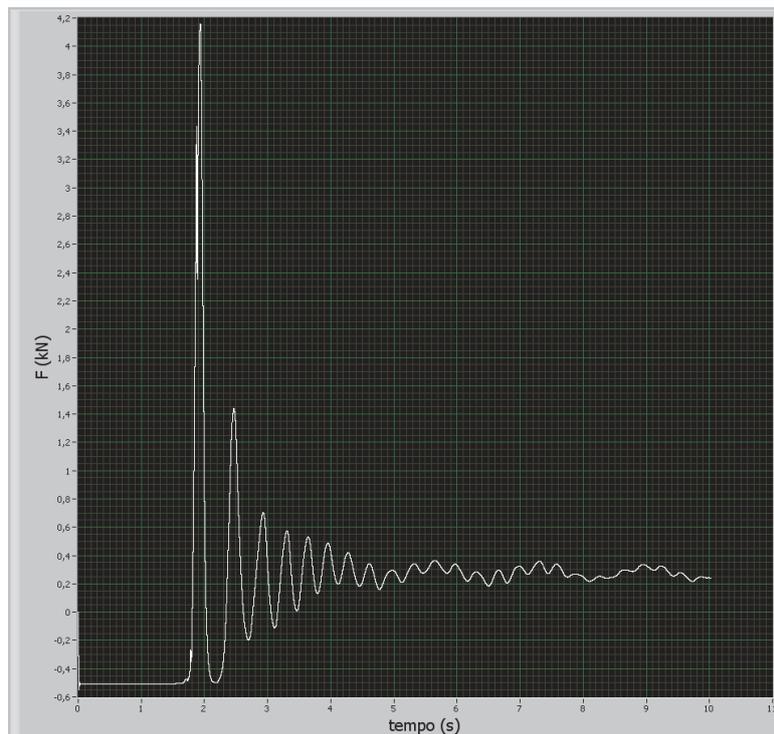


Figura A-206: Prova 80/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

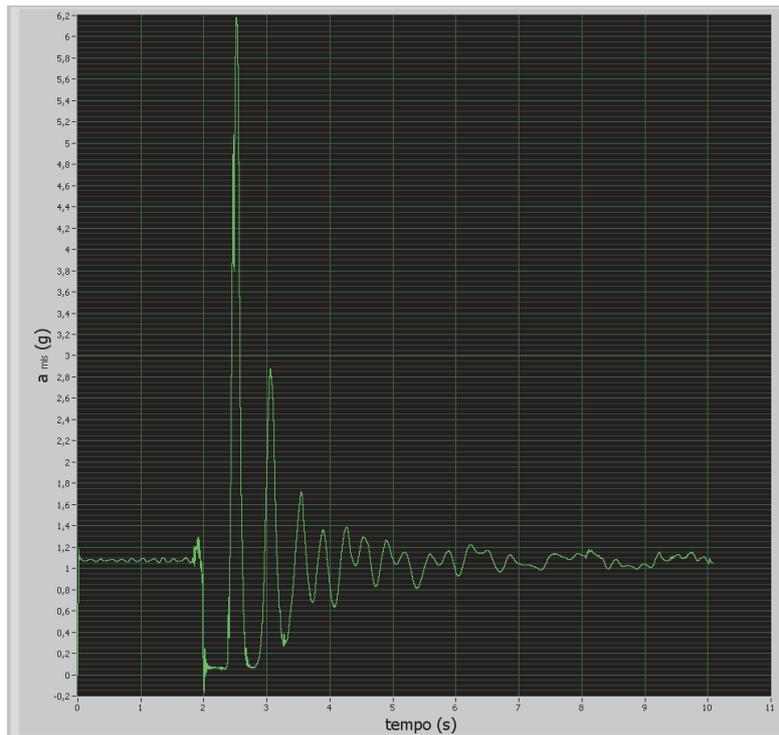


Figura A-207: Prova 80/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

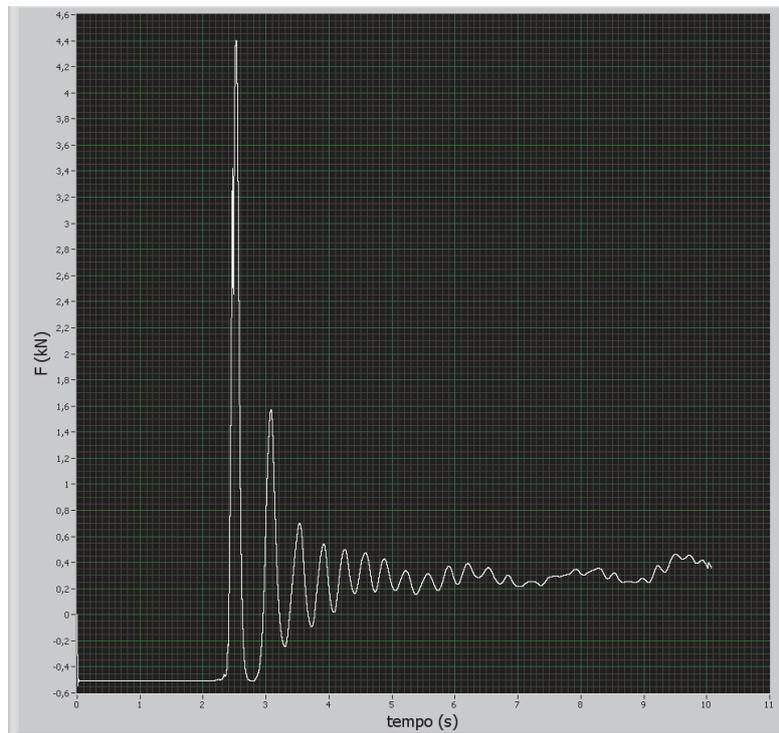


Figura A-208: Prova 80/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

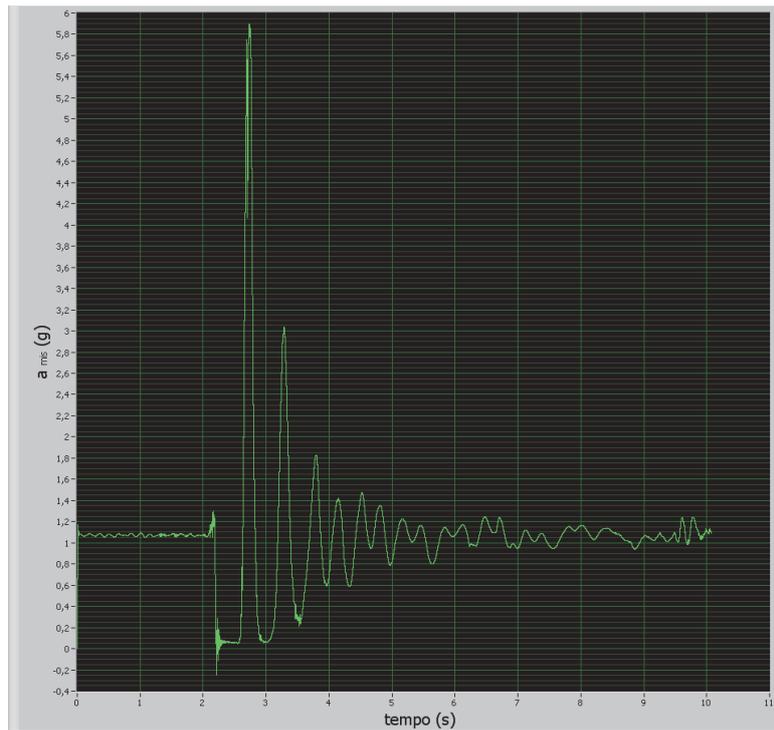


Figura A-209: Prova 80/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

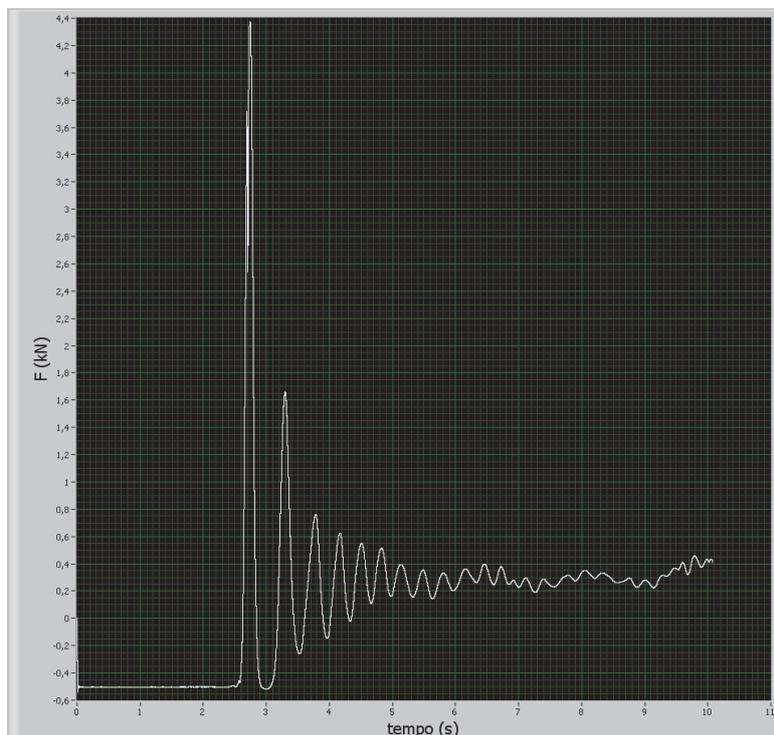


Figura A-210: Prova 80/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

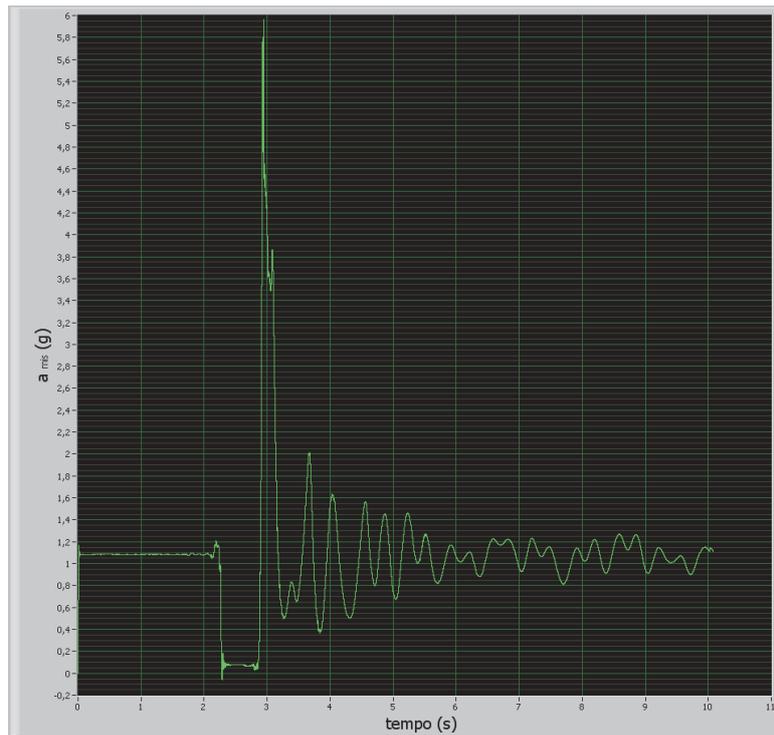


Figura A-211: Prova 80/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

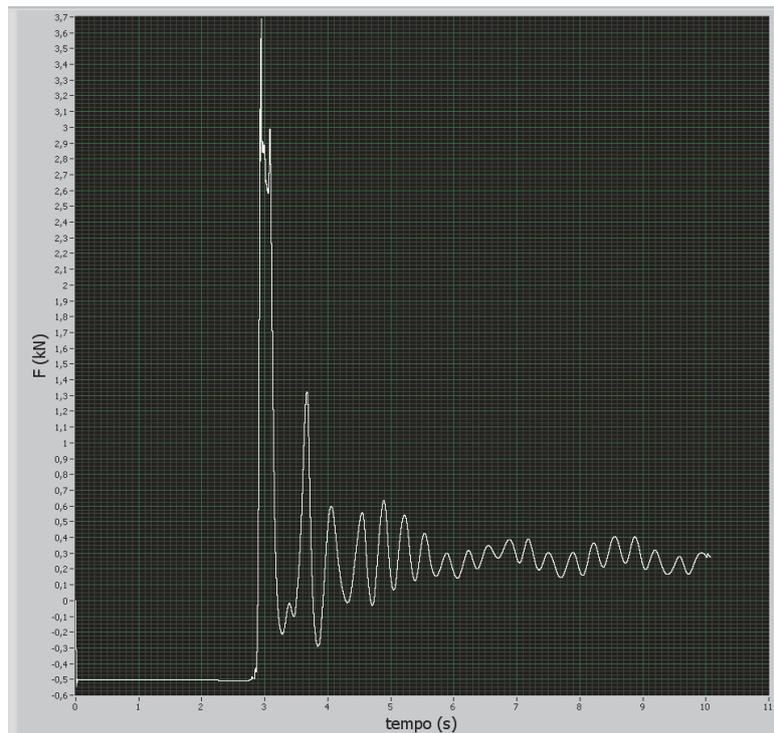


Figura A-212: Prova 80/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

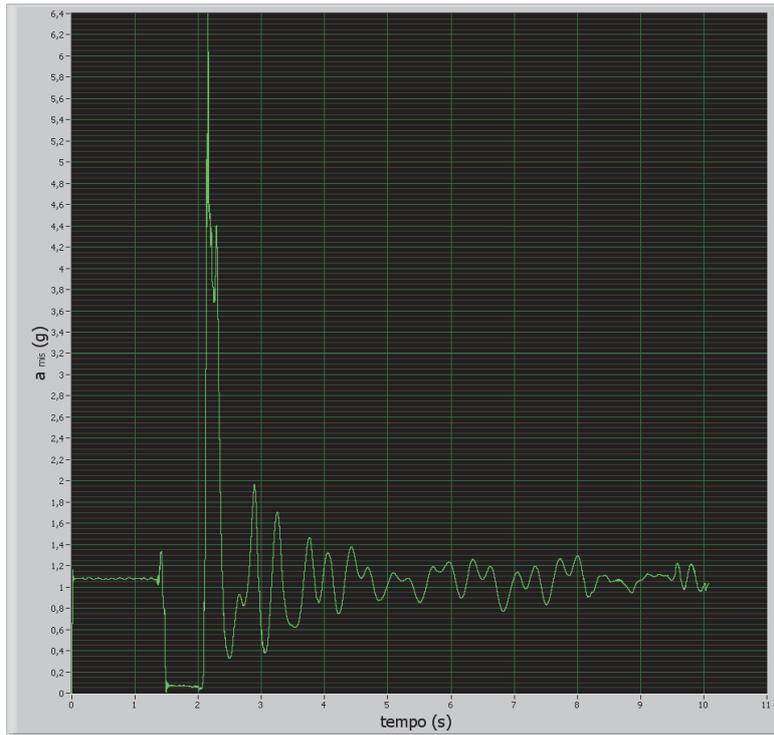


Figura A-213: Prova 80/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

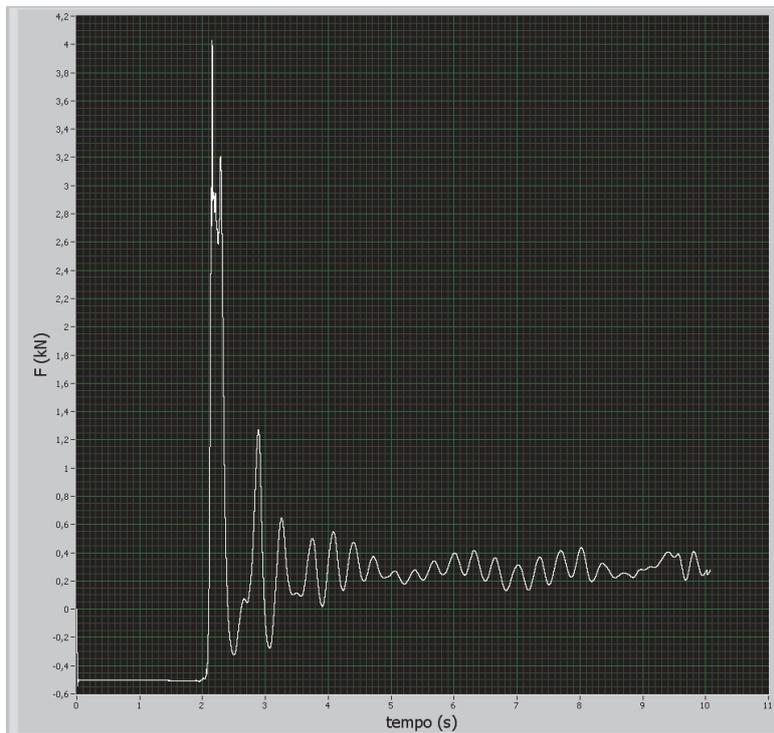


Figura A-214: Prova 80/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

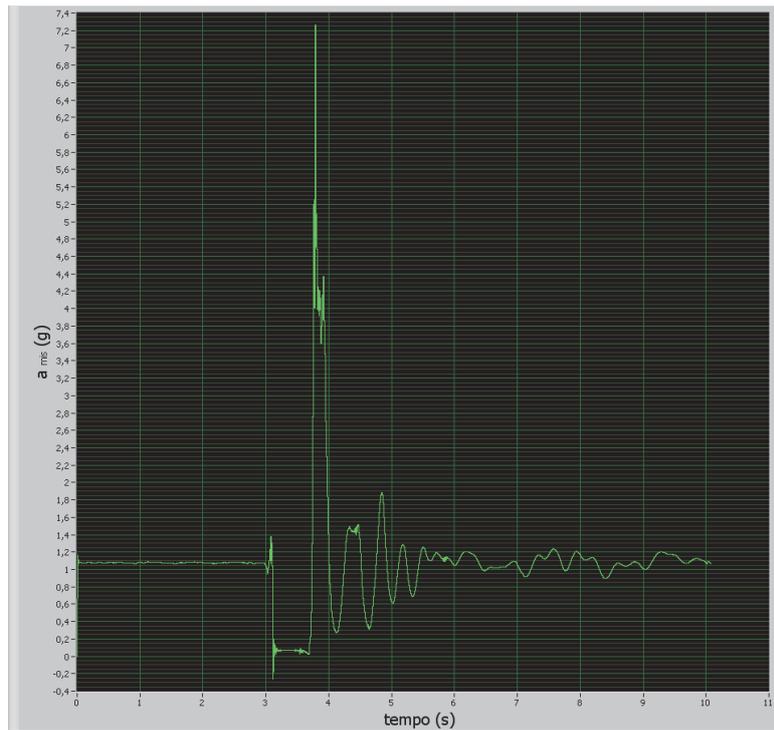


Figura A-215: Prova 80/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

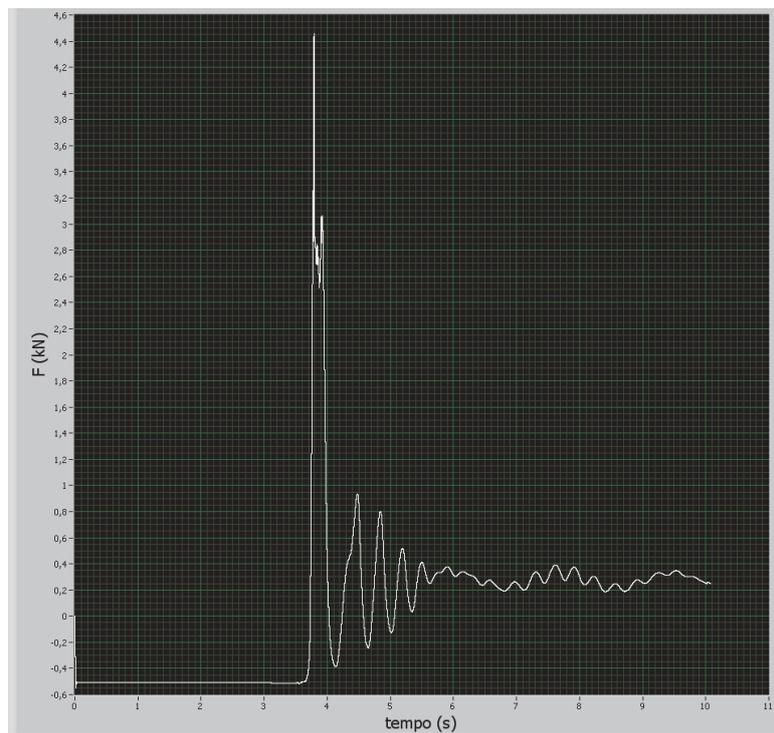


Figura A-216: Prova 80/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

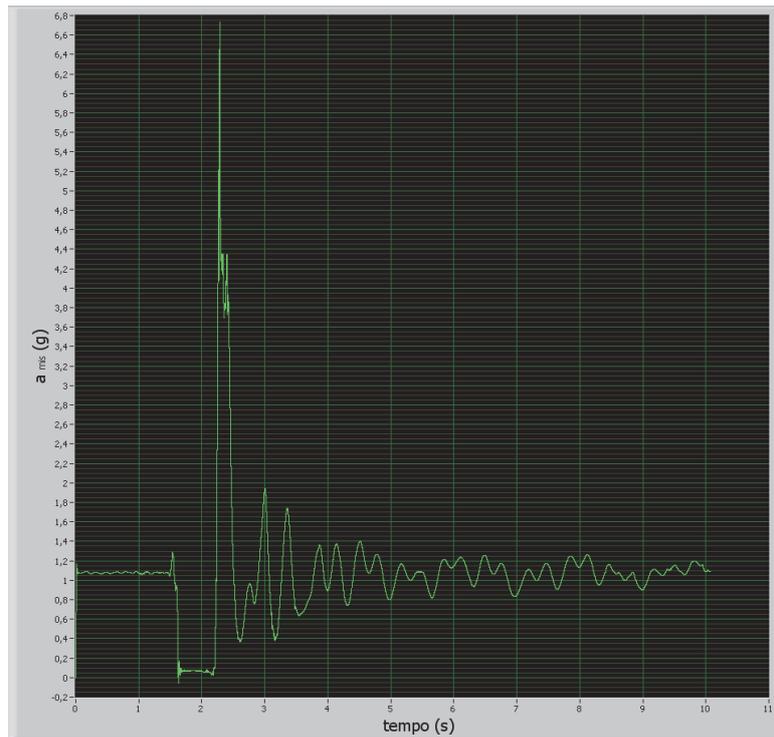


Figura A-217: Prova 80/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

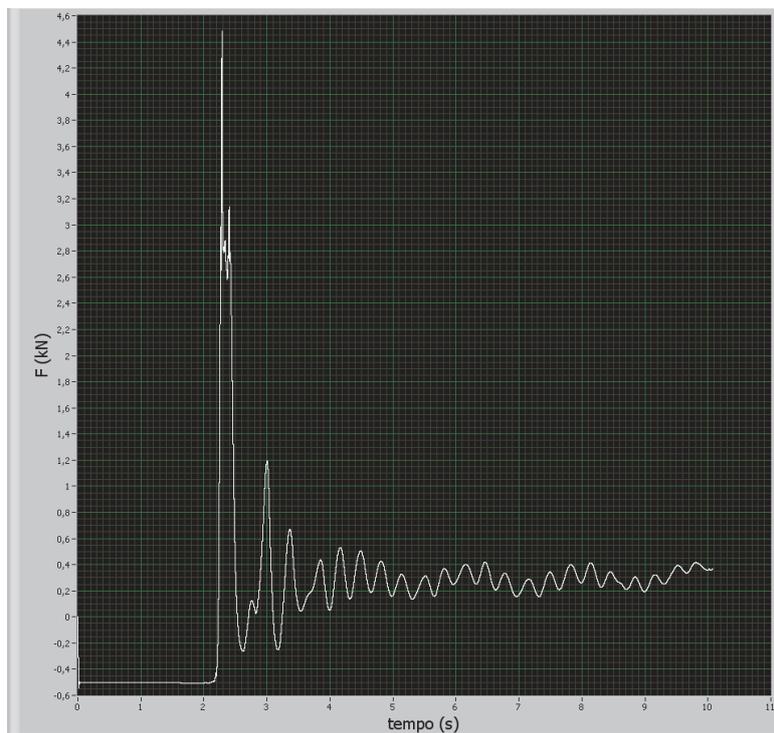


Figura A-218: Prova 80/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

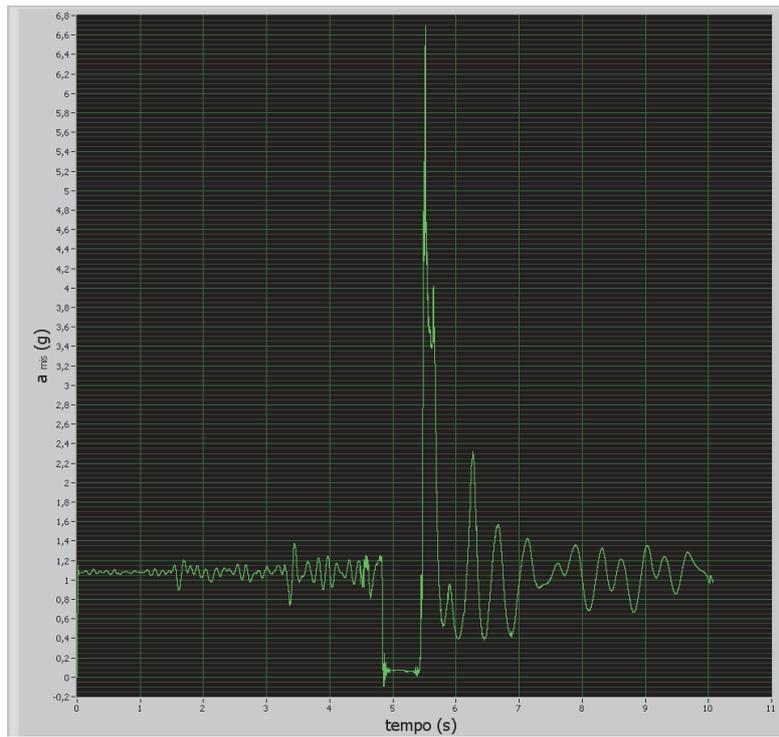


Figura A-219: Prova 80/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

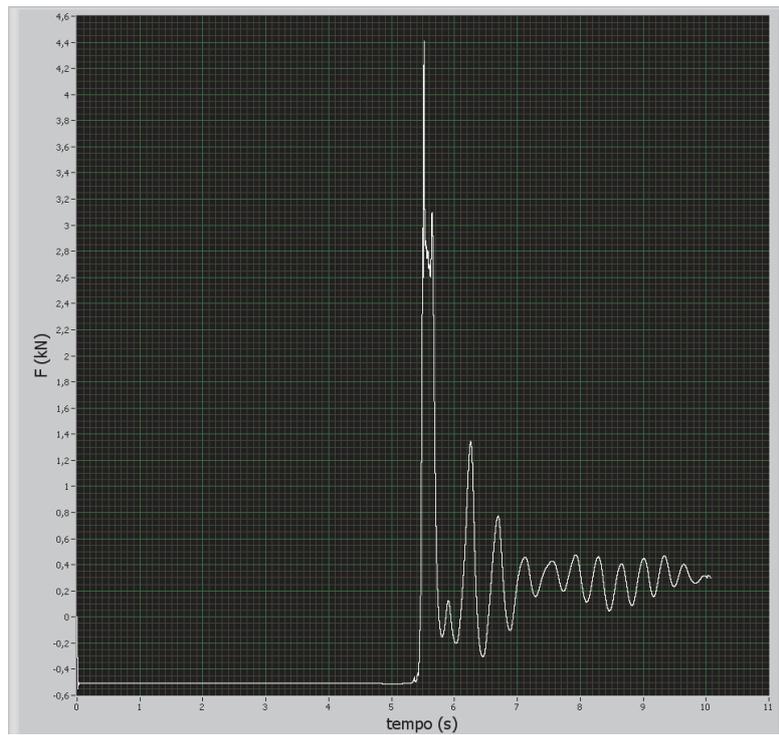


Figura A-220: Prova 80/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

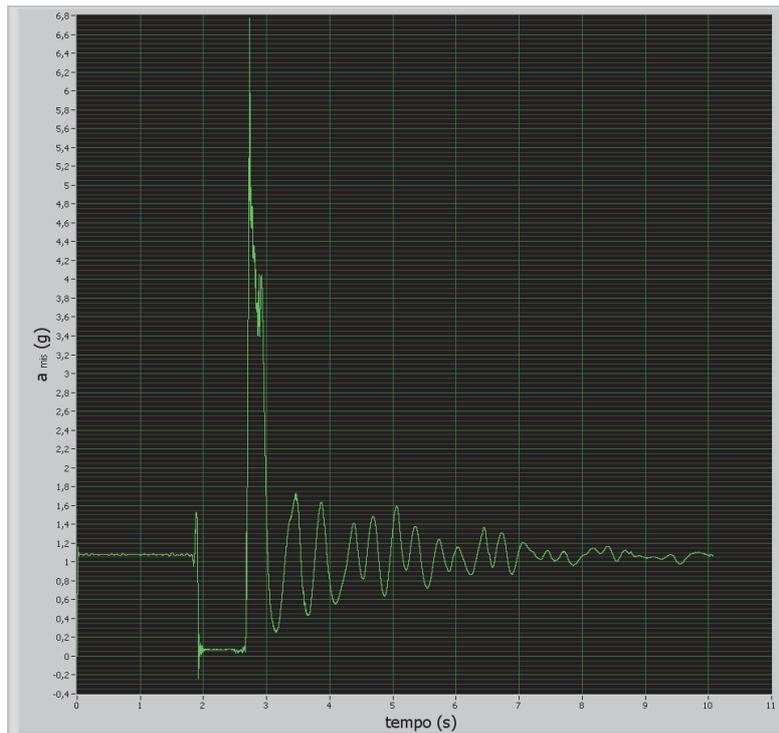


Figura A-221: Prova 80/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

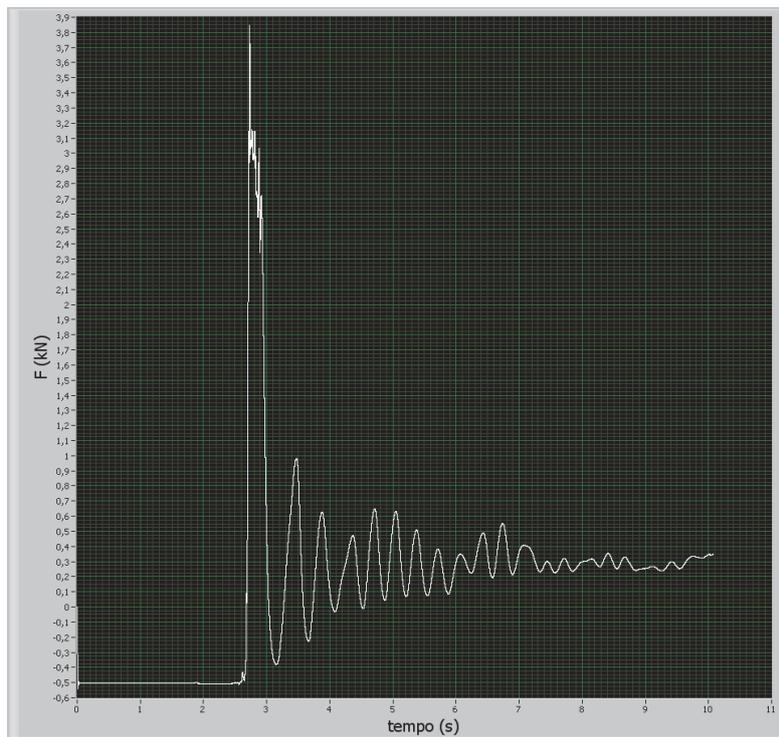


Figura A-222: Prova 80/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

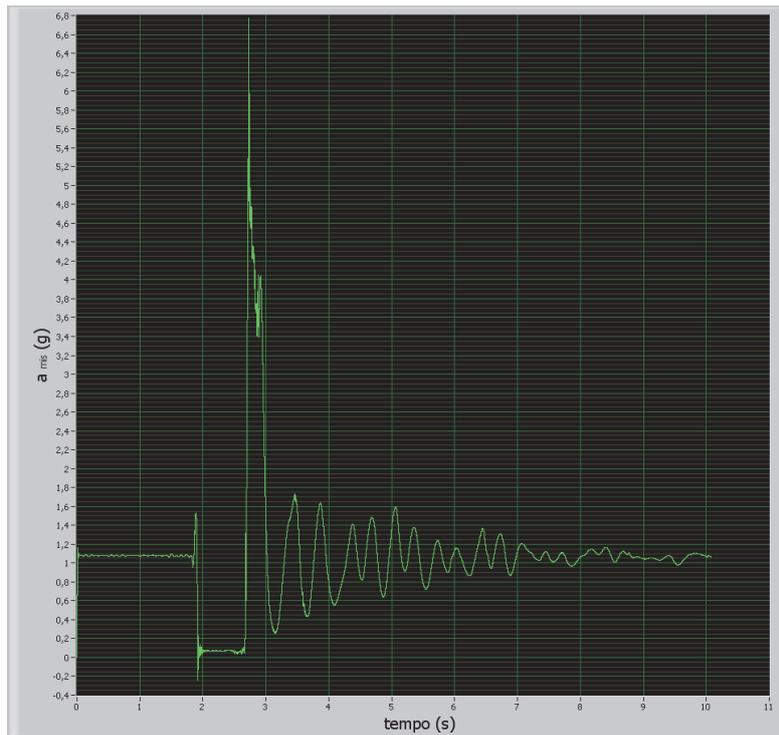


Figura A-221: Prova 80/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

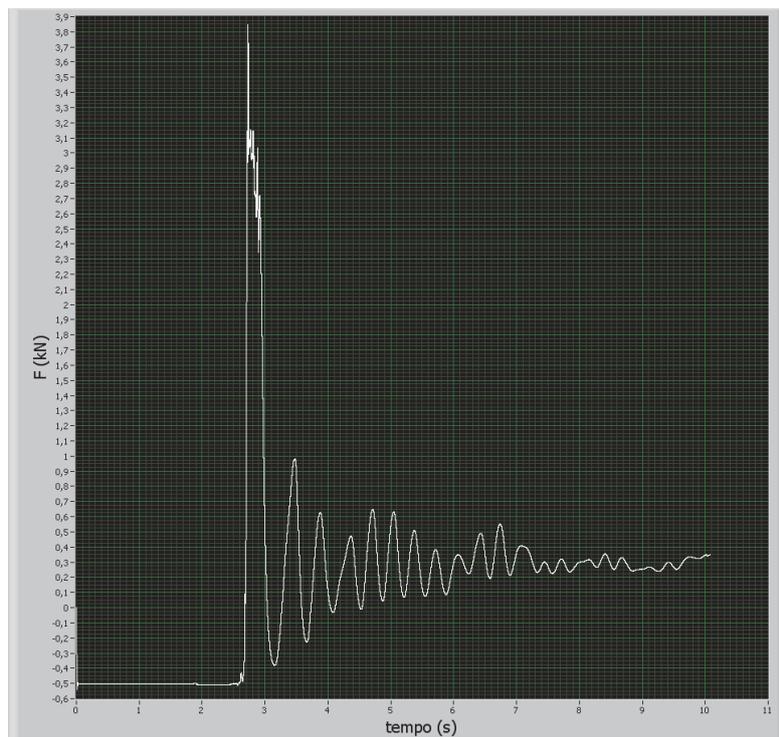


Figura A-222: Prova 80/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

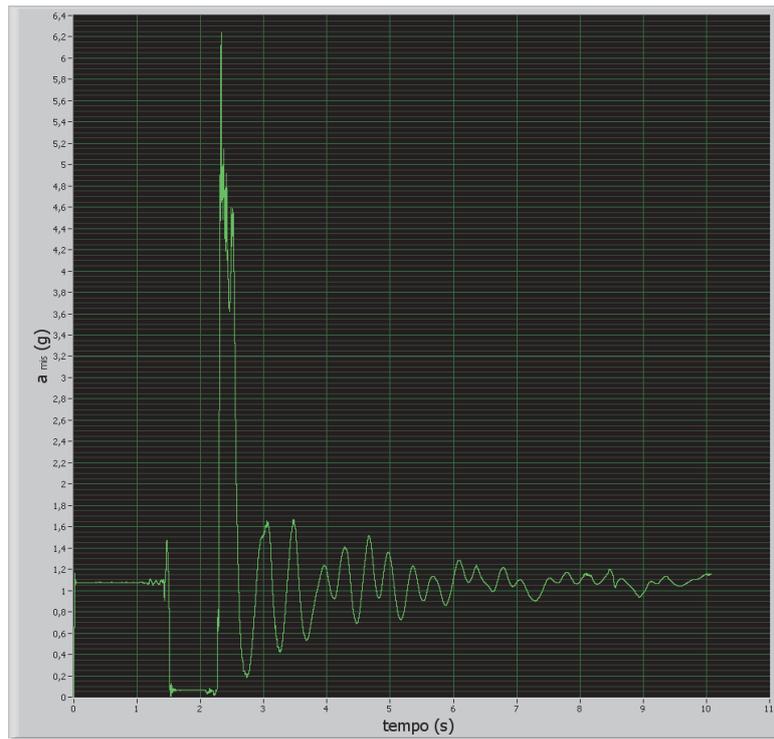


Figura A-223: Prova 80/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

