

**INAIL**

**Quaderni di ricerca**

*Light workers* e criticità  
dell'assorbitore di energia  
nei sistemi di arresto caduta

Luigi Cortis, Francesca Maria Fabiani, Luca Rossi,  
Davide Geoffrey Svampa

**10**

giugno 2016

**INAIL**  
Quaderni di ricerca

***Light workers e criticità***  
**dell'assorbitore di energia**  
**nei sistemi di arresto caduta**

Luigi Cortis, Francesca Maria Fabiani, Luca Rossi,  
Davide Geoffrey Svampa

numero **10** - giugno 2016

I *Quaderni di ricerca* dell'Inail sono lo strumento a disposizione dei ricercatori e dei ruoli professionali dell'Istituto per rendere pubblici i risultati più rilevanti delle loro attività; accolgono anche contributi di ricercatori esterni, che partecipano ai progetti dell'Inail.

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

I *Quaderni* sono disponibili online all'indirizzo [www.inail.it](http://www.inail.it).

Comitato di redazione: Paolo Bragatto, Massimo De Felice,  
Benedetta Persechino, Patrizio Rossi

Segreteria di redazione: Toni Saracino

INAIL - Piazzale Giulio Pastore, 6 | 00144 Roma

ISBN 978-88-7484-501-9

Stampato presso la Tipografia INAIL - Milano, giugno 2016

## ***Light workers* e criticità dell'assorbitore di energia nei sistemi di arresto caduta:**

Luigi Cortis, Francesca Maria Fabiani, Luca Rossi, Davide Geoffrey Svampa

**Sommario** - L'assorbitore è l'elemento del sistema progettato per dissipare l'energia cinetica sviluppata durante la caduta e permetterne di attenuare gli effetti sul corpo del lavoratore.

L'obiettivo della ricerca - da cui il presente quaderno deriva - è di verificare che, nei test di arresto caduta, impiegando masse di prova differenti, utilizzando uno stesso tipo di assorbitore e fissata una altezza di caduta, variano la decelerazione e la forza frenante.

Ulteriore proposito è quello di valutare la variazione della decelerazione e della forza frenante al variare dell'altezza di caduta in quanto anche quest'ultima, come la massa, influisce su tali grandezze.

L'attività si inserisce in quella descritta nel quaderno di ricerca n. 2 "Analisi e valutazione del comportamento dell'assorbitore di energia nei sistemi di arresto caduta con differenti masse di prova" e ne rappresenta la continuazione. In esso venivano descritti i risultati delle prove eseguite utilizzando tre tipologie di assorbitore con masse da 60 e 80 kg e caduta libera pari a 4, 3, 2 e 1 m. Per le due masse utilizzate, per ogni tipo di assorbitore era stato eseguito 1 test per ogni caduta libera. Nel presente studio, per le stesse cadute libere, sono state effettuate prove sperimentali con torsi di prova di massa pari a 60, 80, 100 e 120 kg. Sono state utilizzate due tipologie di assorbitori (denominate F ed I).

Ogni prova è stata ripetuta cinque volte per complessivi 160 test, descritti attraverso 320 grafici strumentali, di cui nel presente quaderno viene riportato un estratto, e oltre 40 tabelle. Il numero dei test eseguiti ha permesso di effettuare una analisi statistica dei risultati.

È necessario puntualizzare che i test di caduta, per quanto correttamente eseguiti, sono fenomeni estremamente aleatori. Una caduta non è mai uguale all'altra. Effettuare una campagna così vasta permette dunque di determinare una tendenza attraverso la quale interpretare i dati raccolti.

Lo studio evidenzia che sono i *light workers* i lavoratori soggetti al rischio legato al funzionamento dell'assorbitore. Essi infatti sono sottoposti a ridotte cadute frenate e ad elevate accelerazioni 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.

Il presente quaderno fa riferimento al report "Idoneità dell'assorbitore di energia in relazione al peso del lavoratore" (L. Rossi, L. Cortis, F. M. Fabiani, D. G. Svampa, Roma, Inail, 2016), pubblicato sul sito dell'Inail.

Gli autori svolgono la propria attività presso l'Inail nel Dipartimento Innovazioni Tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti ed insediamenti antropici. Si ringraziano Ivano Bevilacqua, Carlo Ratti e Calogero Vitale per la collaborazione. Questo Quaderno fa riferimento ai risultati relativi alla linea di ricerca P24L01 *Determinazione dei requisiti e delle caratteristiche relativi all'utilizzo in sicurezza dei dispositivi di protezione collettiva ed individuale nei lavori in quota* (Responsabile scientifico Luca Rossi) del Dipartimento innovazioni tecnologiche e sicurezza degli impianti, prodotti e insediamenti antropici dell'Inail.



## Indice degli argomenti

Premessa	7
1 Definizioni	8
2 Riferimenti	10
2.1 Cenni storici	10
2.2 Danni sul corpo umano conseguenti all'arresto caduta	10
2.3 UNI EN 355	11
3 Analisi della caduta	12
4 Prove sperimentali	15
4.1 Obiettivi	15
4.2 Disposizione e procedimento di prova	16
4.2.1 Descrizione delle prove	16
4.2.2 Descrizione delle attrezzature e delle apparecchiature di prova	21
4.2.2.1 Torsi di prova	21
4.2.2.2 Sistemi di arresto caduta	23
4.2.2.3 Sistema di misura, acquisizione, registrazione e analisi dei dati	27
4.2.2.4 Struttura metallica rigida	27
4.2.2.5 Sistema di sollevamento e sgancio	27
4.3 Acquisizione dei dati	28
4.3.1 Sistema di acquisizione	28
4.3.2 Convenzioni	29
4.4 Risultati sperimentali	29
4.4.1 Generalità	29
4.4.2 Grafici relativi ad accelerazioni e forze	30
4.4.3 Sintesi dei risultati	40
4.4.4 Parametri statistici	48
4.4.5 Grafici	55
4.4.6 Considerazioni sui risultati	75
4.4.7 Sistemi di arresto caduta e normativa internazionale	77
4.4.8 Esperienze in altri paesi	78
5 Conclusioni	79
Riferimenti Bibliografici	80



**Premessa** - I DPI contro le cadute dall'alto hanno la funzione di salvaguardare la sicurezza delle persone attenuando gli effetti sul corpo umano di una possibile caduta. Essi vanno impiegati quando non è possibile l'utilizzo di altre misure di protezione o dei dispositivi di tipo collettivo.

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: 2003 - Dispositivi di protezione individuale contro le cadute dall'alto - Assorbitori di energia, fornisce le caratteristiche dimensionali e meccaniche che l'assorbitore deve possedere. In essa viene stabilito che la massa di prova, che simula quella di un lavoratore, sia pari a 100 kg e non è previsto che possa variare. Ciò pone un importante problema di sicurezza. Infatti 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 [HEH-005]. Esso può essere diverso dai 100 kg previsti e questo ha determinato l'interesse del CEN/TC 160, il Comitato Tecnico che si interessa dei DPI contro le cadute dall'alto.

Studi teorici effettuati dal Laboratorio cantieri temporanei o mobili del DIT da oltre un decennio [Cor-001], [CGRRV-005], confermati da risultati sperimentali [CERRSV-005], 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, quando viene abbinato ad una massa molto minore di 100 kg, per esempio di 60 kg (*light worker*).

Possono esistere delle situazioni in cui sul corpo di un *light worker* agiscano delle sollecitazioni critiche [CFRRSV-005,56]. Con *light worker* si intende un lavoratore di peso inferiore a 100 kg, in genere compreso tra 60 e 80 kg. L'utilizzo di tale terminologia è necessaria per mettere in risalto le problematiche di questi lavoratori rispetto agli *heavy workers*. Con tale termine si intende un lavoratore di peso superiore a 100 kg, in genere di 120 kg.

L'attenzione della comunità scientifica internazionale si è concentrata spesso sulle problematiche degli *heavy workers*, visto che su di essi agirebbero delle sollecitazioni che potrebbero risultare pericolose.

Ciò è testimoniato da studi effettuati oltreoceano [Goh, Lov-010] nei quali viene stabilito che gli assorbitori di energia oggetto dei test - e prodotti in quei paesi - non sono in grado di garantire che, durante l'arresto di un *heavy worker* (peso compreso tra 120 e 140 kg) nel peggiore scenario di caduta (caduta libera pari a 3,8 m), vengano soddisfatti i due criteri di prova relativi alla massima estensione possibile del dispositivo (pari a 1,75 m) e alla massima forza di arresto (7 kN).

I test di caduta dinamici sono stati condotti sulla base della norma australiana e neozelandese AS/NZS 1891.1: 2007 diversa dalla norma europea UNI EN 355: 2003.

Non è detto che gli assorbitori di energia europei fabbricati secondo la UNI EN 355: 2003 sottoposti agli stessi test diano gli stessi risultati.

Esistono studi inglesi [Cra-003] in cui la problematica dei lavoratori con peso corporeo inferiore a 100 kg veniva già posta. In essi era raccomandato l'utilizzo di assorbitori idonei ai *light workers* già allora non disponibili sul mercato.

Veniva inoltre considerata l'utilità di fornire, da parte dei fabbricanti, indicazioni sui risultati dei test relativamente alle prestazioni effettive degli assorbitori di energia (forza di arresto ed estensione) per poter effettuare una corretta valutazione dei rischi [Cra-003].

Nel presente studio viene dunque considerata la possibilità che il peso del lavoratore possa essere differente dai 100 kg per comprendere come il comportamento dell'assorbitore possa variare, soprattutto in relazione ai *light workers*.

## 1 Definizioni

### *Accelerazione*

Variatione 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 verti-

cale 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 fin dagli anni 50 con il DPR 547/55 e il DPR 164/56 per arrivare fino ai giorni nostri al DLgs 81/08 e alle legislazioni regionali che disciplinano la sicurezza sulle coperture [CFRRSV-005,9].

### **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) sviluppate principalmente tra gli anni 1950 e 1960 e successivamente esaminati da un gruppo di lavoro del CEN [CFRRSV-005,13].

Nel Regno Unito i test sulle prestazioni sulle cinture di sicurezza industriali e sulle imbracature venivano eseguiti sulla base della BS 1397 la cui prima versione era del 1947. Fino al 1979 essi riguardavano la resistenza statica e dinamica, per garantire l'integrità strutturale delle imbracature, al fine di proteggere il lavoratore dalla caduta. Non c'era alcun obbligo di verificare la forza di arresto. Dopo il 1970 ci fu accesso alle informazioni derivanti dagli studi militari e aerospaziali. Nel Regno Unito la fonte di tali indicazioni è stato il RAF Institute of Aviation Medicine. La versione della BS 1397 del 1979 riflette questa crescente disponibilità delle informazioni testimoniata nella specifica di prova della stessa in cui erano previsti 10 g massimi per le cinture su palo, 5 g massimi per le cinture di sicurezza e le imbracature del torace e 10 g per le cinture di sicurezza di uso generale. Tutti questi test, previsti dalla versione 1979, venivano effettuati con un manichino antropo-

metrico articolato di 100 kg in cui era previsto il limite di 10 kN sulla forza arresto durante il test con caduta di 2 m. È interessante notare che solo le imbracature per il corpo venivano considerate idonee per le situazioni in cui c'era rischio di caduta [Cra-003,8].

Con il Trattato di Roma del 1975, la creazione della Comunità europea (in seguito Unione Europea) e l'obbligo per la rimozione delle barriere commerciali, fu creato il CEN. Nel corso del 1980 si formarono gruppi di lavoro con l'obiettivo di razionalizzare le varie norme nazionali. Lo scopo era quello di facilitare il lavoro dei comitati tecnici del CEN e la formulazione di norme condivise che soddisfacessero le Direttive Europee. In quel momento stavano diventando più accessibili i lavori di Stapp [Sta-961], Eiband [Eib-959] ed altri attraverso fonti della NASA e della NATO [Cra-003,11]. Alcuni di questi lavori furono messi a disposizione del gruppo di lavoro del CEN che si occupava di protezione anticaduta. Il risultato fu l'aumento dell'altezza complessiva di caduta da 2 a 4 m con il conseguente incremento della durata dell'esposizione (in Francia nel 1980 erano stati adottati 6 g, attraverso standard AFNOR, con cordino di 2 m e fattore di caduta due). Ciò fu accettato dal CEN/TC 160 ed i 6 kN adottati come massima forza di arresto per i dispositivi anticaduta con imbracature per il corpo [Cra-003,12].

I requisiti previsti dalla Occupational Safety and Health Authority (OSHA) degli Stati Uniti dall'American National Standards Institute ANSI Z359 e dal Ministero del Lavoro Canadese dell'Ontario prevedono 1,8 m (6 piedi) per la protezione anticaduta con fattore di caduta pari a 1. Tutti e tre permettono una forza massima arresto di 8 kN. Il test di prestazioni dinamiche OSHA-richiesto per un cordino con assorbitore di energia utilizza una massa di 100 kg. La caduta libera è 1,8 m (6 piedi) e la massima estensione è 1,07 m (3,5 piedi). I requisiti della ANSI Z359 sono molto simili: massa di prova di 100 kg, caduta libera con altezza di 1,829 m (6 piedi) e massima estensione di 1,067 m (42 pollici).

I requisiti della norma CSA (Canadian Standards Association) Z259.11-05 sono per la classe E4 massa di 100 kg, caduta libera è 1,8 m e massima estensione di 1,2 mentre per la E6 massa di 160 kg, caduta libera è di 1,8 m e massima estensione di 1,75 m.

Lo standard AS (Standards Australia)/NZS (Standards New Zealand) 1891.1-2007 prevede: massa di 100 kg, caduta libera è di 3,8 m e massima estensione di 1,75.

### 2.3 UNI EN 355

Fin dal momento dell'adozione delle norme EN, nel 1993, si è osservato che la forza di arresto - con assorbitori di energia, dispositivi retrattili o dispositivi anticaduta di tipo guidato - era un po' al di sotto dei 6 kN. La maggior parte degli assorbitori di energia prodotti funzionano da 4 a 4,5 kN circa.

Nella figura 2.3-1 [Cra-003,13] vengono confrontati dati derivanti dai modelli testati nel Regno Unito con le norme CEN e ISO. In essa sono mostrati anche i valori consentiti dalle norme statunitensi e canadesi ed i dati derivanti dalle analisi di Eiband e Stapp.

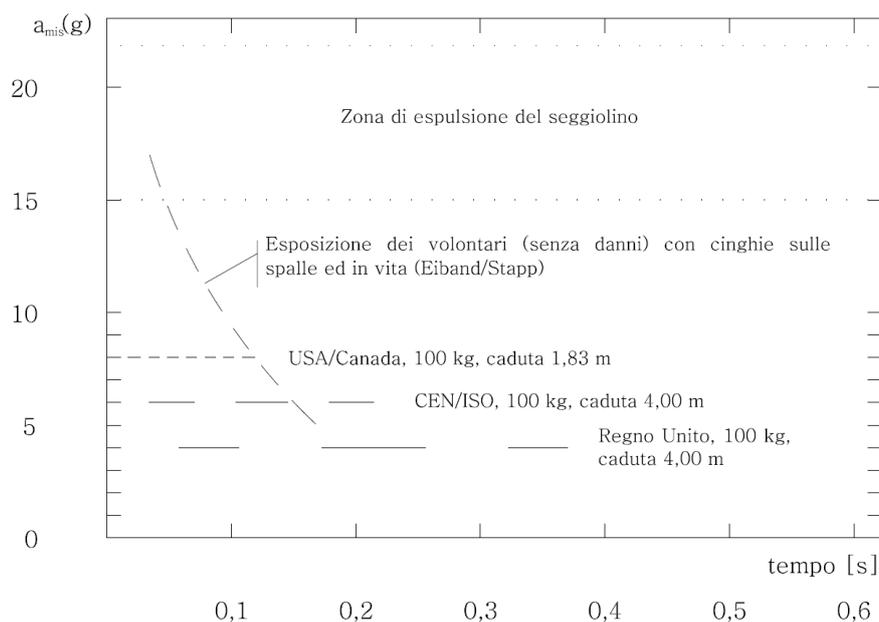


Figura 2.3-1 Confronto fra le forze di arresto previste nelle norme con dati di Eiband e Stapp [Cra-003,13]

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. Nel corso della prova sperimentale eseguita facendo cadere una massa di acciaio rigido di 100 kg o un torso di prova di 100 kg di massa, da una altezza tale che la caduta libera  $h_{cl}$  sia pari a 4 m, la forza frenante  $F_{max}$  non deve essere maggiore di 6 kN e la distanza di arresto  $H$  deve essere minore di  $(2Lt + 1,75 \text{ m})$ , con  $Lt$  lunghezza totale dell'assorbitore di energia compreso il cordino.

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 per una caduta libera di 4m: la forza frenante  $F_{max}$  e la caduta totale  $H$ , data dalla somma della caduta libera  $h_{cl}$  e della caduta frenata  $h_f$ .

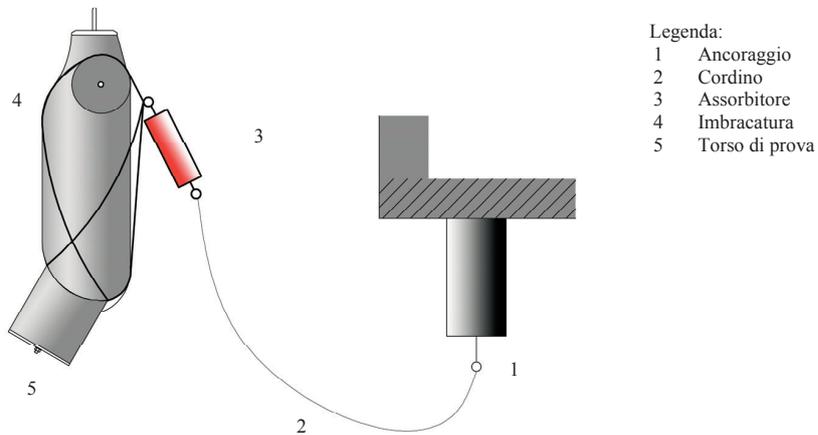
### 3 Analisi della caduta

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.

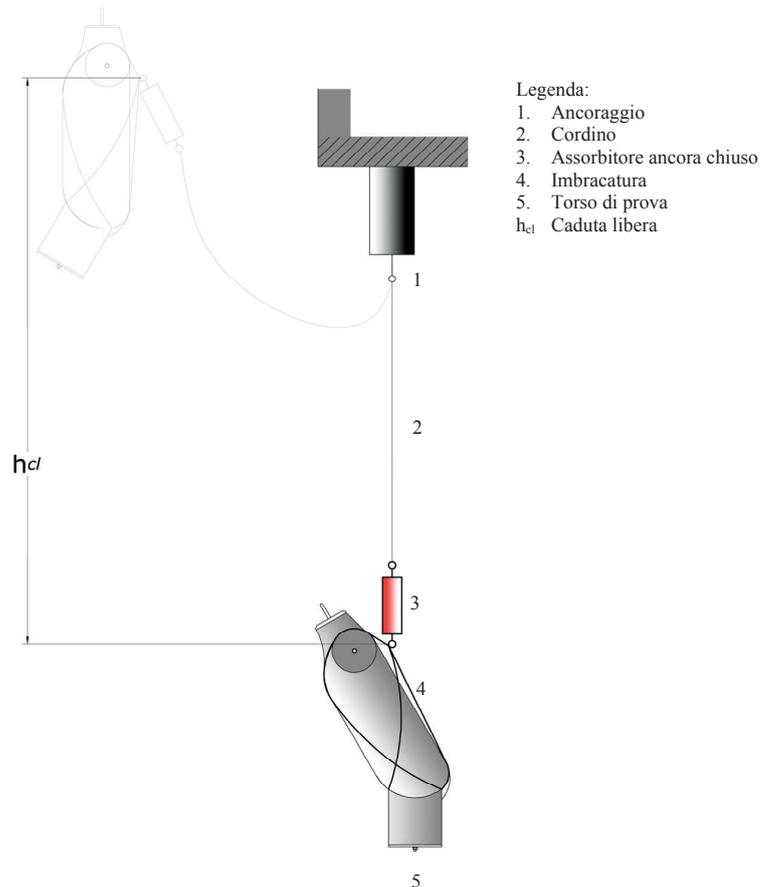
*Fase 1: corpo in posizione di riposo in quota.*

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 dell'altezza della caduta libera.



