

1222·2022  
**800**  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**Dipartimento di Ingegneria Industriale DII**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Sviluppo e collaudo di metodi sperimentali per la prova a crash full-scale  
di barriere e airbag motociclisti ad attivazione elettronica

Relatore: Nicola Petrone

Co-Relatore: Giuseppe Zullo

Fabio Ciotti 2023810

Anno Accademico 2022/2023



# Sommario

<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>Catapulta Mini 1.0</b> .....	<b>9</b>
Progettazione .....	9
Versione 1.1 (Bici).....	9
Versione 1.2 (Sci) .....	11
Versione 1.3 (Solid Dummy) .....	12
Sottosistemi ricorrenti.....	13
Sistema di guida.....	13
Sistema di sostegno .....	14
Sistema di accelerazione .....	19
Sistema di carica .....	25
Sistema di rilascio .....	26
Sistema di freno.....	27
Regolazioni possibili della macchina .....	29
Collaudo del sistema.....	29
Stabilizzazione manichino.....	29
Guida per ruote .....	31
Sistema di rilascio e sicurezza.....	31
Utilizzo .....	34
Layout per i test in versione 1.1 .....	34
Layout per i test in versione 1.2 .....	35
Layout per i test in versione 1.3 .....	36
Strumenti di misurazione .....	39
Misurazione velocità (Versione 1.1) .....	39
Misurazione velocità (Versione 1.2) .....	40
Misurazione velocità (Versione 1.3) .....	42
<b>Criteri di valutazione del trauma cranico</b> .....	<b>45</b>
HIC (Head Injury Criterion) <sup>(8)</sup> .....	45
BrIC (Brain Injury Criterion) <sup>(9)</sup> .....	47
<b>Risultati Catapulta 1.1</b> .....	<b>49</b>
Descrizione Sessione Nevegal 02.....	49
Risultati della Sessione Nevegal 02 .....	57
<b>Risultati Catapulta 1.2 e 1.3</b> .....	<b>67</b>
Materassi ad alto assorbimento ad aria.....	67

Catapulta versione 1.2.....	69
Catapulta versione 1.3.....	79
Materassi in Gomma piuma e Mondaplen.....	84
Impatti a terra.....	84
Catapulta versione 1.3.....	108
Conclusioni .....	117
<b>Catapulta Large 2.0 .....</b>	<b>119</b>
Progettazione .....	119
Sottosistemi ricorrenti.....	121
Sistema di guida.....	121
Sistema di sostegno.....	122
Sistema di accelerazione .....	124
Sistema di carrucole .....	127
Sistema di carica .....	128
Sistema di rilascio .....	130
Sistema di freno.....	132
Sistema di sollevamento.....	133
Regolazioni possibili della macchina .....	134
Utilizzo .....	134
Layout per test con biciclette .....	134
Strumenti di misurazione .....	135
Videocamere ad alta velocità .....	135
Sistema di fotocellule Microgate.....	136
Conclusioni .....	136
<b>Catapulta Large 3.0 .....</b>	<b>137</b>
Progettazione .....	137
Sottosistemi ricorrenti.....	138
Sistema di guida.....	138
Sistema di sostegno.....	139
Sistema di accelerazione .....	146
Sistema di carrucole .....	154
Sistema di carica .....	155
Sistema di rilascio .....	159
Sistema di freno.....	160
Attrezzaggio prove Low Side .....	161
Descrizione low side .....	161

Attrezzaggio low side.....	162
Attrezzaggio prove High Side.....	165
Descrizione High Side .....	165
Attrezzaggio High Side.....	166
Strumenti di misurazione .....	170
Fotocellule Microgate Polifemo .....	170
Analisi video.....	171
Hybrid III sensorizzato .....	171
<b>Risultati Catapulta 3.0.....</b>	<b>177</b>
Analisi prove effettuate.....	177
Sessione 1 .....	177
Sessione 2 .....	178
Sessione 3 .....	179
Sessione 4 .....	180
Sessione 5 .....	182
Sessione 6 .....	183
Sessione 7 .....	183
Conclusioni .....	186
<b>Conclusioni .....</b>	<b>187</b>
<b>Appendice .....</b>	<b>189</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>209</b>



# Abstract

Alla base della tesi c'è la progettazione, costruzione e l'utilizzo di sistemi di lancio utilizzati per prove di crash test in vari ambiti, partendo da sessioni di prove in ambiente montano analizzando cadute di bici fino ad arrivare al lancio di moto per la certificazione di airbag, passando per crash test di manichini in veste di sciatore al fine di testare materassi ad aria ad alto assorbimento energetico.

Utilizzando sempre lo stesso sistema di lancio è stata inoltre redatta un'attenta analisi per la comparazione prestazione riguardo due tipi di materassi utilizzati in ambiente sciistico, in modo da identificare le prestazioni di nuovi materiali in commercio.

Il tutto è iniziato dall'attenzione da parte di un progetto europeo del ciclismo ambito montano, infatti al giorno d'oggi l'uso della bicicletta MTB è sempre più diffuso. Grazie all'avvento delle E-Bike molti principianti hanno iniziato a popolare anche i sentieri di alta montagna. Sfortunatamente, questo ha anche visto aumentare il numero di feriti. In effetti, anche il mondo delle protezioni sta registrando una grande crescita. Sulla scia di queste considerazioni, il progetto Good Ride si propone di approfondire il tema della sicurezza del pilota in tutti i suoi aspetti. Dalla stesura delle linee guida per la realizzazione di bike park sempre più sicuri alla certificazione delle protezioni.

Il primo lavoro quindi si basa sullo sviluppo, progettazione e realizzazione di un sistema di lancio adatto alle esigenze delle prove presso la pista di down hill del Nevegal. L'idea di base del sistema di lancio è avere delle guide a lato sulle quali far scorrere un carrello in modo tale da potervi lanciare oggetti. L'energia necessaria è ricavata dall'allungamento di elastici in gomma, la quale dopo il rilascio va a trasformarsi in energia cinetica sull'oggetto lanciato.