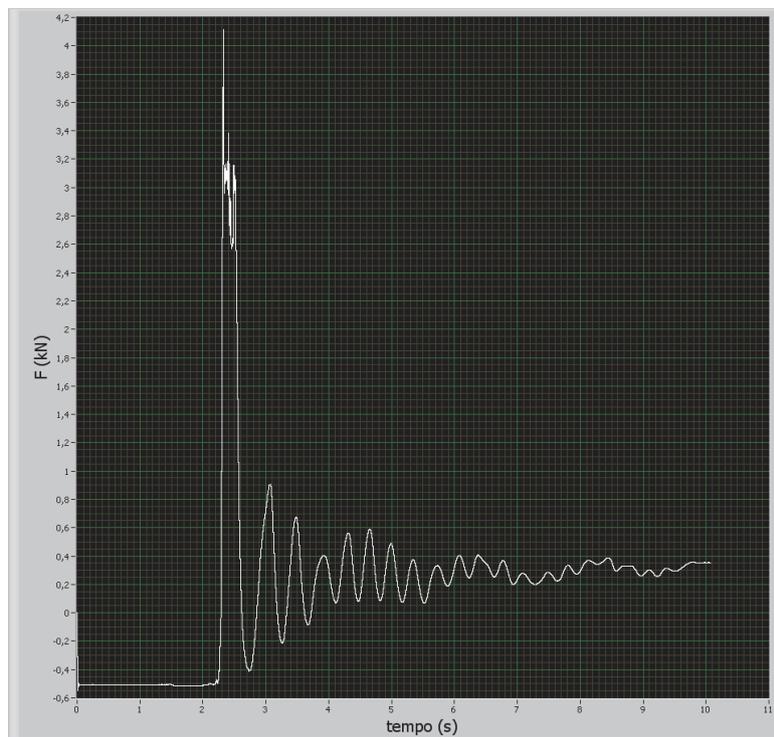


Figura A-224: Prova 80/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

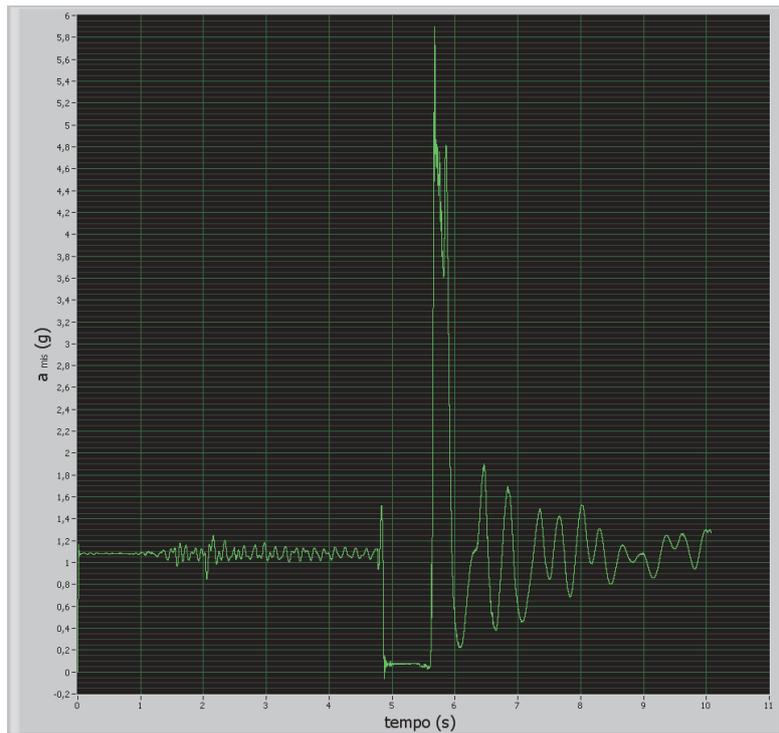


Figura A-225: Prova 80/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

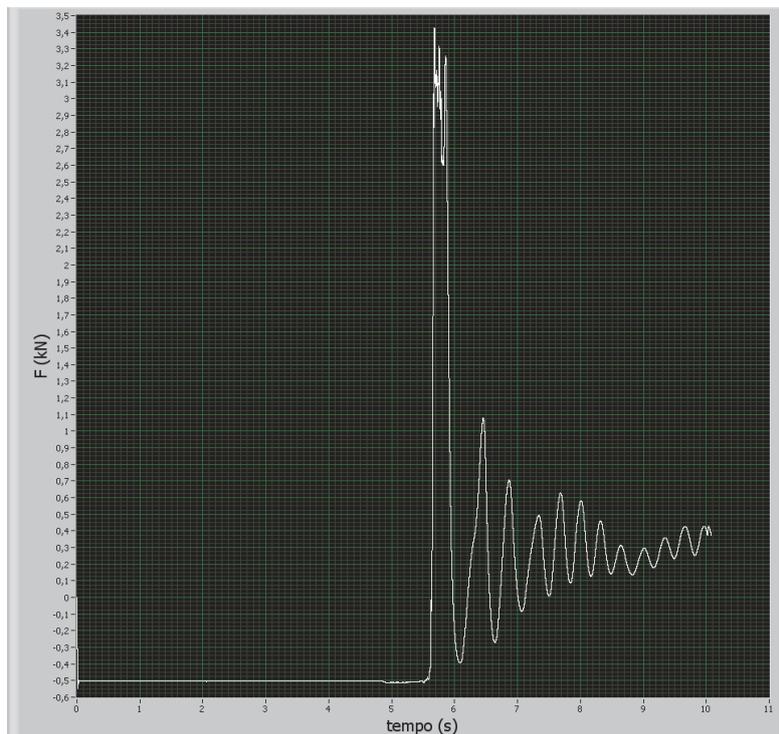


Figura A-226: Prova 80/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

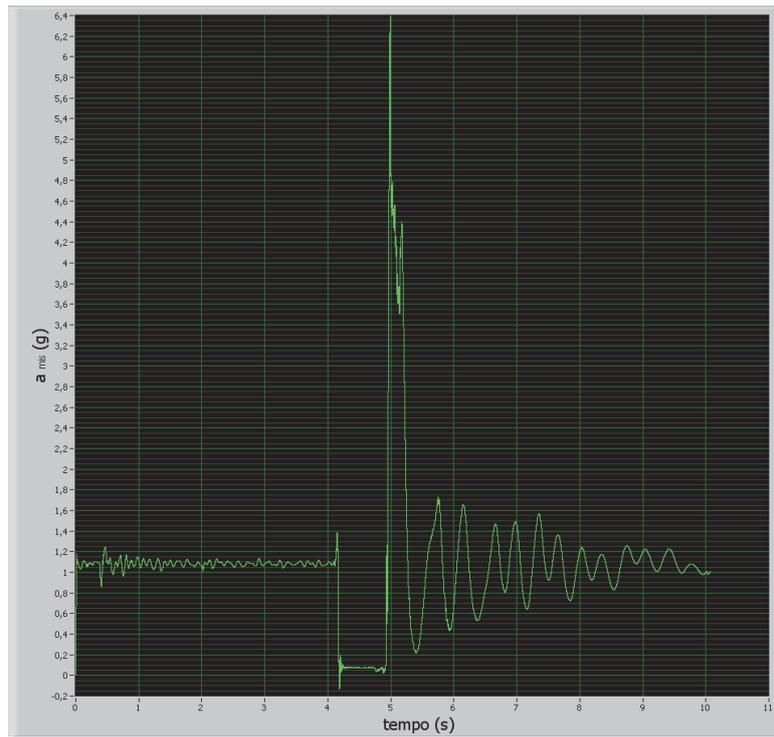


Figura A-227: Prova 80/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

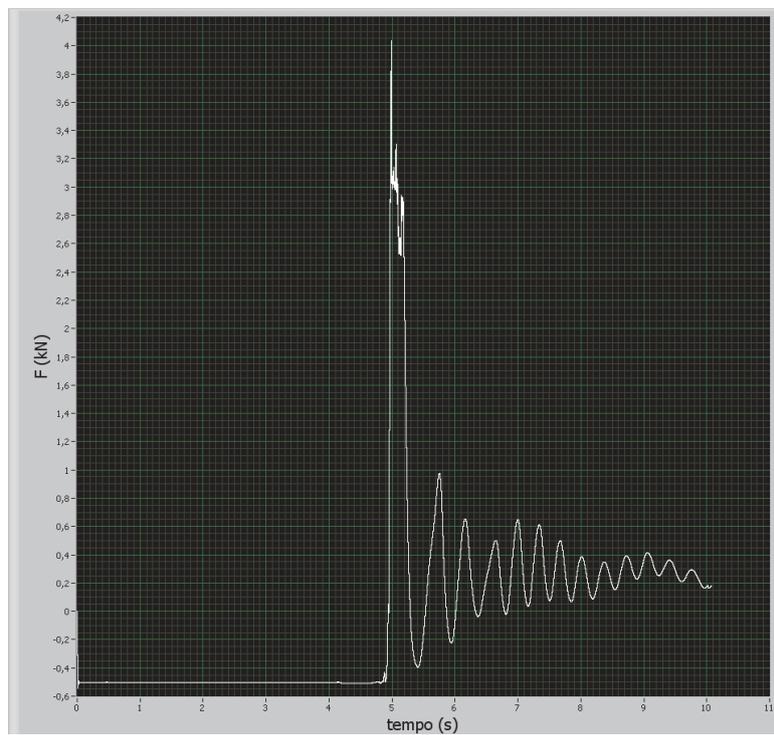


Figura A-228: Prova 80/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

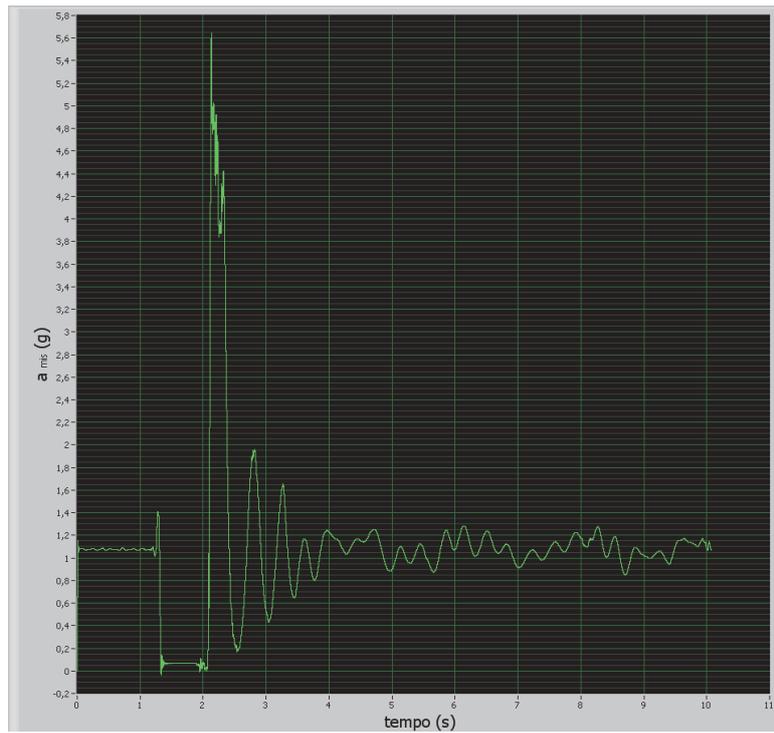


Figura A-229: Prova 80/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

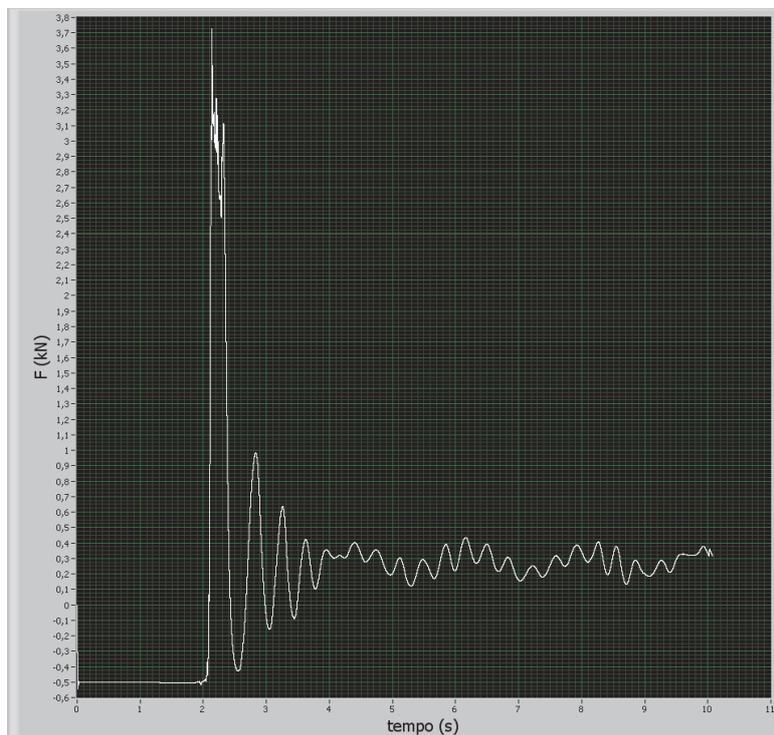


Figura A-230: Prova 80/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

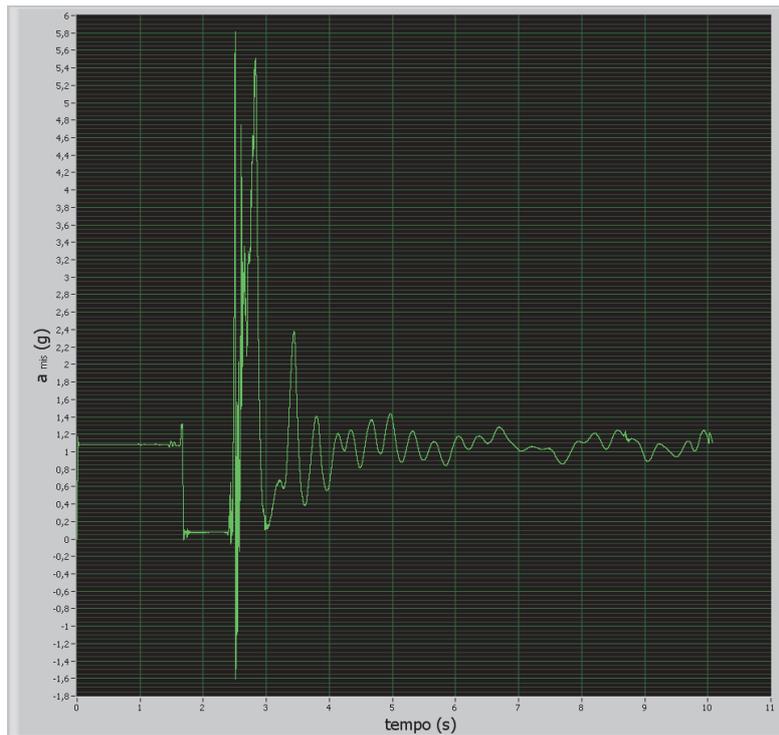


Figura A-231: Prova 80/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

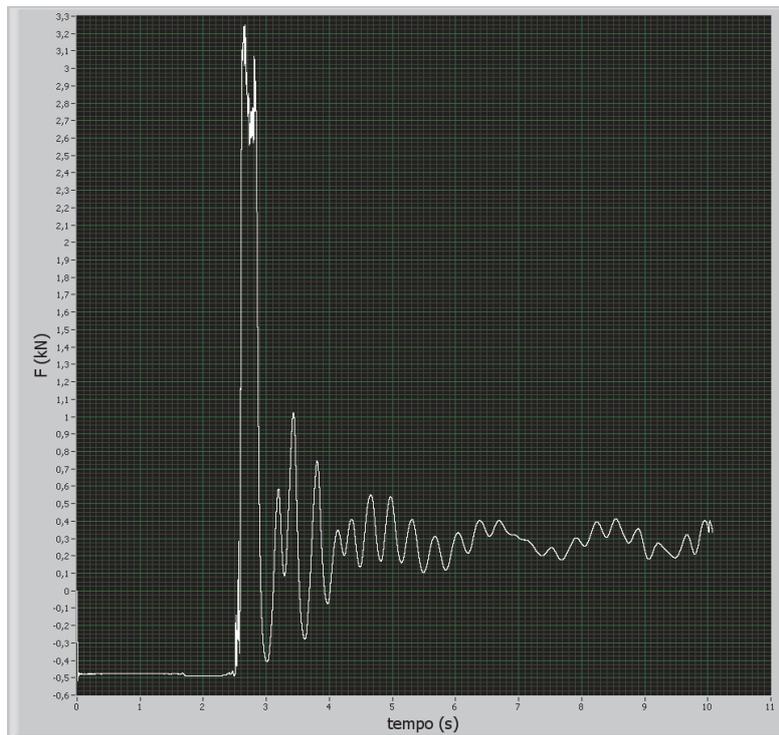


Figura A-232: Prova 80/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

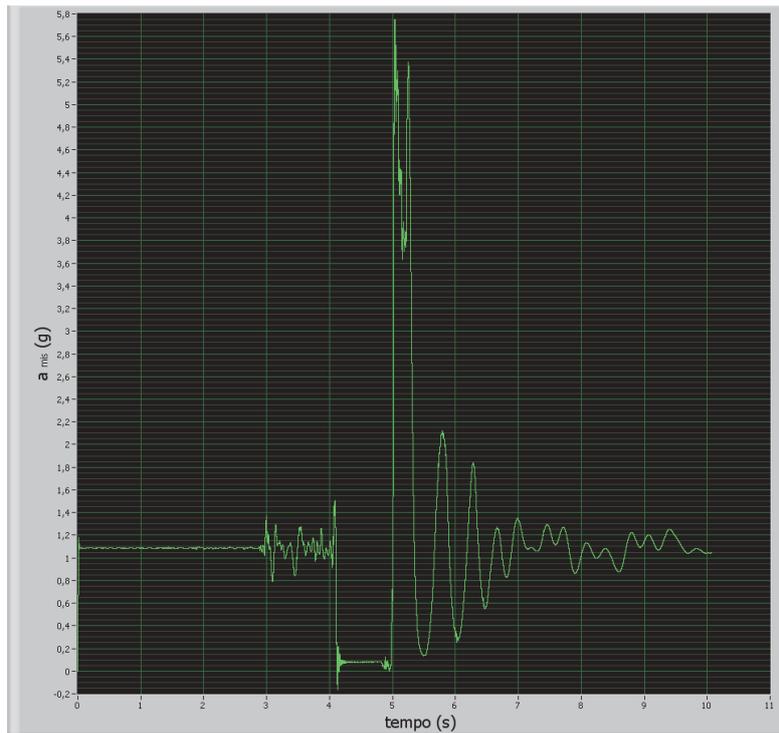


Figura A-233: Prova 80/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

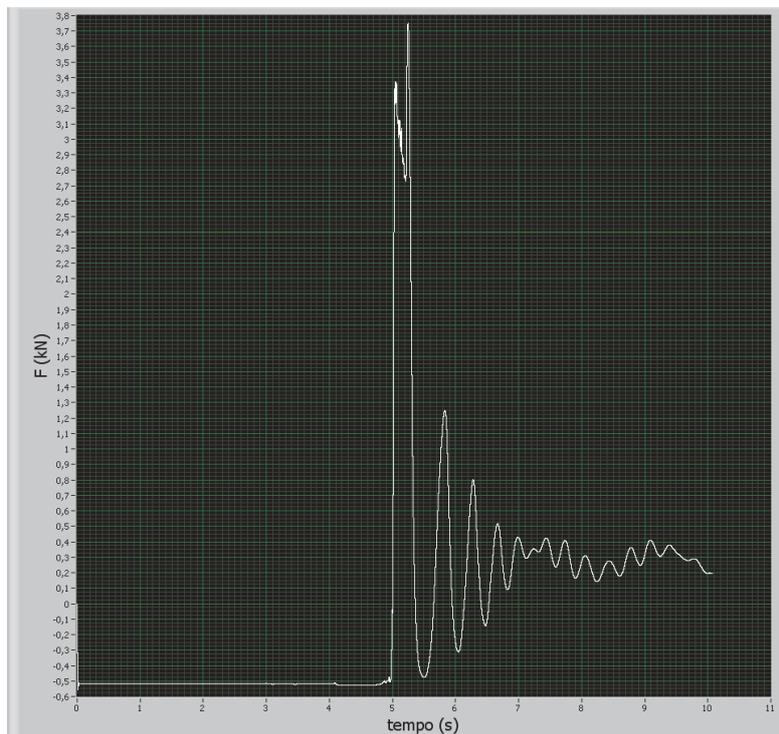


Figura A-234: Prova 80/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

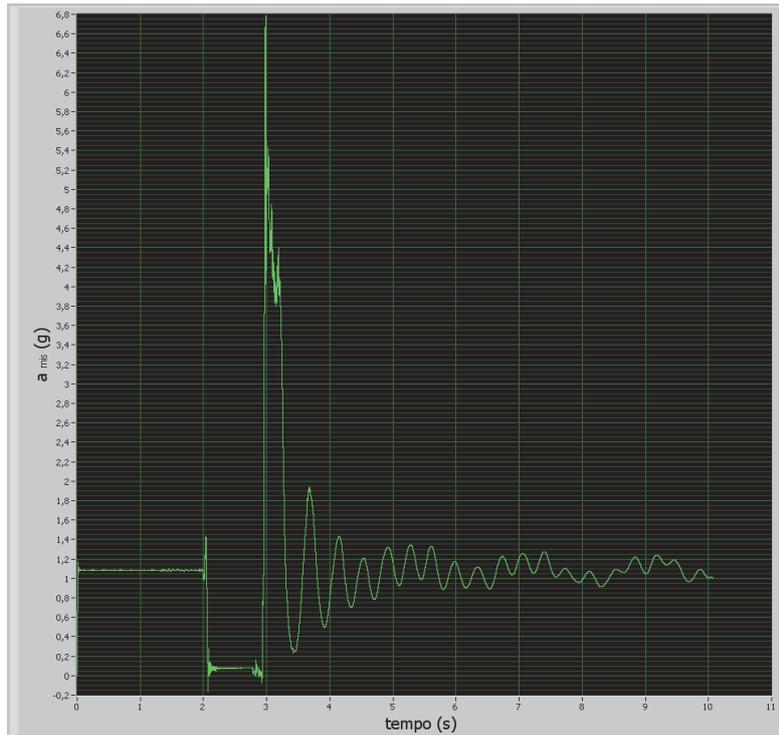


Figura A-235: Prova 80/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

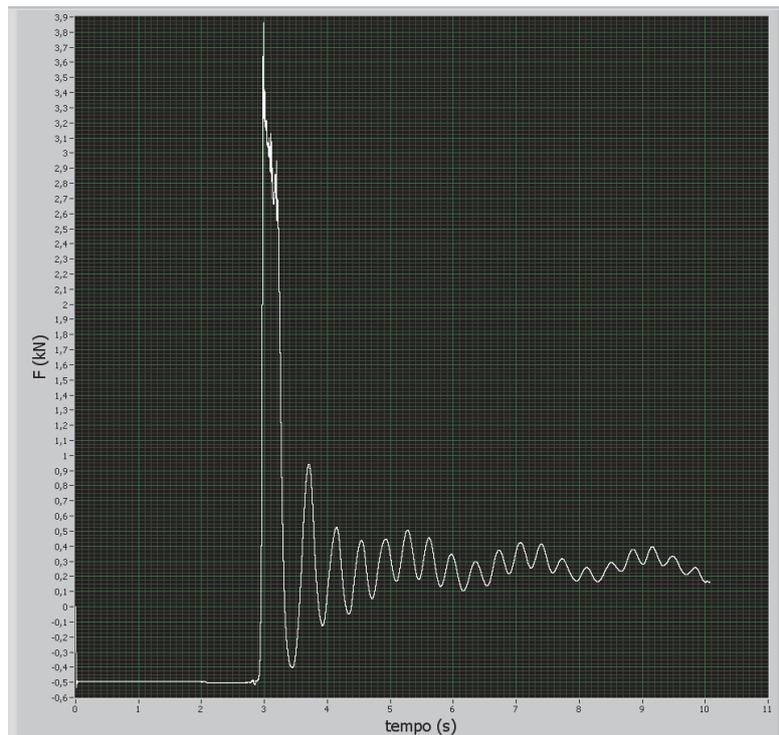


Figura A-236: Prova 80/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

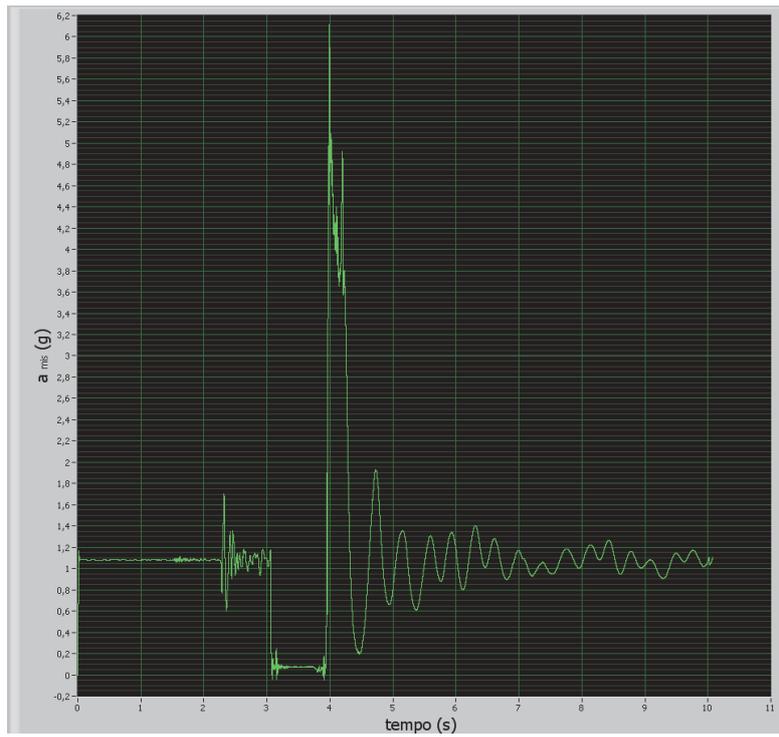


Figura A-237: Prova 80/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

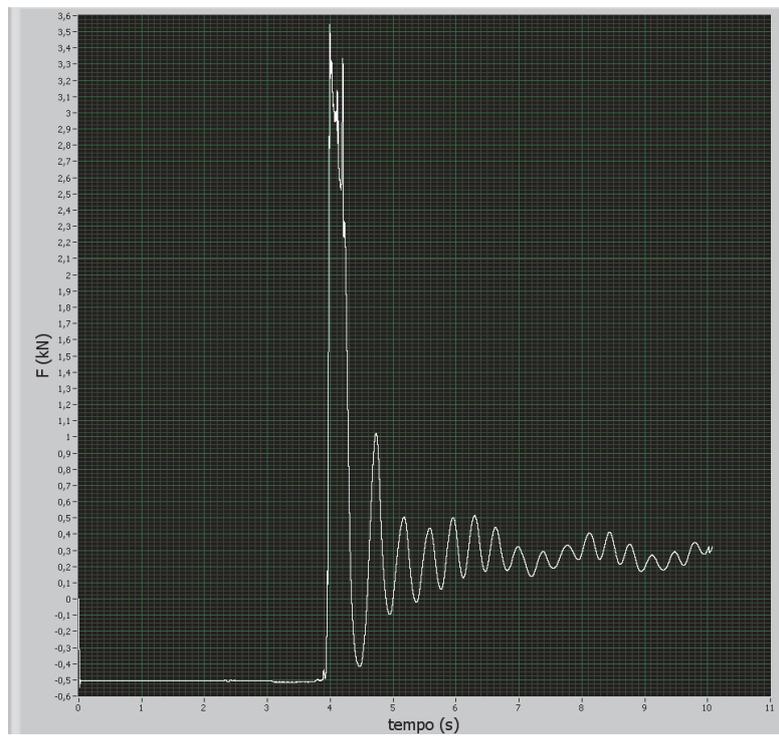


Figura A-238: Prova 80/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

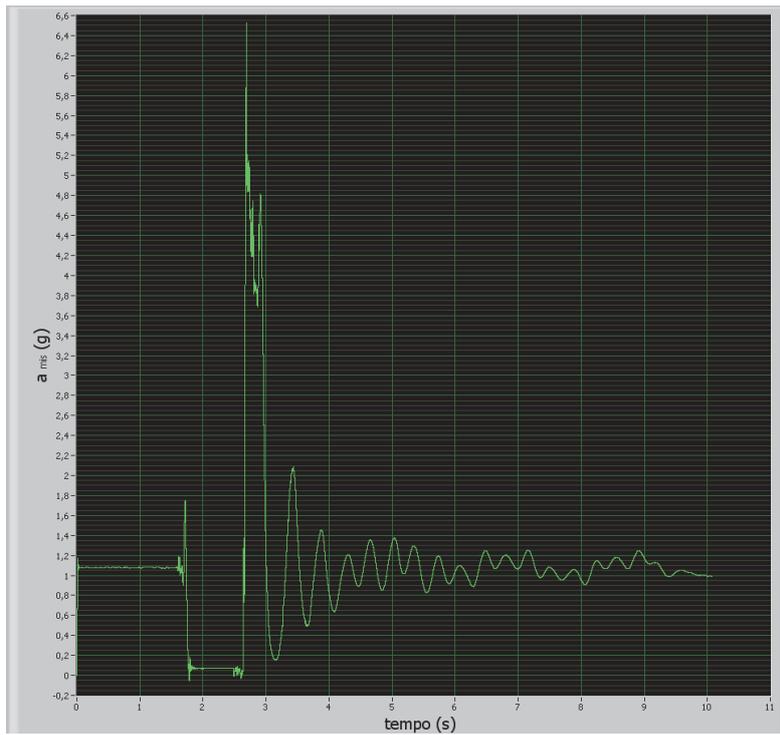


Figura A-239: Prova 80/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

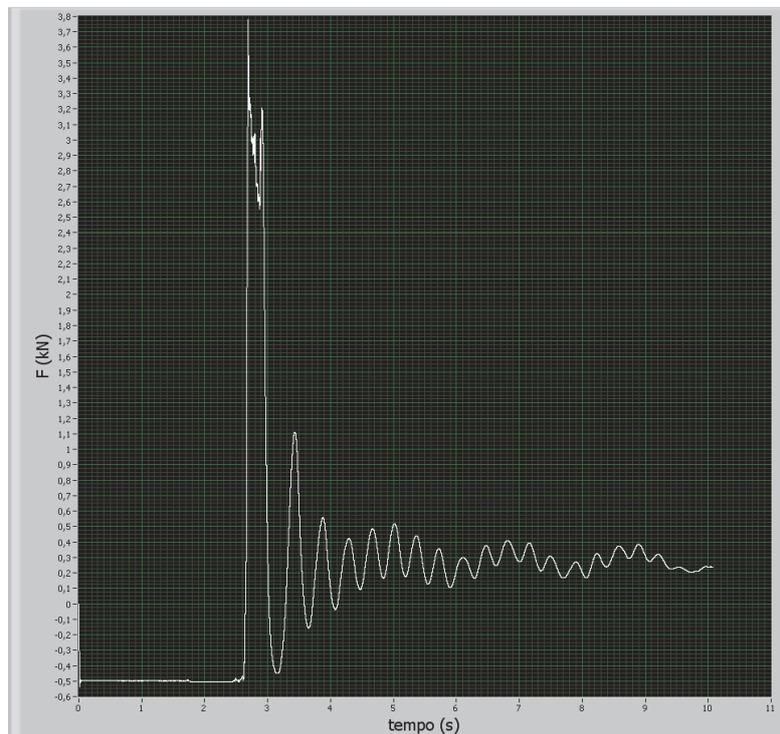


Figura A-240: Prova 80/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

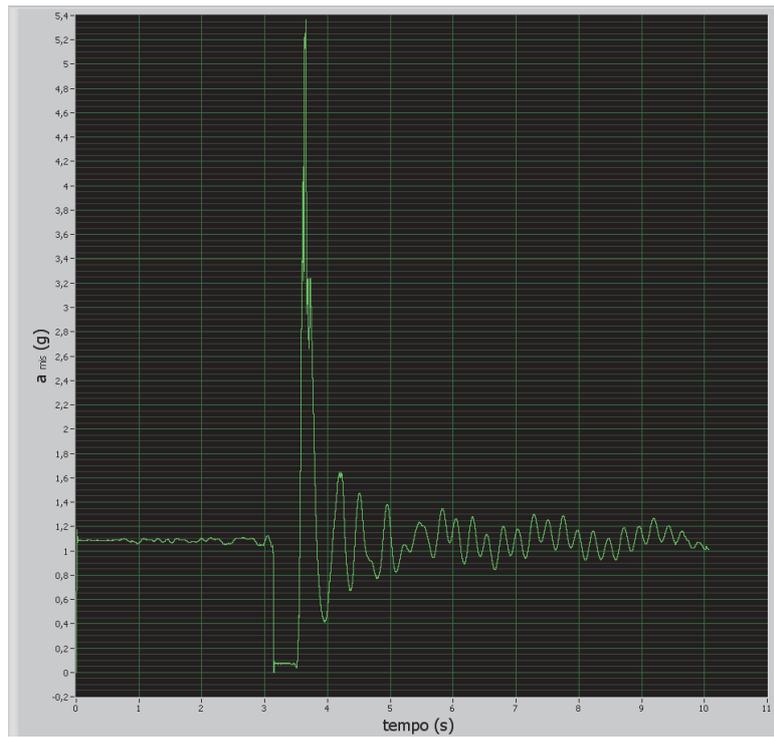


Figura A-241: Prova 100/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

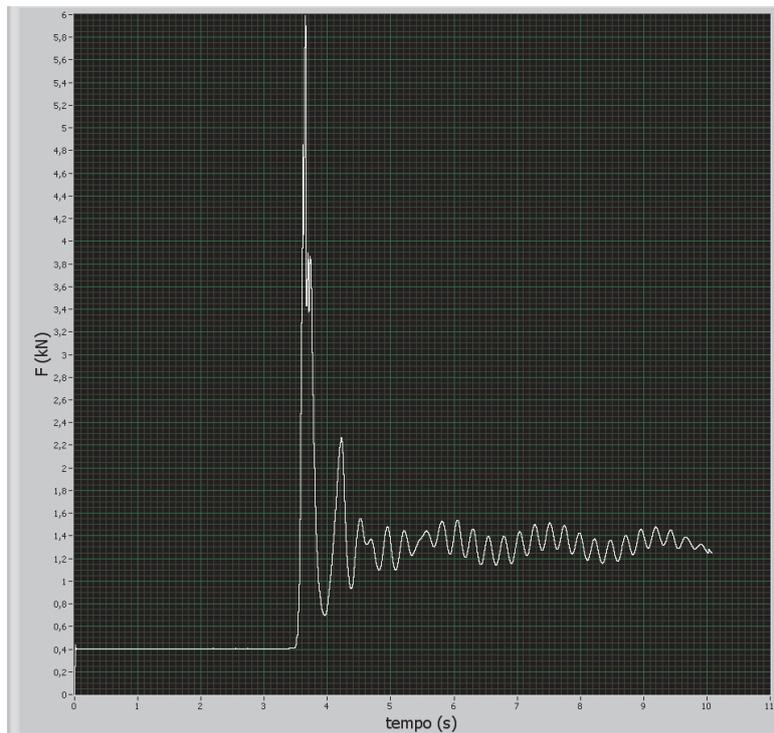


Figura A-242: Prova 100/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

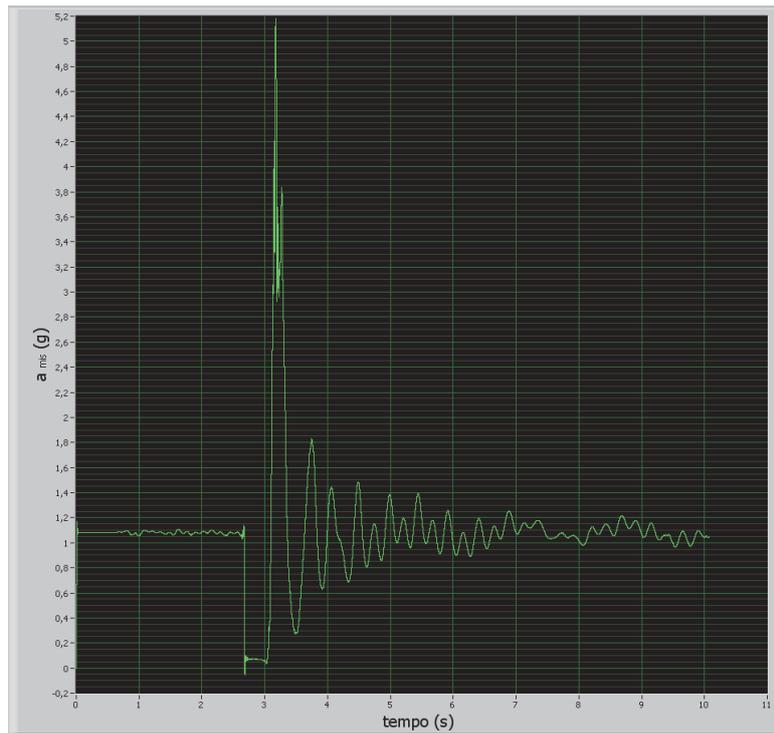


Figura A-243: Prova 100/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

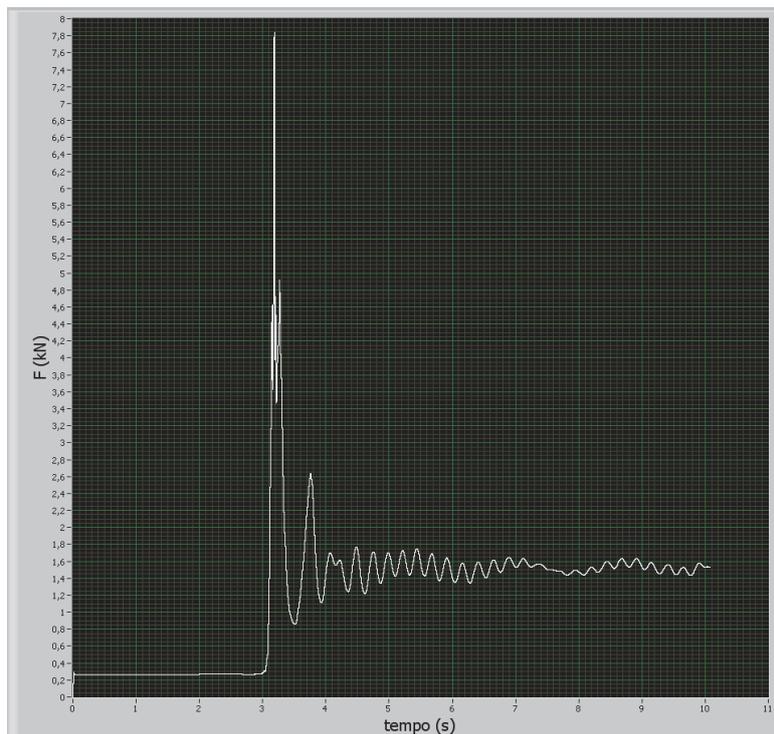