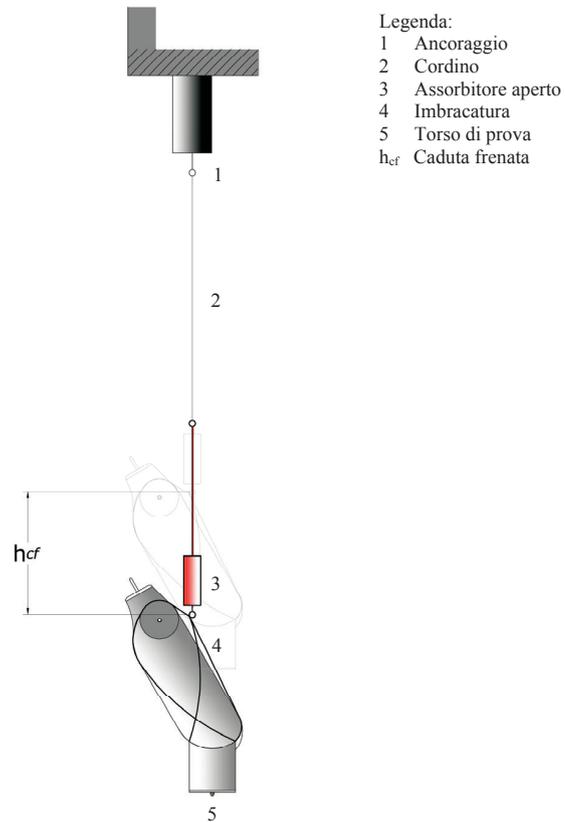
*Fase 2: corpo in caduta libera.*

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  $h_{cl}$ .



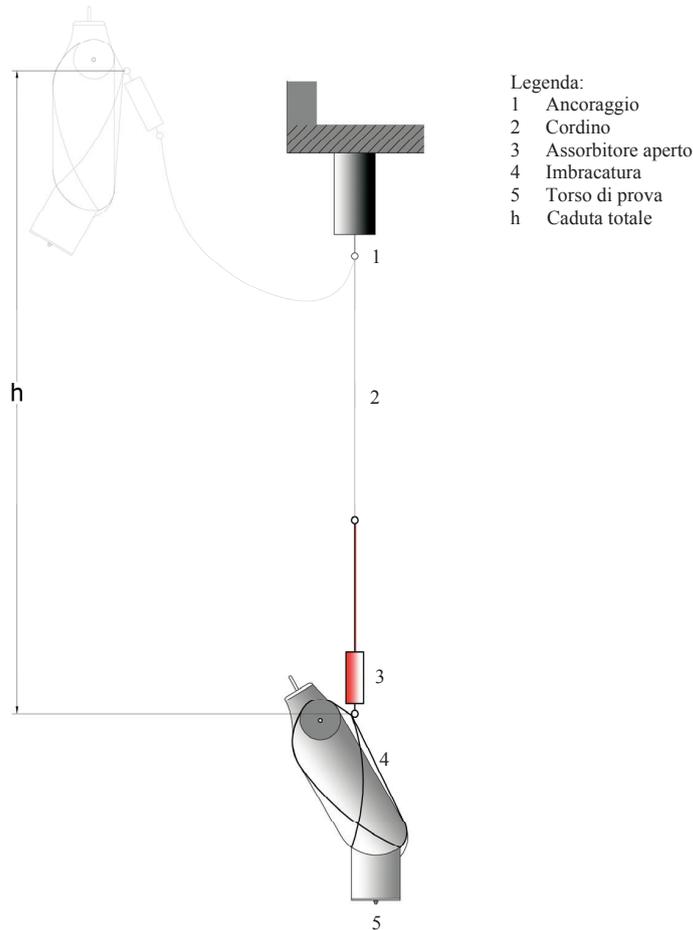
*Fase 3: corpo in caduta frenata.*

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  $h = h_d + h_{cf}$  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 altezza di caduta, 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  $1$  m). 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 altezze di caduta 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. 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.

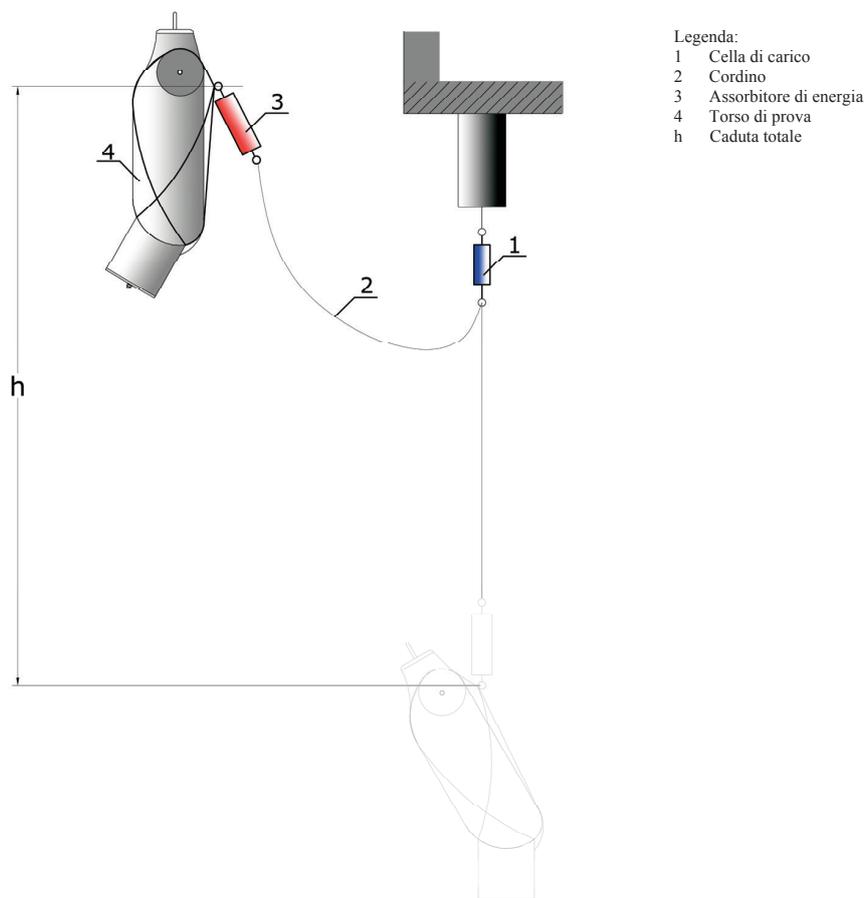


Figura 4.2.1-1 Caratteristiche del sistema



Figura 4.2.1-2 Vista posteriore del torso di prova

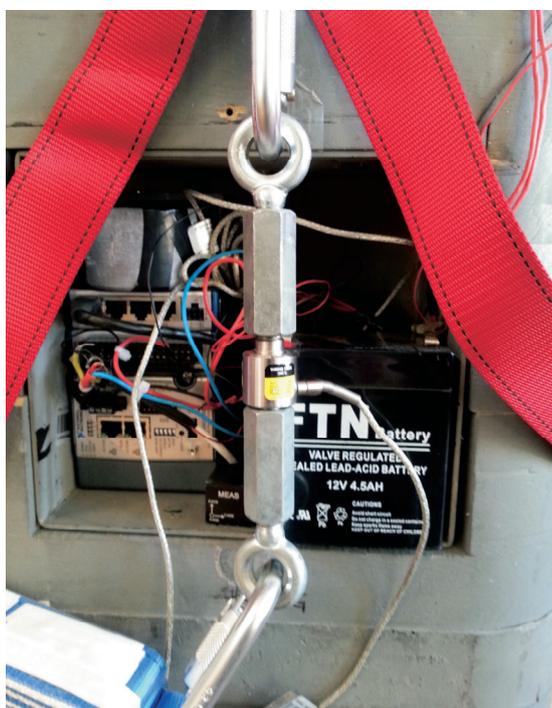


Figura 4.2.1-3 Vista posteriore del torso di prova (particolare)



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 e dunque la caduta frenata  $h_f$ .

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.

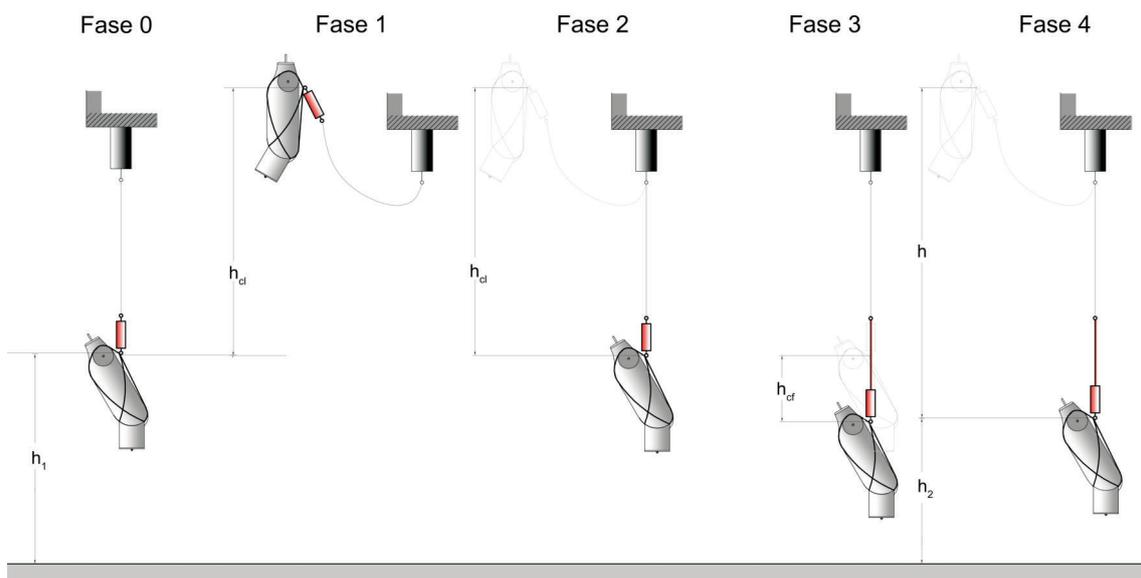


Figura 4.2.1-5 - Fasi di prova



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)

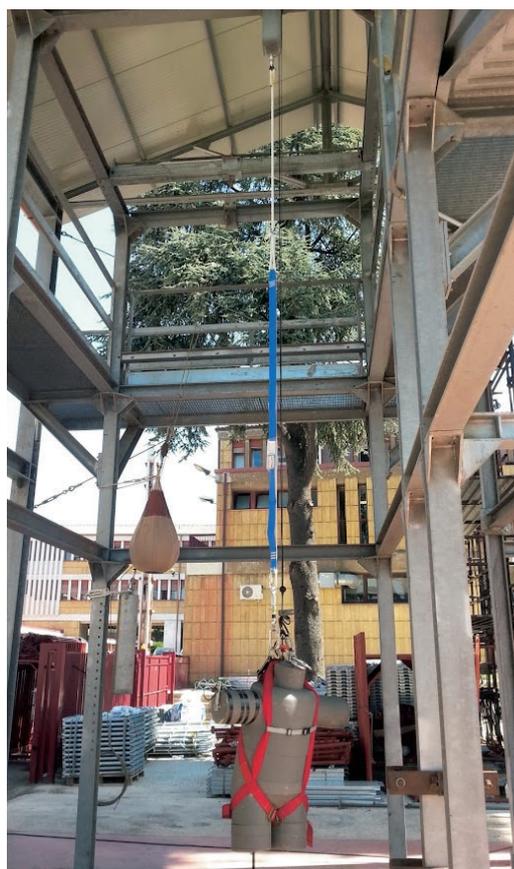


Figura 4.2.1-9 Posizione finale (Fase 4 - si noti l'assorbitore svolto)

#### 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.

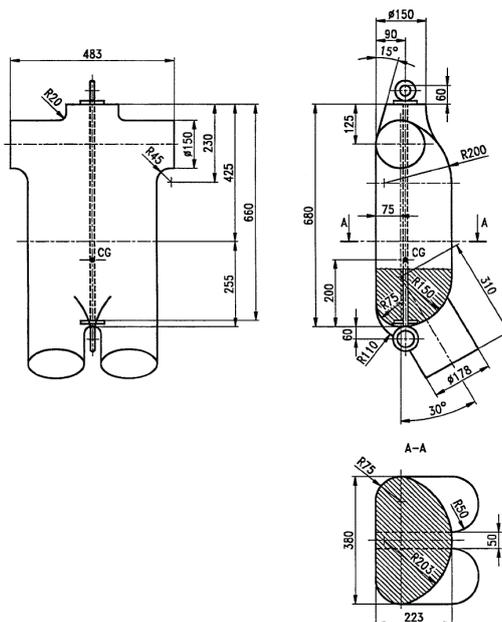


Figura 4.2.2.1-1 Torso di prova (dimensioni tratte dalla UNI EN 364)

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

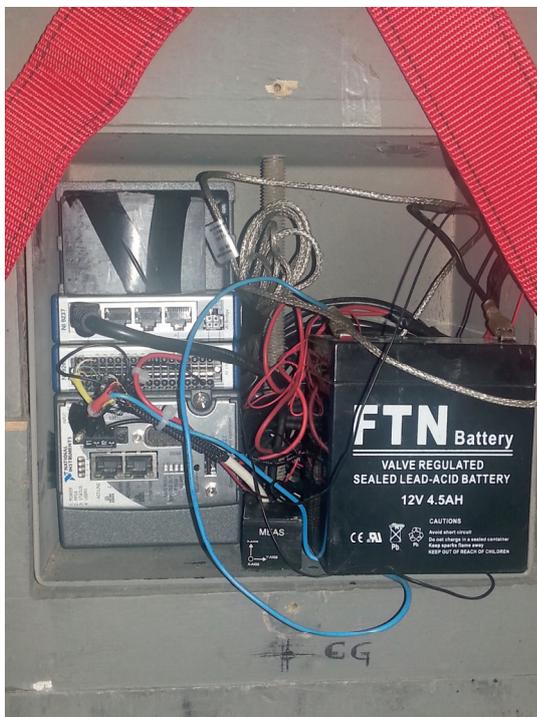


Figura 4.2.2.1-2 Sistema di registrazione

#### 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).

In entrambi i sistemi di arresto caduta, del fabbricante *F* e *I*, la lunghezza del sistema di collegamento è pari a m 1,85.

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 ideato allo scopo, denominato "Leggi prova", per la lettura e l'elaborazione.

### 4.3.2 Convenzioni

Le convenzioni utilizzate per descrivere le accelerazioni sono mostrate nella Figura 4.3.2-1 ed evidenziate nella tabella seguente:

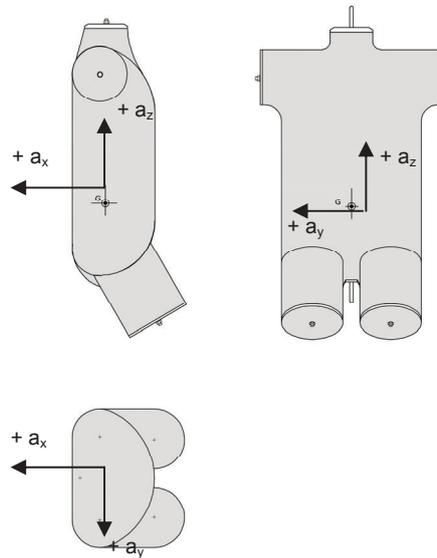


Figura 4.3.2-1 Convenzione utilizzata per descrivere le accelerazioni (convenzione centro del corpo)

Tabella 4.3.2-2. Descrizione 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

## 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 ( $h_d = 4, 3, 2, 1$  m) e per tutte le masse (60, 80, 100, 120 kg). Ogni prova è stata ripetuta 5 volte. La massima caduta libera raggiungibile dal sistema di sollevamento è stata pari a 3,75 m. Per tale motivo  $h_d = 4$  m è un valore nominale e indicato con  $h_d = 4 (3,75)$  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:  $a_{mis,max}$  (g);
- il valore della forza frenante, espressa in kN, quale picco del grafico della forza misurata:  $F_{max}$  (kN);
- il valore della caduta frenata  $h_{cf}$ .

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 libera e tipo di sistema di arresto caduta utilizzato, vengono riportati al paragrafo 4.4.3, con indicazione della forza frenante  $F_{max}$ , della massima accelerazione raggiunta  $a_{mis,max}$  e della caduta frenata  $h_{cf}$ .

Al paragrafo 4.4.4 vengono determinati alcuni parametri statistici.

Al paragrafo 4.4.5 vengono rappresentati graficamente i valori di  $F_{max}$ , di  $a_{mis,max}$  e di  $h_{cf}$  al variare della massa  $m$  e della caduta libera  $h_{cl}$ .

#### 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  $a_{mis}$  (g), espressa in unità g. Il picco dell'accelerazione (decelerazione) misurata viene indicata con  $a_{mis,max}$ .

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  $F_{max}$  (kN) è il picco della curva ( $F-t$ ).

Per semplicità di trattazione, per entrambi i sistema di arresto caduta utilizzati ( $F$  e  $I$ ), vengono di seguito riportati solamente i grafici relativi ai test effettuati con massa pari a 100 kg, alle diverse cadute libere  $h_{cl}$  pari a 1m, 2m, 3m e 4m.

Con evidente significato dei simboli, i test vengono denominati con 100/F/1m, 100/F/2m, 100/F/3m, 100/F/4m, 100/I/1m, 100/I/2m, 100/I/3m e 100/I/4m.

I dati relativi a tutti i test effettuati, per ogni massa, caduta libera 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  $a_{mis,max}$  e il valore della forza frenante  $F_{max}$ ;
- $P_3$ , 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  $a_{mis}(\text{g})$  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  $a_{mis} = 0g$  in  $P_1$  e in  $P_3$ ,  $a_{mis,max}$  in  $P_2$  e  $a_{mis} = 1g$  in  $P_4$ .
- Oltre  $P_4$ , il torso è in equilibrio dopo l'arresto ed appeso al sistema di collegamento. L'accelerazione misurata risulta  $a_{mis} = 1g$ .

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  $F_{max}$  ( $P_2$ ) 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).

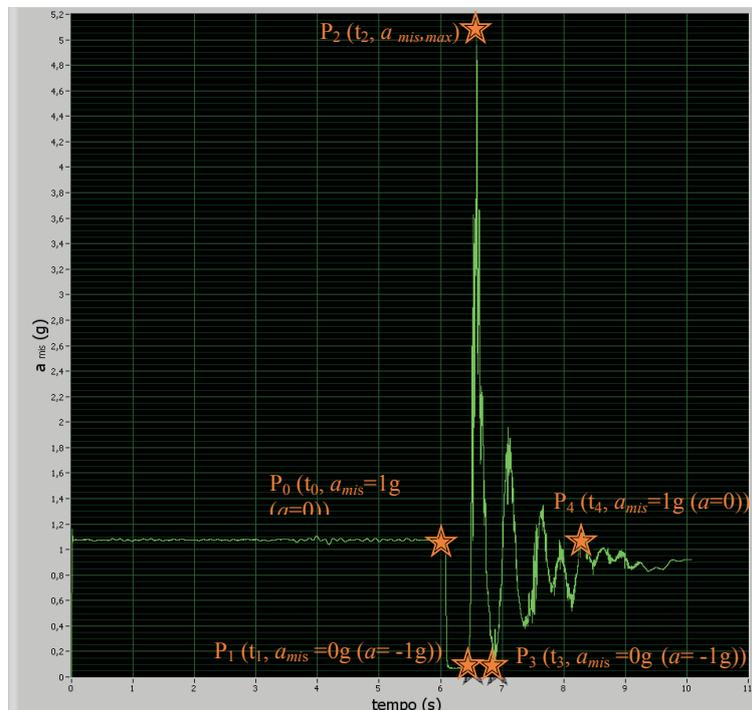


Figura 4.4.2-1: Andamento di  $a_{mis}$  (g) - indicazione dei punti significativi del fenomeno

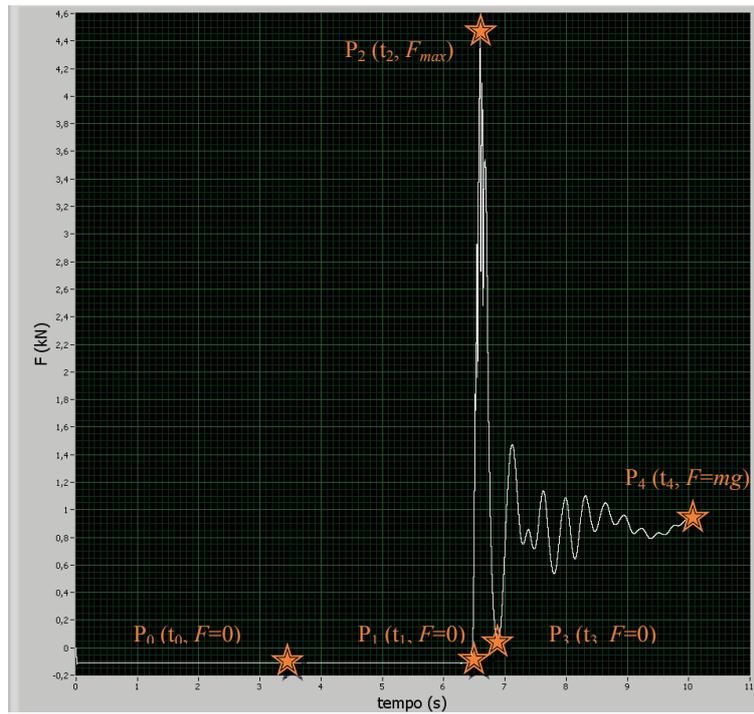


Figura 4.4.2-2: Andamento di  $F$  (kN) - indicazione dei punti significativi del fenomeno