Analizzate le prestazioni del primo prototipo di sistema di lancio si è deciso di estendere le sue potenzialità investendo nella realizzazione di una nuova struttura atta alla certificazione di air-bag ad attivazione elettronica nel mondo del ciclismo. Questa ultima struttura ha avuto un ulteriore incremento di prestazioni passando all'ambiente motociclistico ed in particolare al crush test finalizzato alla certificazione di protezioni attive utilizzate nell'off-road.



# Catapulta Mini 1.0

## Progettazione

L'obiettivo della catapulta-1 era quello di disporre di un sistema in grado di eseguire dei crash test sui danni da impatto con le MTB. Questo era correlato all'ambiente montano, specificamente nel campo del downhill con la MTB, e con le conseguenti problematiche per la sicurezza fisica.

Le potenzialità della catapulta 1.1 possono essere implementate per altri tipi di crash test come, ad esempio, nel settore dello sci alpino, settore che al momento risulta molto carente di normative nell'ambito delle protezioni sulle piste in modo particolare sulle reti da sci. L'idea è quella di andare a studiare i danni che questi possono subire dagli impatti con le reti da sci con dei crash test. Per questo si è implementata la catapulta 1.1 andando a creare la versione catapulta 1.2 che ha reso possibile il lancio del Dummy nella versione sciatore, e nella versione catapulta 1.3 per il lancio del "sacco cilindrico" di 96.5 kg che va a replicare uno sciatore durante l'impatto per capire anche la capacità penetrativa che si ha nella rete da sci.

## Versione 1.1 (Bici)

La catapulta 1.1 è stata progettata con l'obiettivo di realizzare un lanciatore che fosse facile da posizionare in ambiente di piste da downhill, quindi più leggero possibile per facilitarne il trasporto, il montaggio e lo smontaggio.

L'installazione della catapulta in questa versione deve essere avvenuta su un salto esistente alla fine della pista di discesa a Nevegal. Pertanto, le dimensioni in lunghezza e larghezza del prototipo devono essere correlate a quest'ultimo. La rampa esistente è lunga 4 m e larga 2 m con un'inclinazione di  $-4^\circ$ . Si è deciso di replicare queste misure su una nuova piattaforma opportunamente modificata al fine di fissarci il telaio in acciaio della catapulta.



*Figura 0-1 Catapulta 1.1 durante le prove in campo, Nevegal*

## Configurazione della catapulta 1.1

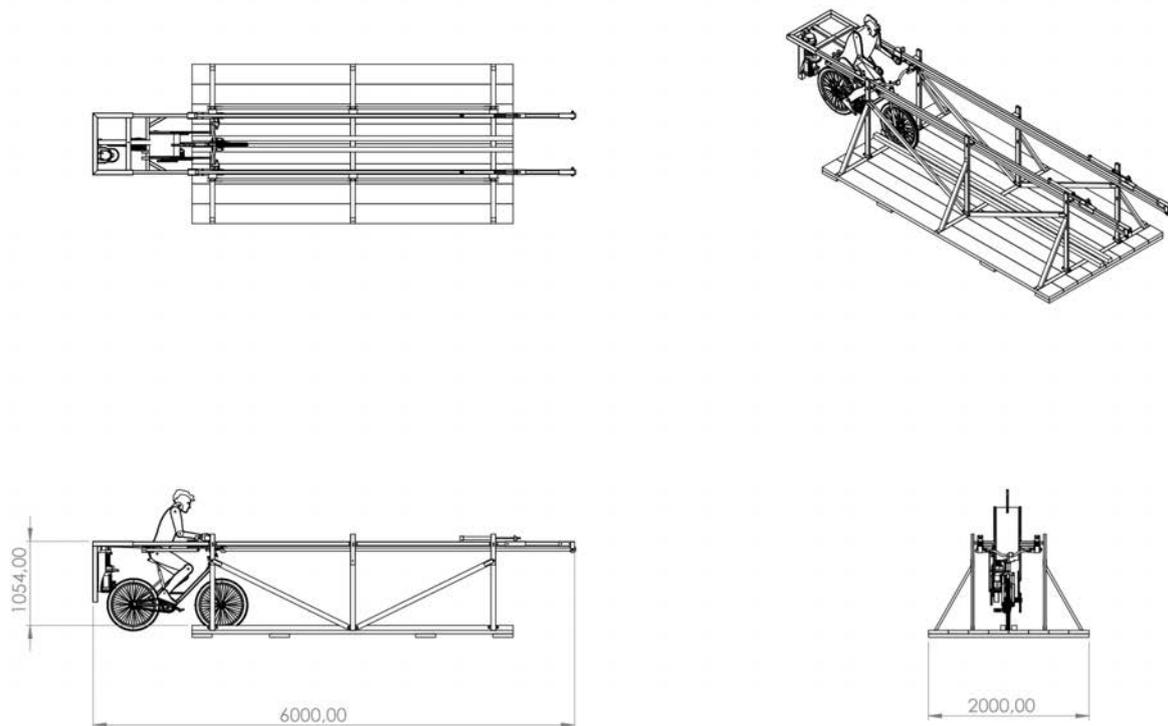


Figura 0-2 Configurazione Catapulta versione 1.1

## Componenti principali, e caratteristiche tecniche della catapulta 1.1

Descrizione componenti			cad. kg	tot [kg]
Guida C	Guida a C per rotaie 6m	2	21,2	42,4
Castelli laterali	Castelli laterali per sostenere guide a C	3	16,7	50,1
carello lancio	Carello per il lancio di parti	1	13,5	13,5
Controventi	Controventi laterali per irrigidire la struttura	4	8,7	34,8
Sistema sgancio	Sistema per sgancio e riaggancio carello	1	21,4	21,4
Sistema frenata	Sistema per la frenata del carello	2	7	14
Aggancio elastici	Sistema per l'aggancio degli elastici	2	5,2	10,4
Base	Base in legno	1	152,4	152,4
Argano	Argano elettrico	1	13	13
"MANCANO I LE VITI I BULLONI DELLE VARIE CONESSIONI"				
TOT		TOT PEZZI		TOT PESO
		17		352

## Versione 1.2 (Sci)

La Catapulta-1.2 è stata una riprogettazione della catapulta-1, tenendo però presente che le modifiche sono state realizzate in modo tale che la catapulta-1.2 possa essere riconfigurata come catapulta-1 e viceversa.