Figura A-244: Prova 100/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

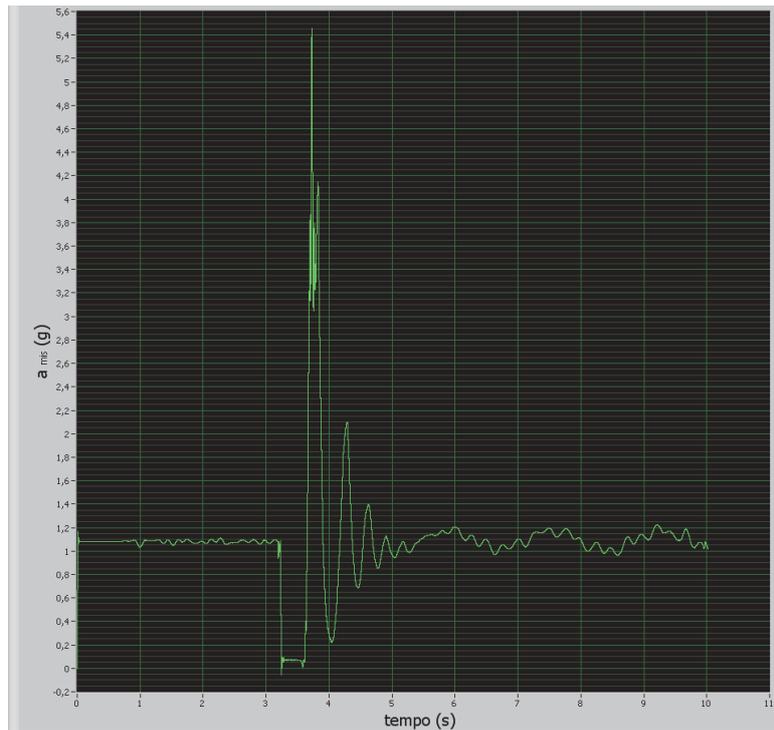


Figura A-245: Prova 100/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

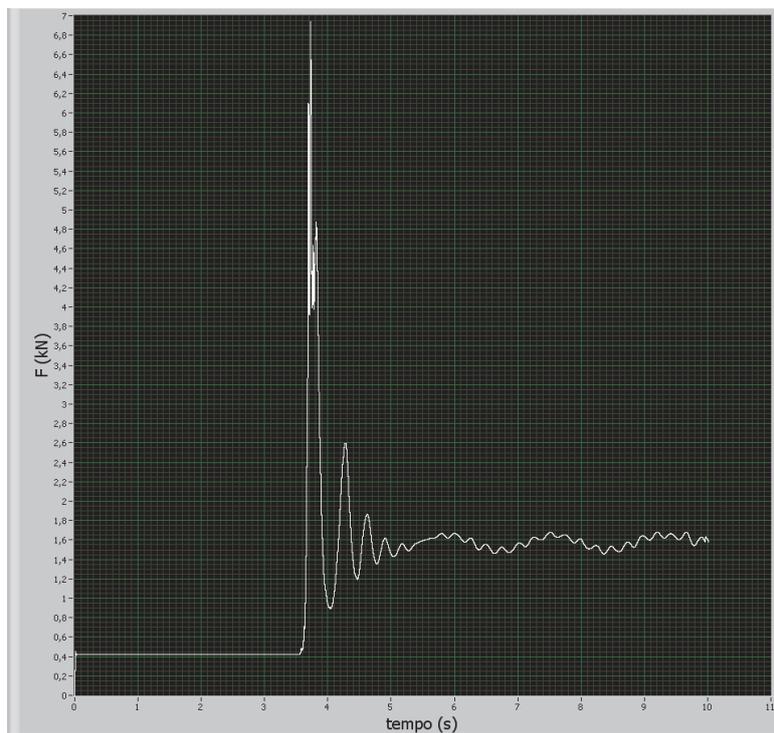


Figura A-246: Prova 100/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

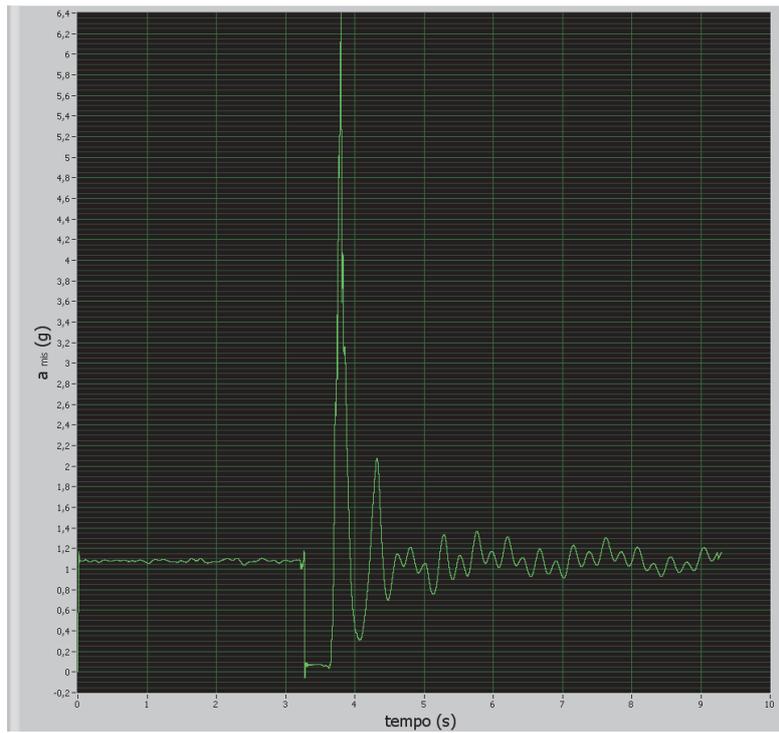


Figura A-247: Prova 100/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

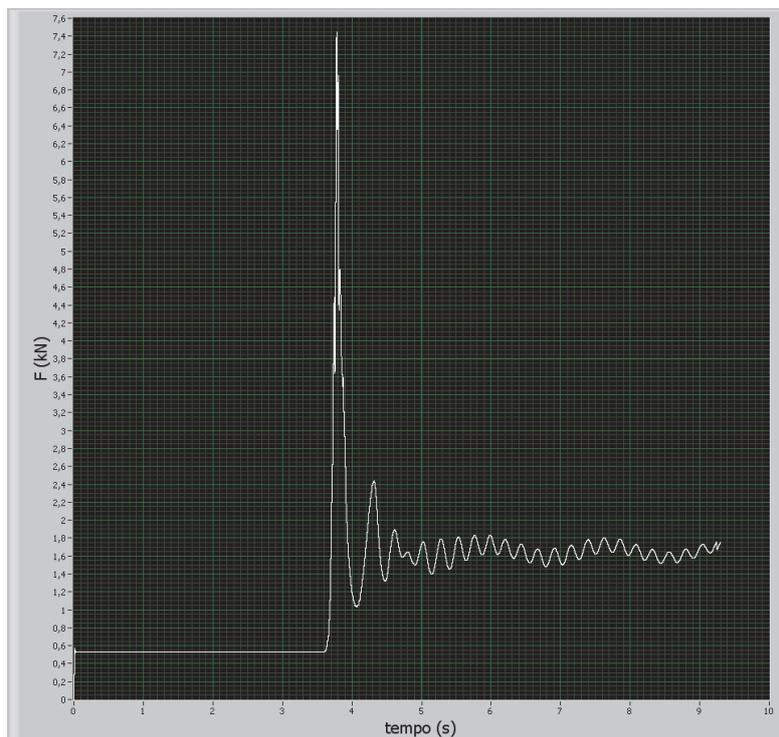


Figura A-248: Prova 100/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

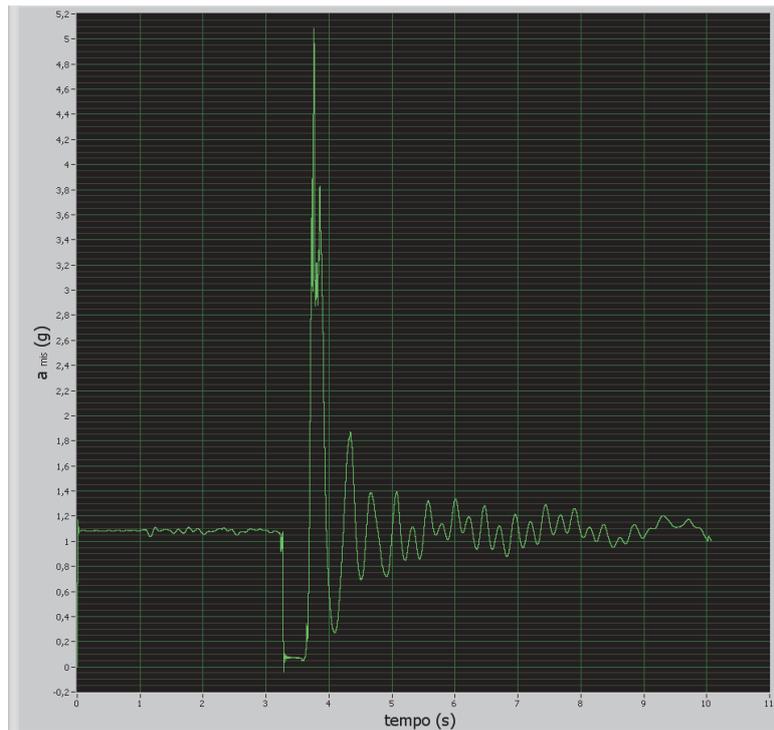


Figura A-249: Prova 100/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

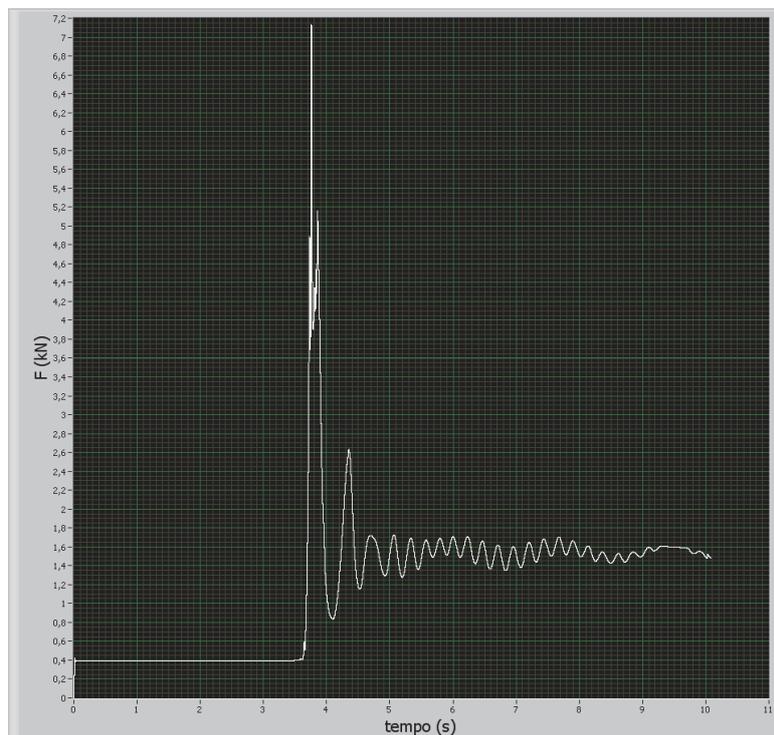


Figura A-250: Prova 100/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

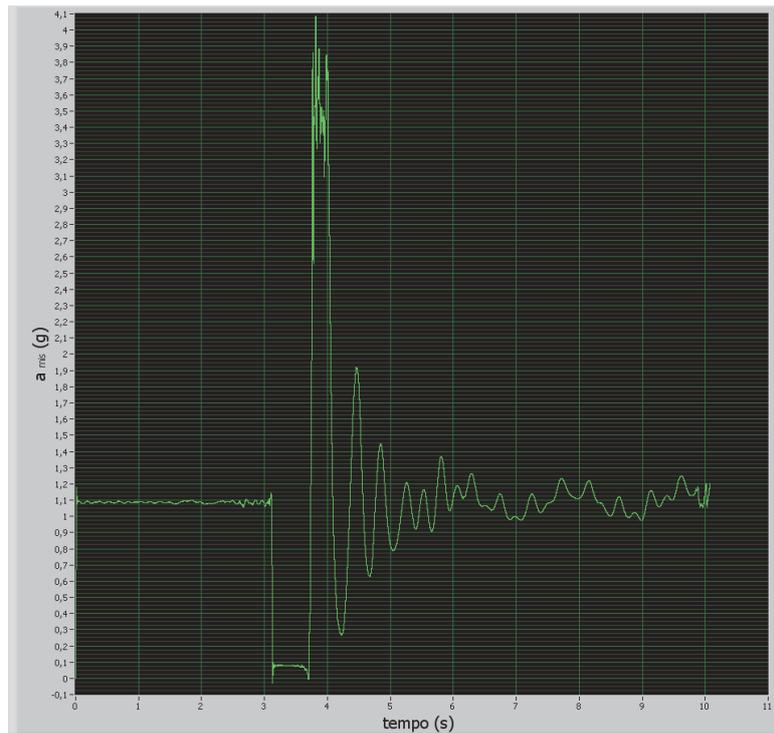


Figura A-251: Prova 100/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

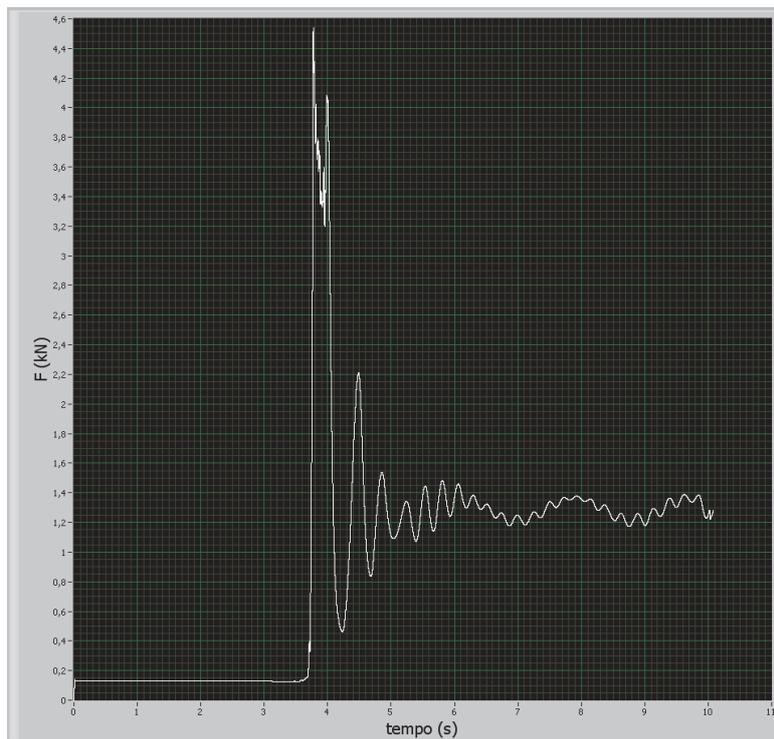


Figura A-252: Prova 100/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

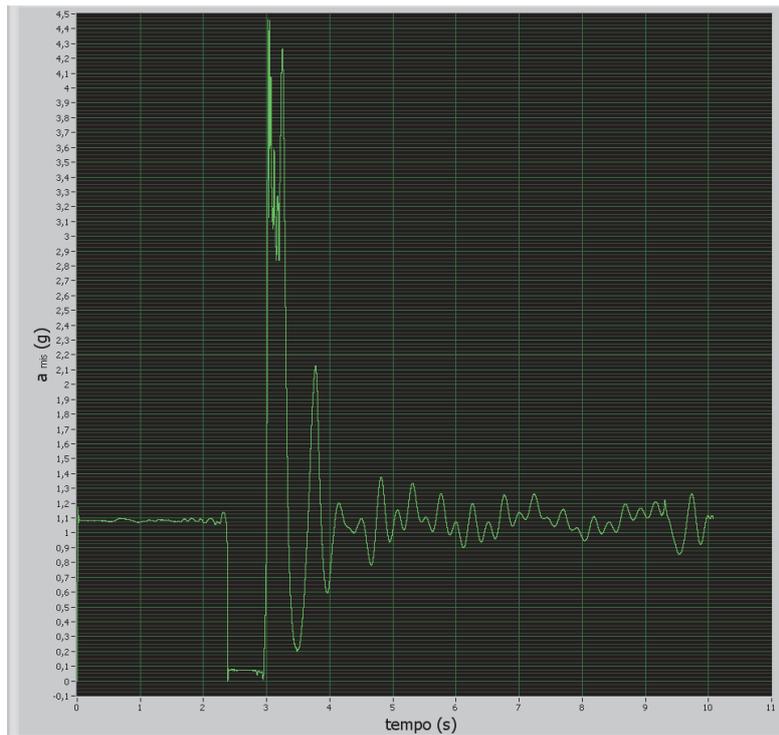


Figura A-253: Prova 100/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

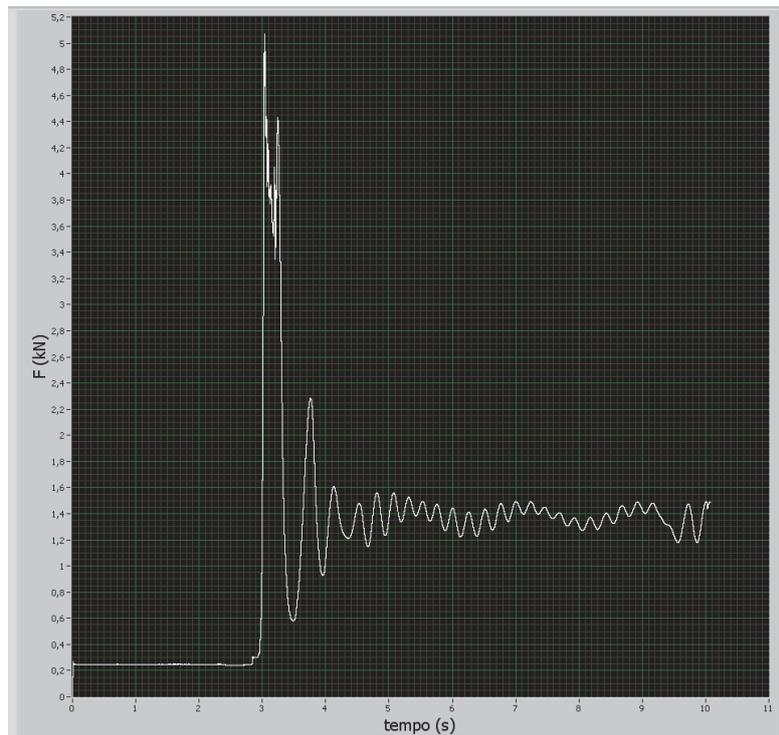


Figura A-254: Prova 100/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

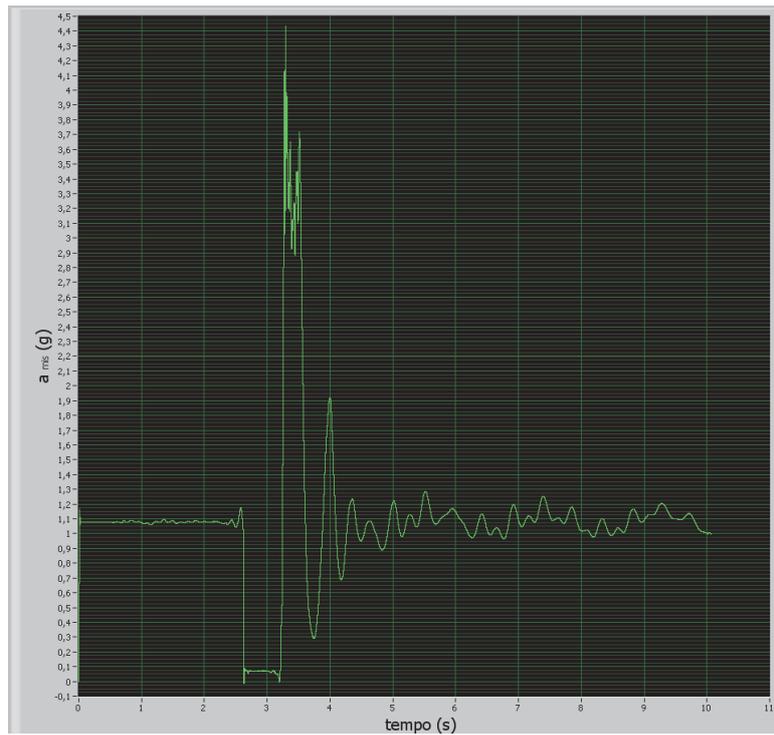


Figura A-255: Prova 100/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

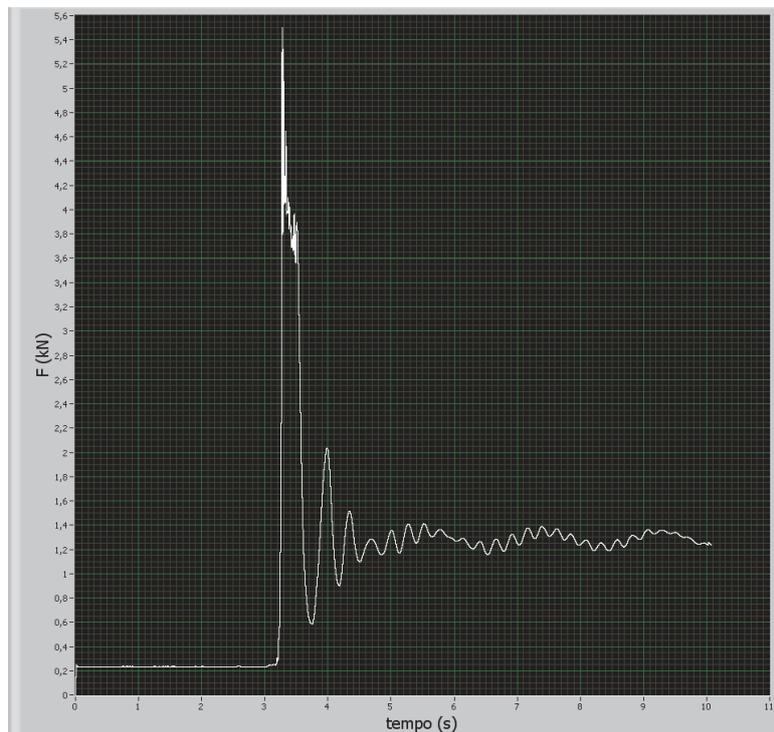


Figura A-256: Prova 100/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

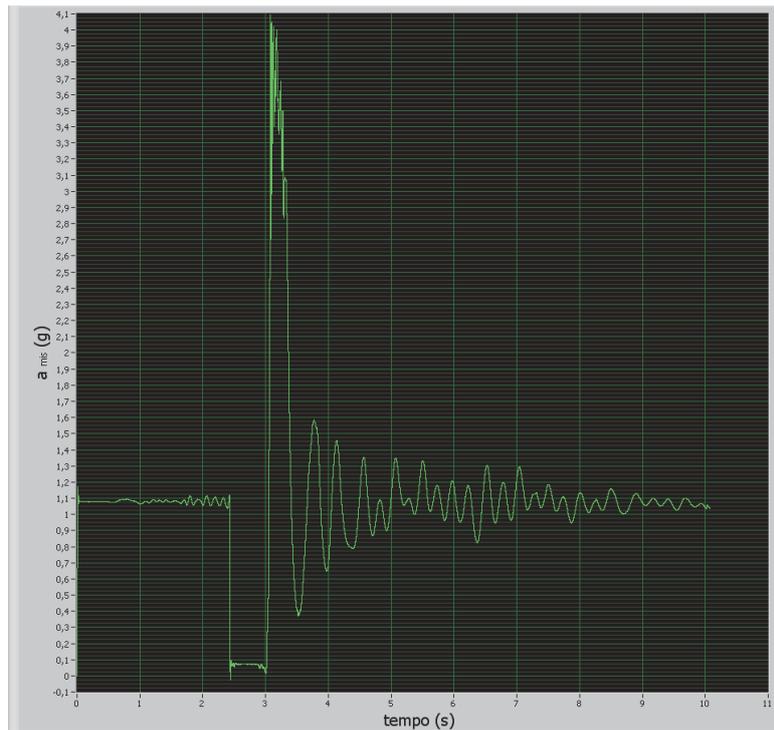


Figura A-257: Prova 100/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

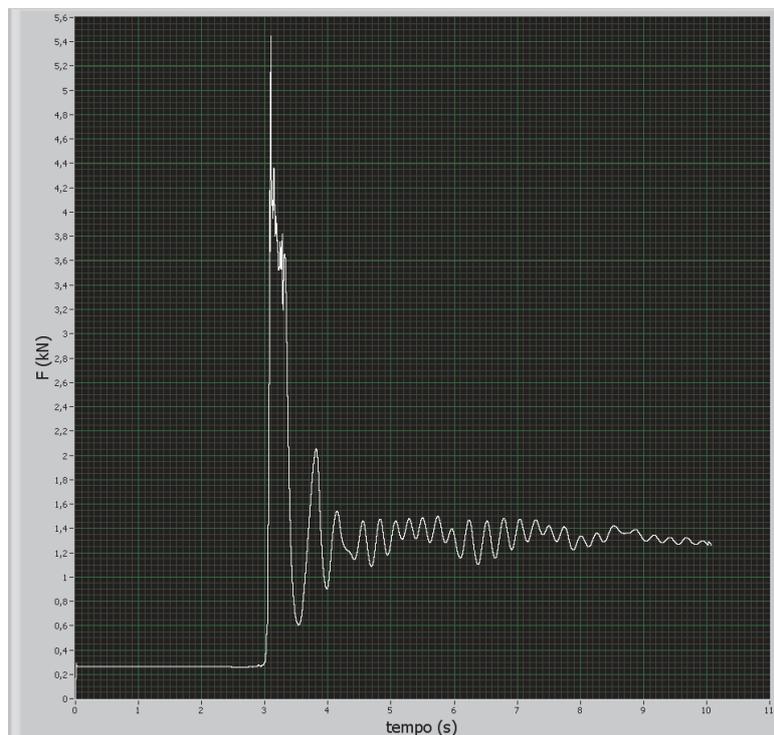


Figura A-258: Prova 100/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

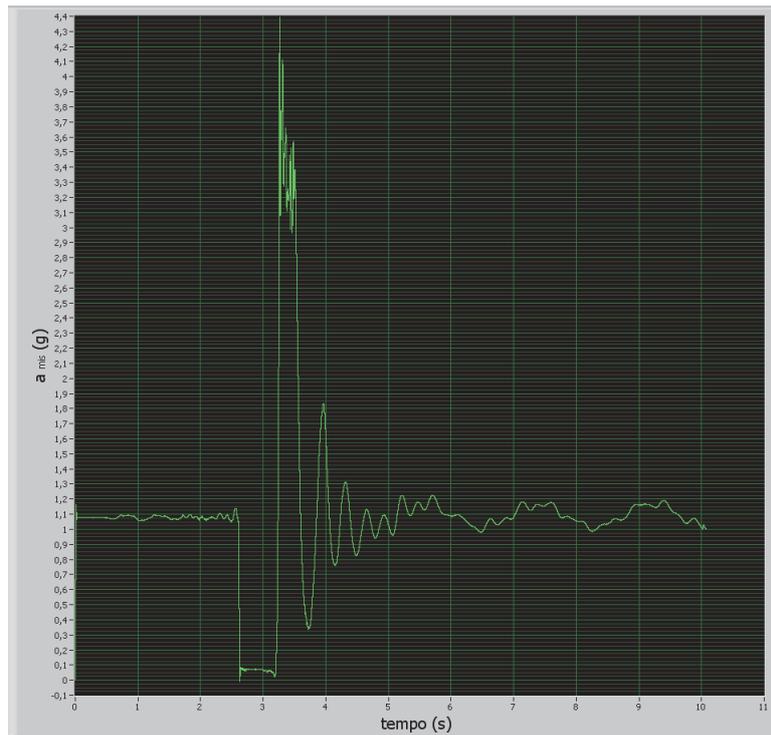


Figura A-259: Prova 100/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

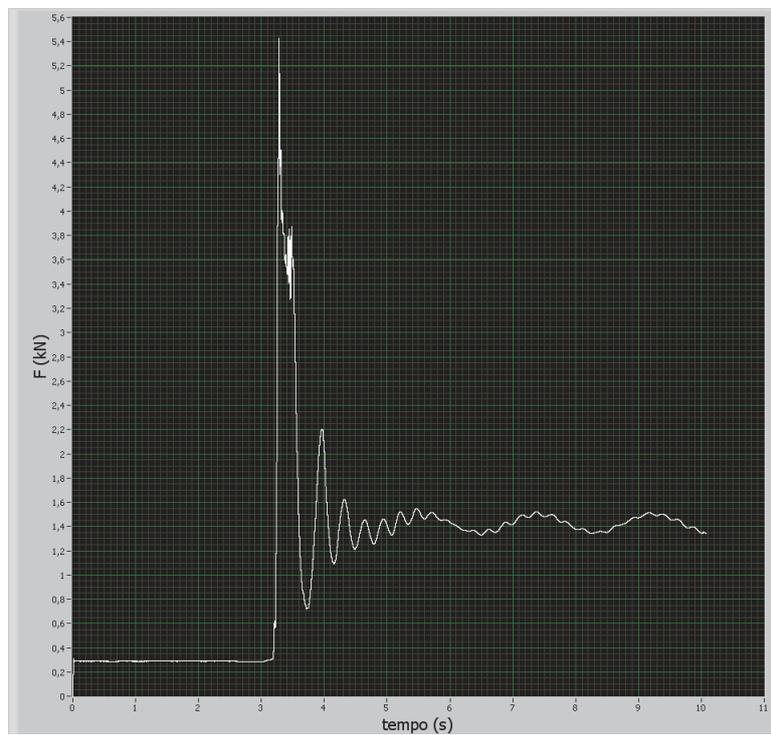


Figura A-260: Prova 100/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

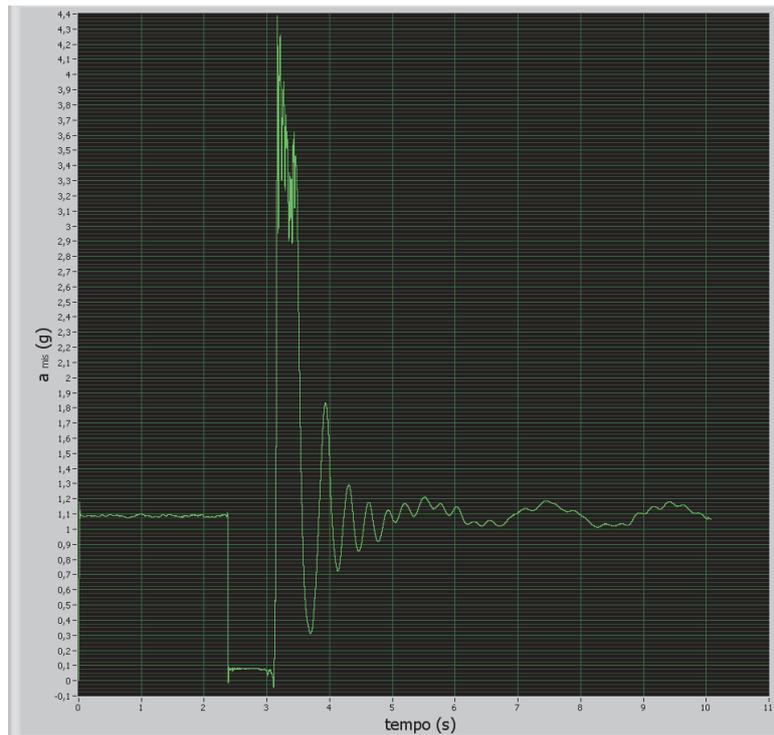


Figura A-261: Prova 100/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

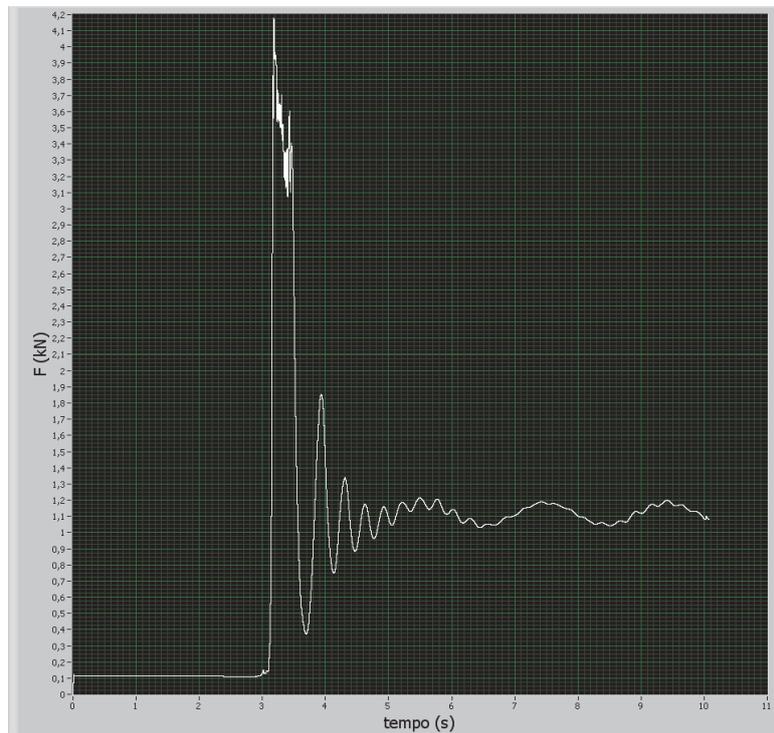


Figura A-262: Prova 100/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

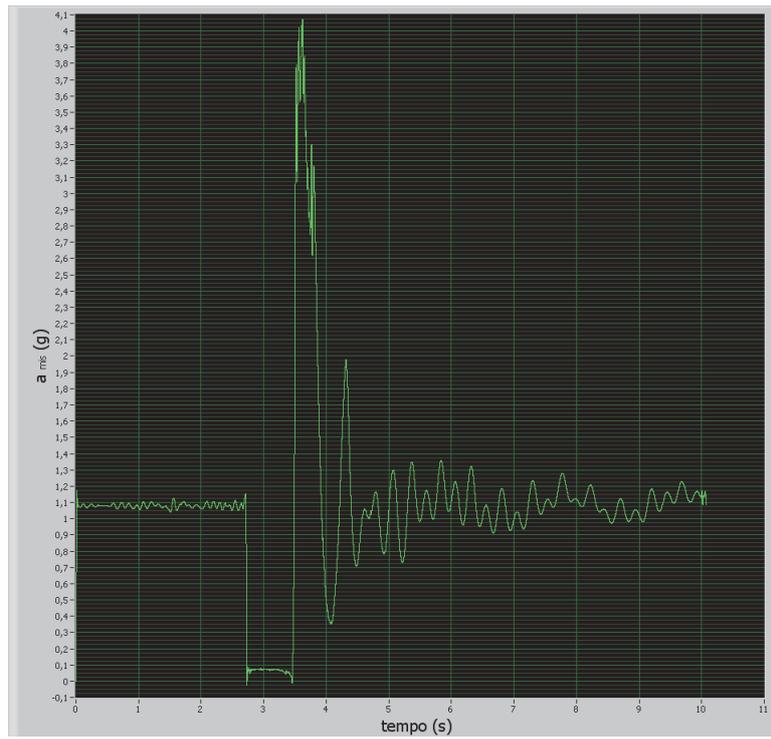


Figura A-263: Prova 100/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

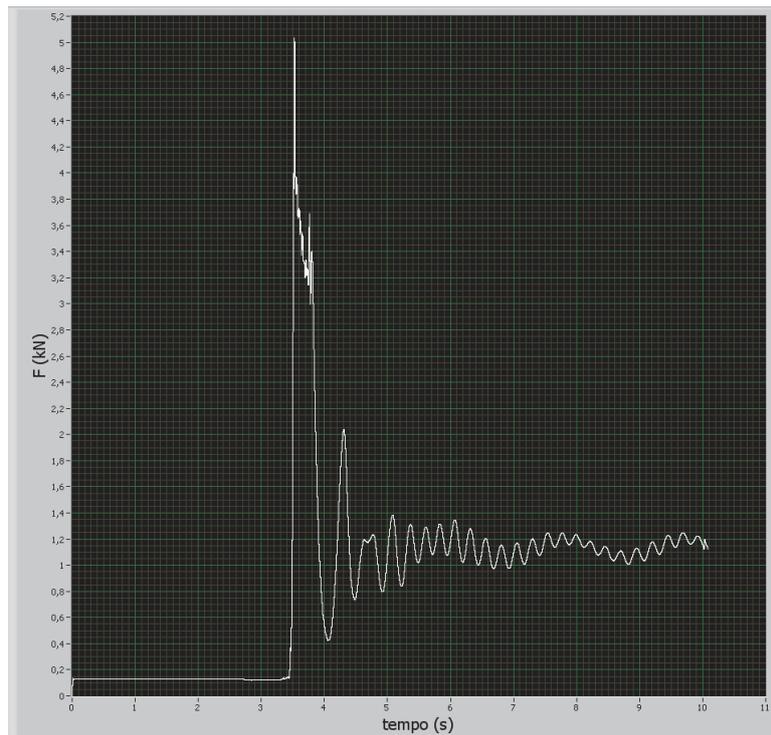