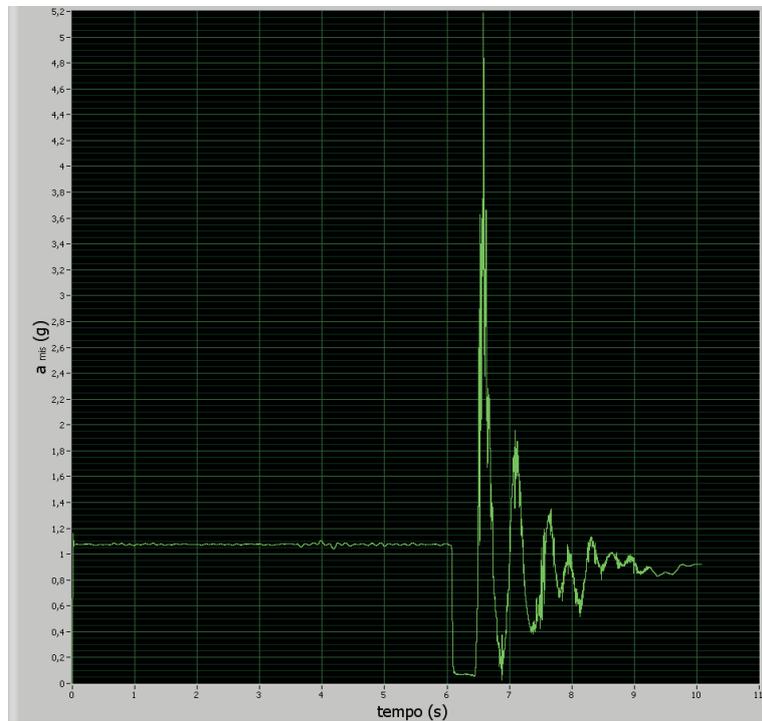


Figura 4.4.2-3: Prova 100/F/1m andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo  $t$  (s)

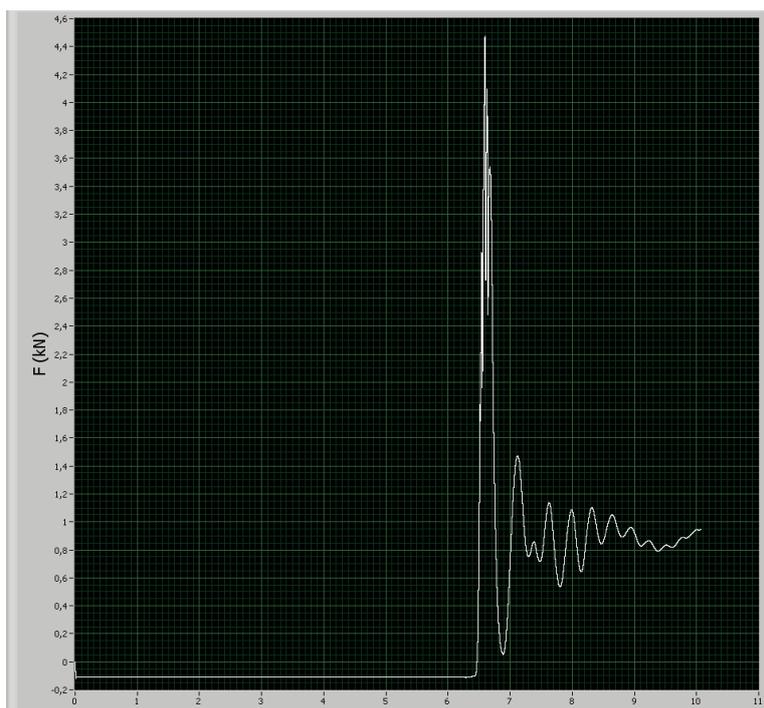


Figura 4.4.2-4: Prova 100/F/1m andamento di  $F$  (kN) rispetto al tempo  $t$  (s)

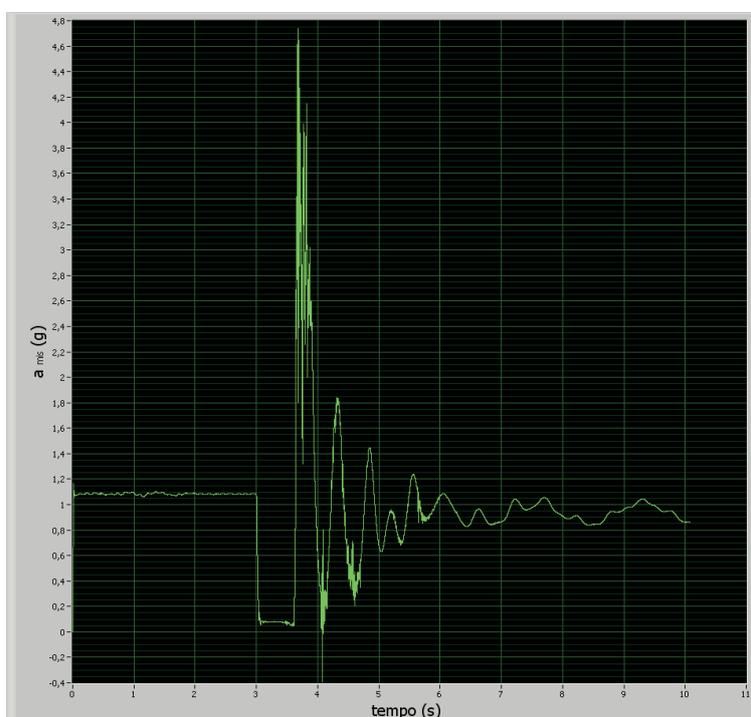


Figura 4.4.2-5: Prova 100/F/2m andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo  $t$  (s)

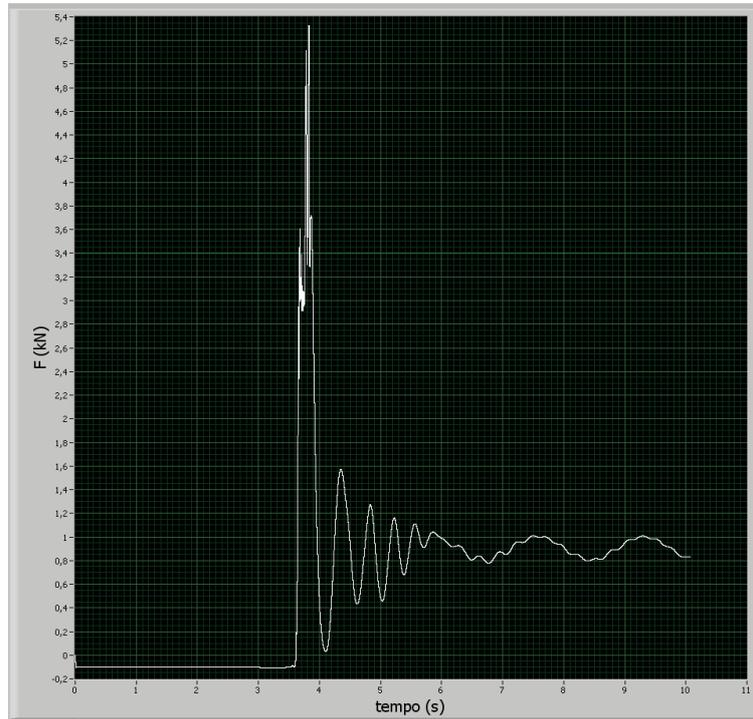


Figura 4.4.2-6: Prova 100/F/2m andamento di  $F$  (kN) rispetto al tempo  $t$  (s)

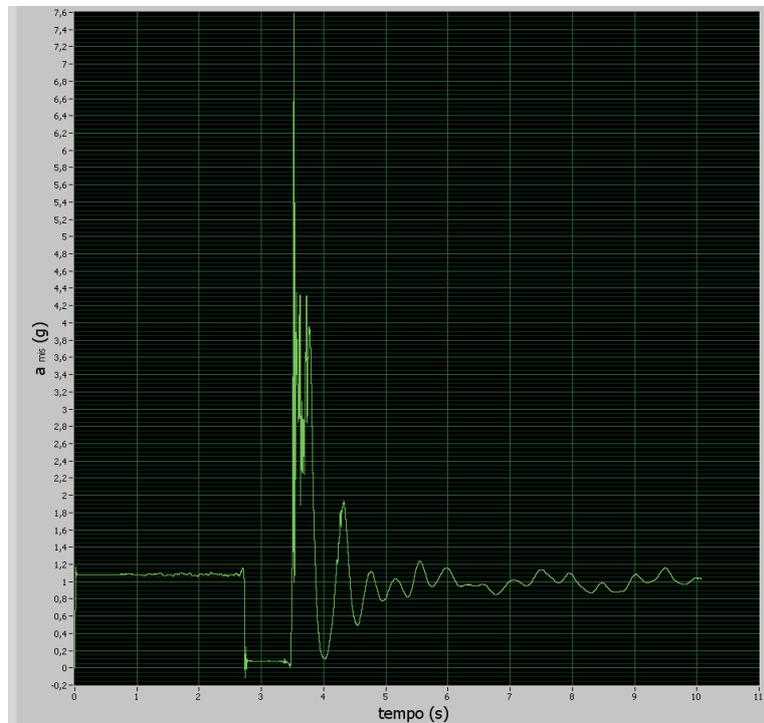


Figura 4.4.2-7: Prova 100/F/3m andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo  $t$  (s)

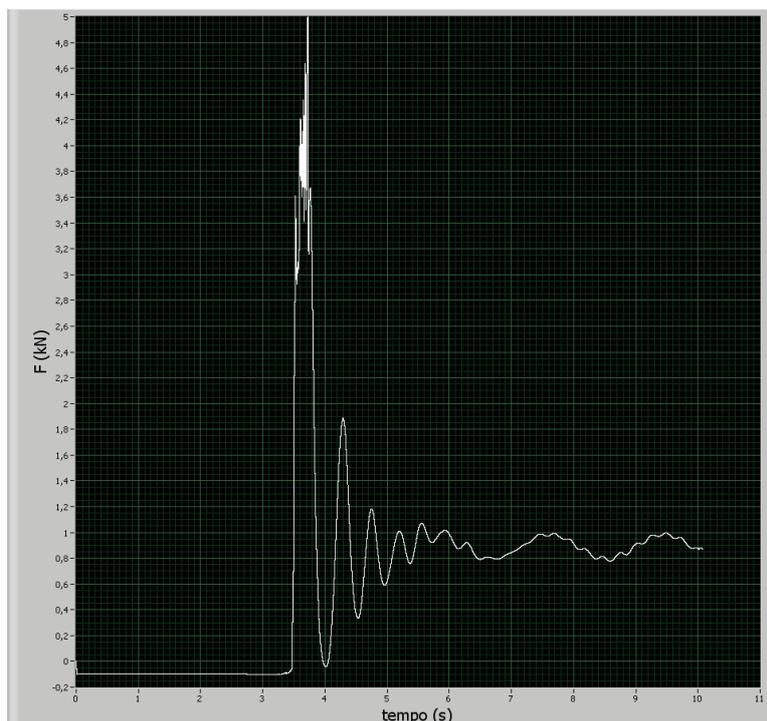


Figura 4.4.2-8: Prova 100/F/3m andamento di  $F$  (kN) rispetto al tempo  $t$  (s)

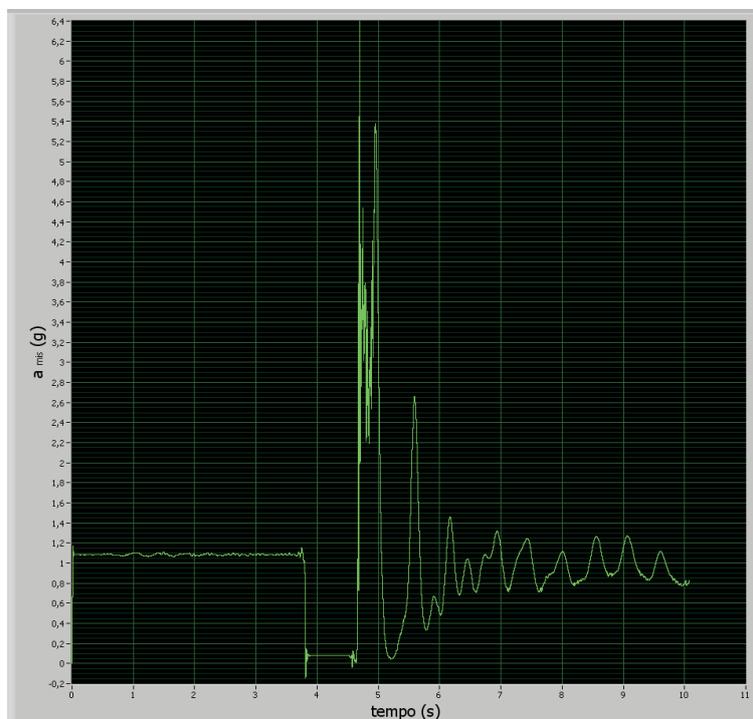


Figura 4.4.2-9: Prova 100/F/4m andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo  $t$  (s)

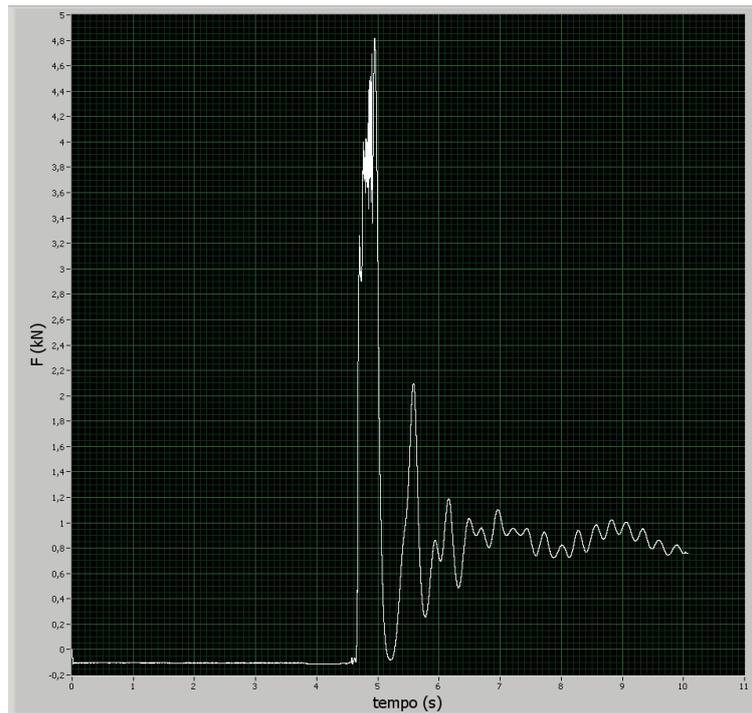


Figura 4.4.2-10: Prova 100/F/4m andamento di  $F$  (kN) rispetto al tempo  $t$  (s)

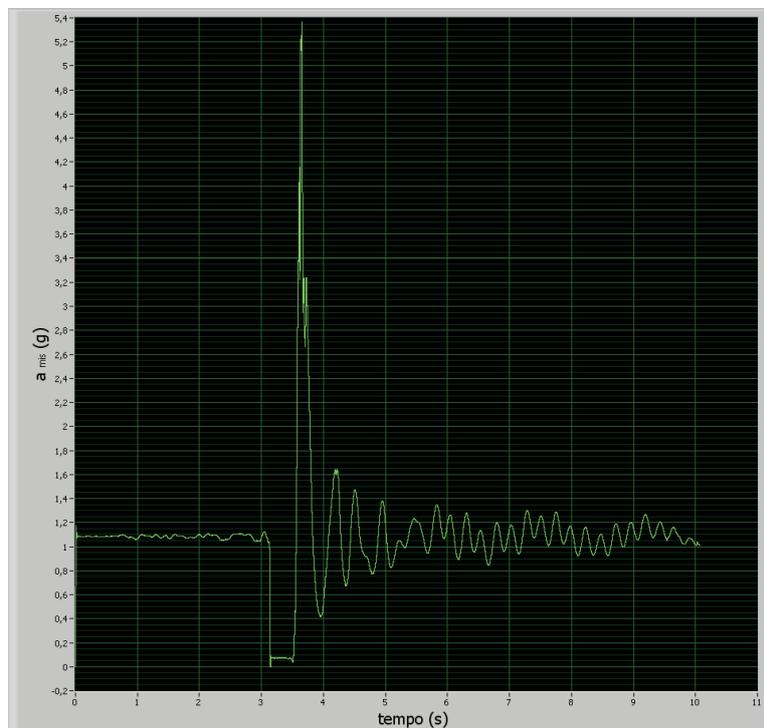


Figura 4.4.2-11: Prova 100/I/1m andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo  $t$  (s)

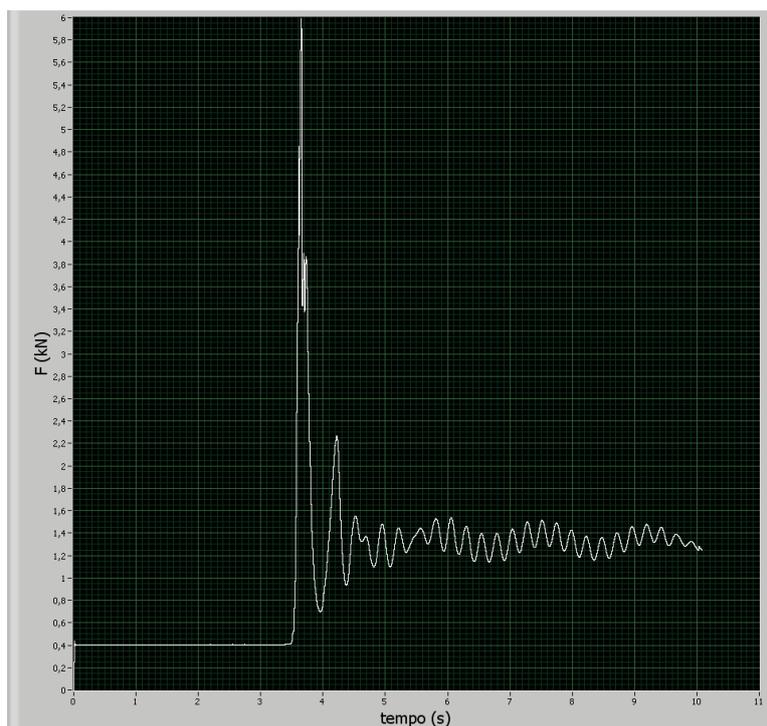


Figura 4.4.2-12: Prova 100/I/1m andamento di  $F$  (kN) rispetto al tempo  $t$  (s)

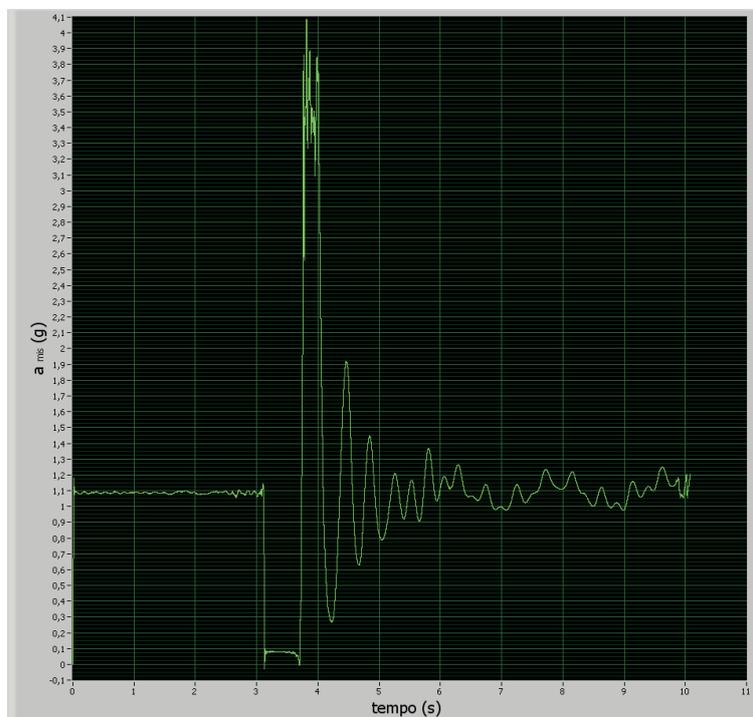


Figura 4.4.2-13: Prova 100/I/2m andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo  $t$  (s)