Il primo obiettivo, della catapulta 1.2 è quello di poter lanciare, il dummy in posizione da sciatore, da discesa libera in modo da poter effettuare prove d'impatto su materiale di protezione sulle piste da sci, oppure per svolgere prove in pista con il fine di ricavare dati dell'evento durante un'incidente pressoché reale.

Configurazione della catapulta 1.2

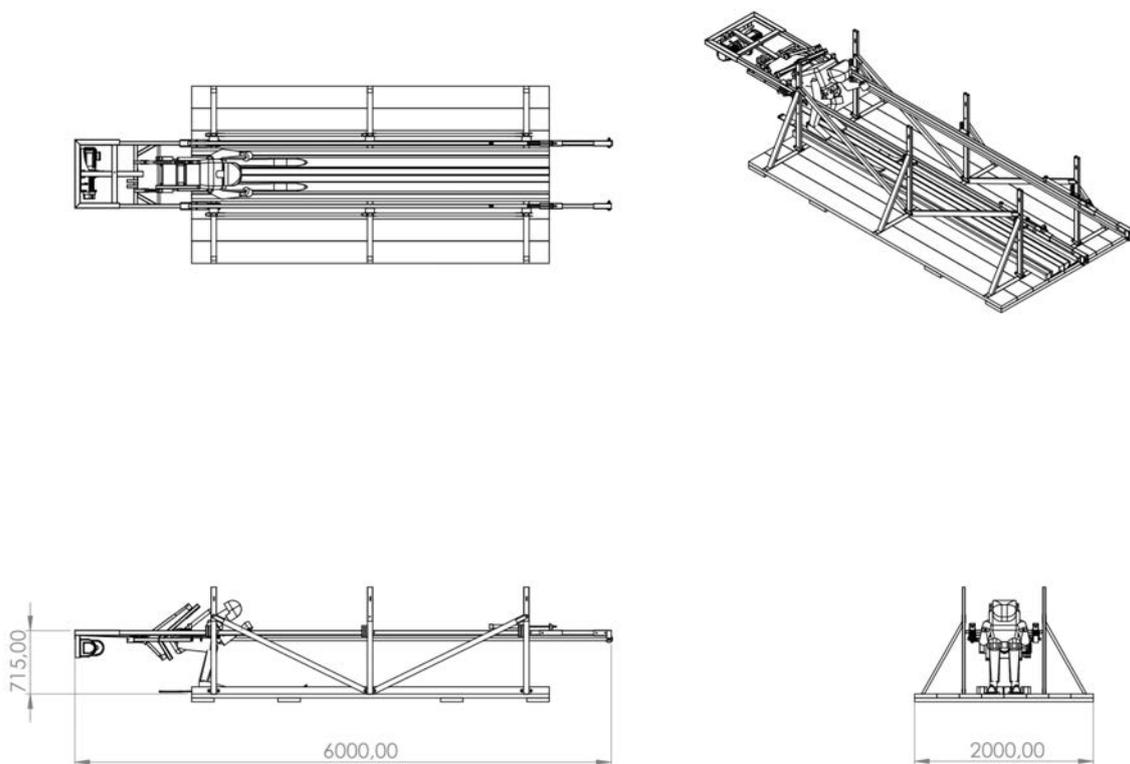


Figura 0-3 Configurazione Catapulta versione 1.2

Componenti principali, e caratteristiche tecniche della catapulta 1.2

Descrizione componenti			cad. kg	tot [kg]
Guida C	Guida a C per rotaie 6m	2	21,2	42,4
Castelli laterali	Castelli laterali per sostenere guide a C	3	16,7	50,1
carello lancio	Carello per il lancio di parti	1	23	23
Controventi	Controventi laterali per irrigidire la struttura	4	8,7	34,8
Sistema sgancio	Sistema per sgancio e riaggancio carello	1	21,4	21,4
Sistema frenata	Sistema per la frenata del carello	2	7	14
Aggancio elastici	Sistema per l'aggancio degli elastici	2	5,2	10,4
Base	Base in legno	1	152,4	152,4
Argano	Argano elettrico	1	13	13
"MANCANO I LE VITI I BULLONI DELLE VARIE CONESSIONI"				
TOT		TOT PEZZI		TOT PESO
		17		361,5

### Versione 1.3 (Solid Dummy)

La catapulte 1.3 è stata anch'essa una riprogettazione a partire dalla versione 1.1 sempre avendo la possibilità di passare alle versioni precedenti senza intoppi.

In questa versione si è andati a modificare il sistema in modo da poter lanciare un sacco cilindrico di massa 96.5 Kg a cui è stato avvitato un paio di sci in modo da poter scorrere sulle guide in teflon a terra.

Configurazione della catapulte 1.3

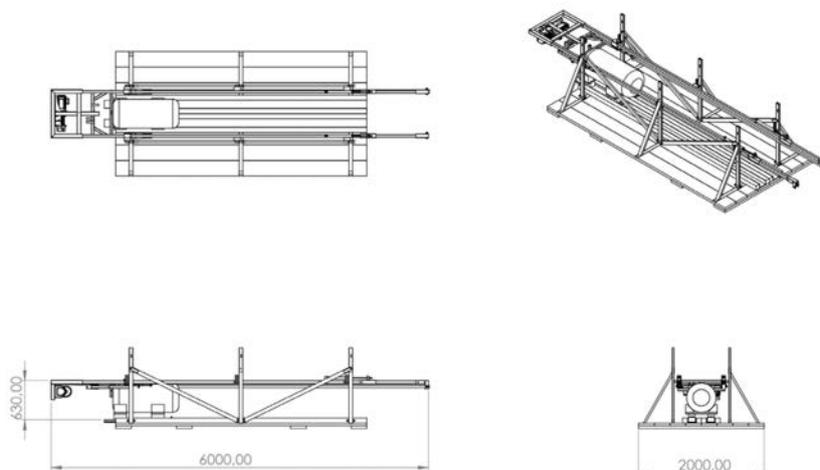


Figura 0-4 Configurazione Catapulta versione 1.3

## Componenti principali, e caratteristiche tecniche della catapulta 1.3

Descrizione componenti			cad. kg	tot [kg]
Guida C	Guida a C per rotaie 6m	2	21,2	42,4
Castelli laterali	Castelli laterali per sostenere guide a C	3	16,7	50,1
carello lancio	Carello per il lancio di parti	1	14	13,5
Controventi	Controventi laterali per irrigidire la struttura	4	8,7	34,8
Sistema sgancio	Sistema per sgancio e riaggancio carello	1	21,4	21,4
Sistema frenata	Sistema per la frenata del carello	2	7	14
Aggancio elastici	Sistema per l'aggancio degli elastici	2	5,2	10,4
Base	Base in legno	1	152,4	152,4
Argano	Argano elettrico	1	13	13
"MANCANO I LE VITI I BULLONI DELLE VARIE CONESSIONI"				
TOT	TOT_Pezzi			TOT_PESO
	17			352,5