Figura A-264: Prova 100/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

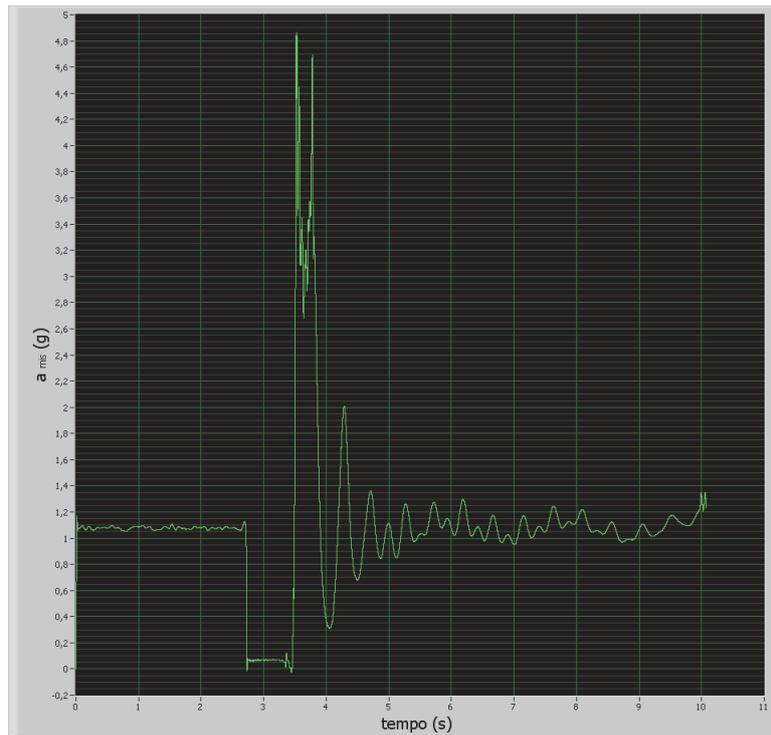


Figura A-265: Prova 100/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

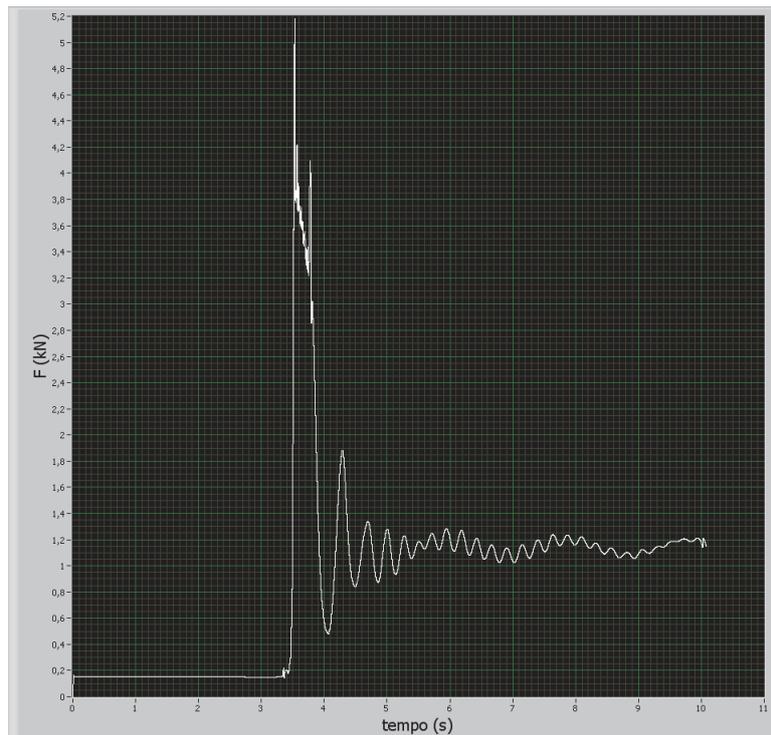


Figura A-266: Prova 100/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

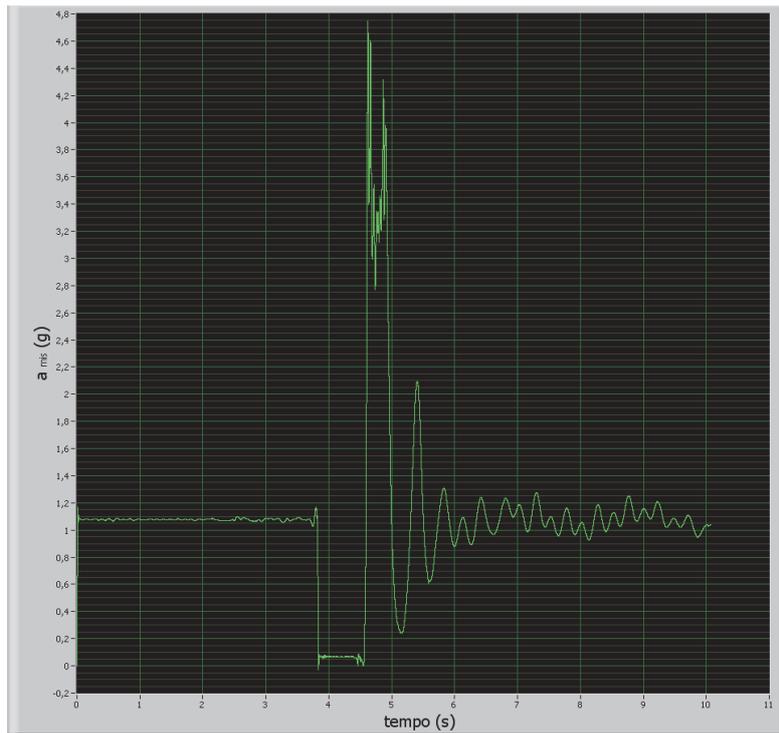


Figura A-267: Prova 100/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

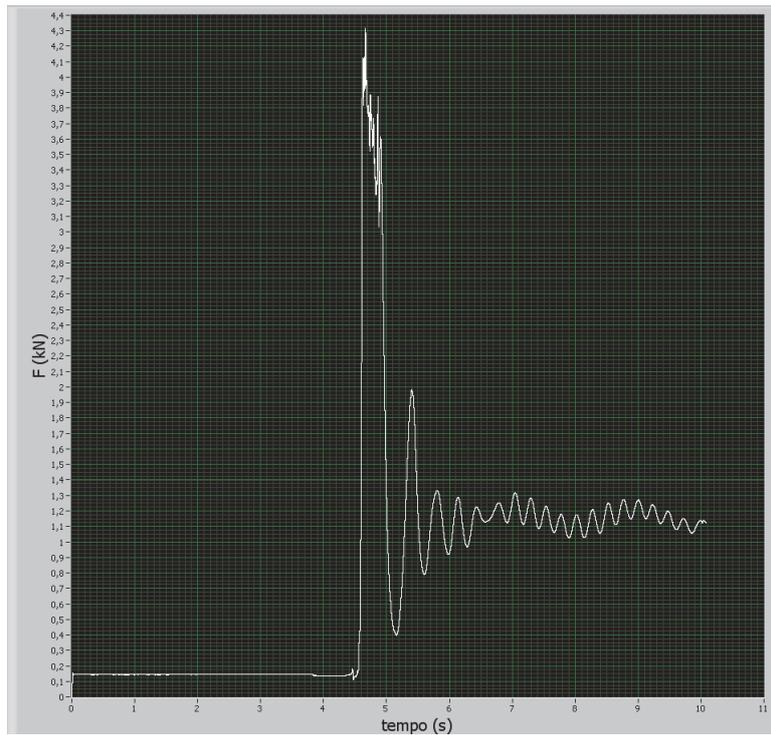


Figura A-268: Prova 100/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

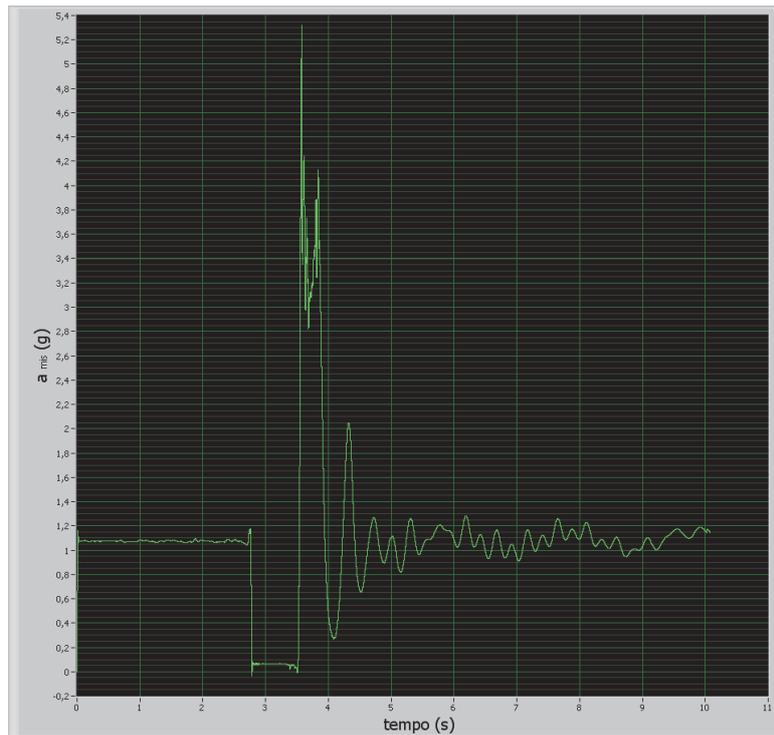


Figura A-269: Prova 100/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

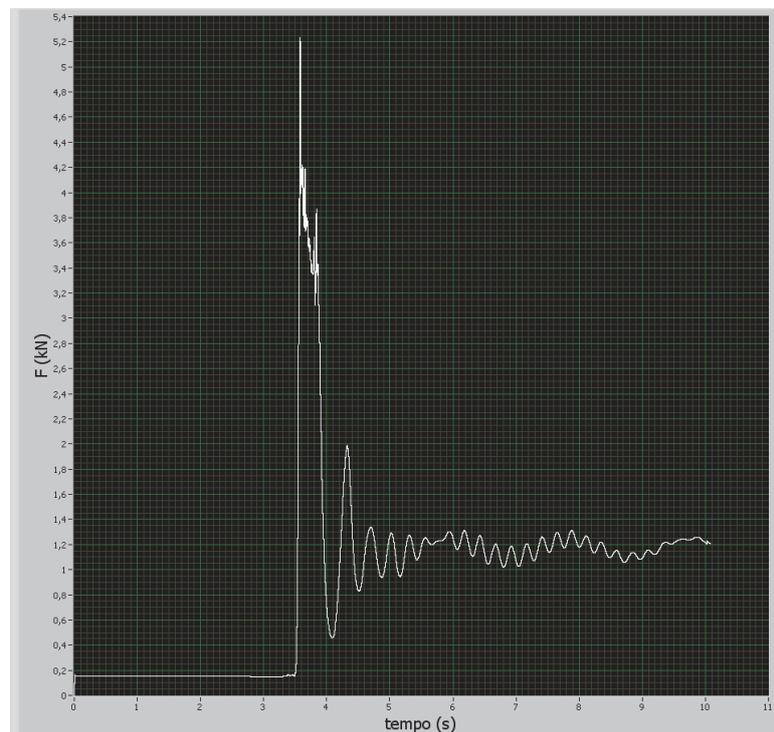


Figura A-270: Prova 100/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

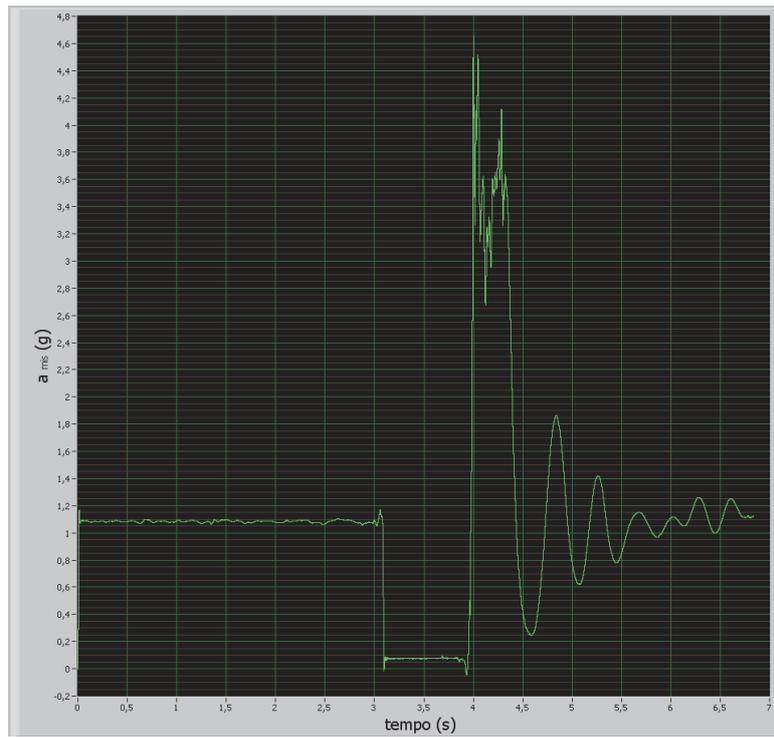


Figura A-271: Prova 100/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

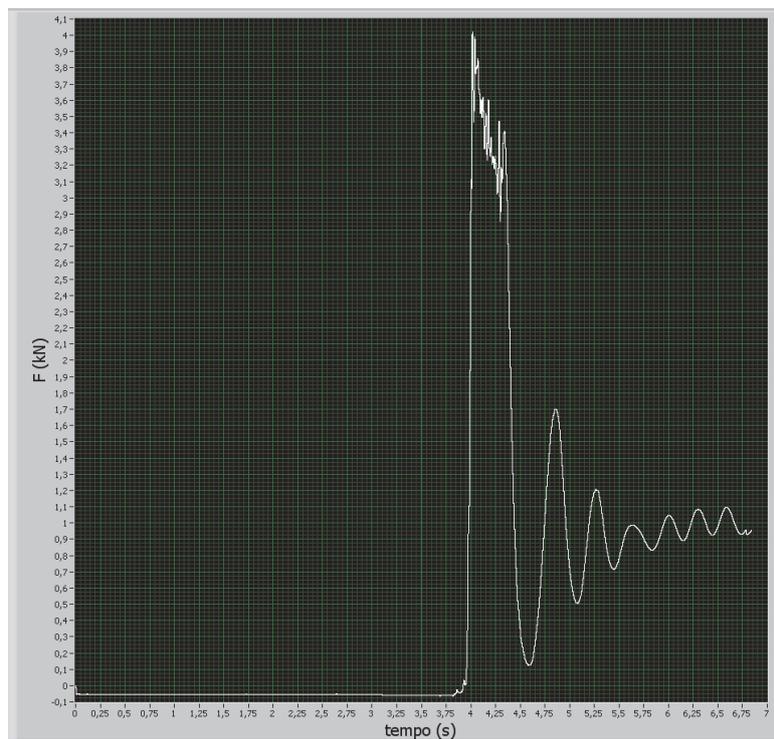


Figura A-272: Prova 100/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

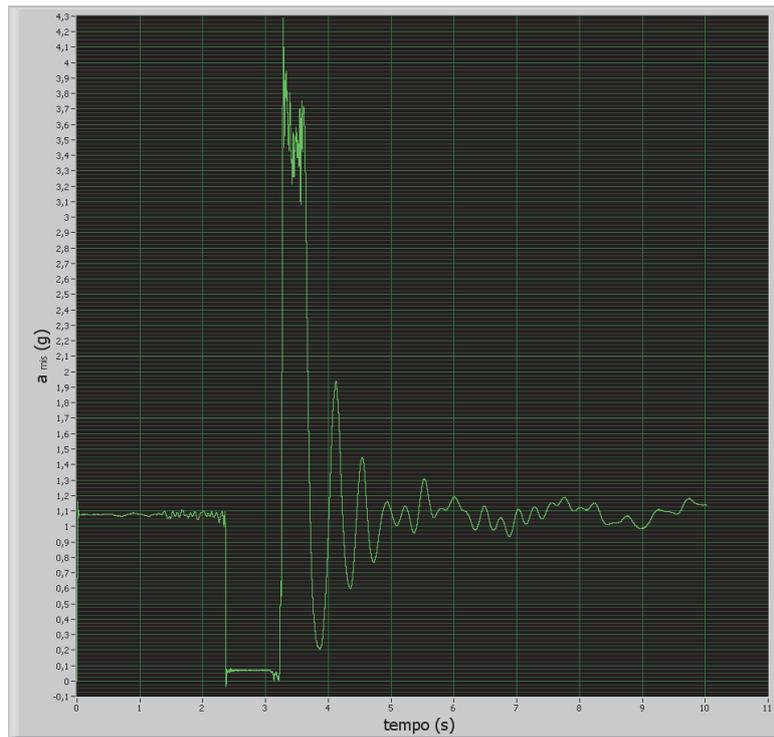


Figura A-273: Prova 100/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

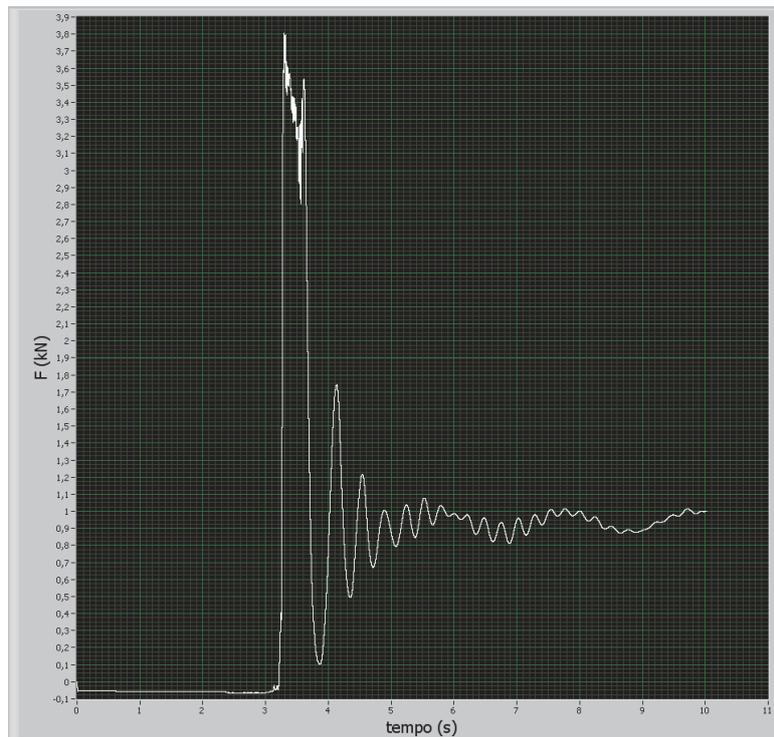


Figura A-274: Prova 100/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

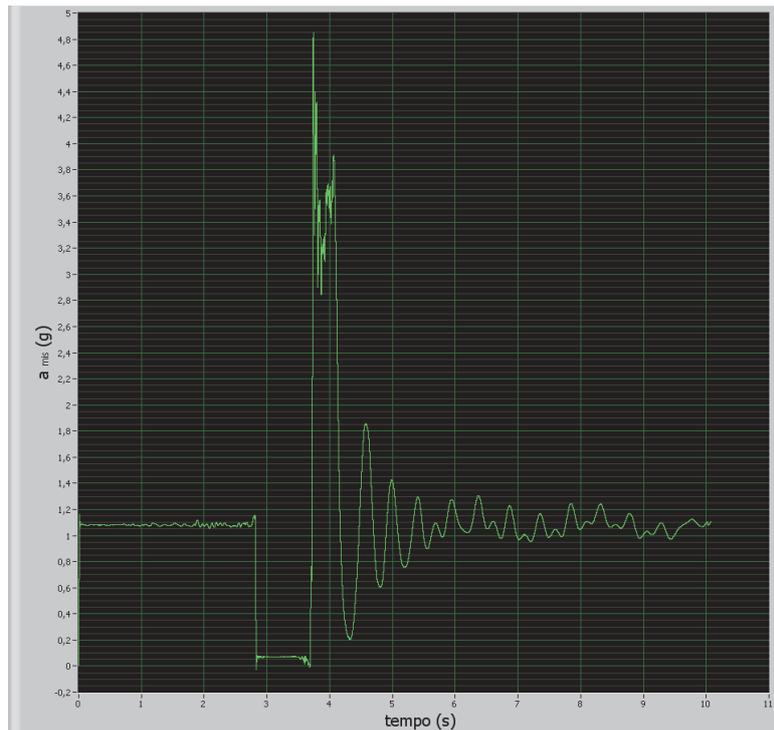


Figura A-275: Prova 100/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

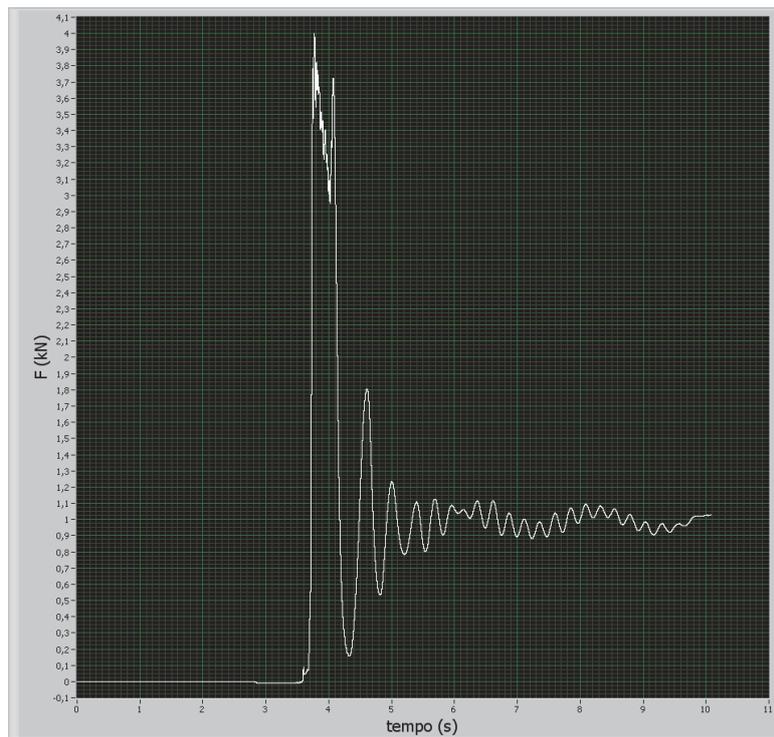


Figura A-276: Prova 100/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

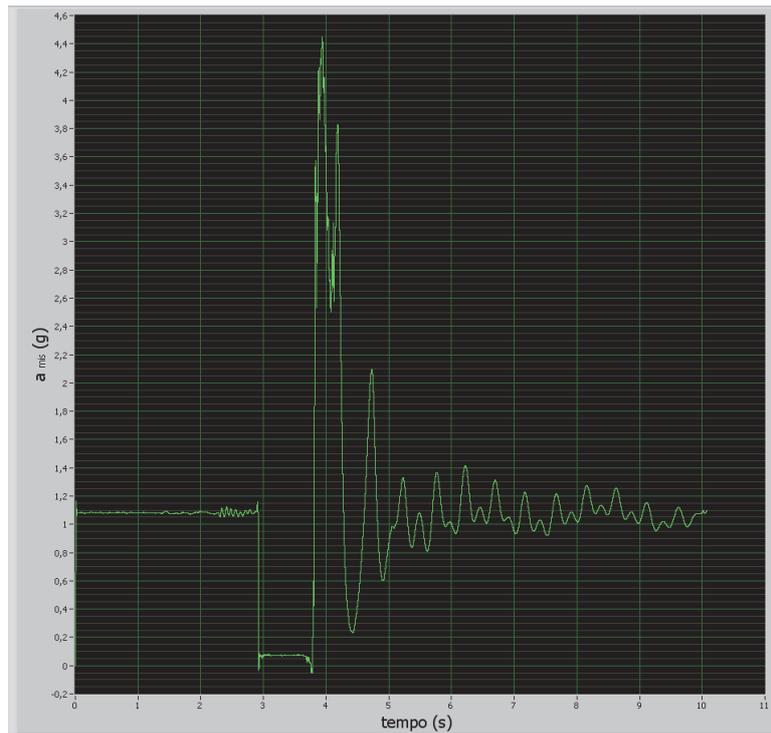


Figura A-277: Prova 100/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

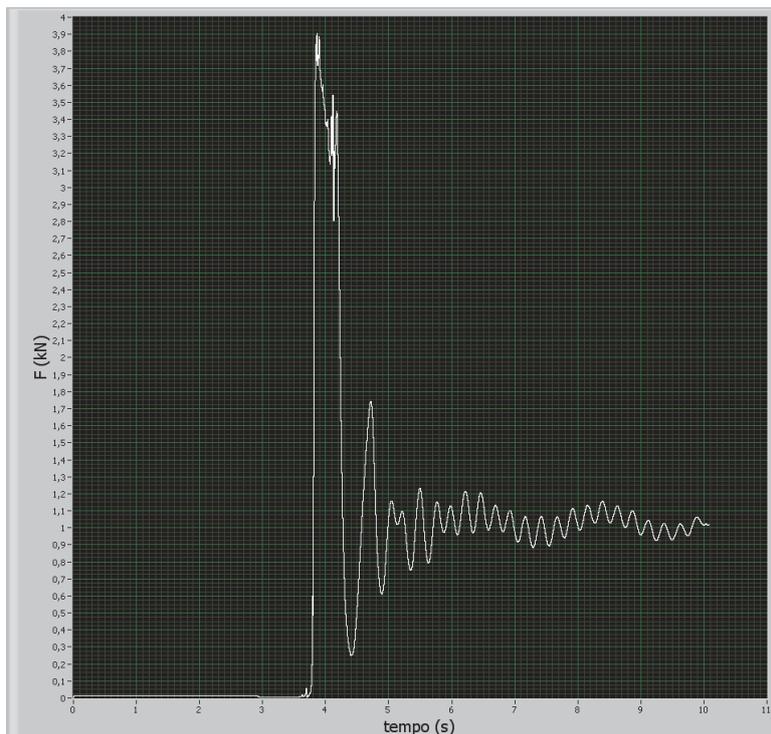


Figura A-278: Prova 100/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

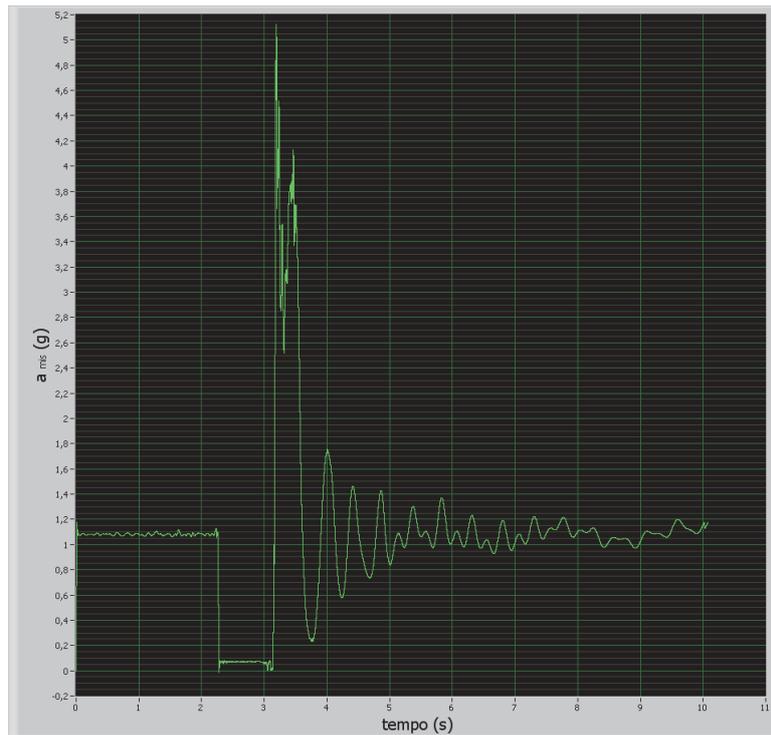


Figura A-279: Prova 100/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

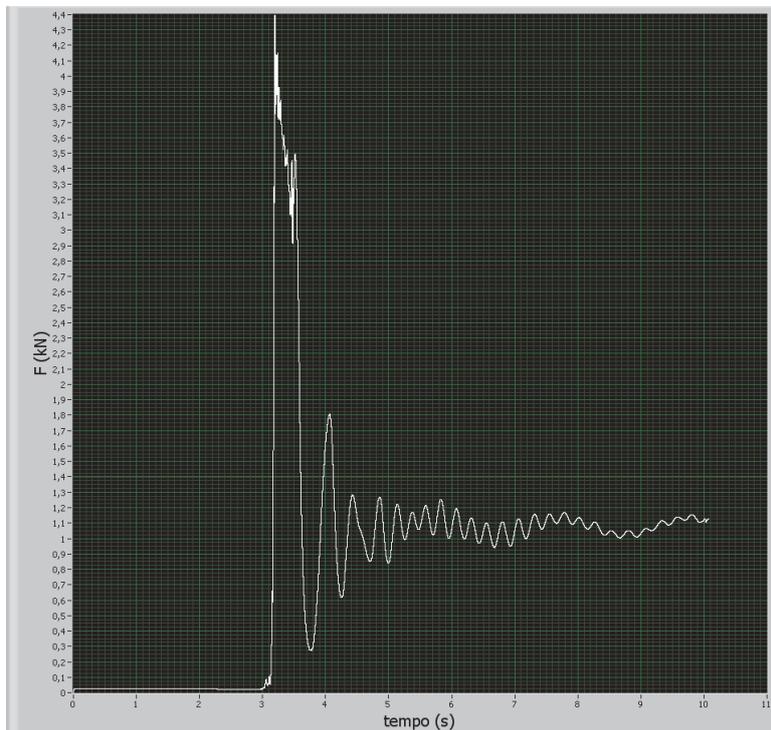


Figura A-280: Prova 100/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

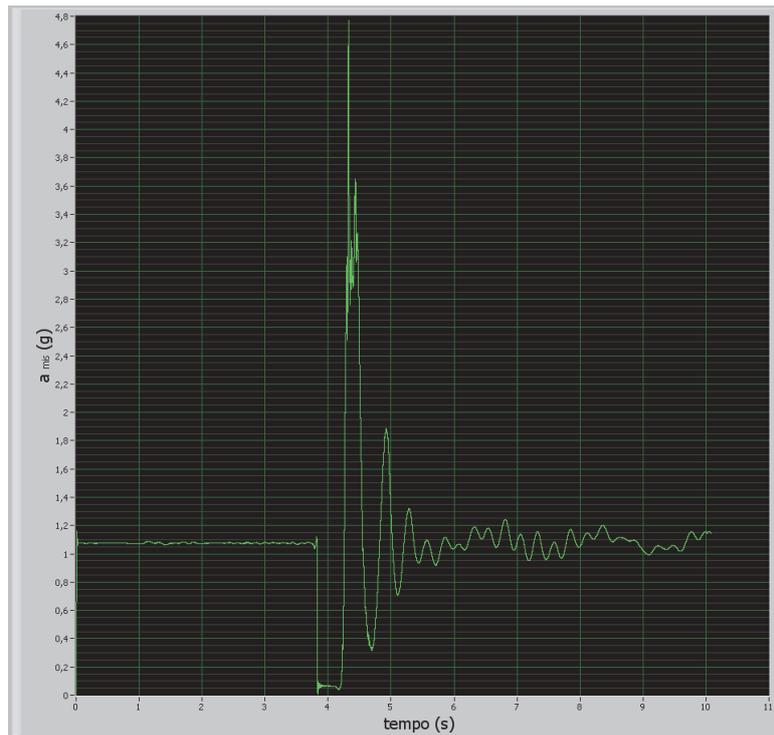


Figura A-281: Prova 120/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

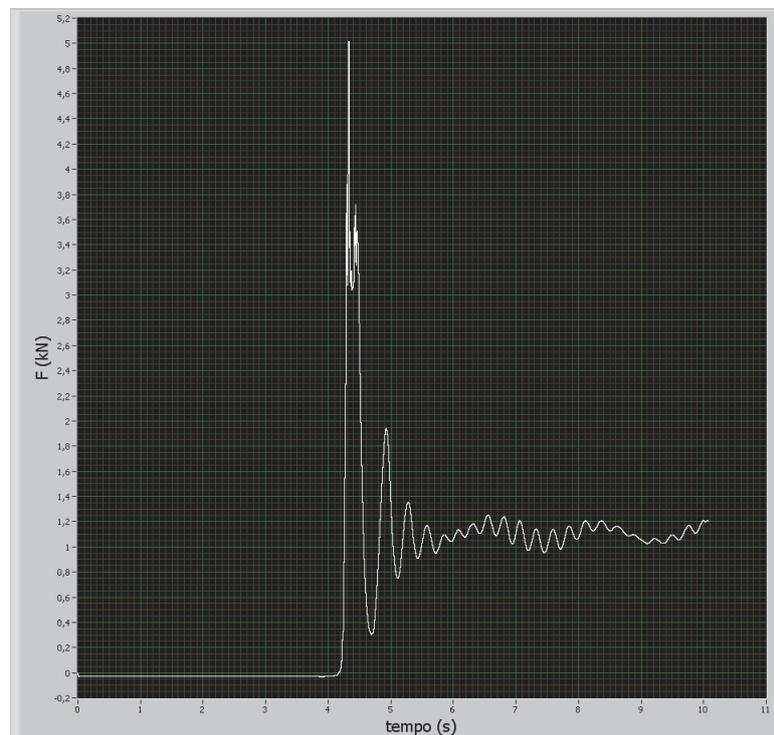


Figura A-282: Prova 120/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

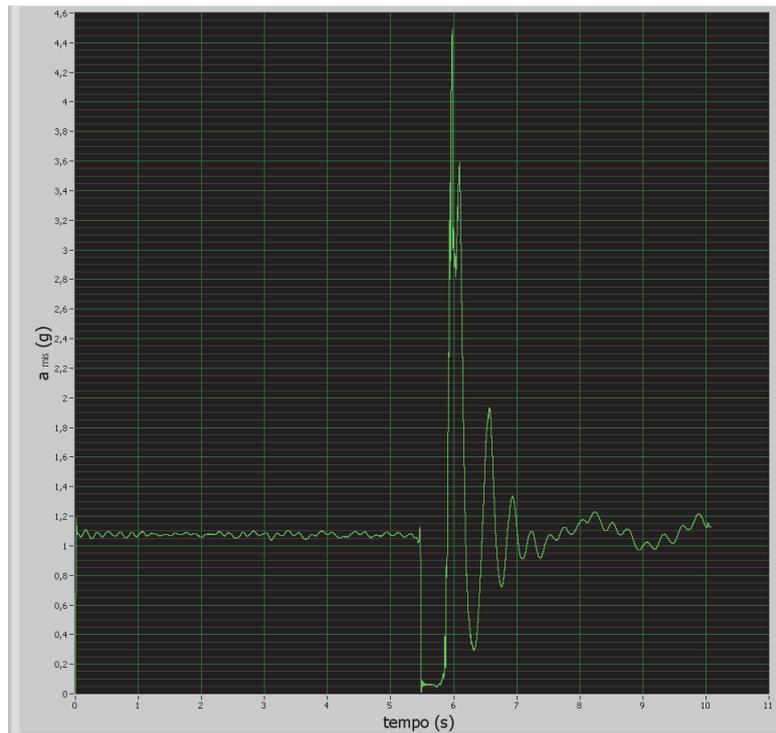


Figura A-283: Prova 120/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

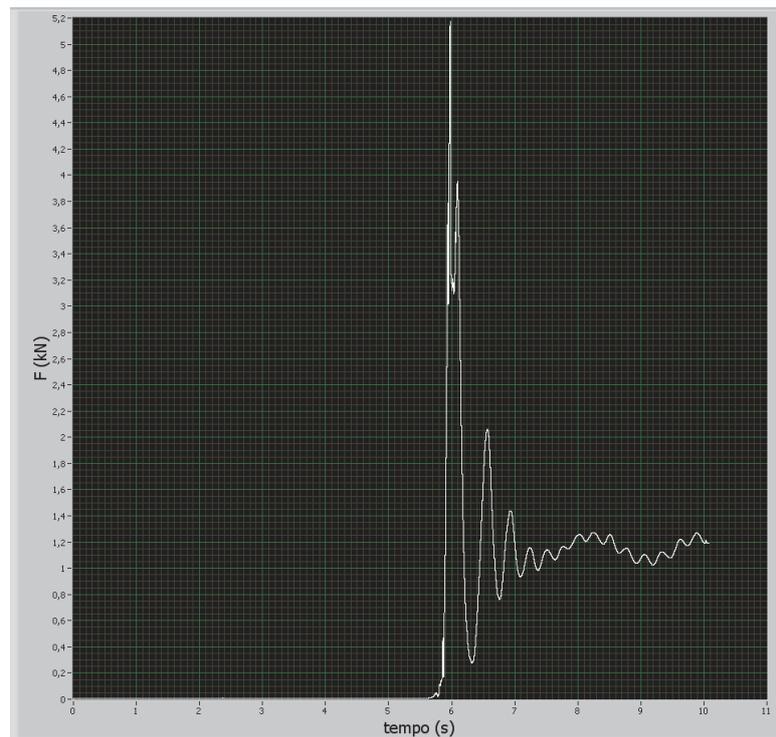