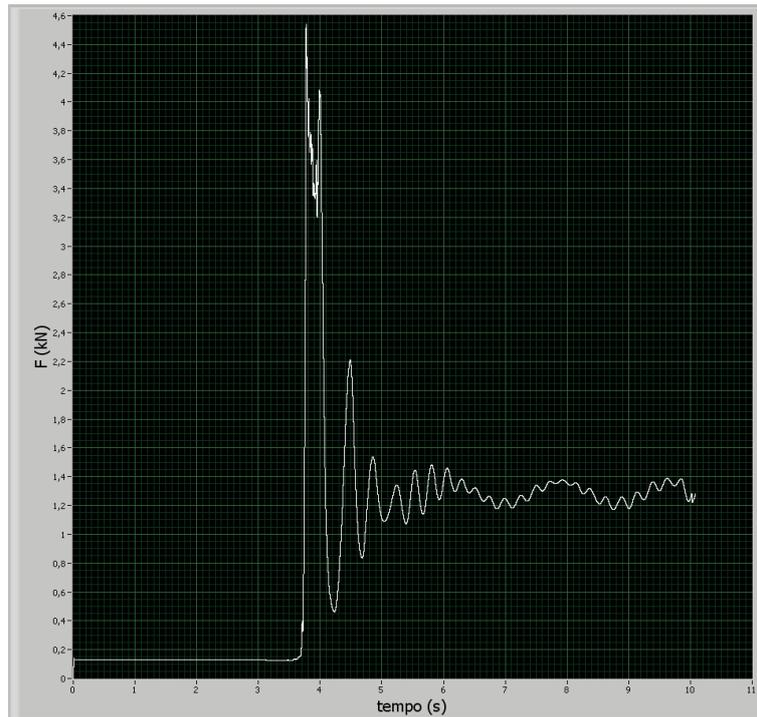


Figura 4.4.2-14: Prova 100/I/2m andamento di  $F$  (kN) rispetto al tempo  $t$  (s)

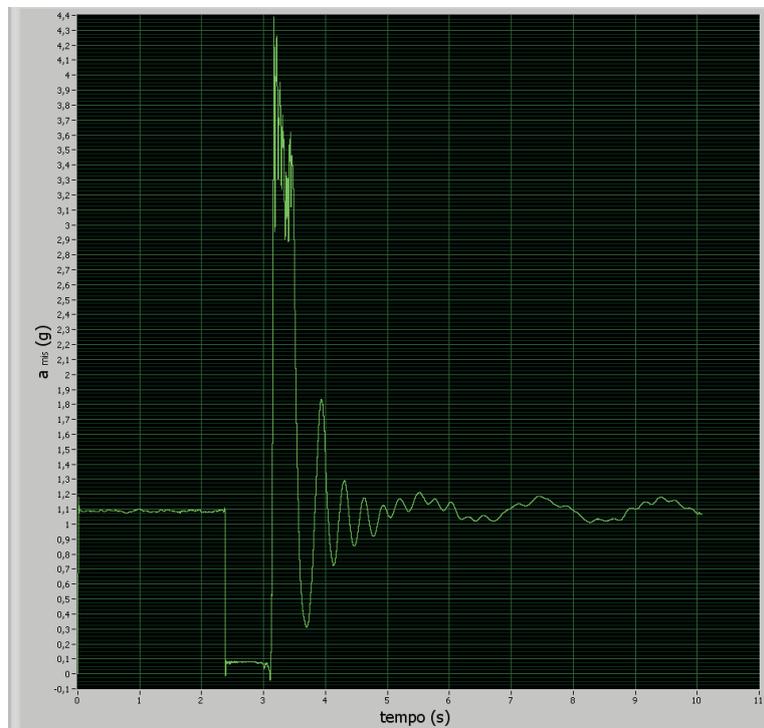


Figura 4.4.2-15: Prova 100/I/3m andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo  $t$  (s)

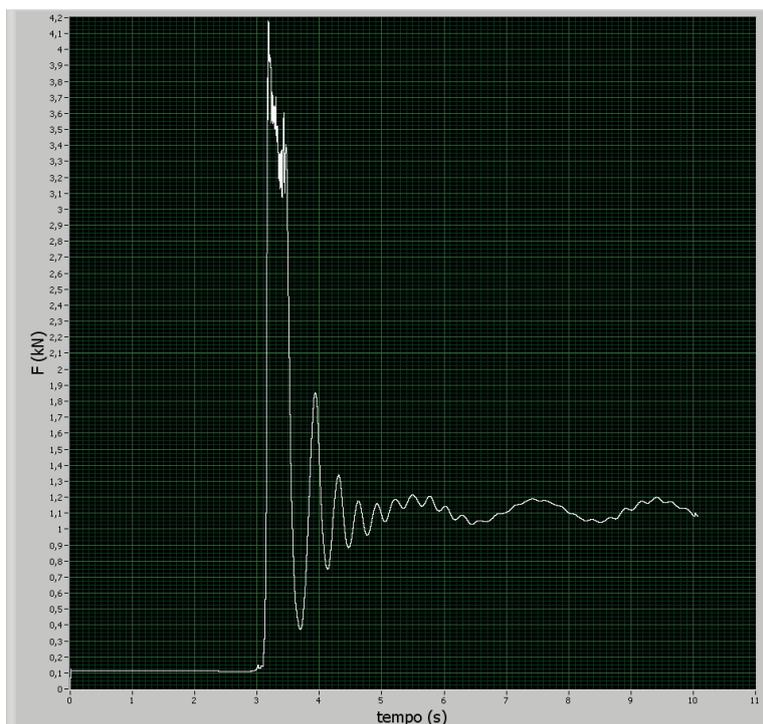


Figura 4.4.2-16: Prova 100/I/3m andamento di  $F$  (kN) rispetto al tempo  $t$  (s)

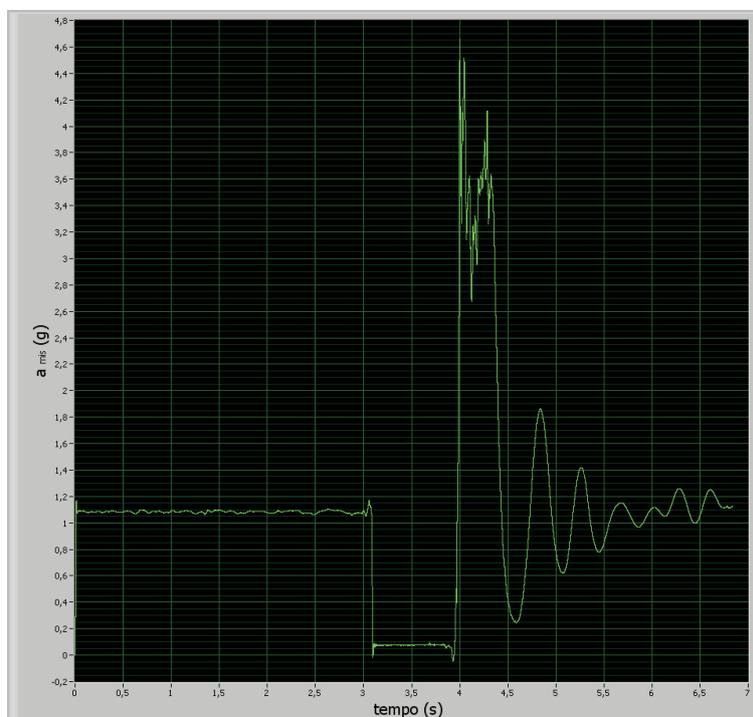


Figura 4.4.2-17: Prova 100/I/4m andamento di  $a_{mis}$  (g) rispetto al tempo  $t$  (s)

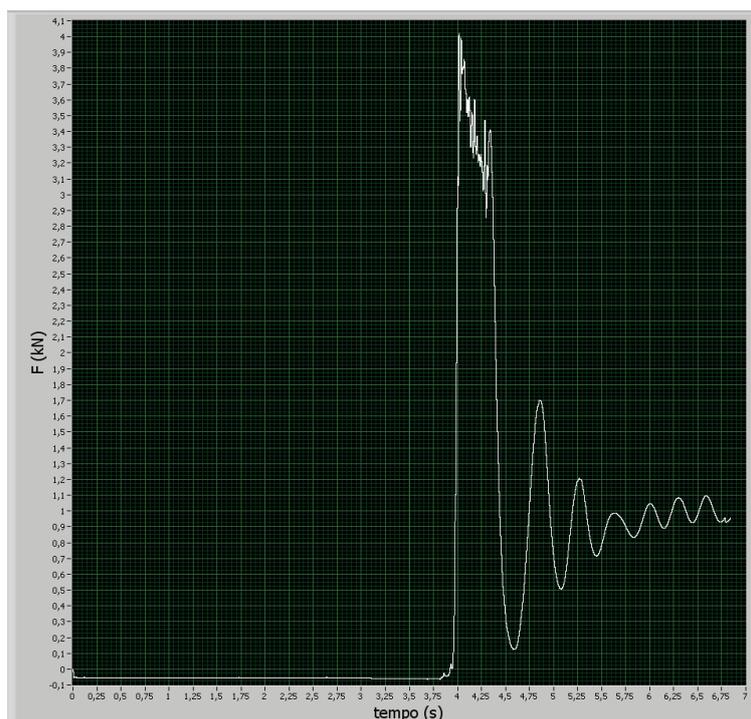


Figura 4.4.2-18: Prova 100/I/4m andamento di  $F$  (kN) rispetto al tempo  $t$  (s)

#### 4.4.3 Sintesi dei risultati

I risultati delle prove effettuate vengono sintetizzati nelle seguenti tabelle riepilogative; per ogni sistema di arresto caduta utilizzato ( $F$  o  $I$ ), i risultati sono stati raggruppati per i diversi valori di caduta libera nominale  $h_{cl}$ .

Le tabelle riportano:

- il tipo di sistema di arresto caduta utilizzato;
- la massa  $m$ ;
- il picco dell' accelerazione misurata  $a_{mis,max}$ ;
- la forza frenante  $F_{max}$ ;
- la caduta frenata  $h_{cf}$ .

Tabella 4.4.3-1. 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 $a_{mis,max}$ (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 4.4.3-2. 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 $a_{mis,max}$ (g)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
caduta libera $h_{cl} = 3$ 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 4.4.3-3. 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 $a_{mis,max}$ (g)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
caduta libera $h_d = 2$ 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 4.4.3-4. 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 $a_{mis,max}$ (g)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
caduta libera $h_d = 1$ 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 4.4.3-5. 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 $a_{mis,max}$ (g)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
caduta libera $h_{cl} = 4$ 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 4.4.3-6. 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 $a_{mis,max}$ (g)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
caduta libera $h_{cl} = 3$ 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 4.4.3-7. 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 $a_{mis,max}$ (g)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
caduta libera $h_{cl} = 3$ 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 4.4.3-8. Accelerazione misurata, forza frenante e caduta frenata per differenti masse di prova con caduta libera pari a 1 metro - Sistema I.

	sistema di arresto caduta	massa (kg <sub>m</sub> )	accelerazione $a_{mis,max}$ (g)	forza frenante $F_{max}$ (kN)	caduta frenata $h_{cf}$ (m)
caduta libera $h_{cl} = 1$ 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

#### 4.4.4 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  $y_5$  i 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  $a_{mis,max}$  risulta:

Tabella 4.4.4-1. Accelerazione misurata per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema F.

	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $a_{mis,max}$ (g)	varianza	errore standard (g)
sistema di arresto caduta F	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 4.4.4-2. Accelerazione misurata per differenti masse di prove e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema I.

	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $a_{mis,max}$ (g)	varianza	errore standard (g)
sistema di arresto caduta I	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

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

Tabella 4.4.4-3. Forza frenante per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema F.

	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $F_{max}$ (kN)	varianza	errore standard (kN)
sistema di arresto caduta F	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 4.4.4-4. Forza frenante per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema I.

	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $F_{max}$ (kN)	varianza	errore standard (kN)
sistema di arresto caduta I	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

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

Tabella 4.4.4- 5. Caduta frenata per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema F.

	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $h_{cf}$ (m)	varianza	errore standard (m)
sistema di arresto caduta F	4	60	0,57	4 x 10 <sup>-4</sup>	0,02
	3	60	0,44	9 x 10 <sup>-4</sup>	0,03
	2	60	0,28	1 x 10 <sup>-4</sup>	0,01
	1	60	0,09	4 x 10 <sup>-4</sup>	0,02
	4	80	0,81	9 x 10 <sup>-4</sup>	0,03
	3	80	0,64	9 x 10 <sup>-4</sup>	0,03
	2	80	0,43	1 x 10 <sup>-4</sup>	0,01
	1	80	0,12	16 x 10 <sup>-4</sup>	0,04
	4	100	1,12	9 x 10 <sup>-4</sup>	0,03
	3	100	0,84	1 x 10 <sup>-4</sup>	0,01
	2	100	0,54	4 x 10 <sup>-4</sup>	0,02
	1	100	0,23	4 x 10 <sup>-4</sup>	0,02
	4	120	1,31	9 x 10 <sup>-4</sup>	0,03
	3	120	1,03	4 x 10 <sup>-4</sup>	0,02
	2	120	0,67	4 x 10 <sup>-4</sup>	0,02
	1	120	0,27	4 x 10 <sup>-4</sup>	0,02

Tabella 4.4.4- 6. Caduta frenata per differenti masse di prova e caduta libera pari 4, 3, 2 e 1 metro - Sistema I.

	caduta libera $h_{cl}$ (m)	massa (kg <sub>m</sub> )	valore medio $h_{cf}$ (m)	varianza	errore standard (m)
sistema di arresto caduta I	4	60	0,67	$9 \times 10^{-4}$	0,03
	3	60	0,49	$4 \times 10^{-4}$	0,02
	2	60	0,29	$1 \times 10^{-4}$	0,01
	1	60	0,12	$1 \times 10^{-4}$	0,01
	4	80	0,88	$81 \times 10^{-4}$	0,09
	3	80	0,67	$4 \times 10^{-4}$	0,02
	2	80	0,44	$4 \times 10^{-4}$	0,02
	1	80	0,13	$1 \times 10^{-4}$	0,01
	4	100	1,33	$4 \times 10^{-4}$	0,02
	3	100	0,99	$1 \times 10^{-4}$	0,01
	2	100	0,64	$4 \times 10^{-4}$	0,02
	1	100	0,23	$1 \times 10^{-4}$	0,01
	4	120	1,60	$9 \times 10^{-4}$	0,03
	3	120	1,22	$16 \times 10^{-4}$	0,04
	2	120	0,82	$9 \times 10^{-4}$	0,03
	1	120	0,33	$4 \times 10^{-4}$	0,02

#### 4.4.5 Grafici

Si riportano di seguito i grafici della forza frenante  $F_{max}$  dell'accelerazione misurata massima  $a_{mis,max}$  e della caduta fenata  $h_{cf}$  al variare della massa  $m$  e della caduta libera  $h_{cl}$ .

Grafici di  $F_{max}$  al variare della massa  $m$  per diverse cadute libere  $h_{cl}$

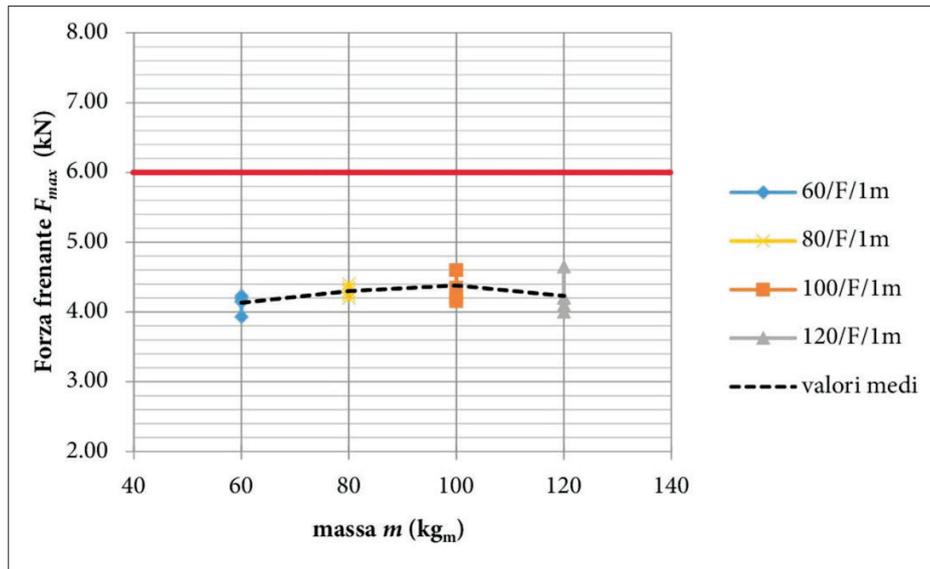


Figura 4.4.5-1: Forza frenante per differenti masse di prova con caduta libera pari a 1 metro - Sistema F

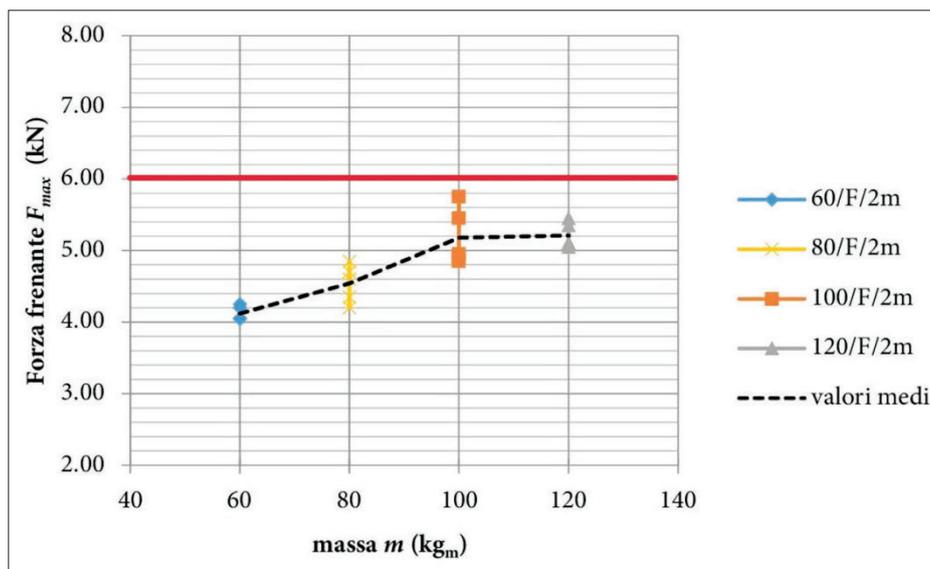


Figura 4.4.5-2: Forza frenante per differenti masse di prova con caduta libera pari a 2 metri - Sistema F

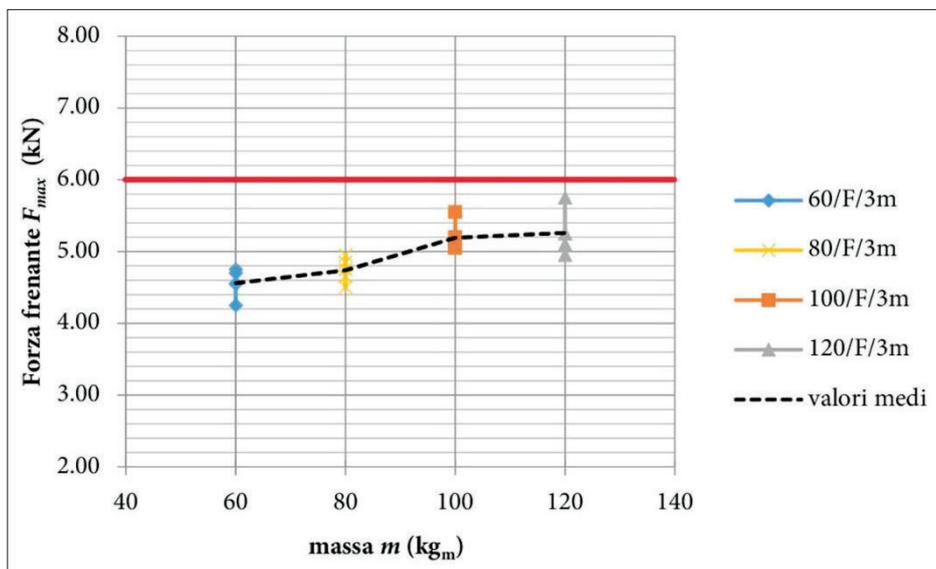


Figura 4.4.5-3: Forza frenante per differenti masse di prova con caduta libera pari a 3 metri – Sistema  $F$