## Sottosistemi ricorrenti

Nella struttura della catapulta 1.1, catapulta 1.2 e catapulta 1.3, possono essere identificati 6 sistemi che ne caratterizzano il funzionamento:

- Sistema di guida
- Sistema di sostegno
- Sistema di accelerazione
- Sistema di carica
- Sistema di rilascio
- Sistema di freno

## Sistema di guida

Il sistema di guida è stato pensato e scelto in modo da essere facile da montare e leggero da trasportare. Inoltre, tale da avere caratteristiche geometriche tali da poter sopportare i carichi in gioco dati dall'allungamento degli elastici in fase di carico.

Sono state scelte delle monorotaie con geometria a C utilizzate solitamente per movimentazione di portoni con carichi pesanti.

La taglia è media ovvero di dimensioni:

- B = 40 mm
- S = 2.8 mm
- H = 53 mm
- C = 23.5 mm

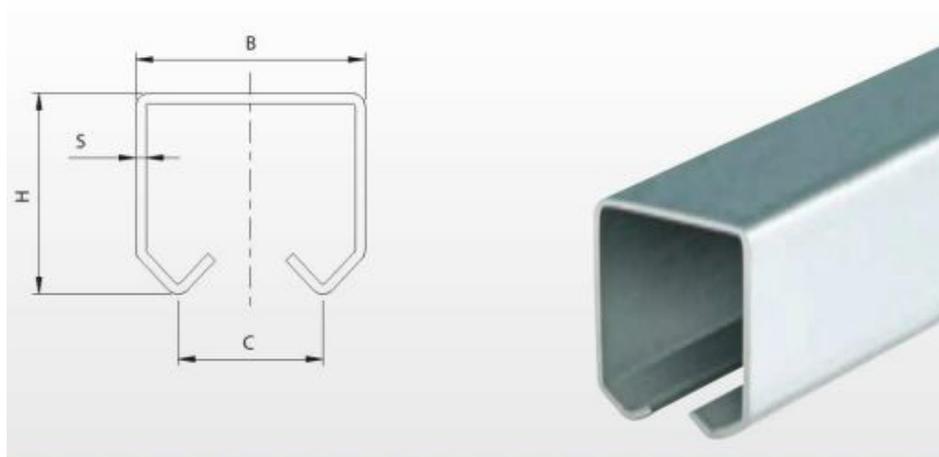


Figura 0-5 Sezione Travi della Catapulta 1

Per il sostegno di queste guide si sono pensati 3 portali di uguali dimensioni, fissati al pianale tramite tirafondi da legno e su di essi ricavati delle asole per bloccare solidamente le guide.

Per far in modo che l'intera struttura acquisisca una buona rigidità, tale da sopportare le sollecitazioni in fase di accelerazione e di frenata, si sono realizzati 4 puntoni che svolgono la funzione di controventi per i portali di testa e coda della struttura.

L'intera macchina è realizzata con l'utilizzo di un tubo rettangolare, sempre con la concezione di poter essere leggera, trasportabile e facilmente assemblabile.

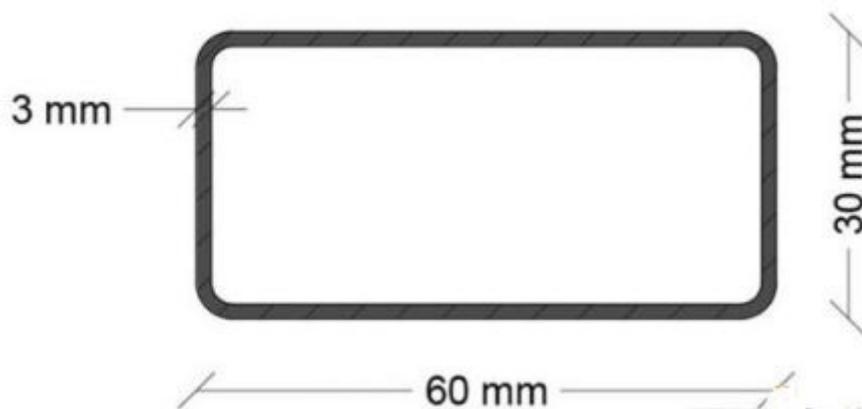


Figura 0-6 Sezione scatolati 60 x 30

## Sistema di sostegno

Il sistema di sostegno è stato studiato, per consentire inizialmente il lancio di una bicicletta con il manichino sulla sella, successivamente modificato per il lancio sia dello sciatore, che del sacco cilindrico.

La catapulta ha un carrello formato da 2 serie di 3 carrellini adatti a scorrere all'interno delle guide sopra descritte. Questa struttura riceve la forza risultante dall'allungamento degli elastici in fase di accelerazione, inoltre il carico impulsivo in fase di frenata. Su di esso sono stati sviluppati tutti i vari sistemi di supporto per adattarsi alle 3 versioni.