Figura A-284: Prova 120/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

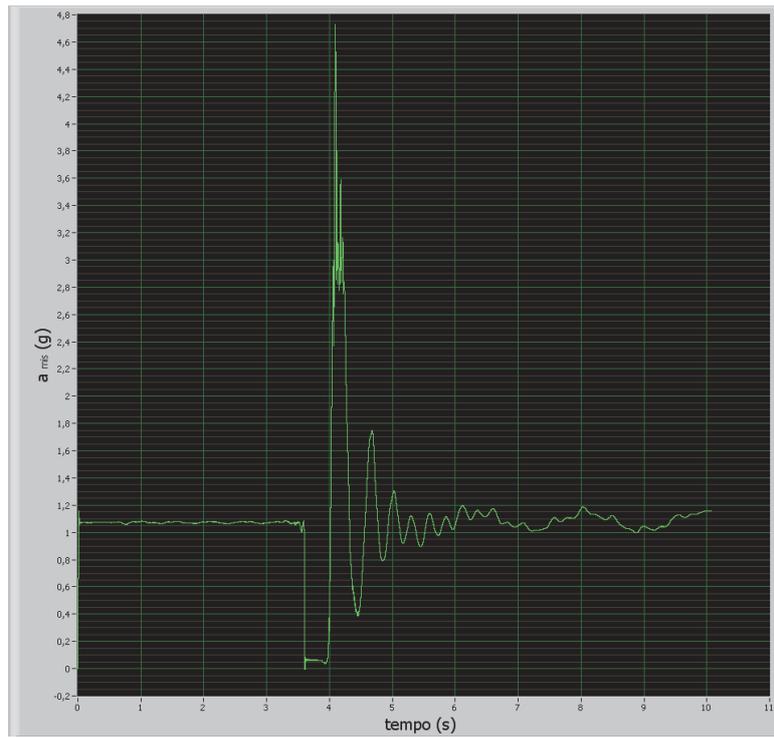


Figura A-285: Prova 120/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

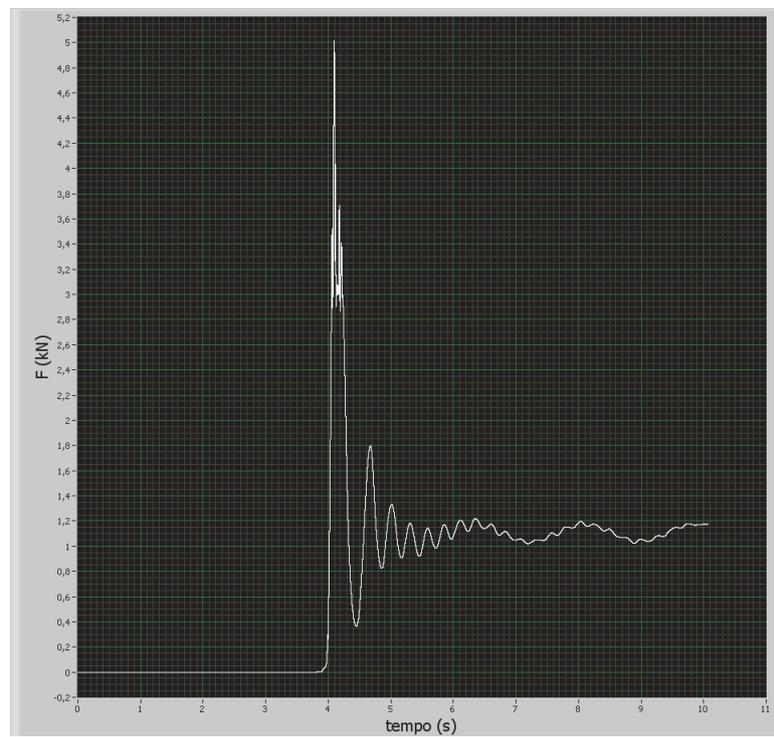


Figura A-286: Prova 120/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

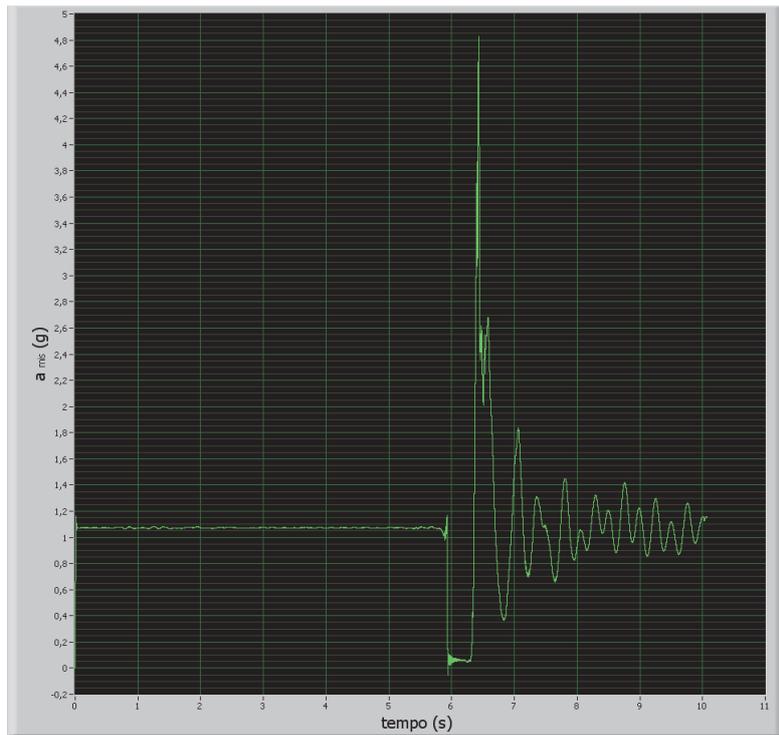


Figura A-287: Prova 120/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

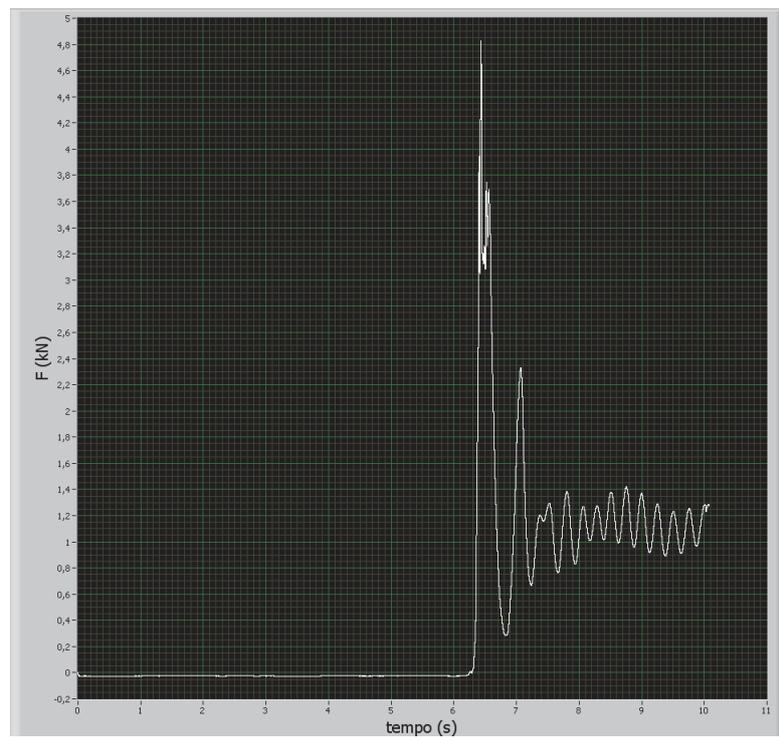


Figura A-288: Prova 120/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

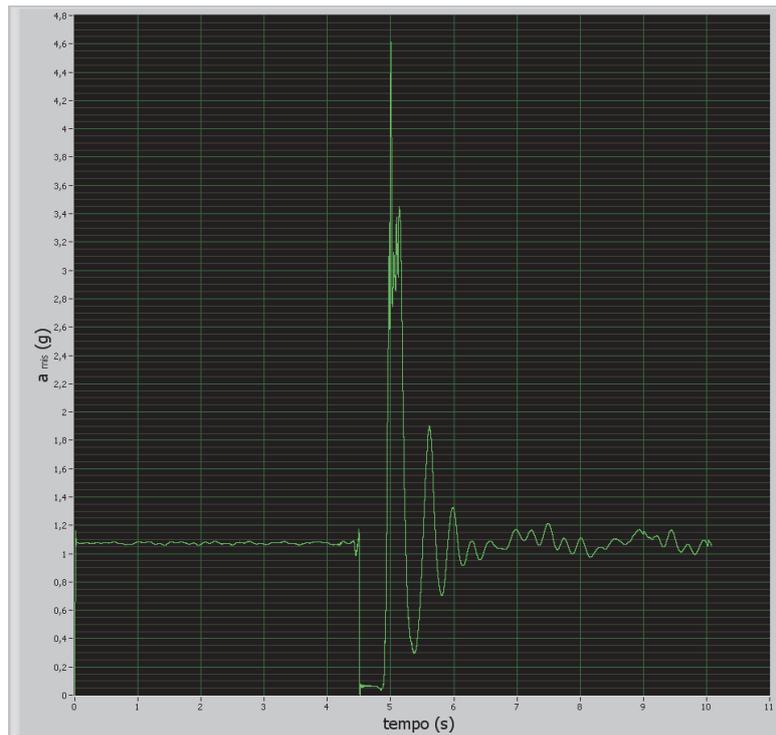


Figura A-289: Prova 120/1 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

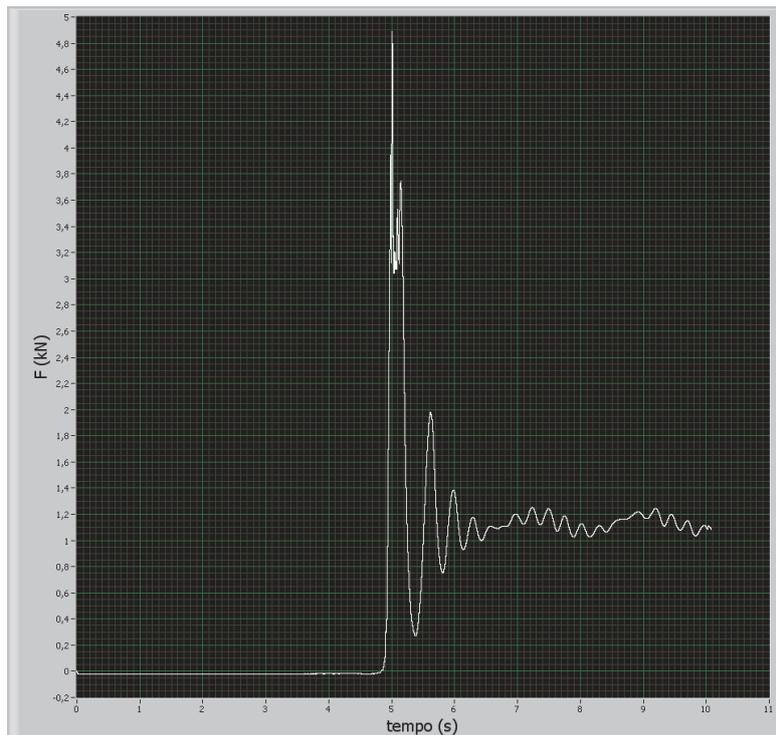


Figura A-290: Prova 120/1 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

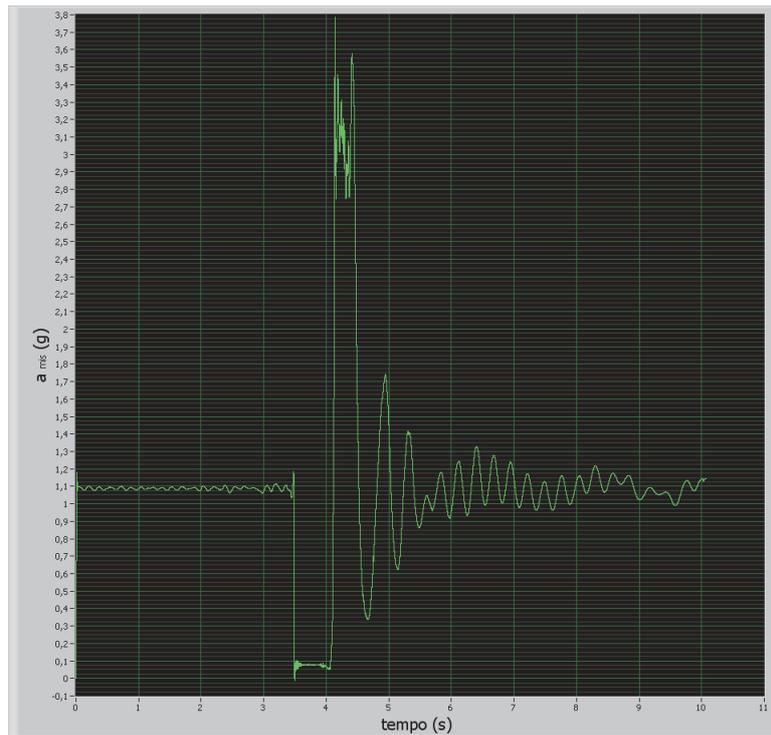


Figura A-291: Prova 120/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

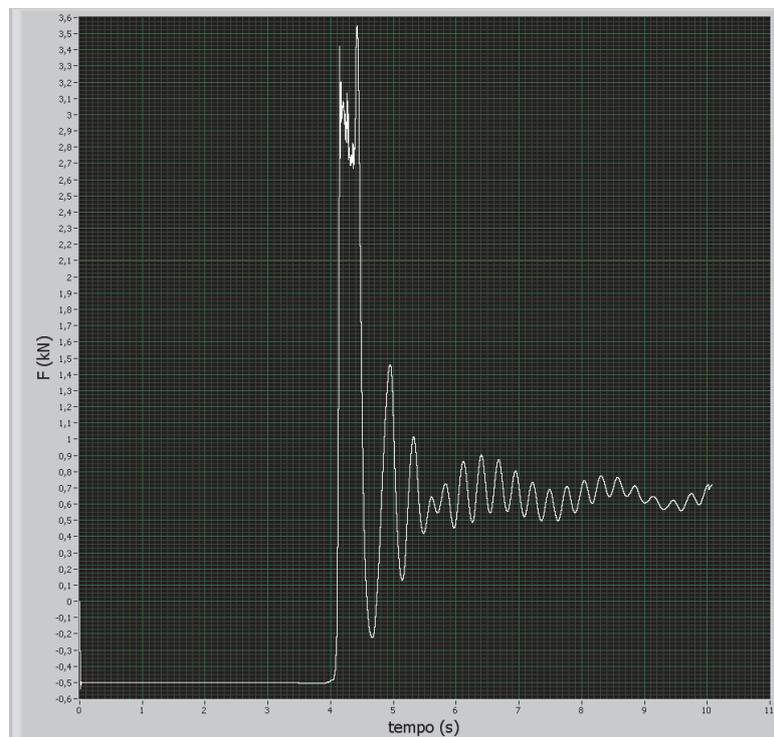


Figura A-292: Prova 120/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

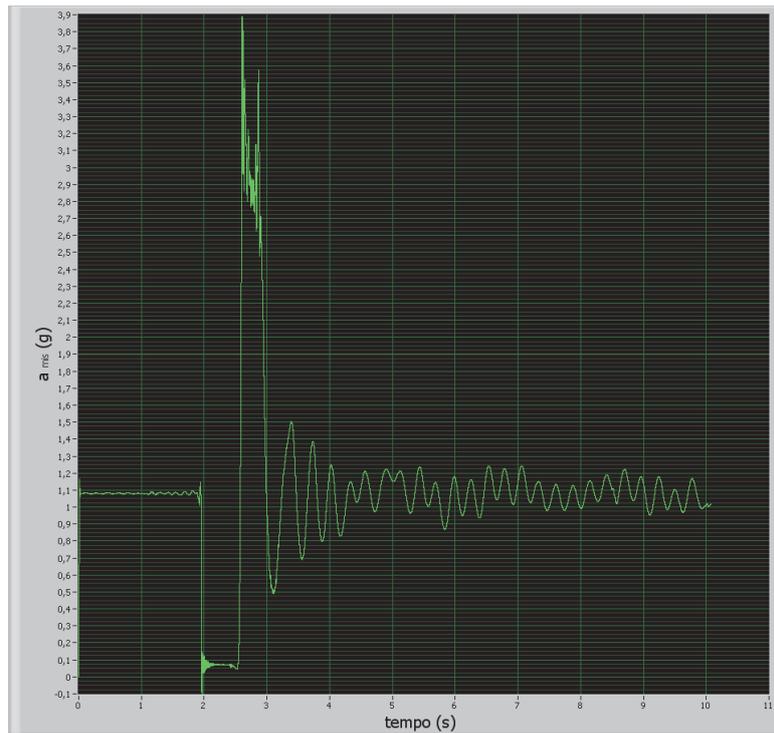


Figura A-293: Prova 120/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

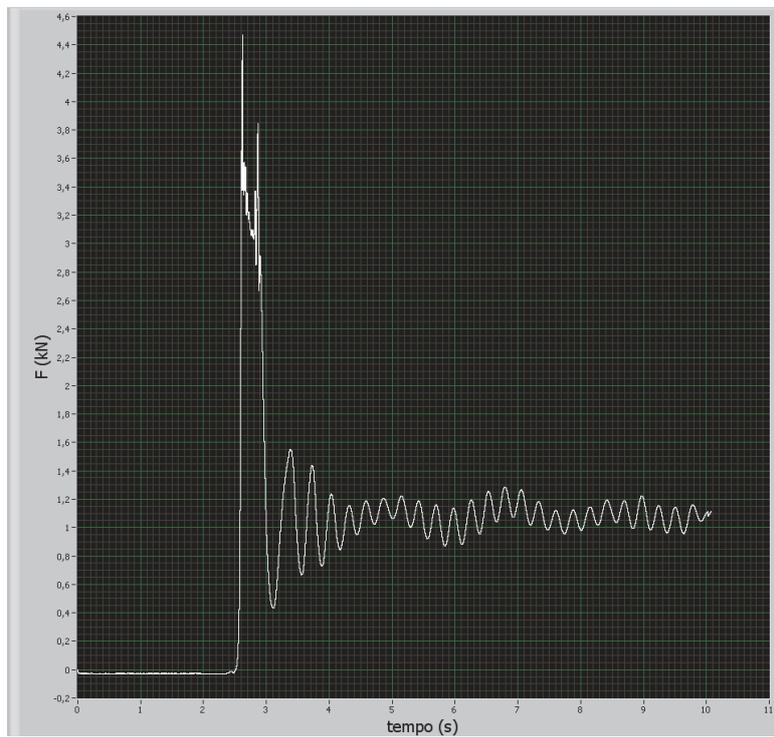


Figura A-294: Prova 120/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

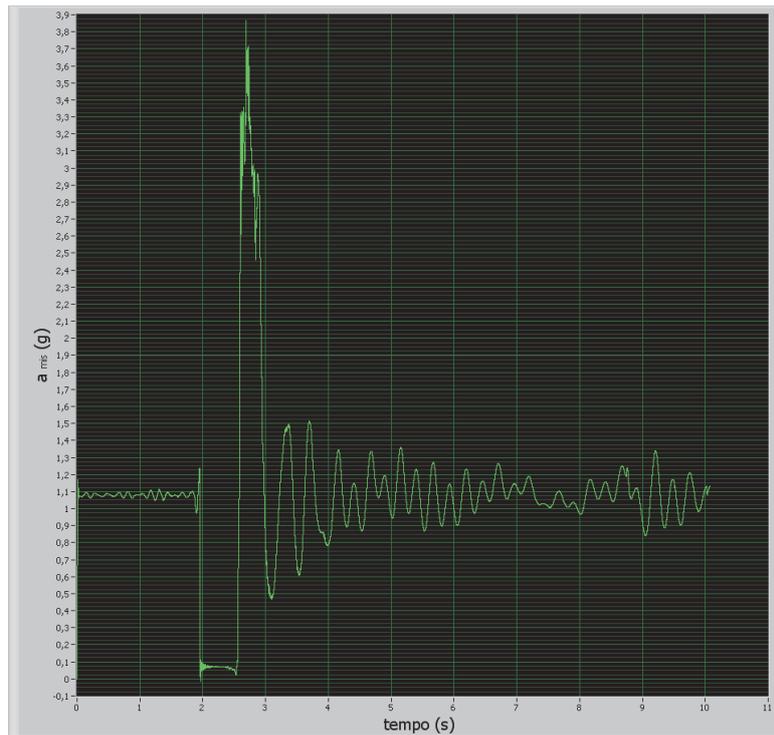


Figura A-295: Prova 120/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

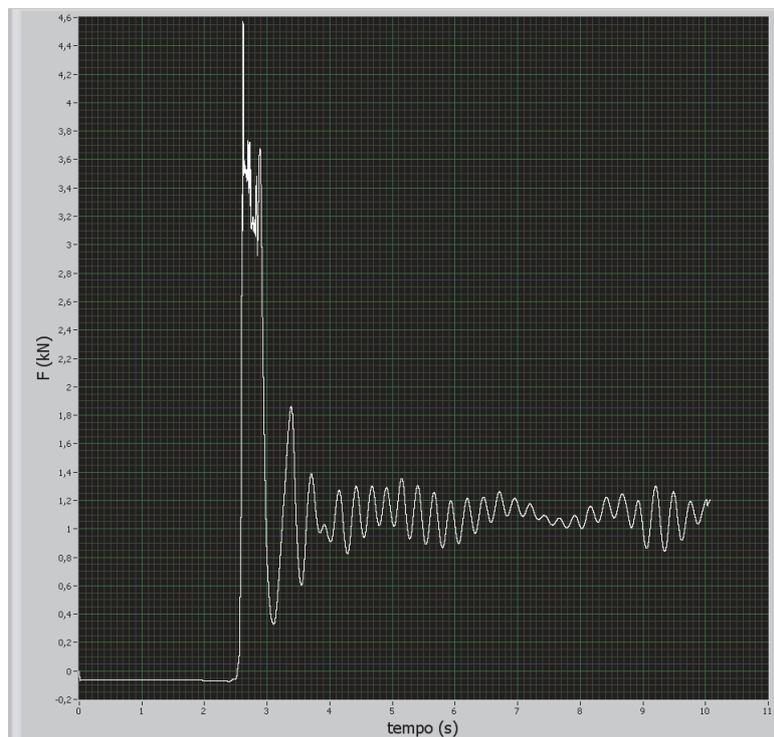


Figura A-296: Prova 120/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

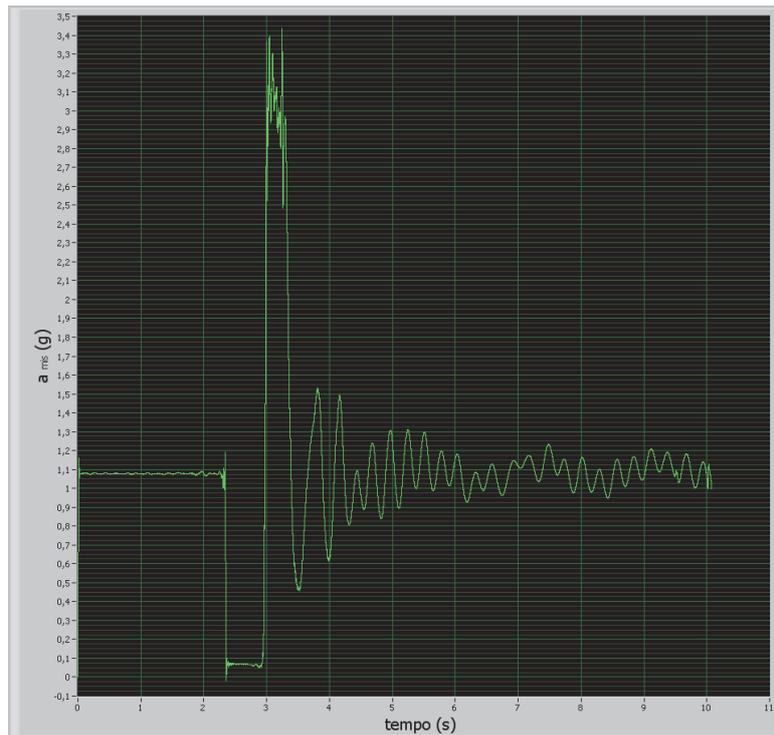


Figura A-297: Prova 120/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

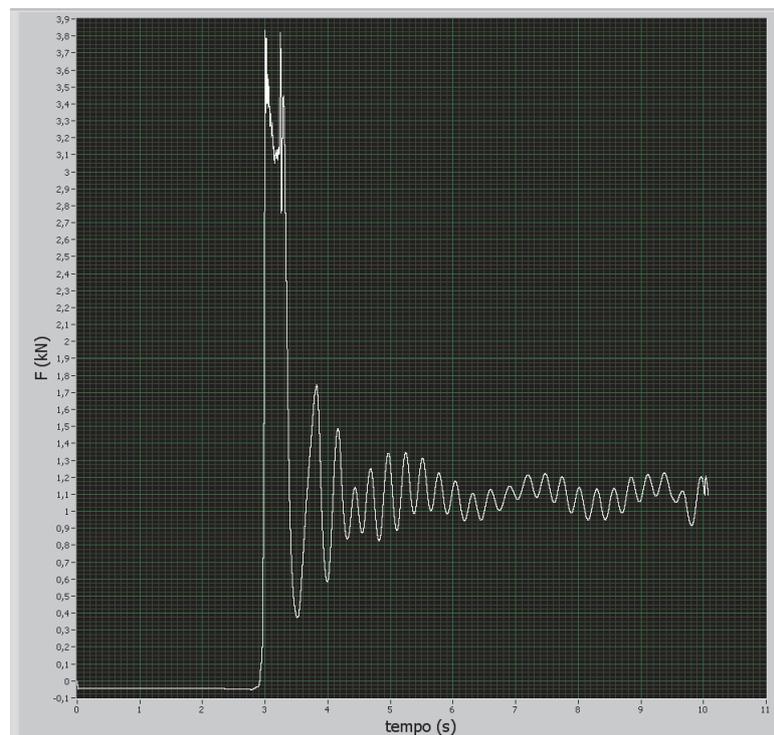


Figura A-298: Prova 120/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

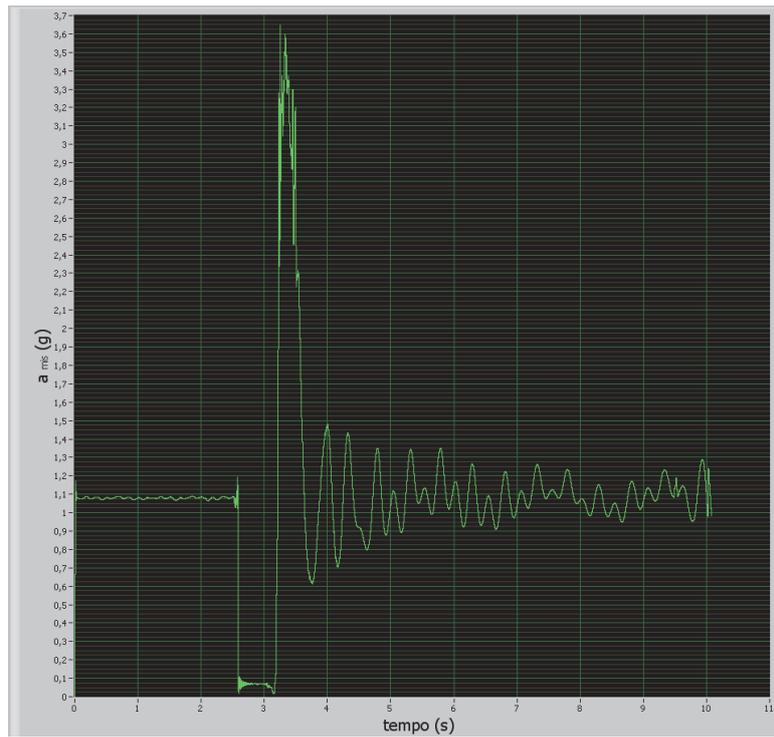


Figura A-299: Prova 120/2 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

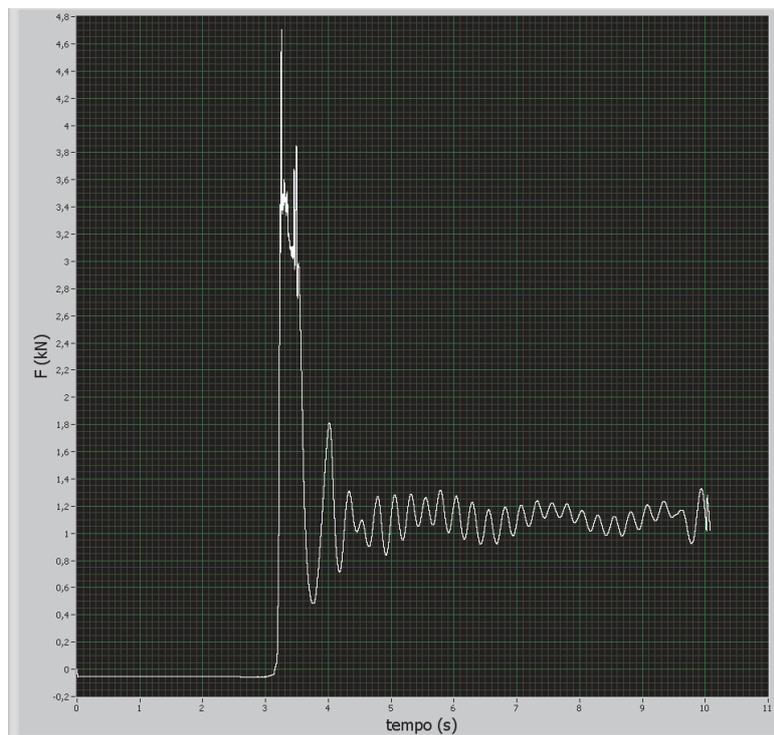


Figura A-300: Prova 120/2 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

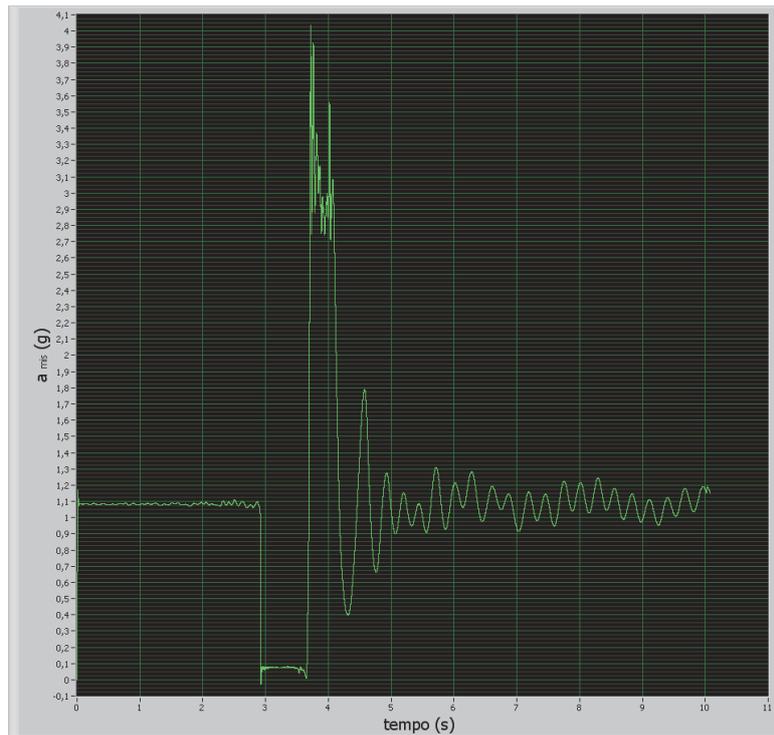


Figura A-301: Prova 120/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

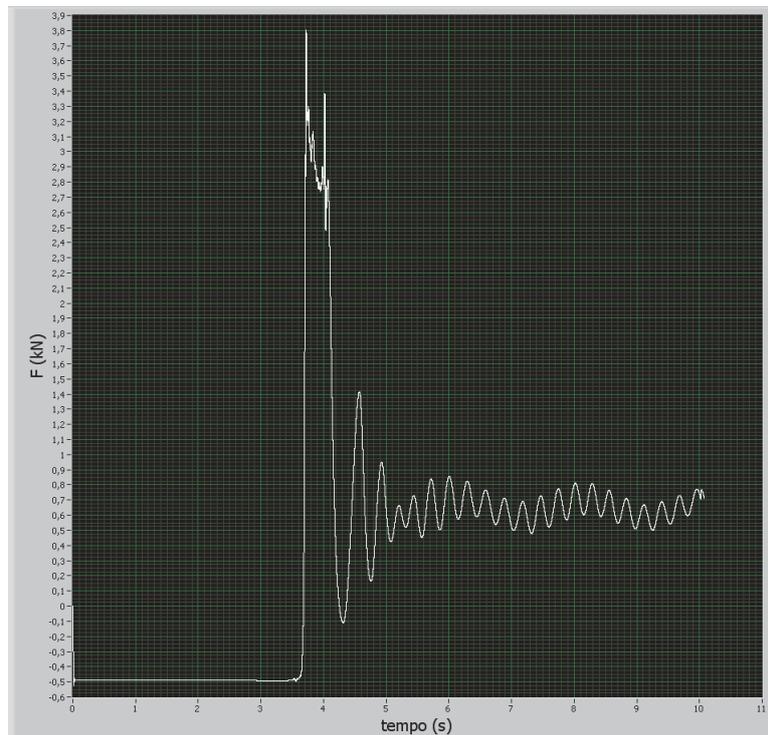


Figura A-302: Prova 120/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

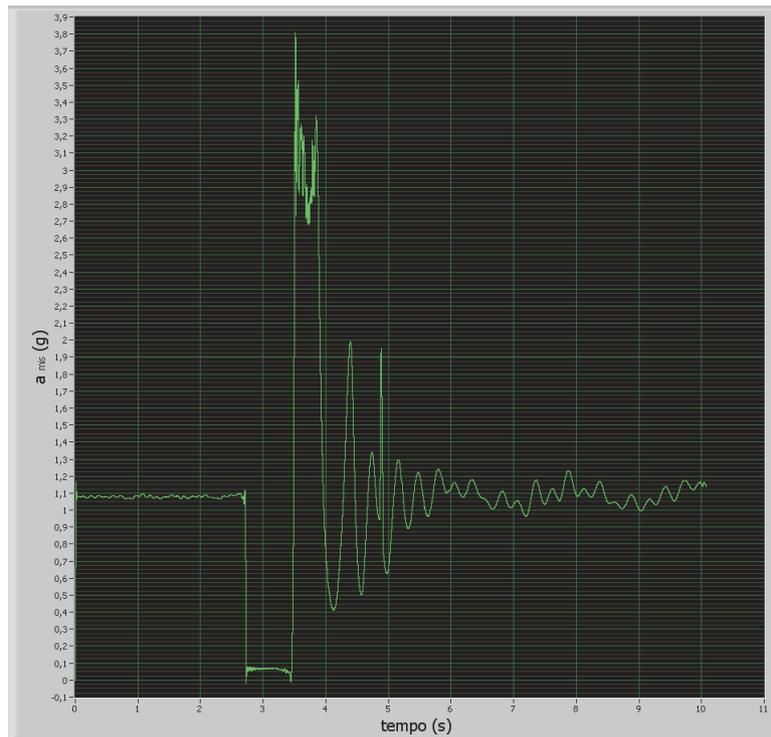


Figura A-303: Prova 120/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

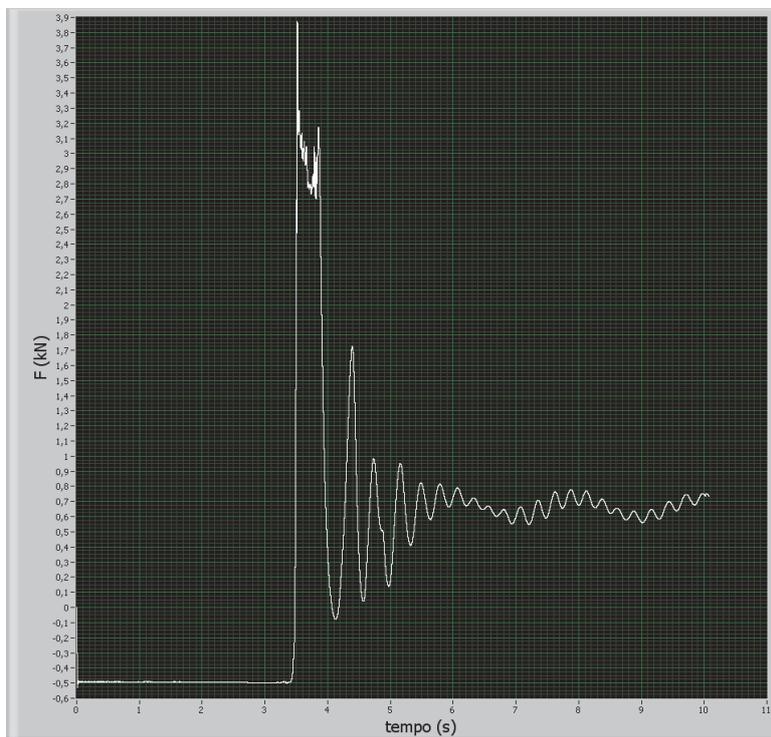