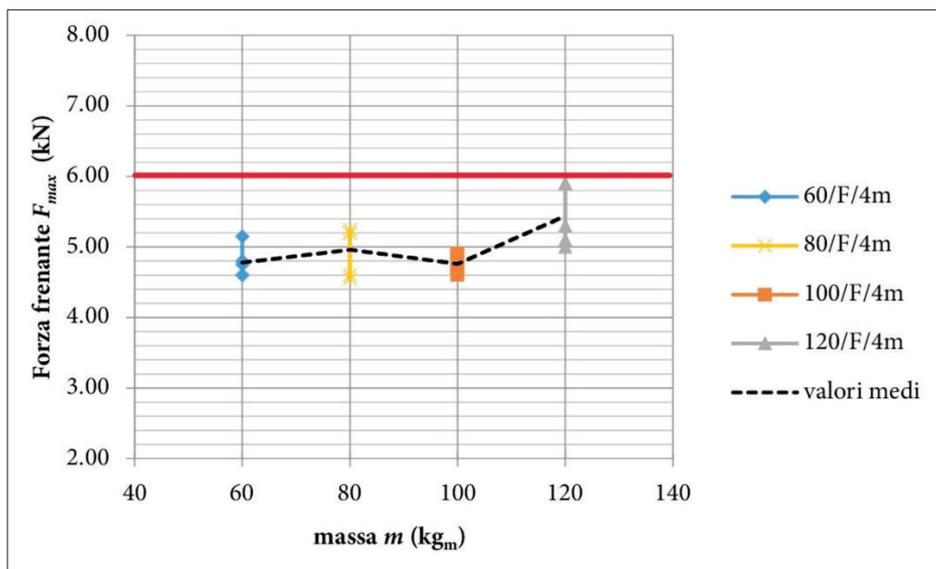


Figura 4.4.5-4: Forza frenante per differenti masse di prova con caduta libera pari a 4 metri – Sistema  $F$

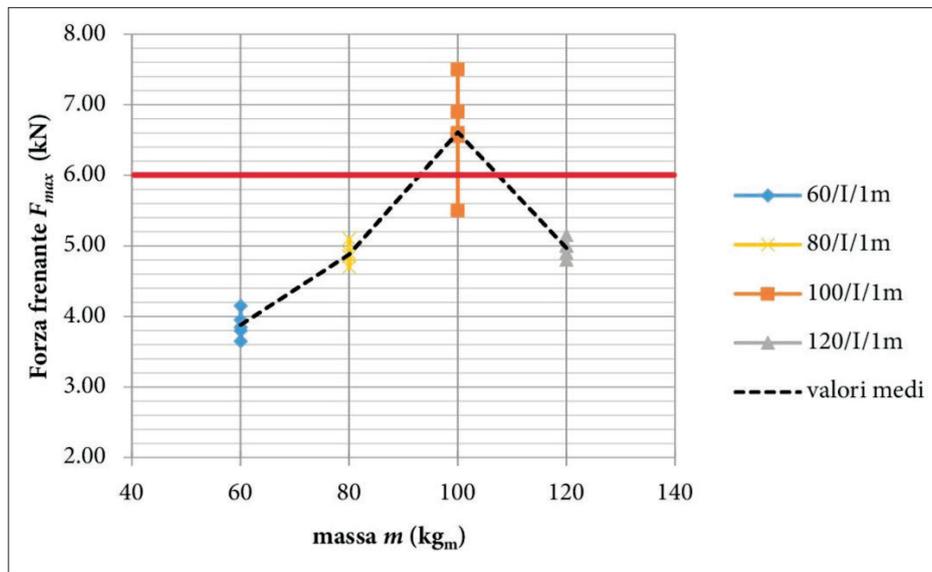


Figura 4.4.5-5: Forza frenante per differenti masse di prova con caduta libera pari a 1 metro – Sistema I

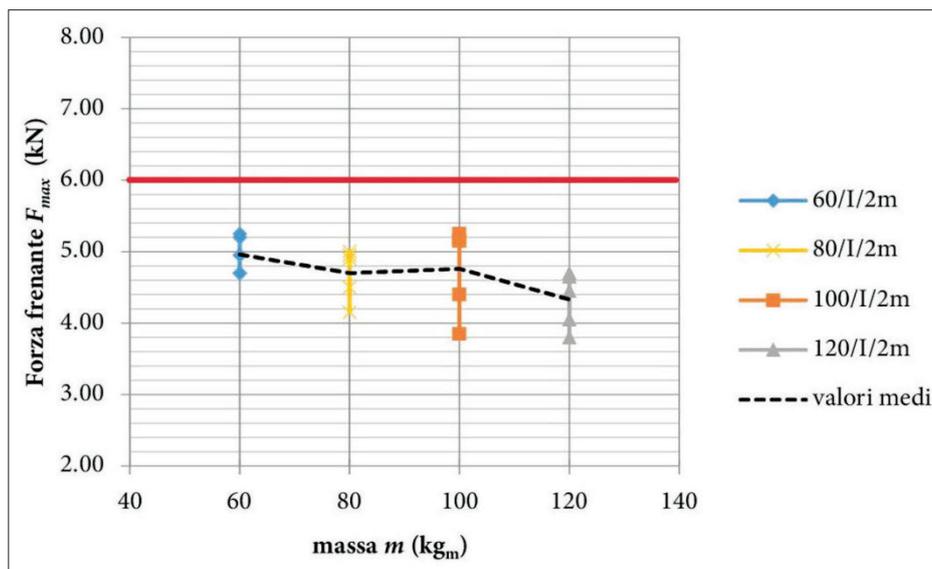


Figura 4.4.5-6: Forza frenante per differenti masse di prova con caduta libera pari a 2 metri – Sistema I

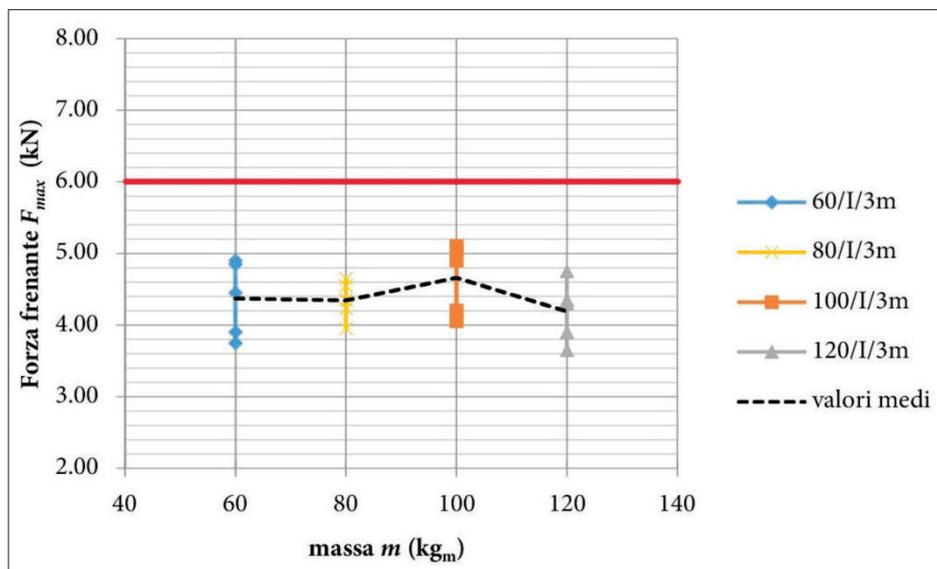


Figura 4.4.5-7: Forza frenante per differenti masse di prova con caduta libera pari a 3 metri – Sistema I

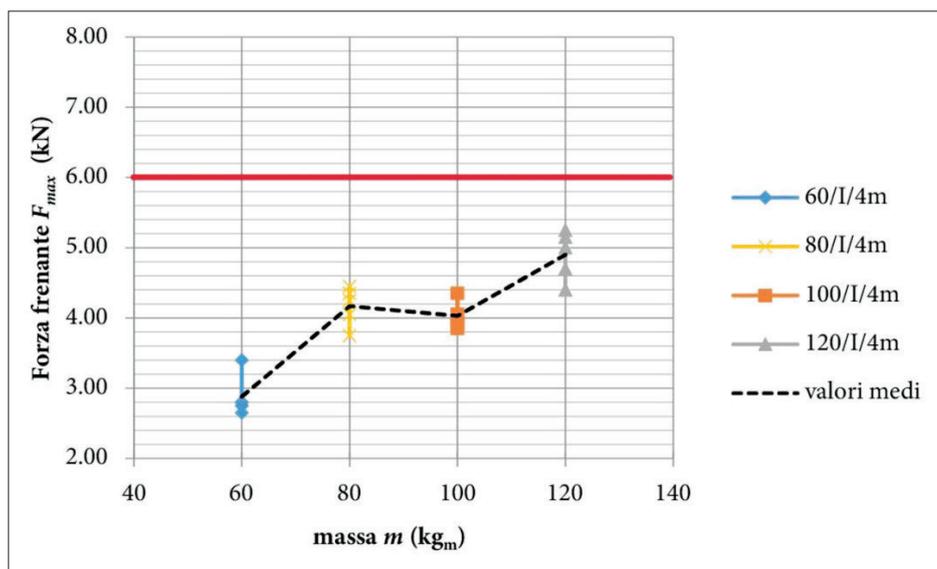


Figura 4.4.5-8: Forza frenante per differenti masse di prova con caduta libera pari a 4 metri – Sistema I

Grafici di  $a_{mis,max}$  al variare della massa  $m$  per diverse altezze di caduta libera  $h_{cl}$

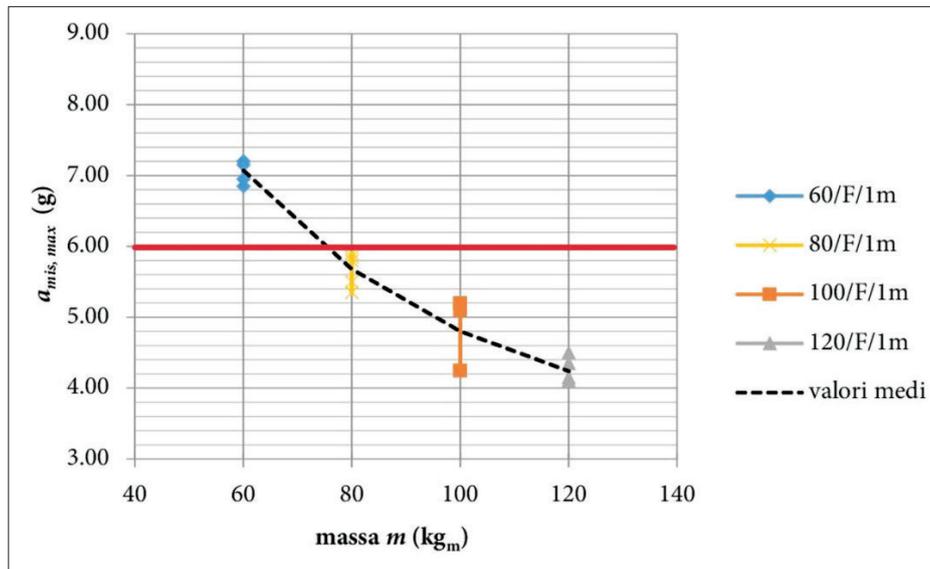


Figura 4.4.5-9: Accelerazione misurata massima per differenti masse di prova con caduta libera pari a 1 metro – Sistema  $F$

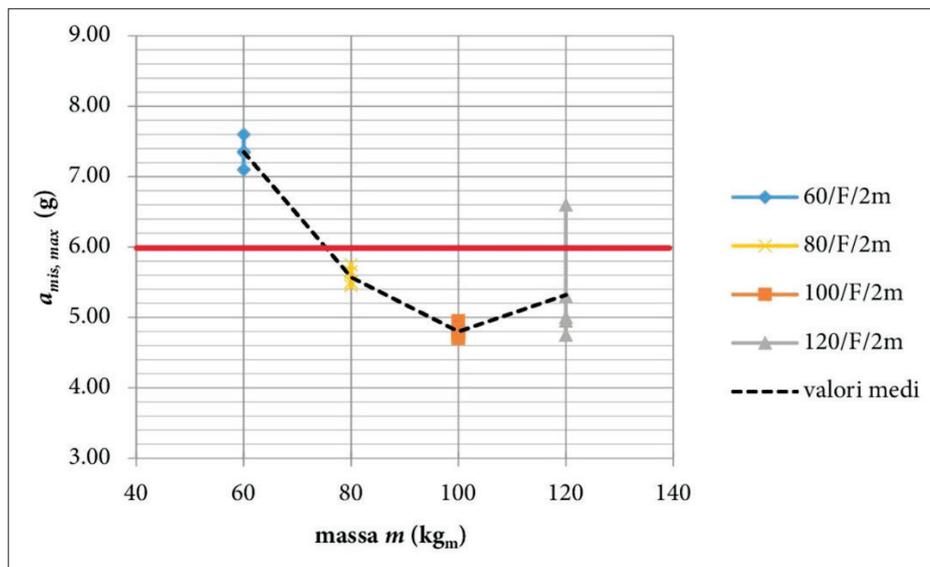


Figura 4.4.5-10: Accelerazione misurata massima per differenti masse di prova con caduta libera pari a 2 metri – Sistema  $F$

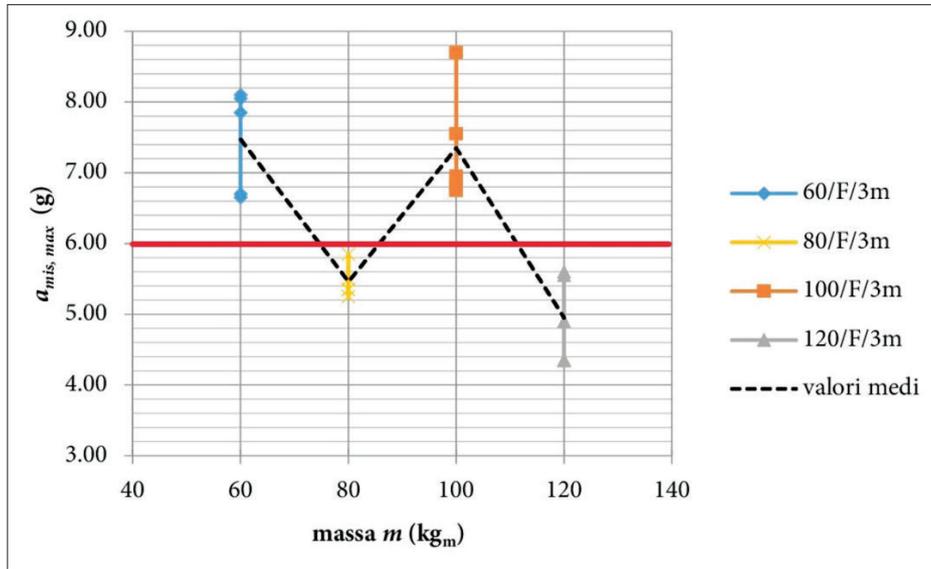


Figura 4.4.5-11: Accelerazione misurata massima per differenti masse di prova con caduta libera pari a 3 metri – Sistema *F*

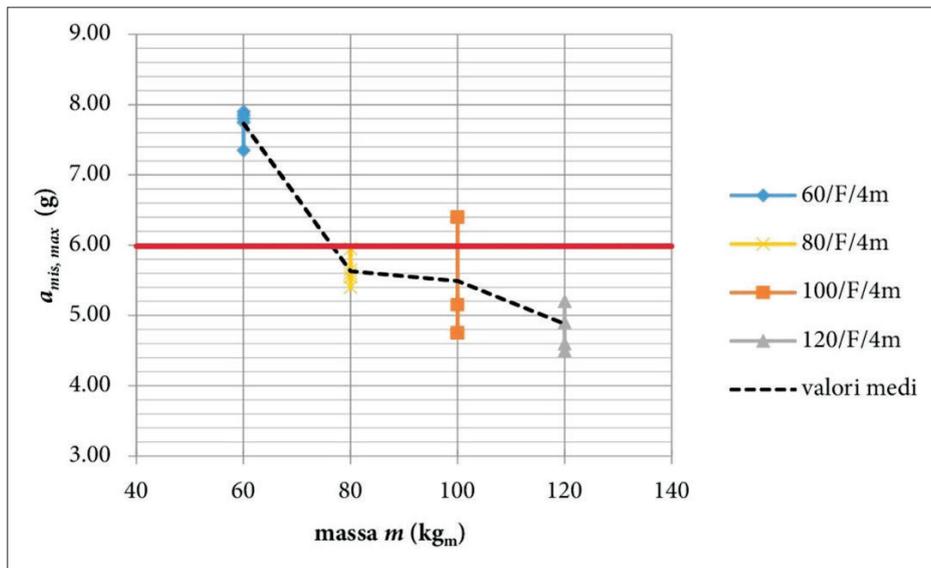


Figura 4.4.5-12: Accelerazione misurata massima per differenti masse di prova con caduta libera pari a 4 metri – Sistema *F*

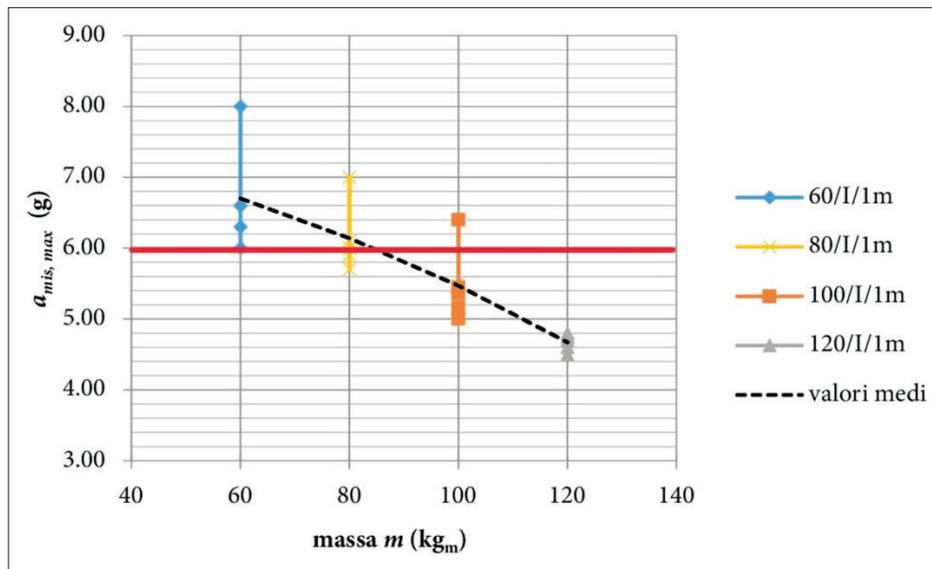


Figura 4.4.5-13: Accelerazione misurata massima per differenti masse di prova con caduta libera pari a 1 metro – Sistema I

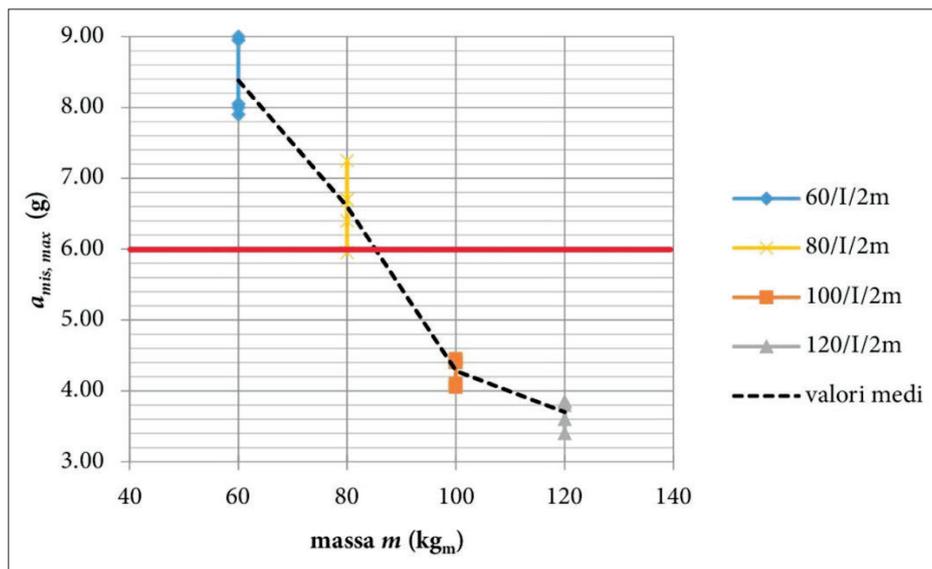


Figura 4.4.5-14: Accelerazione misurata massima per differenti masse di prova con caduta libera pari a 2 metri – Sistema I