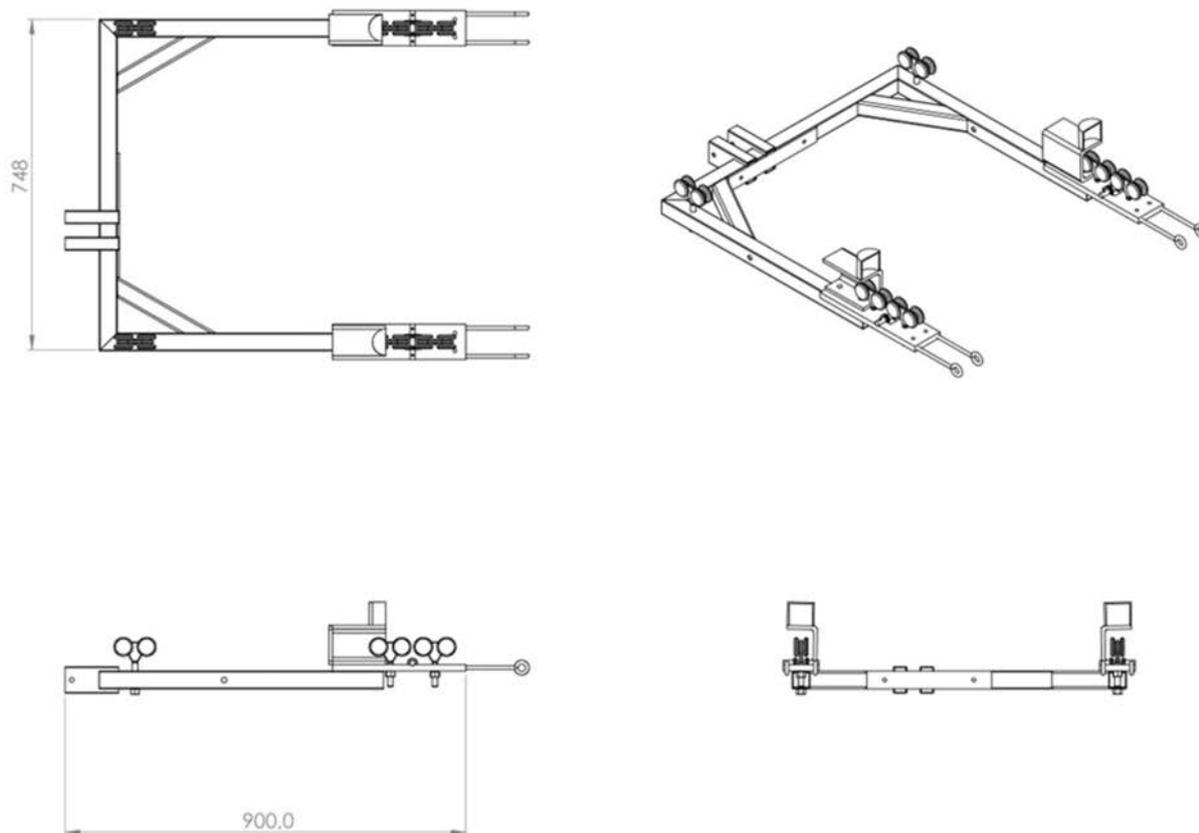
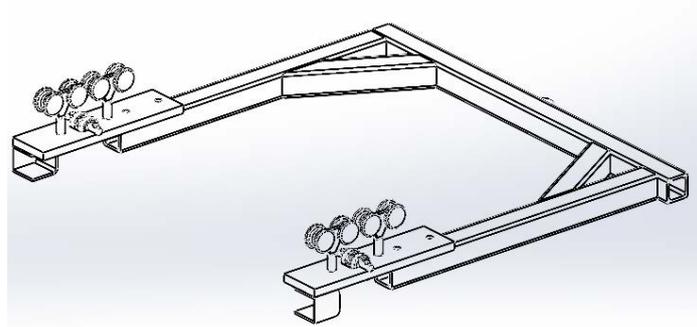


Figura 0-7Messa in tavola dell assieme carrello

## Versione 1.1 (bici)



In questa versione, si sono creati 2 alloggiamenti nella parte anteriore del carrello dove viene fissato il manubrio della bici, e da questa zona si va ad applicare la forza dovuta all'accelerazione. Per sostenere il manichino durante la fase di lancio si va a collegare una fascia facendola passare dietro la schiena, in modo tale che il baricentro del manichino sia all'interno della zona di carico.



*Figura 0-8 Vista assonometrica carrello*

Per mantenere la bicicletta carica ben allineata sia in fase di carico che di lancio, si sono fissati al pianale 2 travetti in legno in modo tale che la ruota vi possa scorrere solo al suo interno.



*Figura 0-9 Murali utilizzati per la guida della bici*

## **Versione 1.2 (Sci)**



*Figura 0-10 Configurazione Catapulta in versione 1.2*

Per quanto riguarda il sistema di supporto dello sciatore, è stato sviluppato in modo tale che lo sciatore possa muoversi avanti e indietro nella fase di caricamento della catapulta e nella fase di rilascio della catapulta; il sistema realizzato per il lancio di Hybrid III è stato progettato, da Damiano Aldrighetti (1), come una sorta di sedile in modo tale da permettere di spingere sui glutei e sulla schiena.

Il sistema è stato poi dotato di una regolazione in modo da poter essere adattato ai cambiamenti della posizione dello sciatore.

In questa versione il baricentro dello sciatore si trova più in basso rispetto a quello del manichino sulla bici, di conseguenza si sono abbassate le guide in modo da allineare il tutto.