Figura A-304: Prova 120/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

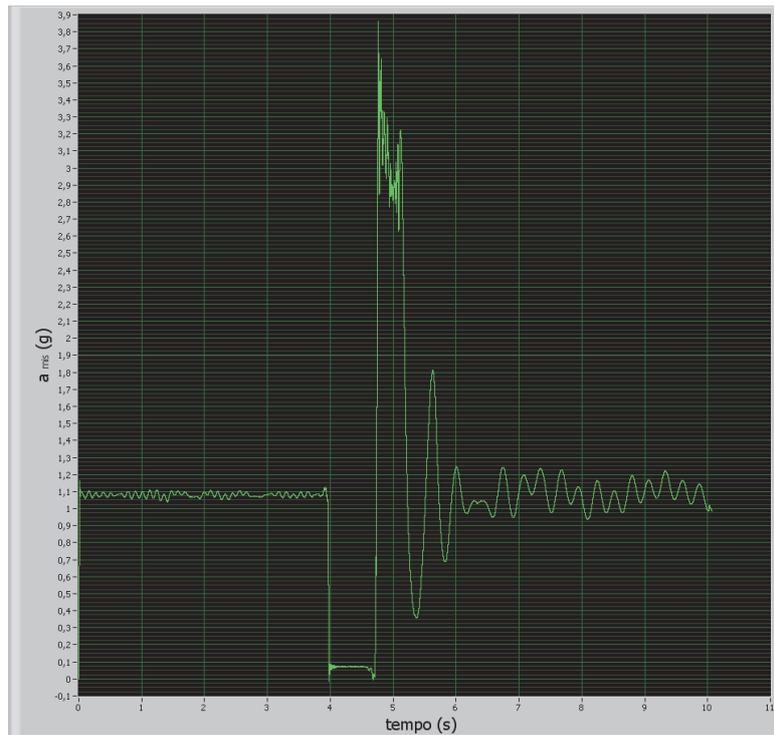


Figura A-305: Prova 120/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

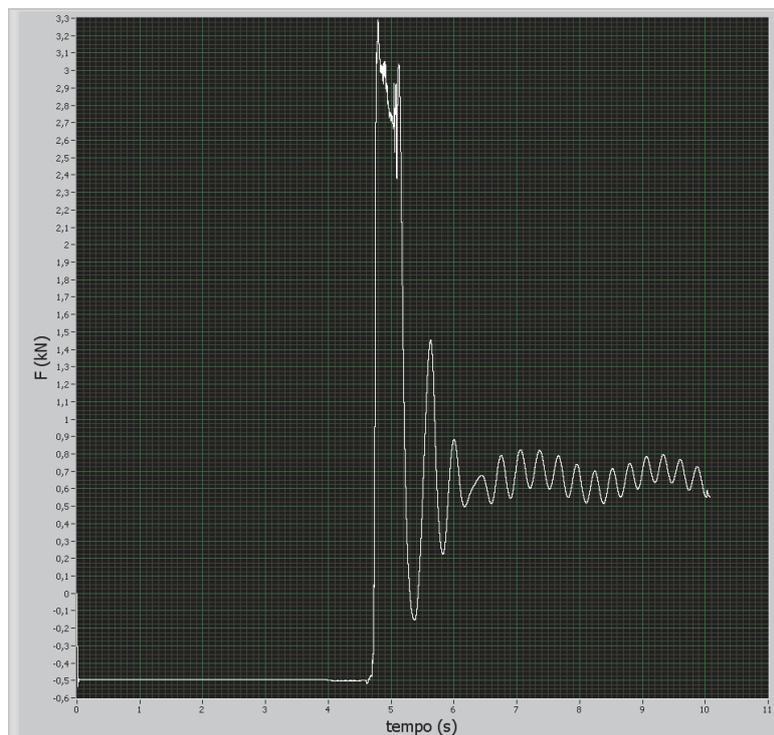


Figura A-306: Prova 120/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

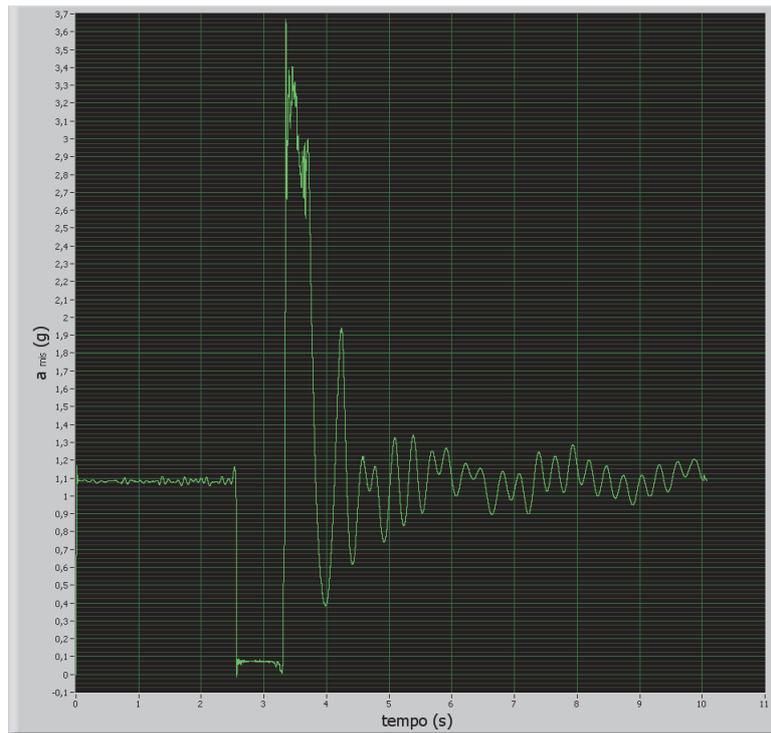


Figura A-307: Prova 120/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

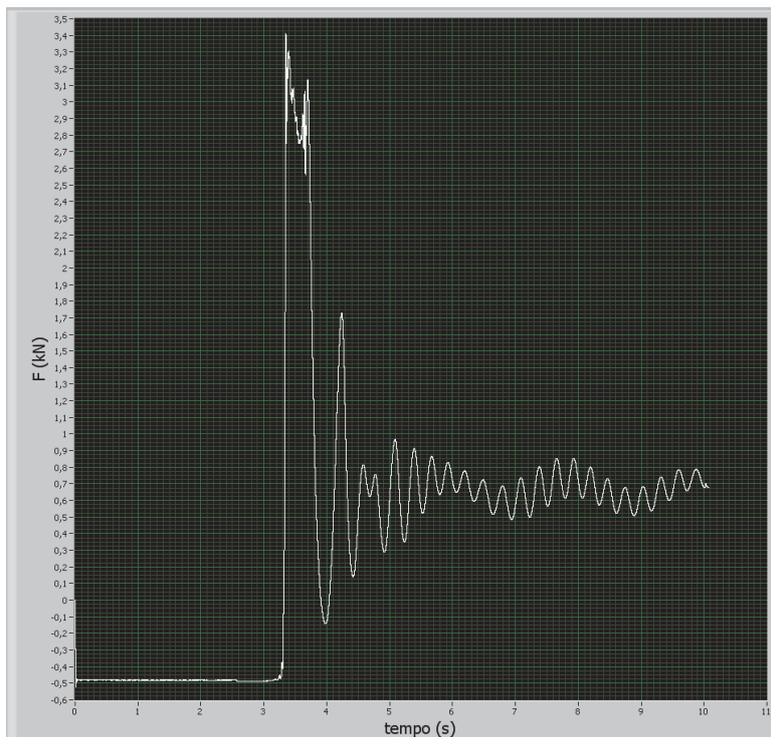


Figura A-308: Prova 120/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

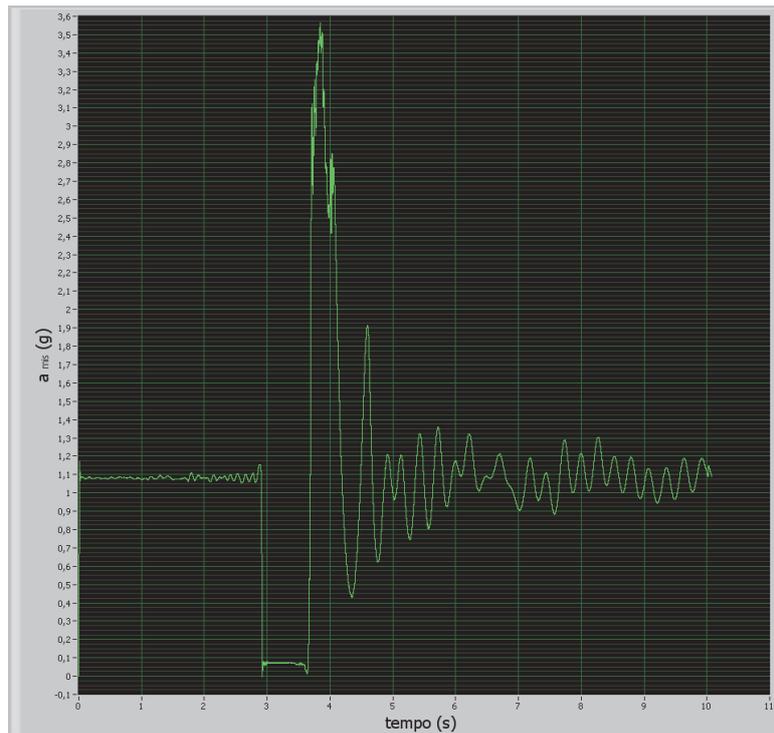


Figura A-309: Prova 120/3 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

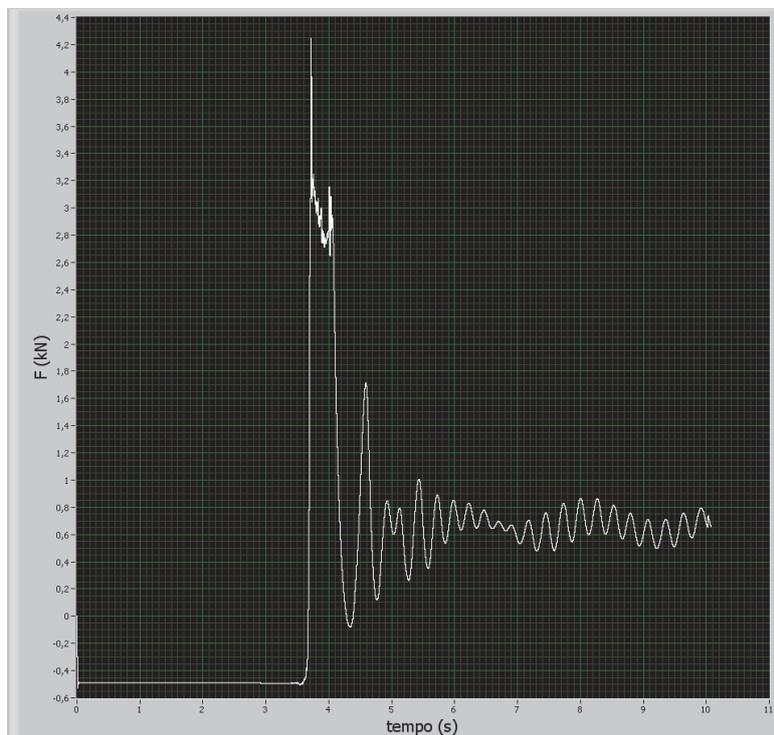


Figura A-310: Prova 120/3 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

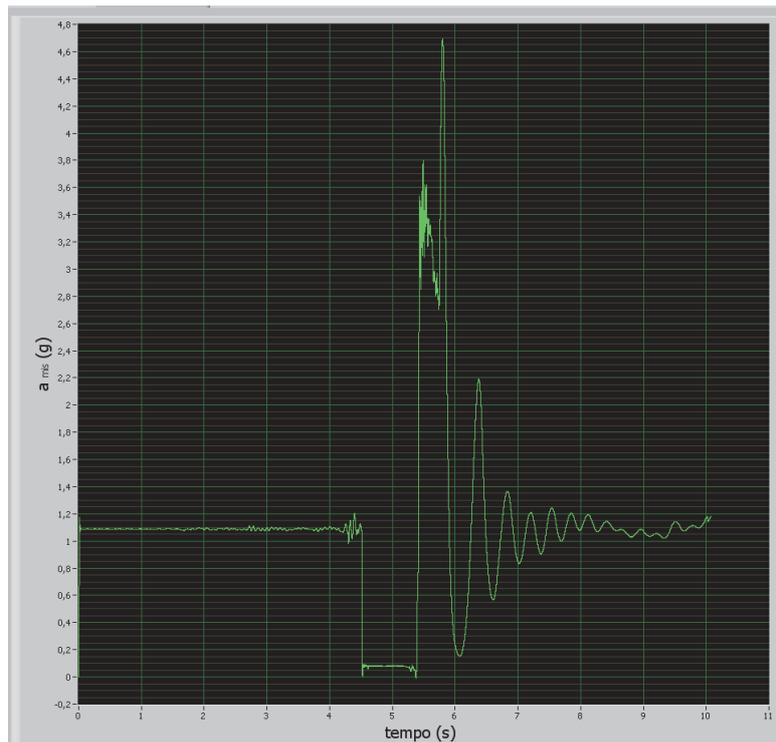


Figura A-311: Prova 120/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

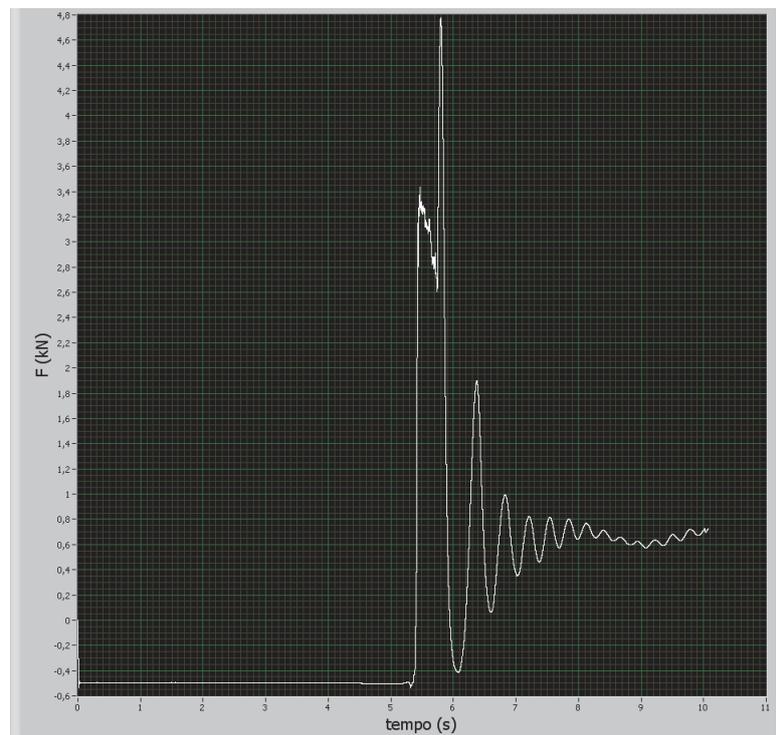


Figura A-312: Prova 120/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

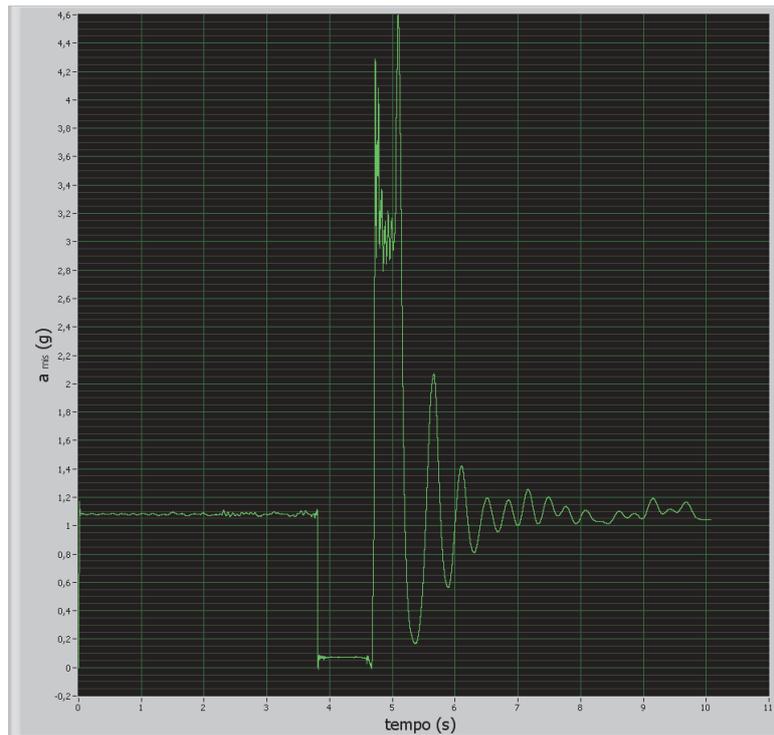


Figura A-313: Prova 120/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

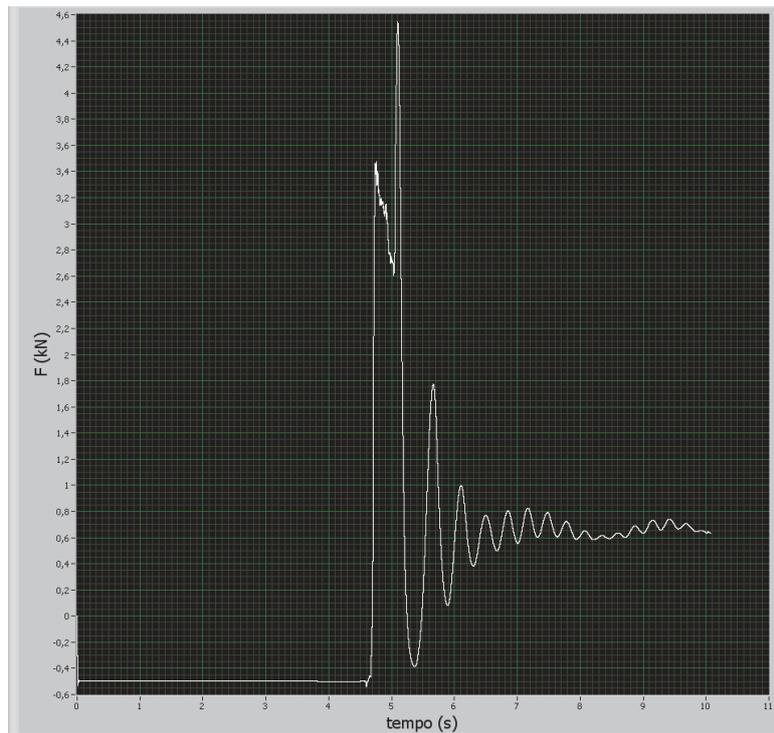


Figura A-314: Prova 120/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

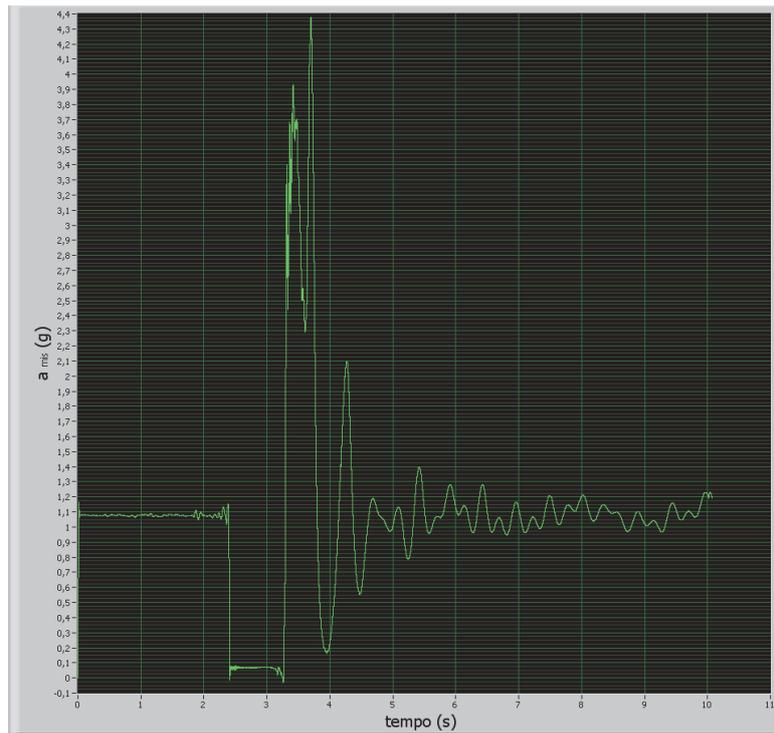


Figura A-315: Prova 120/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

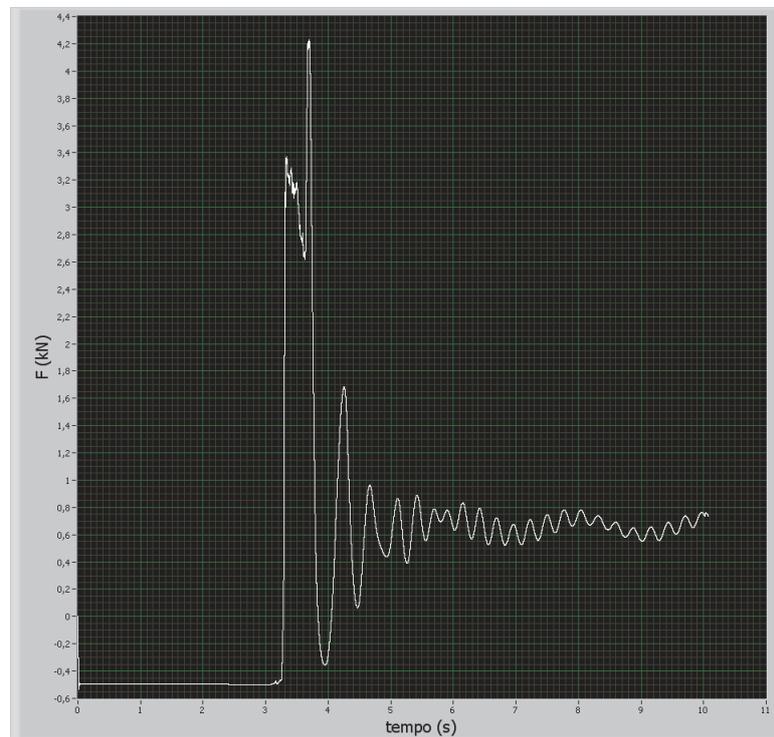


Figura A-316: Prova 120/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

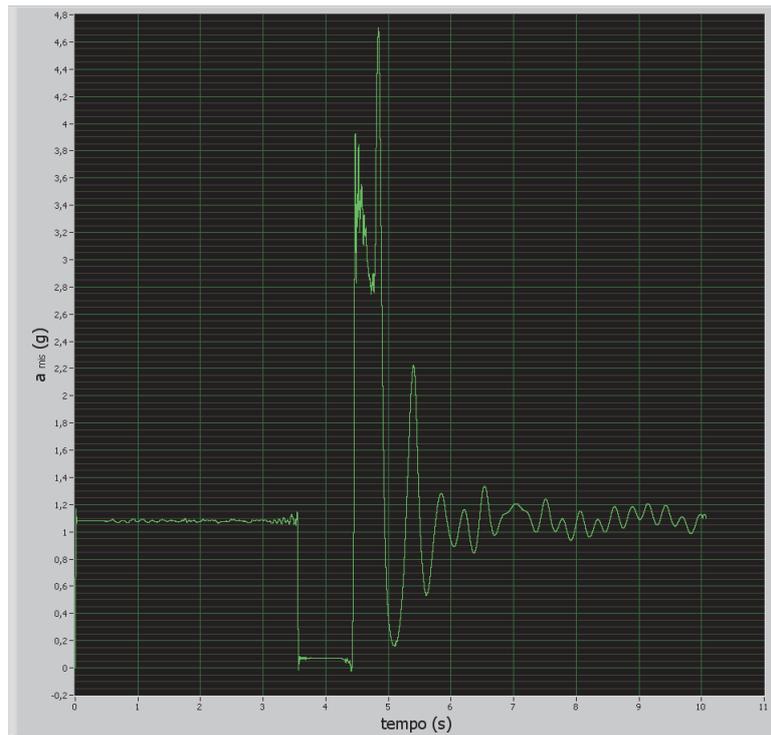


Figura A-317: Prova 120/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

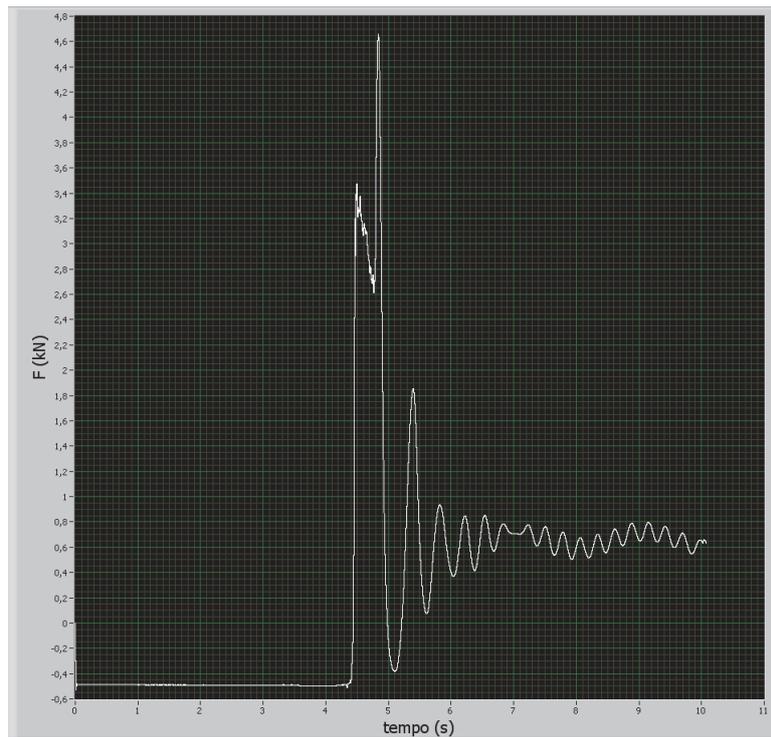


Figura A-318: Prova 120/4 I andamento di F [kN] rispetto al tempo [s]

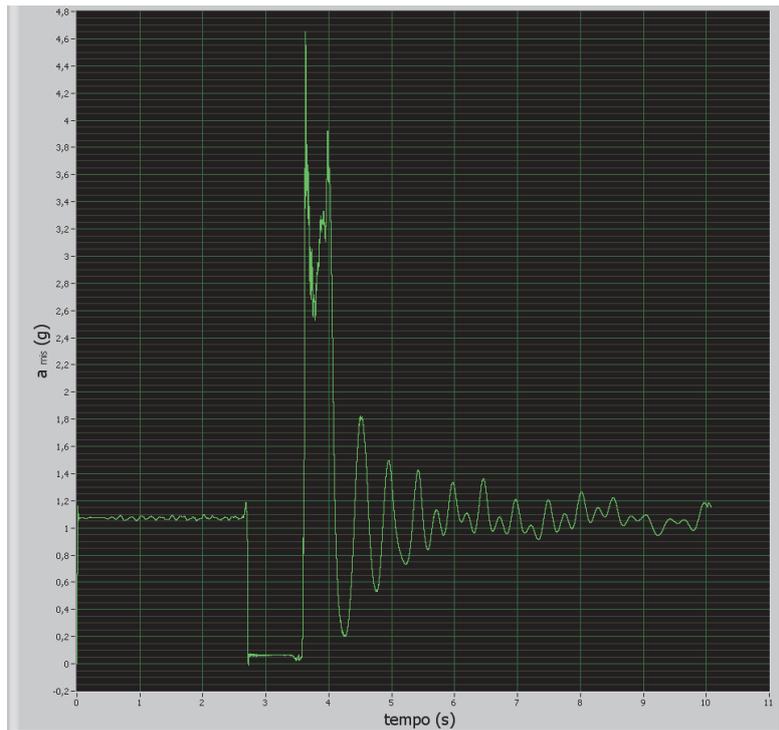


Figura A-319: Prova 120/4 I andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo [s]

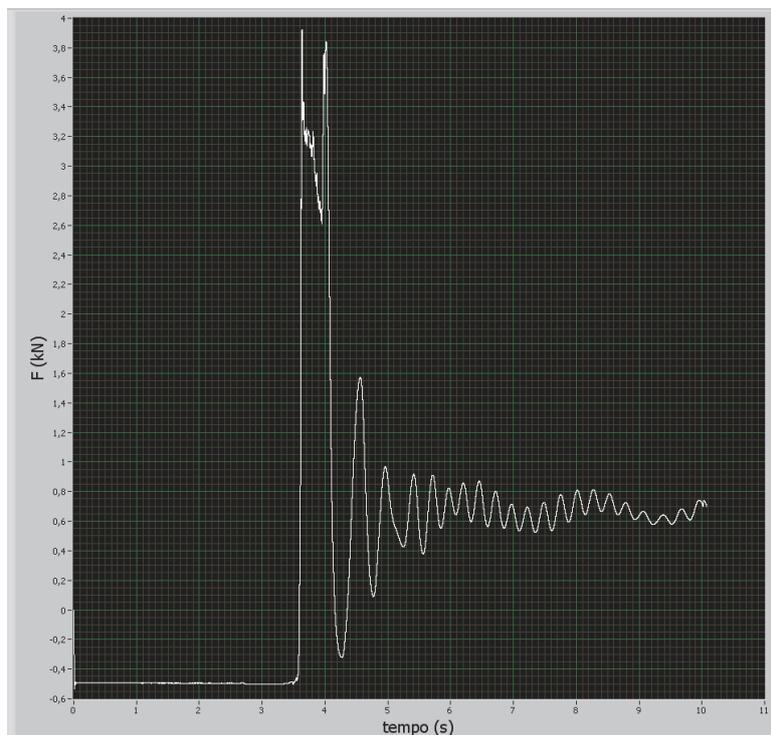


Figura A-320: Prova 120/4 I andamento di  $F$  [kN] rispetto al tempo [s]

## Bibliografia

### **Legislazione**

Regolamento (UE) del Parlamento europeo e del Consiglio 9 marzo 2016, n. 2016/425.

Sui dispositivi di protezione individuale e che abroga la direttiva 89/686/CEE del Consiglio.

D.Lgs. 9 aprile 2008 , n. 81 e s.m.i.

Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro.