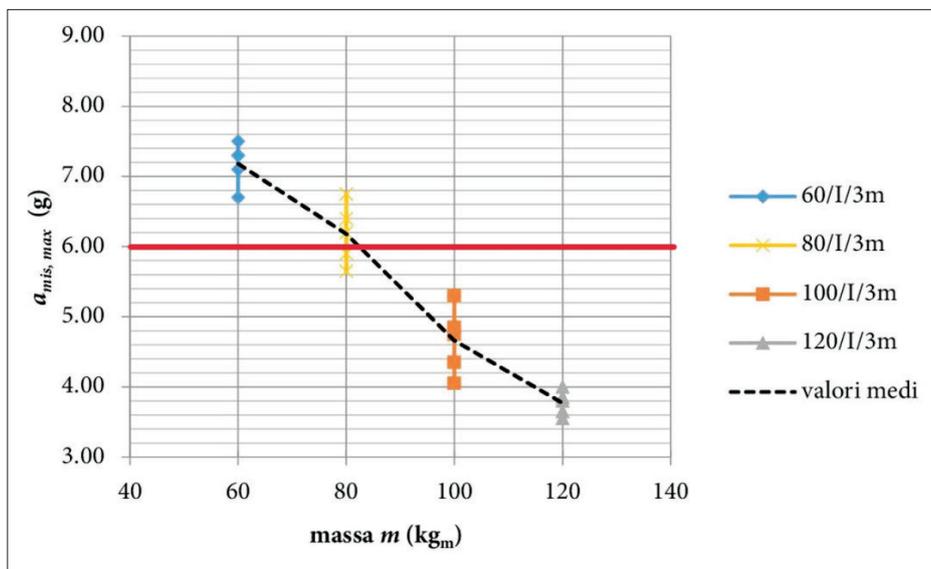


Figura 4.4.5-15: Accelerazione misurata massima per differenti masse di prova con caduta libera pari a 3 metri – Sistema I

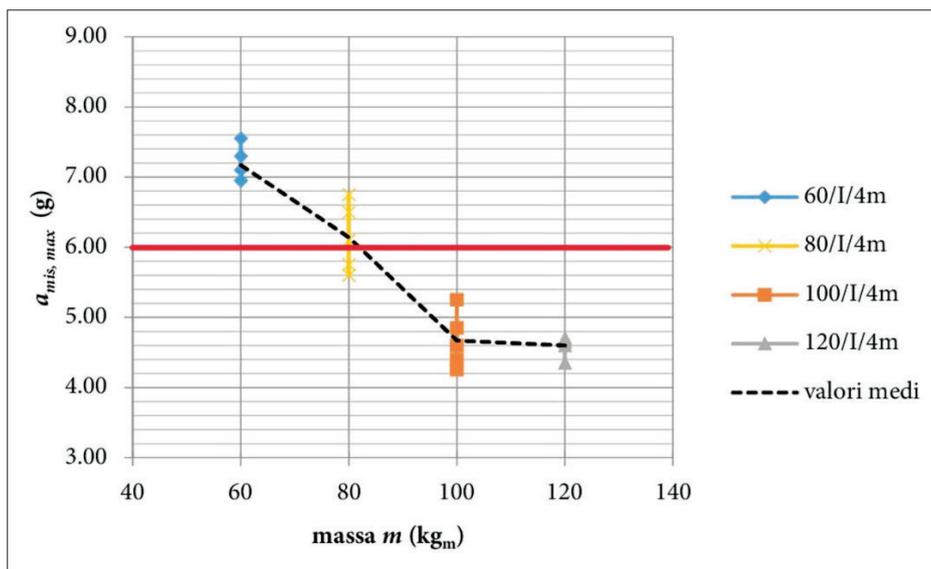


Figura 4.4.5-16: Accelerazione misurata massima per differenti masse di prova con caduta libera pari a 4 metri – Sistema I

Grafici di  $F_{max}$  al variare della caduta libera  $h_{cl}$  per diverse masse  $m$

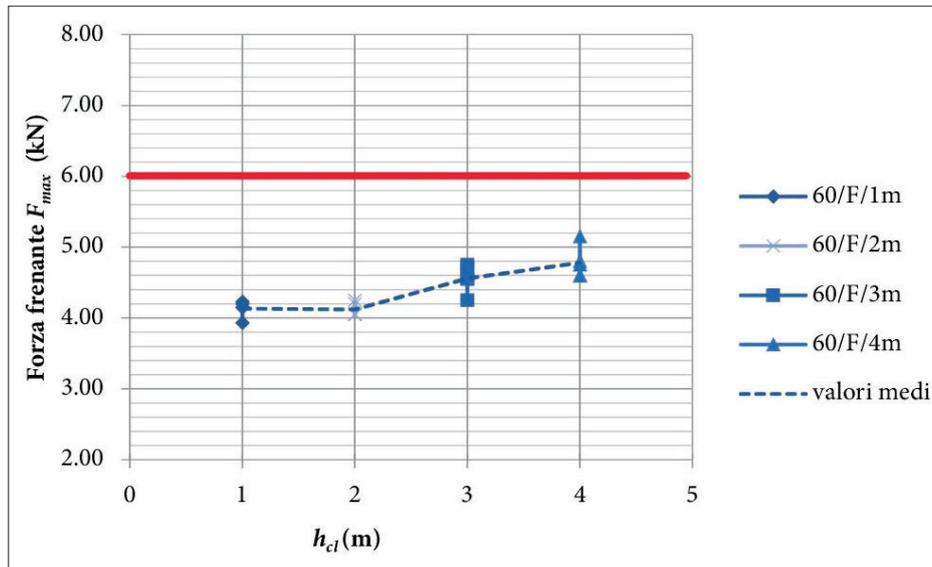


Figura 4.4.5-17: Forza frenante per differenti cadute libere con massa di 60 kg – Sistema F

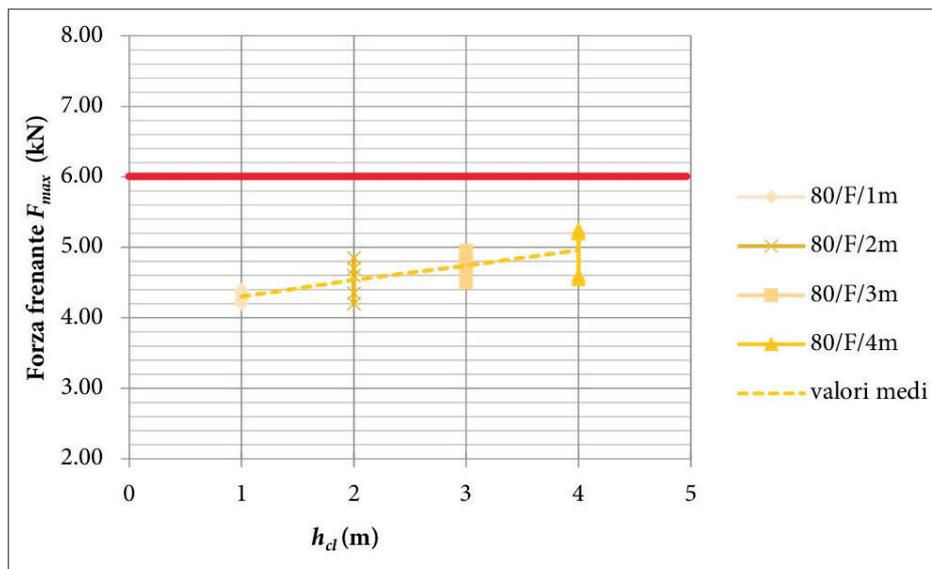


Figura 4.4.5-18: Forza frenante per differenti cadute libere con massa di 80 kg – Sistema F

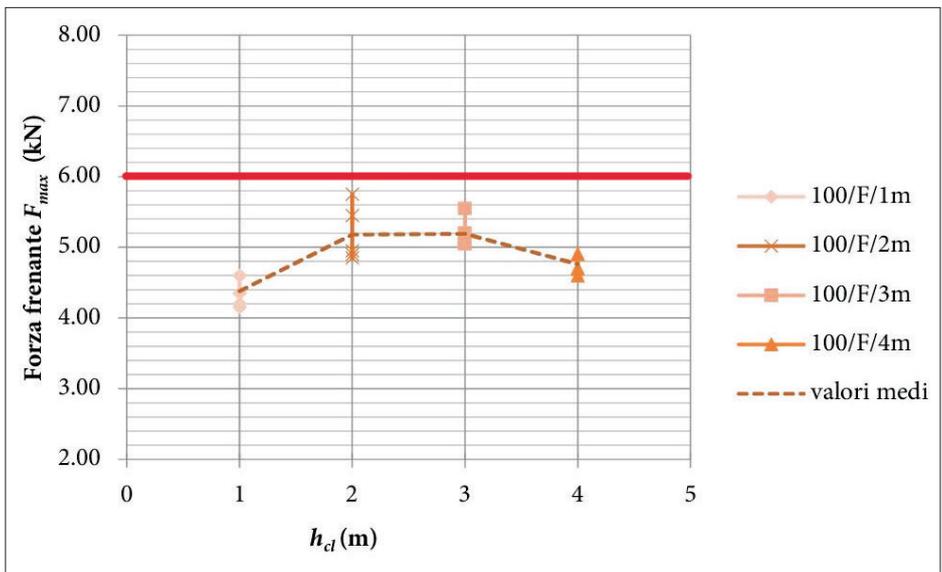


Figura 4.4.5-19: Forza frenante per differenti cadute libere con massa di 100 kg – Sistema *F*

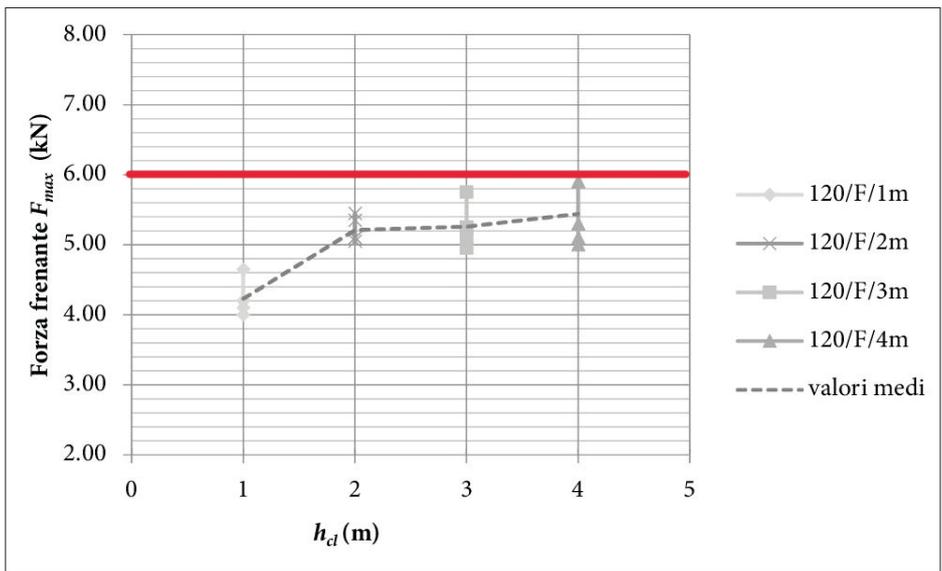


Figura 4.4.5-20: Forza frenante per differenti cadute libere con massa di 100 kg – Sistema *F*

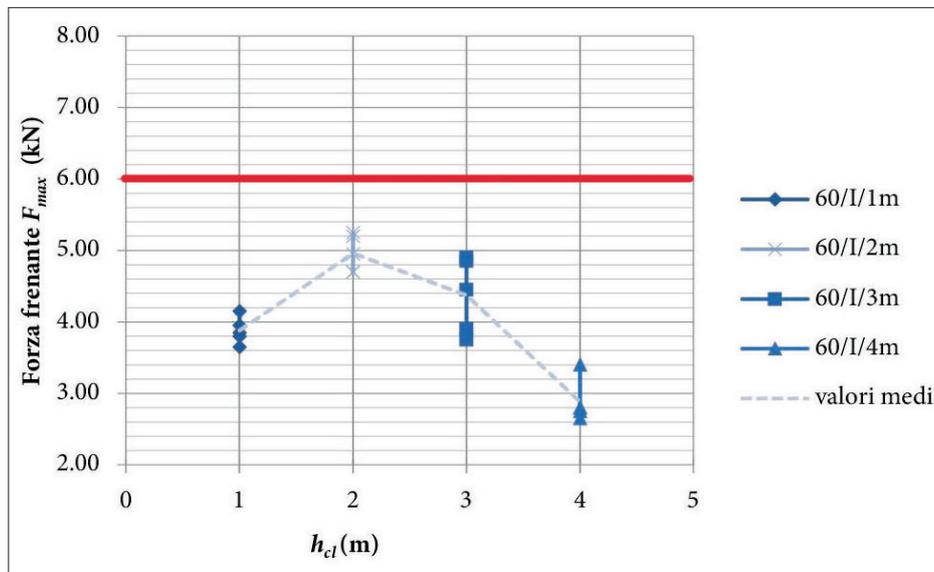


Figura 4.4.5-21: Forza frenante per differenti cadute libere con massa di 60 kg – Sistema I

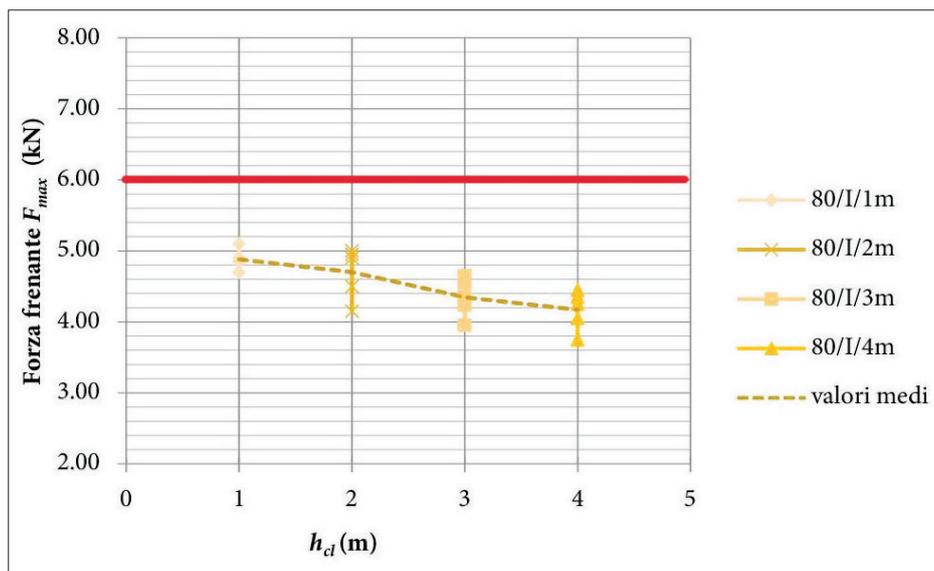


Figura 4.4.5-22: Forza frenante per differenti cadute libere con massa di 80 kg – Sistema I

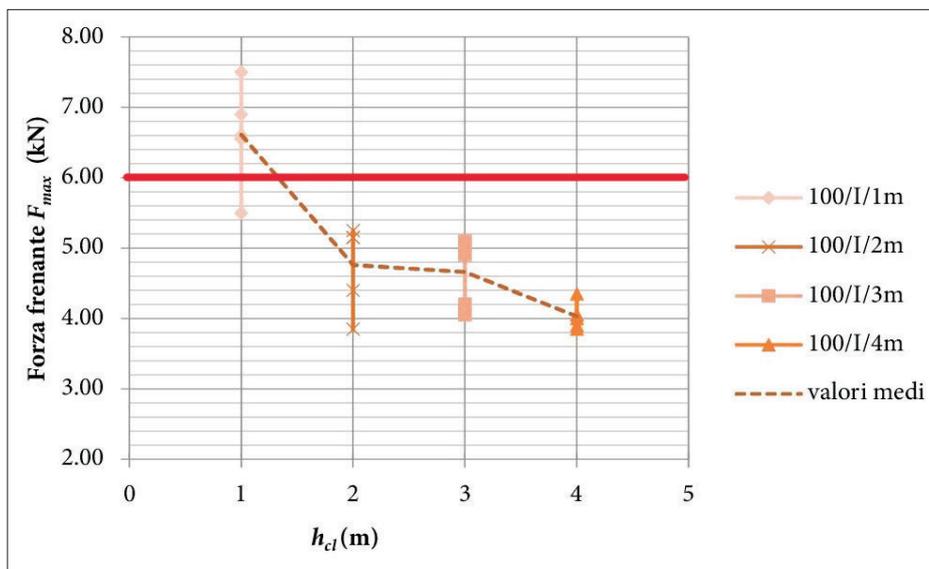


Figura 4.4.5-23: Forza frenante per differenti cadute libere con massa di 100 kg – Sistema I

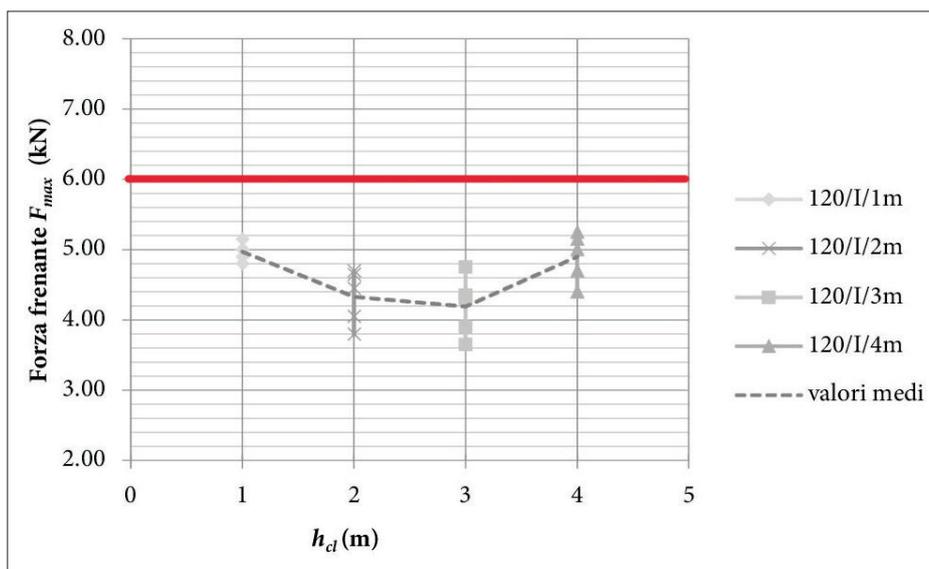


Figura 4.4.5-24: Forza frenante per differenti cadute libere con massa di 120 kg – Sistema I

Grafici di  $a_{mis,max}$  al variare della caduta libera  $h_{cl}$  per diverse masse  $m$

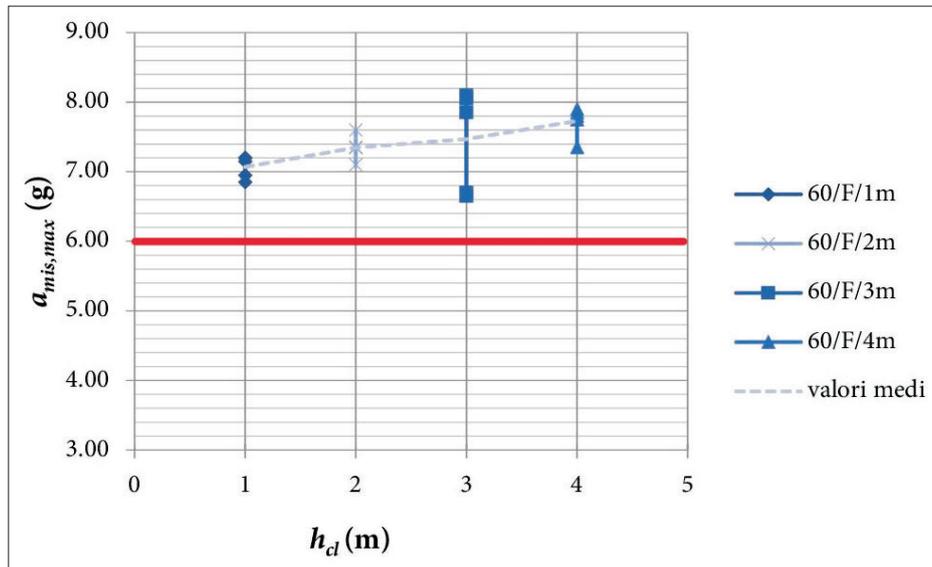


Figura 4.4.5-25: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere con massa di 60 kg – Sistema F

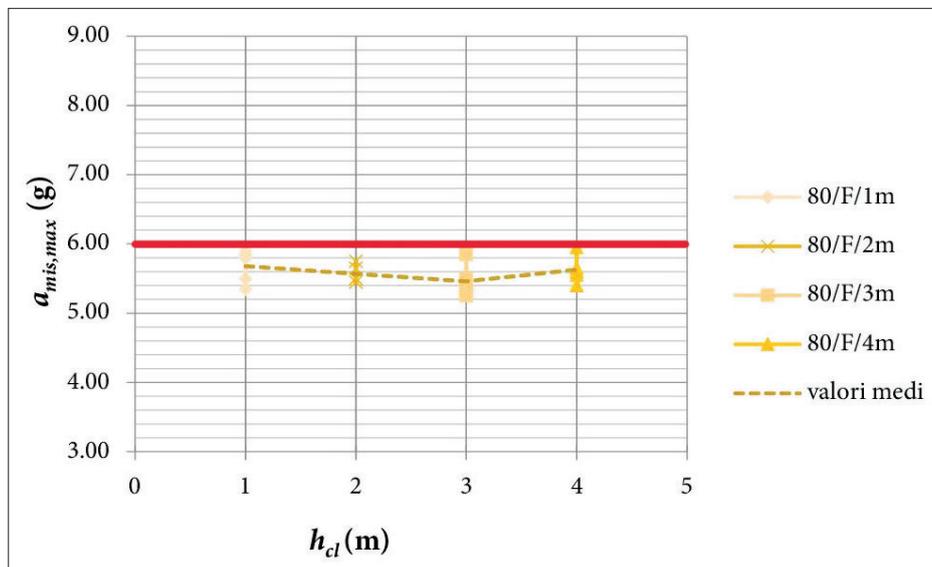


Figura 4.4.5-26: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere con massa di 80 kg – Sistema F