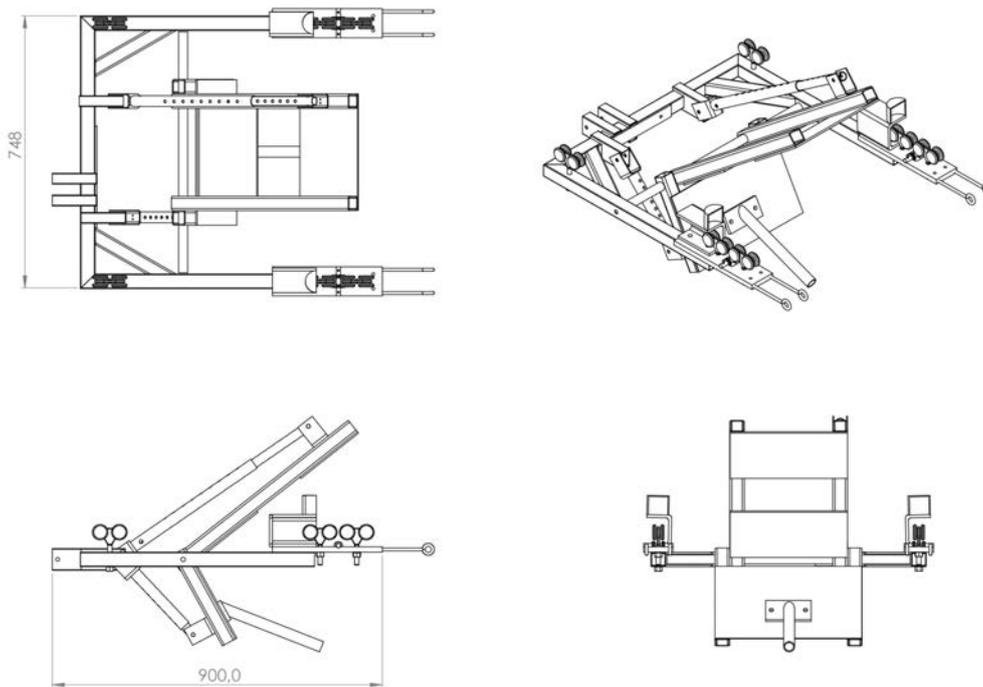


Figura 0-11Messa in tavola del carrello 1.2

Per poter guidare e far scorrere gli sci attaccati agli scarponi del manichino, sulla base della catapulta è stato installato un sistema di guide in legno che vincolano lo scorrimento degli sci all'interno delle rotaie; al di sotto di queste guide sono stati inseriti dei fogli di materiale polimerico per permettere agli sci di scivolare agevolmente durante il lancio e ridurre gli attriti.

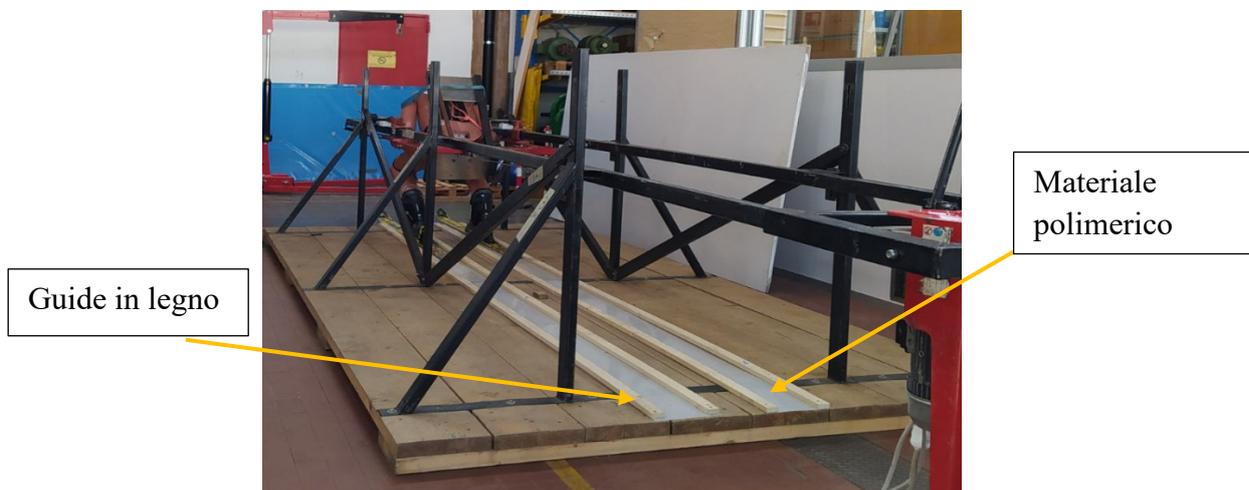


Figura 0-12Guide per lo scorrimento degli sci

## Versione 1.3 (Solid Dummy)



*Figura 0-13 Configurazione Catapulta versione 1.3*

Per il sistema di lancio del sacco si è pensato all'utilizzo di una "slitta", che svolge la funzione di vettore su cui è fissato il sacco cilindrico mediante viti da legno. Per accelerare la slitta più il sacco si è pensato di andare ad imprimere la forza sul baricentro dell'assieme slitta più sacco in modo da evitare la generazione di momenti fuori asse che diminuirebbero l'efficienza della spinta. Per fare ciò, anche in questo caso si è andati ad allineare la spinta del carrello al baricentro del sacco, andando ad abbassare le guide principali.

Al fine di mantenere il sacco allineato durante le varie fasi si sono realizzati 2 supporti laterali regolabili, registrati su misura del sacco durante il primo lancio.

La slitta fissata al sacco è fatta scorrere sulle stesse guide in materiale polimerico prodotte per la versione 1.2.



*Figura 0-14 Vista dall'alto del Solid Dummy in posizione*

## **Sistema di accelerazione**

Il sistema di accelerazione è stato studiato per poter far uscire dalla catapulta, bicicletta, sciatore e sacco cilindrico in soli 4 metri di accelerazione ad una velocità di 30-50 km/h.

La fonte di energia che è stata scelta è quella potenziale elastica, infatti avendo solo 4 metri per raggiungere i massimi 50 km/h i dispositivi elettrici, pneumatici o idraulici dovrebbero richiedere una grande quantità di potenza che non è disponibile in un campo di montagna. Esistono diversi tipi di corda elastica nel commercio, dalla fascia elastica per fitness (e.g., Domyos di Decathlon) fino alla corda Bungee tipicamente utilizzata per il Bungee Jumping. Per quanto riguarda gli elastici, che sono

realizzati con gomma naturale, in commercio si è trovato questo modello che con 60kg ha una deformazione del 300%, con una lunghezza iniziale di 1 m. Quest'ultima è la soluzione più compatibile. In laboratorio sono state effettuate delle prove per verificare le loro caratteristiche di elasticità.



Figura 0-15Elastici Decathlon

Le caratteristiche degli elastici sono state rilevate andando a caricare l'elastico con una serie di carichi prefissati e andando a misurare i vari allungamenti che l'elastico subiva. I test di carico sono stati effettuati da Lorenzo Crosetta (2) durante il suo periodo di tesi e successivamente riassunti di seguito in un grafico, inoltre si è andati a trovare una media della costante elastica riassunta in tabella.