### **Norme tecniche italiane**

UNI EN 341: 2011 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Dispositivi di discesa per salvataggio

UNI EN 353/1: 2014 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Dispositivi anticaduta di tipo guidato comprendenti una linea di ancoraggio - Parte 1: Dispositivi anticaduta di tipo guidato comprendenti una linea di ancoraggio rigida.

UNI EN 353/2: 2003 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto – Dispositivi anticaduta di tipo guidato comprendenti un'alinea di ancoraggio flessibile.

UNI EN 354: 2010 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Cordini.

UNI EN 355: 2003 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Assorbitori di energia.

UNI EN 358: 2001 - Dispositivi di protezione individuale per il posizionamento sul lavoro e la prevenzione delle cadute dall'alto - Cinture di posizionamento sul lavoro e di trattenuta e cordini di posizionamento sul lavoro

UNI EN 360: 2003 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Dispositivi anticaduta di tipo retrattile.

UNI EN 361: 2003 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Imbracature per il corpo.

UNI EN 362: 2005 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Connettori.

UNI EN 363: 2008 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Sistemi individuali per la protezione contro le cadute.

UNI EN 364: 1993 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto – Metodi di prova.

UNI EN 365: 2005 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Requisiti generale per le istruzioni per l'uso, la manutenzione, l'ispezione periodica, la riparazione, la marcatura e l'imballaggio.

UNI EN 795: 2012 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Dispositivi di ancoraggio.

UNI EN 813: 2008 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Cinture con cosciali.

UNI EN 1496: 2007 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Dispositivi di sollevamento per salvataggio

UNI EN 1497: 2008 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Imbracature di salvataggio

UNI EN 1498: 2007 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Cinghie di salvataggio

UNI EN 1868: 2000 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Lista dei termini equivalenti

UNI EN 1891: 2001 - Dispositivi di protezione individuale per la prevenzione delle cadute dall'alto - Corde con guaina a basso coefficiente di allungamento