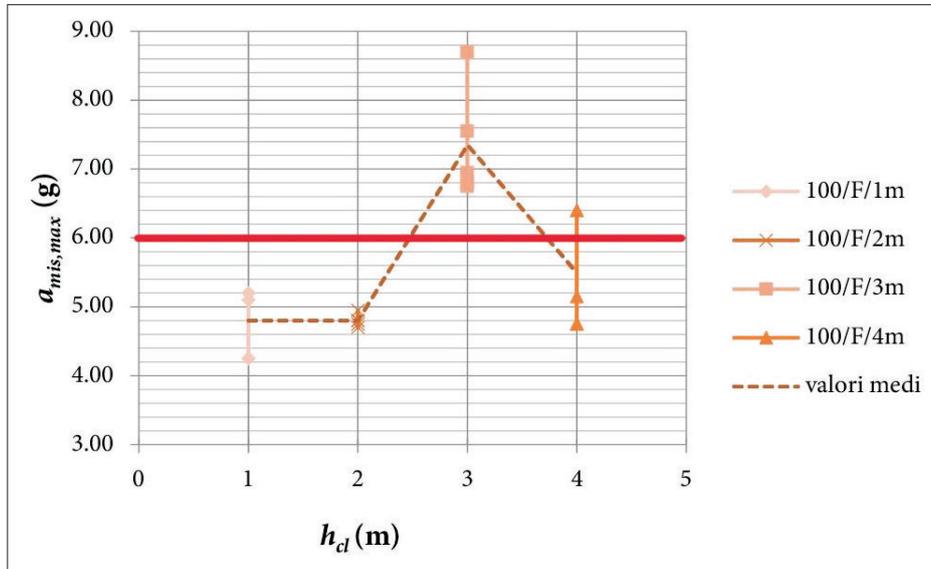


Figura 4.4.5-27: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere con massa di 100 kg – Sistema *F*

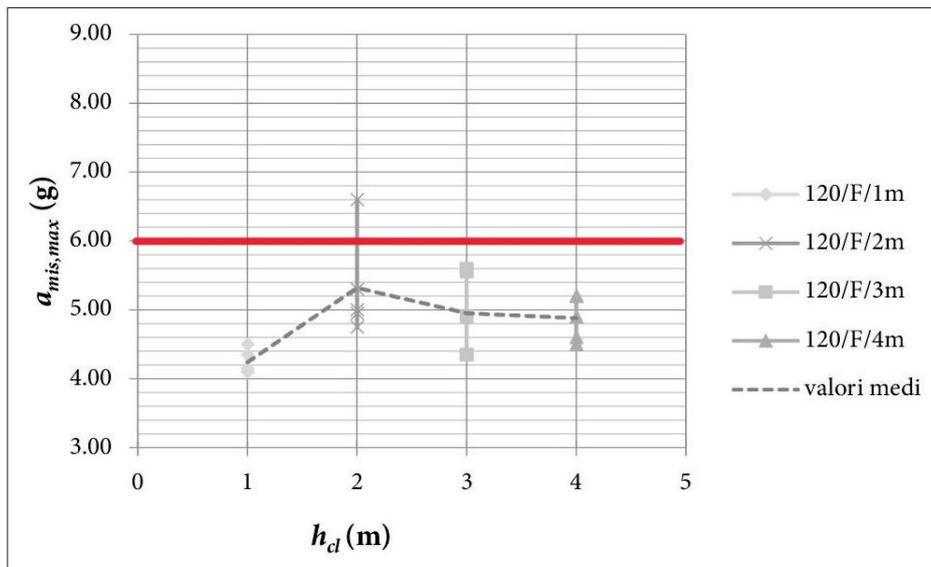


Figura 4.4.5-28: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere con massa di 120 kg – Sistema *F*

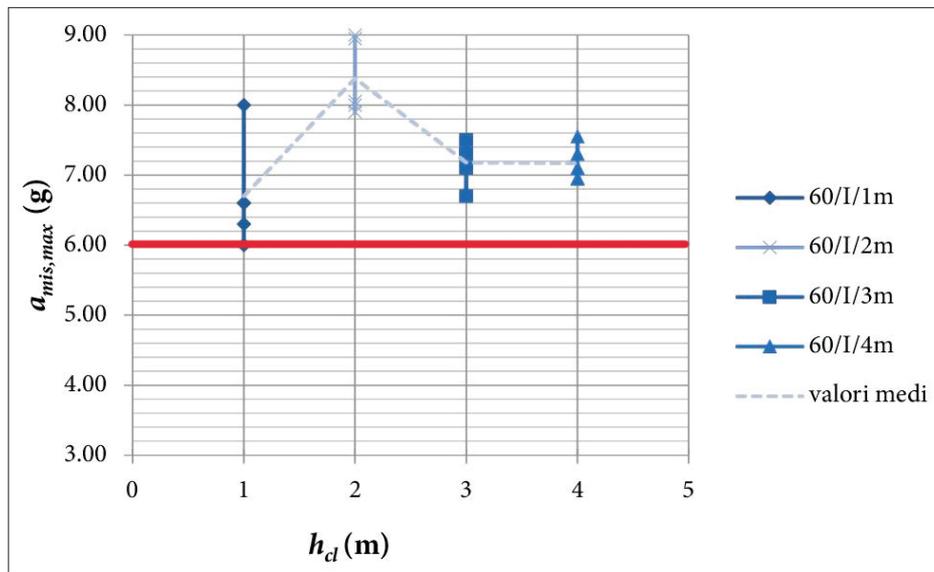


Figura 4.4.5-29: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere con massa di 60 kg – Sistema I

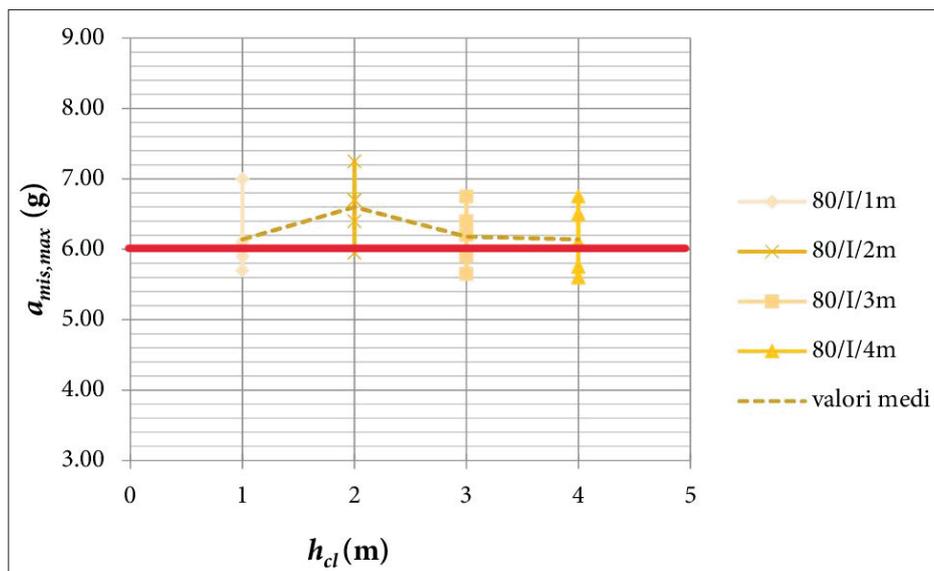


Figura 4.4.5-30: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere con massa di 80 kg – Sistema I

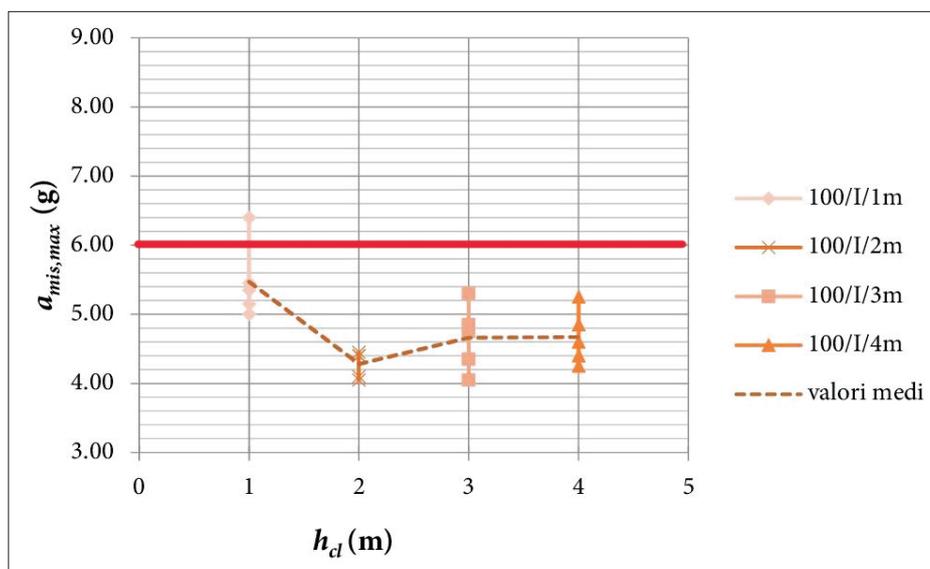


Figura 4.4.5-31: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere con massa di 100 kg – Sistema I

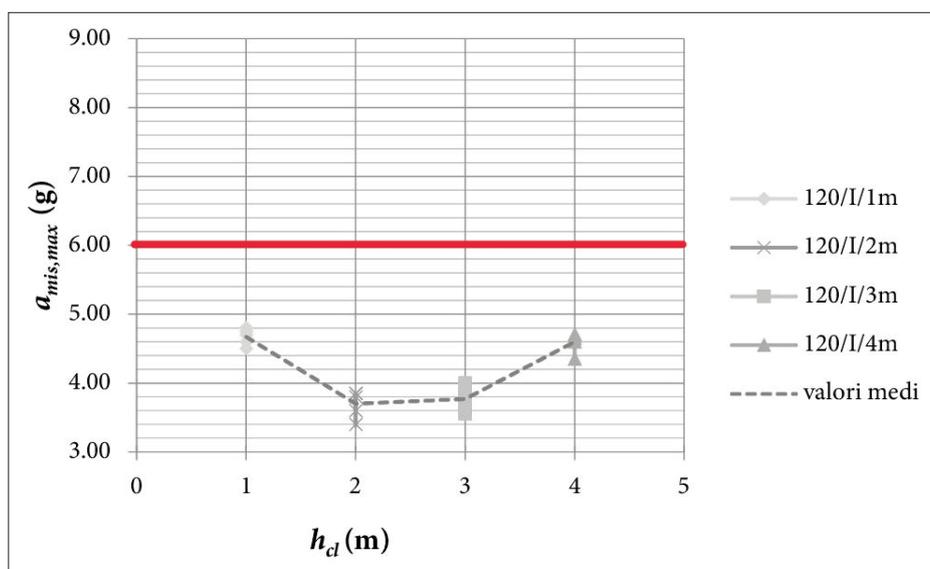


Figura 4.4.5-32: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere con massa di 120 kg – Sistema I

Grafici di  $h_{cf}$  al variare della caduta libera  $h_{cl}$  per diverse masse  $m$

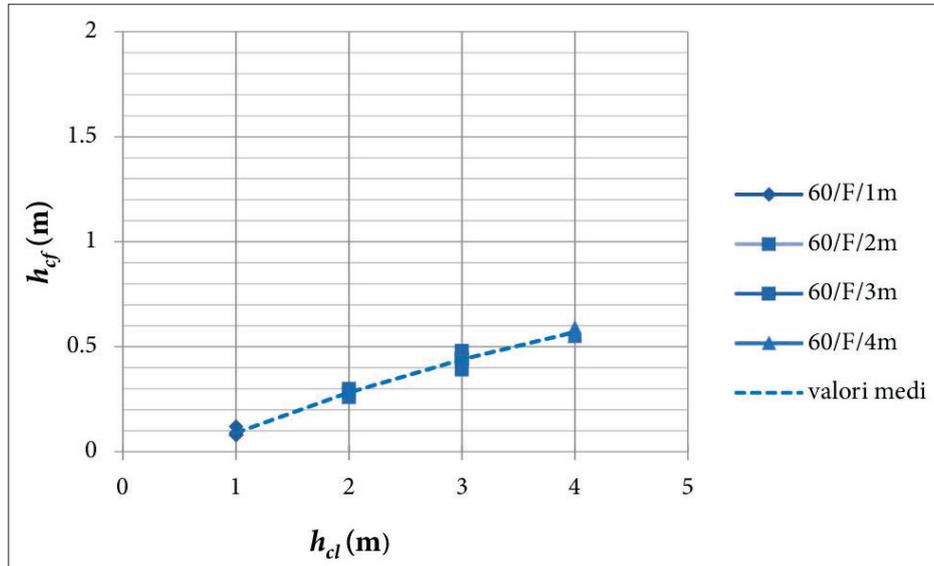


Figura 4.4.5-33: Caduta frenata per differenti cadute libere con massa di 60 kg – Sistema F

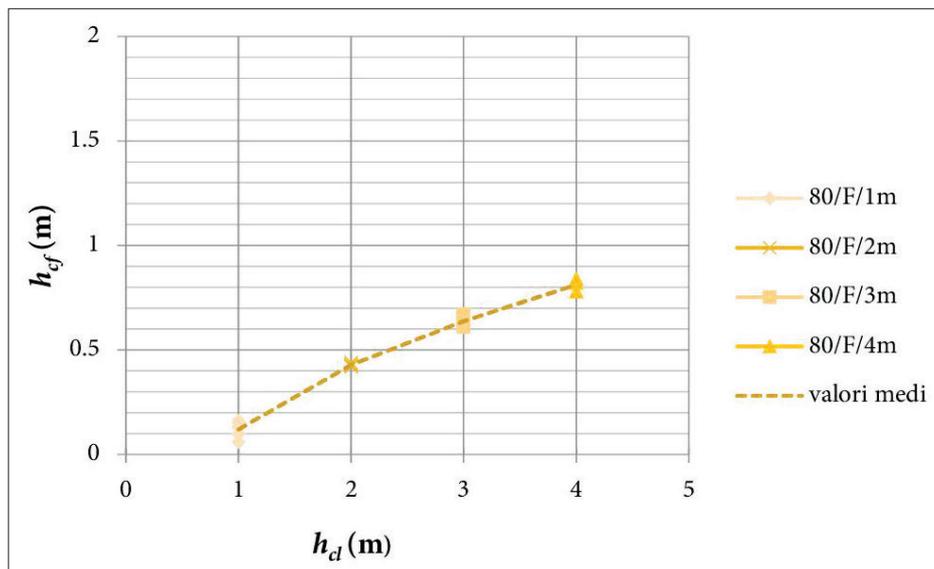


Figura 4.4.5-34: Caduta frenata per differenti cadute libere con massa di 80 kg – Sistema F

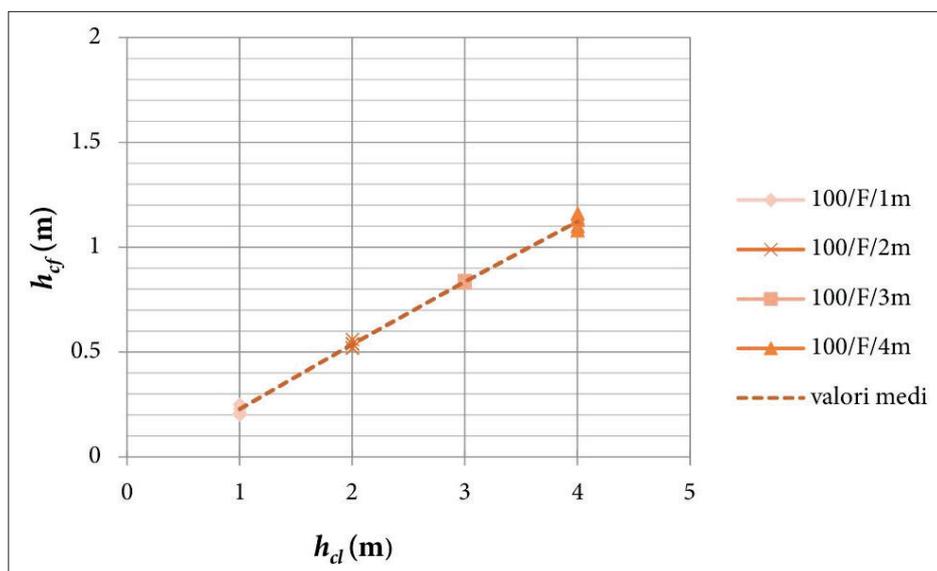


Figura 4.4.5-35: Caduta frenata per differenti cadute libere con massa di 100 kg – Sistema *F*

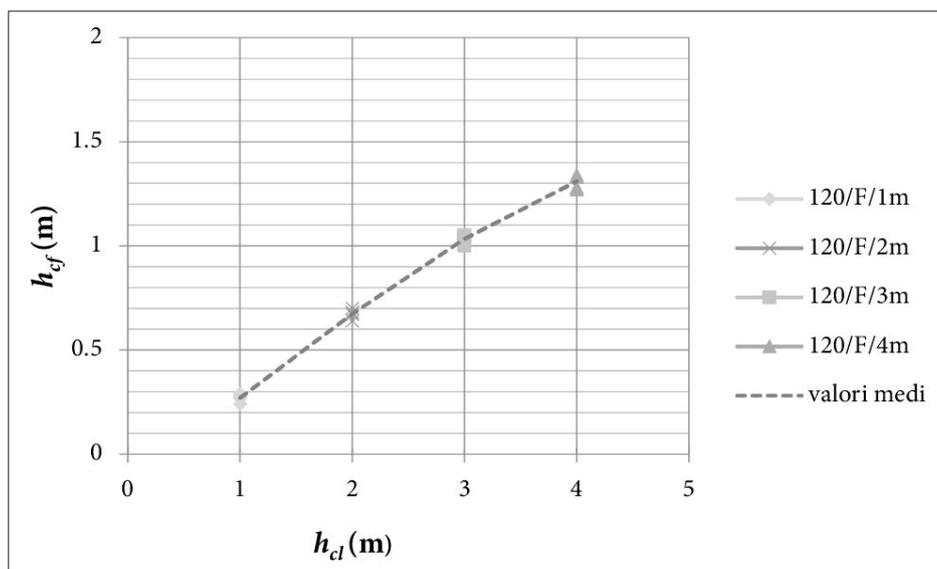


Figura 4.4.5-36: Caduta frenata per differenti cadute libere con massa di 120 kg – Sistema *F*

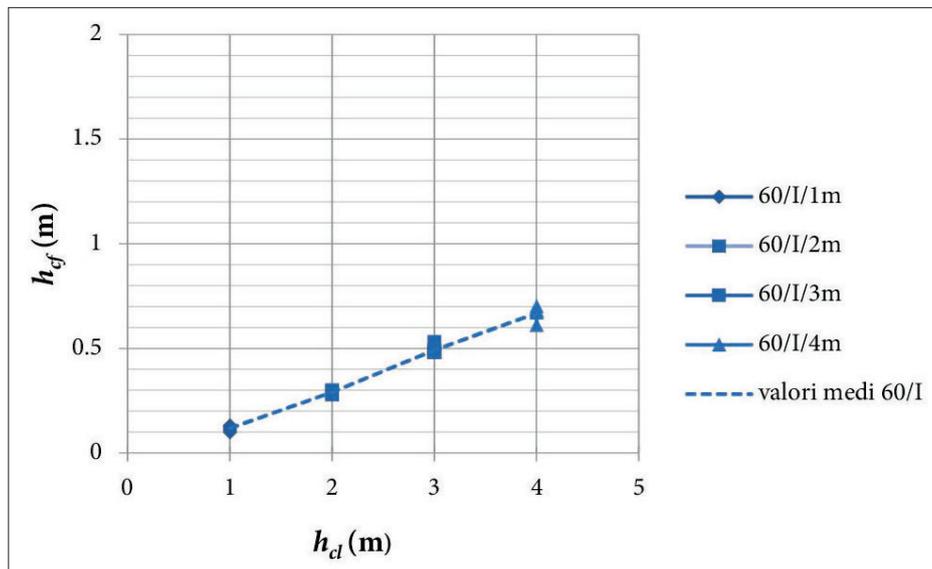


Figura 4.4.5-37: Caduta frenata per differenti cadute libere con massa di 60 kg – Sistema I