Imposed Vertical Mass [kg]	N	Length under load (m)	$\Delta l$ [m]	Permanent deformation [mm]
0	0	1.05	0	0
30	294.3	1.93	0.88	0
40	392.4	2.48	1.43	0
50	490.5	3.07	2.02	0
60	588.6	3.61	2.56	40
75	735.75	4.55	3.5	40
100	981	N/V	N/V	N/V

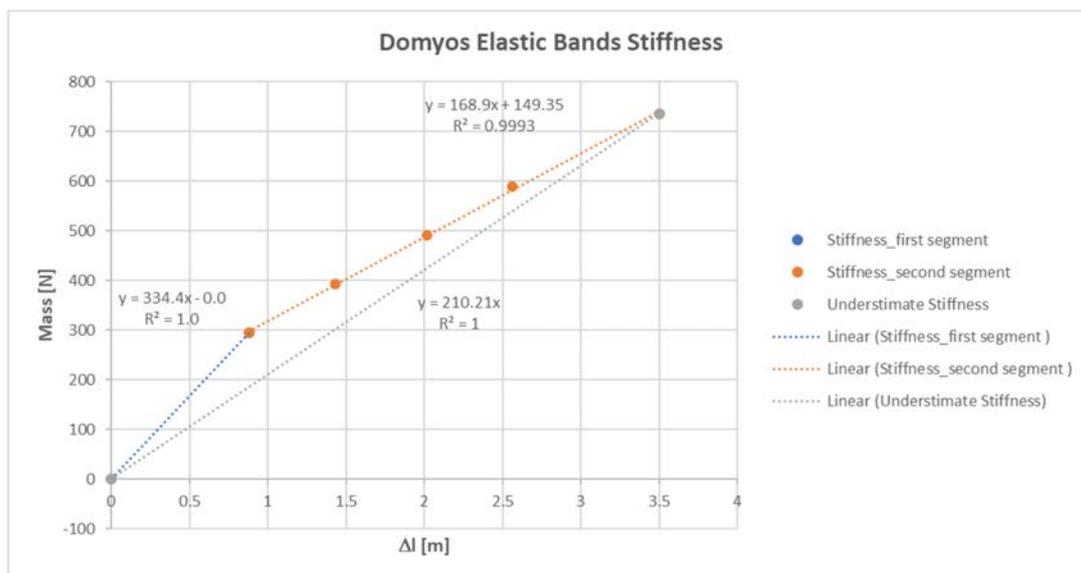


Figura 0-16Grafico caratterizzazione elastico

Essendo un caso reale di molla elastica, il rapporto tra spostamento e carico non è totalmente lineare come mostrano i punti in figura. In effetti, si possono identificare due sezioni lineari. Si è deciso di

sottovalutare la rigidità prendendo la linea di tendenza grigia. Pertanto, sono confermati i dati di catalogo del Domyos (3) con deformazione massima del 350%, carico massimo di 100 kg e rigidità di 210 N/m.

Domyos Mechanical Properties			
Static Length [m]	Stiffness [N/m]	Max_def	Max load [kg]
1.05 +/- 5%	210 +/- 10%	350% +/- 5%	100 +/- 5%

Il progetto della catapulta prevede una velocità di uscita dello sciatore di circa 50 km/h. Per stimare il numero di elastici che verranno messi in parallelo è stata applicata la legge di conservazione meccanica dell'energia:

$$\frac{1}{2} * m * V_f^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_f^2 = \frac{1}{2} * m * V_i^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_i^2$$

Con:

K = Rigidezza elastico;  $\Delta X$  = Allungamento. Con i simboli: f = Posizione finale, i = Posizione iniziale

La catapulta è stata pensata per andare a sfruttare, la massima deformazione possibile degli elastici; quindi, si va ad 'utilizzare tutta la lunghezza disponibile consentita dai binari della catapulta, che è di 4 m.

La massa che la catapulta deve accelerare nella prima versione il manichino Hybrid III, con massa Md in sella alla bicicletta Mb; nel caso dello sciatore deve tenere conto del Hybrid III e l'attrezzatura da sci Md, e il peso del carello Mc, questo per quanto riguarda lo sciatore, per il lancio del sacco, devo tenere conto del peso della slitta più il sacco Mss e sempre del carello modificato per il lancio della slitta Ms.

- Md = 88 kg
- Mb = 10 Kg
- Mc = 23,8 kg
- Mss = 97 kg
- Ms = 14 kg

I valori iniziali e finali della deformazione degli elastici misurati sono di:

- $\Delta X_f = 0$  m;
- $\Delta X_i = (4.67 - 1.05) = 3.62 \pm 5\%$  m;

## Calcoli per numero elastici per il lancio del Dummy in versione MTB

Per quanto riguarda la stima della velocità del Hybrid III in sella alla bicicletta all'uscita della catapulta andremo ad utilizzare l'equazione della conservazione meccanica dell'energia introducendo i valori iniziali e finali di lunghezza degli elastici e semplificando i termini nulli:

$$\frac{1}{2} * m * V_f^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_f^2 = \frac{1}{2} * m * V_i^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_i^2$$

$$m * V_f^2 = K * \Delta X_i^2$$

$$V_f = \sqrt{\frac{n * K * \Delta X_i^2}{m}}$$

Dove n sta per il numero degli elastici che si vogliono installare, che è stato individuato come **6** il numero di elastici necessari per garantire una velocità all'uscita di 35 km/h.

$$V_f = \sqrt{\frac{6 * 210 * 3.62^2 \pm (10\% + 2 * 5\%)}{112 \pm 3\%}} = 12.14 \text{ m/s}$$

Per quanto riguarda l'accelerazione viene calcolata come il rapporto tra la forza iniziale e la massa totale:

$$F_i = 6 * K * \Delta x_i = 4500 \text{ N}$$

$$a_i = \frac{F_i}{m} = \frac{6 * 210 * 3.62}{112} \pm (10\% + 5\% + 3\%) = 40.7 \pm 18 \% \text{ m/s}^2$$

Questi sono i calcoli di stima per la velocità di uscita con la configurazione per il lancio del manichino in sella alla MTB.