UNI 11158: 2015 "Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Sistemi di protezione individuale dalle cadute - Guida per la selezione e l'uso".

UNI 11560: 2014 "Sistemi di ancoraggio permanenti in copertura - Guida per l'individuazione, la configurazione, l'installazione, l'uso e la manutenzione".

UNI 11578: 2015 "Dispositivi di ancoraggio destinati all'installazione permanente - Requisiti e metodi di prova".

UNI EN 12841: 2007 - Dispositivi individuali per la protezione contro le cadute - Sistemi di accesso con fune - Dispositivi di regolazione della fune

### **Norme tecniche estere**

CSA, Canadian Standards Association, 2015. Z259.11-05 Energy Absorbers and Lanyards.

AS, Standards Australia/NZS, Standards New Zealand, 2007. 1891.1-2007 Industrial Fall-arrest Systems and Devices - Part 1: Harnesses and Ancillary Equipment.

ANSI, American Society of Safety Engineers/ASSE American National Standards Institute, 2007. Z359.1-2007 Safety Requirements for Personal Fall Arrest Systems, Subsystems, and Components.

### **Pubblicazioni**

[1] V. Haines, E. Elton, M. Hussey - Revision of body size criteria in standards - Protecting people who work at height. HSE Report N. 342/2005.

[2] L. Cortis - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto: analisi della dinamica di un corpo di prova in fase di arresto. ISPESL, 2001.

[3] L. Cortis, F. M. Fabiani, C. Ratti, L. Rossi, D. G. Svampa, C. Vitale - Analisi e valutazione del comportamento dell'assorbitore di energia nei sistemi di arresto caduta con differenti masse di prova. INAIL, 2012.

[4] Linea guida per la scelta, l'uso e la manutenzione di dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Sistemi di arresto caduta. Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali - ISPESL, 2004.

[5] A. M. Eiband - Human Tolerance to Rapidly Applied Acceleration. A Summary of the Literature. NASA Memorandum 5-19-59E.

[6] D. Riches - Analysis and Evaluation of Different Types of Test Surrogate Employed in the Dynamic Performance Testing of Fall-Arrest Equipment. HSE Report n. 02/2002.

[7] D. Crawford – Survivable Impact Forces on Human Body Constrained by Full Body Harness. HSE Report n. 09/2003.

[8] L. Cortis, E. Gori, C. Ratti, L. Rossi, C. Vitale - Studio degli effetti dinamici indotti sul corpo umano dall'intervento dei sistemi di arresto caduta. ISPESL, 2005.

[9] Y. M. Goh, P. E.D. Love - Adequacy of personal fall arrest energy absorbers in relation to heavy workers. Safety Science 48/2010.