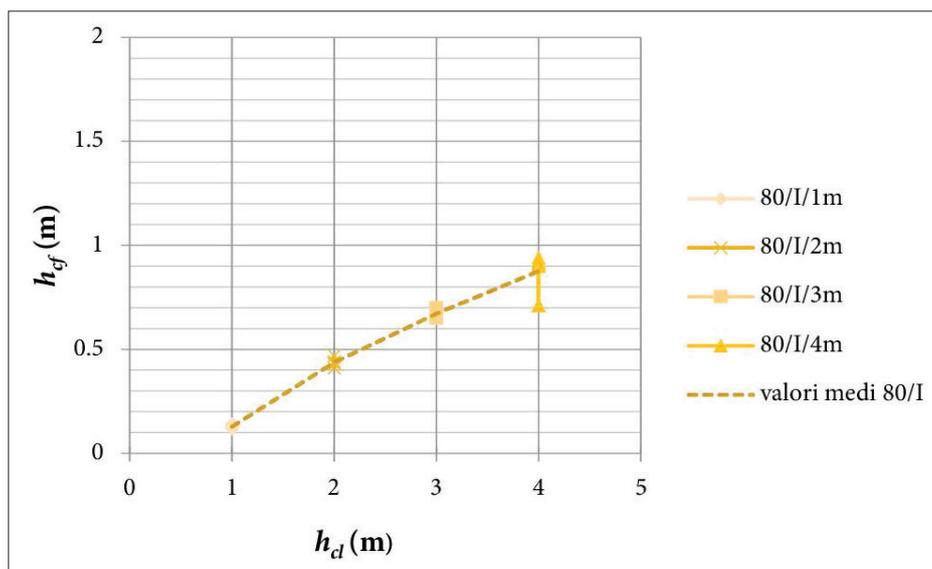


Figura 4.4.5-38: Caduta frenata per differenti cadute libere con massa di 80 kg – Sistema I

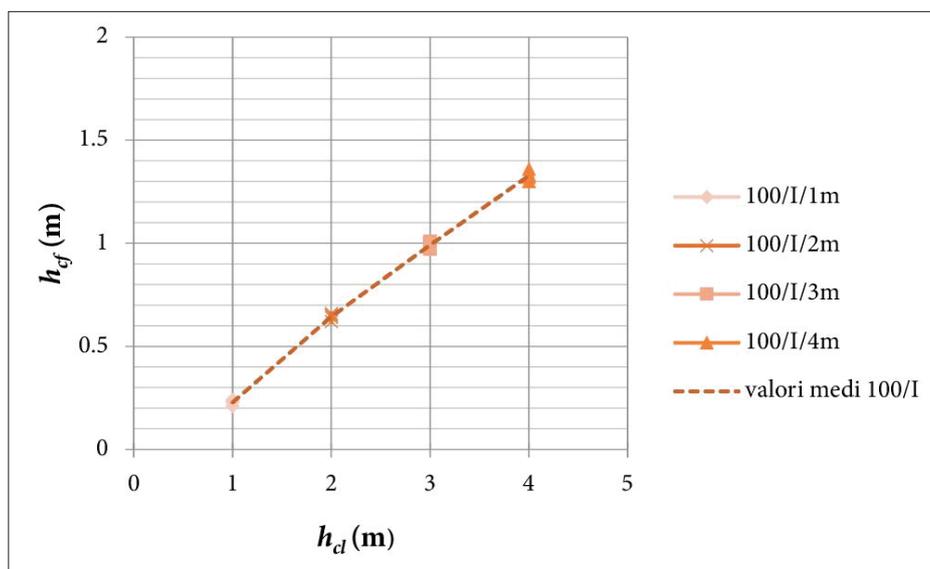


Figura 4.4.5-39: Caduta frenata per differenti cadute libere con massa di 100 kg – Sistema I

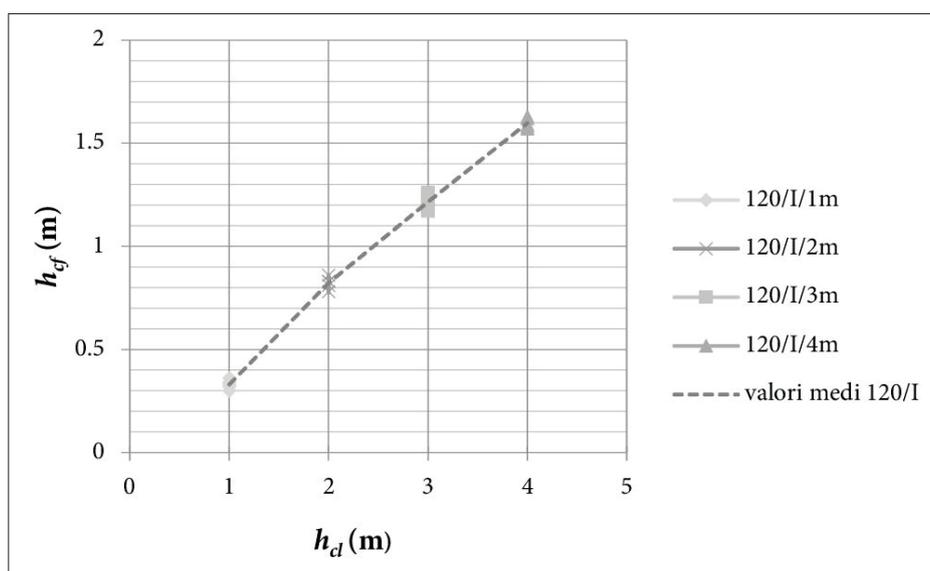


Figura 4.4.5-40: Caduta frenata per differenti cadute libere con massa di 120 kg – Sistema I

#### 4.4.6 Considerazioni sui risultati

Le prove eseguite con massa  $m = 100$  kg e caduta libera  $h_{cl} = 4$  m (3,75 m) sono analoghe ai test previsti nella norma di prodotto UNI EN 355.

I risultati delle prove 100/F/4m e 100/I/4m dimostrano che la forza frenante  $F_{max}$  risulta essere sempre inferiore al valore di 6 kN, limite imposto nella UNI EN 355.

In tutte le prove 100/I/4m e in tre prove 100/F/4m il valore di  $a_{mis,max}$  risulta sempre inferiore al valore ritenuto accettabile pari a 6 g; risulta di poco superiore in due prove 100/F/4m. I valori medi di  $a_{mis,max}$  risultano comunque sempre inferiori a 6 g.

Le prove eseguite con caduta libera  $h_{cl} = 4$  m, ma con massa diversa dai 100 kg dimostrano che, seppur la  $F_{max}$  si mantenga al di sotto dei 6 kN (figure 4.4.5-4 e 4.4.5-8), le accelerazioni  $a_{mis,max}$  variano notevolmente al variare della massa (figure 4.4.5-12 e 4.4.5-16), superando il valore accettabile di 6 g in tutte le prove eseguite con massa  $m = 60$  kg e nella maggior parte delle prove con massa  $m = 80$  kg.

Diminuendo la caduta libera, nella quasi totalità dei casi la  $F_{max}$  rimane sotto i 6 kN ad eccezione delle prove 100/I/1m nelle quali in quattro casi su cinque si raggiungono valori di  $F_{max}$  intorno ai 7 kN.

I valori di picco delle accelerazioni misurate risultano superiori al valore ritenuto accettabile pari a  $a_{mis,max} = 6$  g nelle prove 60/I, 60/F, 80/I e 100/F/3m.

In generale si evince che  $a_{mis,max}$  aumenta con il diminuire del valore della massa  $m$ .

I grafici rappresentati nelle figure da 4.4.5-33 a 4.4.5-40 riportano, per tipo di sistema di arresto caduta utilizzato, i valori della caduta frenata  $h_{cf}$  in funzione della caduta libera  $h_{cl}$  per le diverse masse utilizzate.

A parità di massa, la caduta frenata aumenta con la caduta libera. Fissata una caduta libera la caduta frenata diminuisce con la massa.

I grafici in figura 4.4.6-2 e in figura 4.4.6-4 riportano i valori medi delle massime accelerazioni misurate in funzione della caduta libera  $h_{cl}$  per le diverse masse utilizzate.

In generale le accelerazioni aumentano con il diminuire della massa e ad elevate accelerazioni misurate, corrispondono ridotte cadute frenate  $h_{cf}$ , come è meglio sintetizzato nei grafici che seguono.

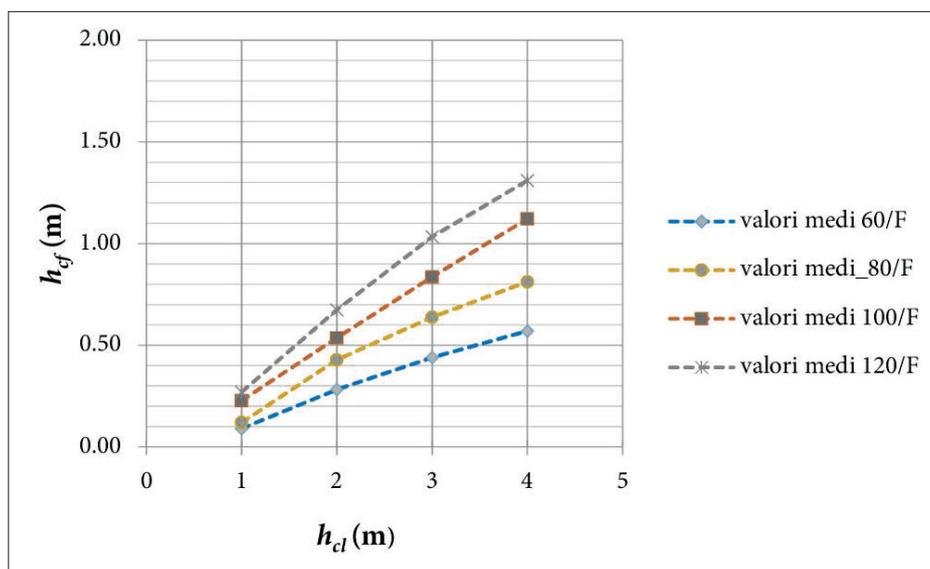


Figura 4.4.6-1: Caduta frenata per differenti cadute libere e differenti masse - Sistema *F*

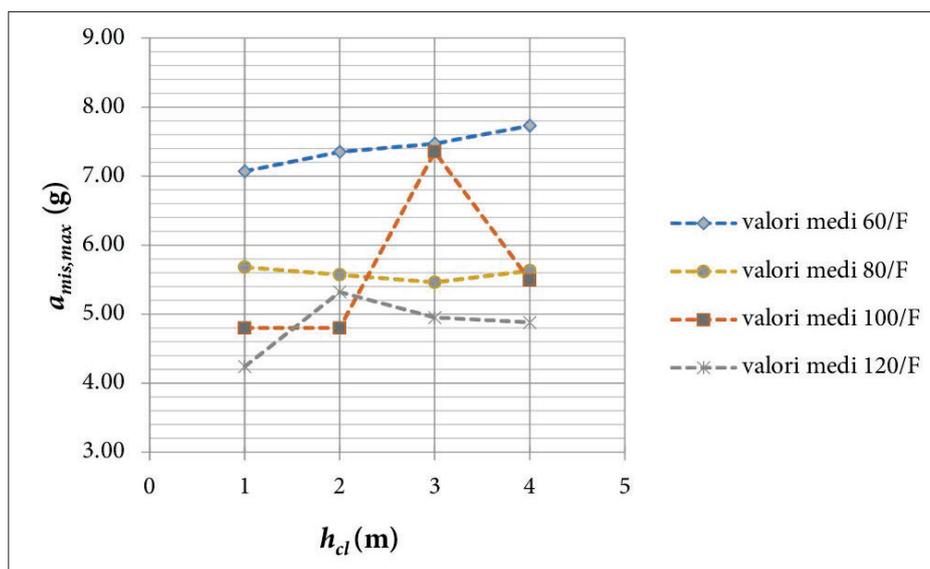


Figura 4.4.6-2: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere e differenti masse - Sistema *F*

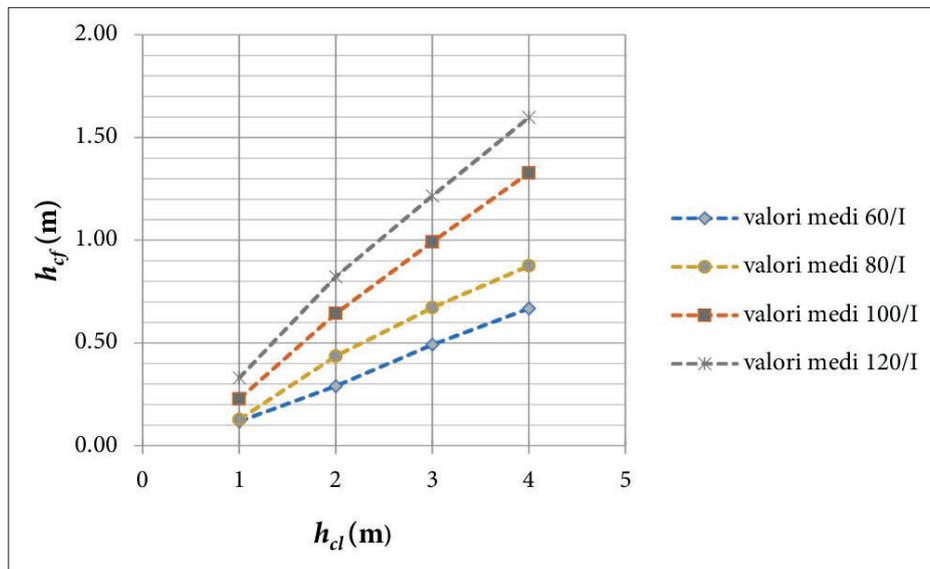


Figura 4.4.6-3: Caduta frenata per differenti cadute libere e differentin masse - Sistema I

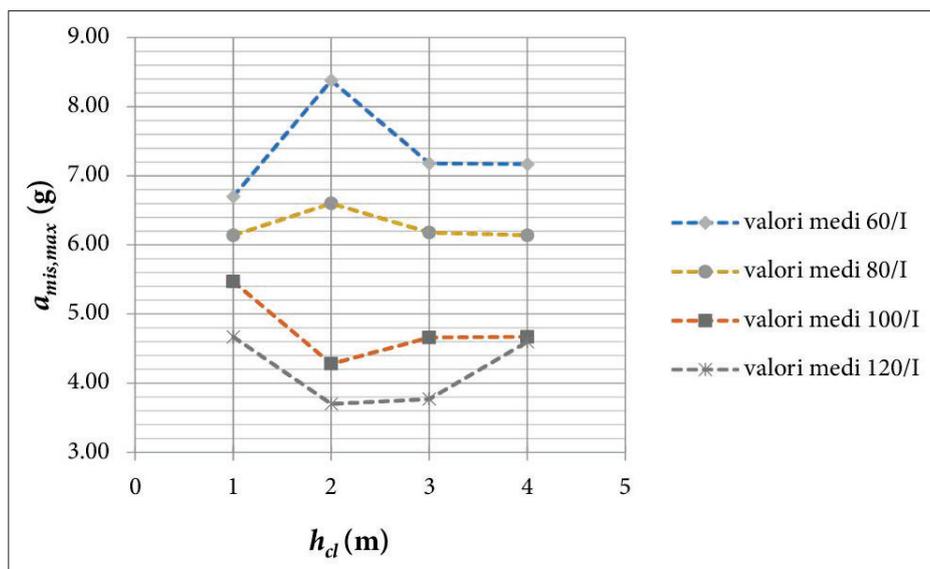


Figura 4.4.6-4: Accelerazione misurata massima per differenti cadute libere e differenti masse - Sistema I

#### 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 un decremento della massa si ha sempre un incremento della decelerazione. Con l’aumentare della massa invece diminuisce la decelerazione.

Ci sono situazioni di lavoro in cui sul corpo di un *light worker* agiscono sollecitazioni che possono risultare critiche in genere dovute ad accelerazioni con numero  $n$  superiore a 5.

Ce ne sono altre in cui sul corpo di un *heavy worker* 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.

L'organismo di normazione canadese CSA (Canadian Standards Association) nella norma CSA Z259.11-05 "Energy absorbers and lanyards" (revisione 2015) ha individuato due classi: E4 ed E6.

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

CSA ha creato le due classi per tutelare meglio i lavoratori di diverso peso corporeo. 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. Gli *heavy workers* che li utilizzano saranno quindi soggetti alle forze prima evidenziate.

Nel caso dunque di un *heavy worker* 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 in minor spazio.

#### 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 [Goh, Lov-010]. 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 massima superiore a 7 kN durante l'arresto caduta di un *heavy worker* 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 risultati dei test eseguiti mostrano che la forza frenante  $F_{max}$  è sempre inferiore a 6 kN.

I dati relativi all'accelerazione  $a_{mis,max}$  mostrano che per la massa di 60 kg il numero  $n(g)$  assume valori superiori a quello tollerabile pari a 6. Ciò vale per entrambi i sistemi impiegati ( $F$  ed  $I$ ).

Il valore tollerabile della  $a_{mis,max}$  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  $F$  o di tipo  $I$  un lavoratore di massa 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 massa compresa tra 100 kg e 120 kg, invece, è sottoposto ad accelerazioni inferiori a quelle normalmente accettate.

Sono dunque i *light workers* i lavoratori 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 essere utile introdurre delle classi (almeno due), per individuare le tipologie di assorbitori da impiegare nelle varie fasce di peso. In questo caso gli assorbitori dovrebbero essere testati con masse differenti rispetto a quella di 100 kg (ad es. 60 kg ÷ 90 kg e 90 kg ÷ 120 kg). Ciò significherebbe sottoporre a revisione la UNI EN 355: 2003.

Comunque, sarebbe opportuno che sull'assorbitore fosse 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.

## Riferimenti bibliografici

[HEH-005] V. Haines, E. Elton, M. Hussey - *Revision of body size criteria in standards - Protecting people who work at height*. HSE Report N. 342/2005.

[Cor-001] 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.

[CGRRV-005] 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.

[CFRRSV-012] 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.

[Goh, Lov-010] Y. M. Goh, P. E. D. Love - *Adequacy of personal fall arrest energy absorbers in relation to heavy workers*. Safety Science 48/2010.

[Cra-003] D. Crawford - *Survivable Impact Forces on Human Body Constrained by Full Body Harness*. HSE Report n. 09/2003.

[Sta-961] J. P. Stapp - *Human Tolerance to Severe, Abrupt Acceleration., Chapter 18 of Gravitational Stress in Aerospace Medicine*, edited by Gauer and Zuidema, Library of Congress Catalog Card No.61-7099, 1961.

[Eib-959] A. M. Eiband - *Human Tolerance to Rapidly Applied Acceleration. A Summary of the Literature*. NASA Memorandum 5-19-59E.

[RCFS-016] L. Rossi, L. Cortis, F. M. Fabiani, D. G. Svampa - *Idoneità dell'assorbitore di energia in relazione al peso del lavoratore*. INAIL, 2016.

## 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

DLgs 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 cuscini.

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.



## I Quaderni di ricerca

- 1 - G. Ciriello, M. De Felice, R. Mosca, M. Veltroni, *Infortuni sul lavoro. Un modello di lettura (della numerosità) su "open data" dell'Inail.*
- 2 - 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.*
- 3 - P. Rossi, *Danno biologico: monitoraggio, criticità e prospettive d'interesse medico-legale a dieci anni dall'introduzione della nuova disciplina.*
- 4 - M. De Felice, A. Goggiamani, R. Mosca, M. Veltroni, *Malattie professionali. Un modello di lettura (della numerosità) su "open data" dell'Inail.*
- 5 - L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *Nuovi strumenti per la valutazione dello scivolamento e ribaltamento delle scale portatili.*
- 6 - L. Cortis, F. M. Fabiani, L. Rossi, D. G. Svampa, *Determinazione della resistenza caratteristica dei dispositivi di collegamento montante-traverso nei ponteggi metallici fissi di facciata.*
- 7 - S. Carruba, R. Grimaldi, M. Sparro, S. Tomasini, *Vendor Rating: il modello di valutazione delle forniture IT dell'INAIL.*
- 8 - P. Agnello, S.M. Ansaldi, *Una proposta di ontologia per gli Open Data Inail sugli infortuni: dalla numerosità dei dati alla gestione della conoscenza.*
- 9 - A. Alvino, A. Antonini, C. Delle Site, A. Di Loreto, F. Giacobbe, D. Lega, E. Pichini, M.A. Pierdominici, L. Ricciardi, A. Tonti, *Analisi delle cause di rottura di materiali metallici: esempi di applicazione.*