### Calcoli per numero elastici per il lancio del Dummy

Per quanto riguarda la stima della velocità del Hybrid III all'uscita della catapulta andremo ad utilizzare l'equazione della conservazione meccanica dell'energia introducendo i valori iniziali e finali di lunghezza degli elastici e semplificando i termini nulli:

$$\frac{1}{2} * m * V_f^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_f^2 = \frac{1}{2} * m * V_i^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_i^2$$

$$m * V_f^2 = K * \Delta X_i^2$$

$$V_f = \sqrt{\frac{n * K * \Delta X_i^2}{m}}$$

Dove n sta per il numero degli elastici che si vogliono installare, che è stato individuato come **10** il numero di elastici necessari per garantire una velocità all'uscita di 50 km/h.

$$V_f = \sqrt{\frac{10 * 210 * 3.62^2 \pm (10\% + 2 * 5\%)}{113 \pm 3\%}} = 15.6 \text{ m/s}$$

Per quanto riguarda l'accelerazione viene calcolata come il rapporto tra la forza iniziale e la massa totale:

$$F_i = 10 * K * \Delta x_i = 7600 \text{ N}$$

$$a_i = \frac{F_i}{m} = \frac{10 * 210 * 3.62}{113} \pm (10\% + 5\% + 3\%) = 67.3 \pm 18 \% \text{ m/s}^2$$

Questi sono i calcoli di stima per la velocità di uscita con la configurazione per il lancio dello sciatore.

### Calcoli per numero elastici per il lancio del “Solid dummy”

Per quanto riguarda la stima della velocità di uscita della slitta più il sacco cilindrico utilizzeremo sempre l’equazione della conservazione meccanica dell’energia introducendo i valori iniziali e finali di lunghezza degli elastici e semplificando i termini nulli:

$$\frac{1}{2} * m * V_f^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_f^2 = \frac{1}{2} * m * V_i^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_i^2$$

$$m * V_f^2 = K * \Delta X_i^2$$

$$V_f = \sqrt{\frac{n * K * \Delta X_i^2}{m}}$$

Anche per il lancio della slitta più il sacco cilindro si è trovato che **10** elastici come per il lancio del Dummy in versione sciatore garantiscono una velocità di 50 km/h

$$V_f = \sqrt{\frac{10 * 210 * 3.62^2 \pm (10\% + 2 * 5\%)}{111 \pm 3\%}} = 15.7 \text{ m/s}$$

Per quanto riguarda l’accelerazione viene calcolata come il rapporto tra la forza iniziale e la massa totale:

$$F_i = 10 * K * \Delta x_i = 7600 \text{ N}$$

$$a_i = \frac{F_i}{m} = \frac{10 * 210 * 3.62}{111} \pm (10\% + 5\% + 3\%) = 68.5 \pm 18 \% \text{ m/s}^2$$

Questi sono i calcoli di stima per la velocità di uscita con la configurazione per il lancio del Solid dummy.

### Sistema di fissaggio degli elastici

Gli elastici sono fissati al carrello e alla parte anteriore della Catapulta mediante un sistema di aggancio rifigurato.



Sistema di fissaggio degli elastici al carrello



Figura 0-17 Sistema di fissaggio elastici al carrello



Vista laterale della connessione degli elastici

Figura 0-18 Vista dell'assieme del fissaggio elastici

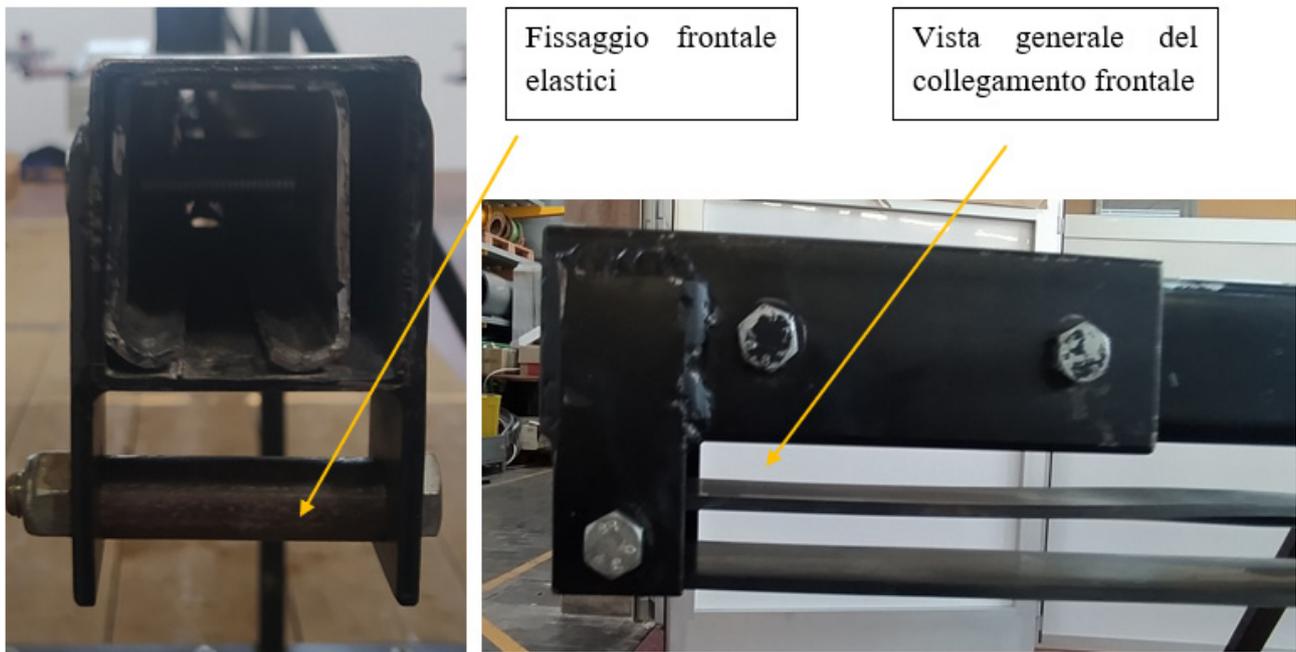
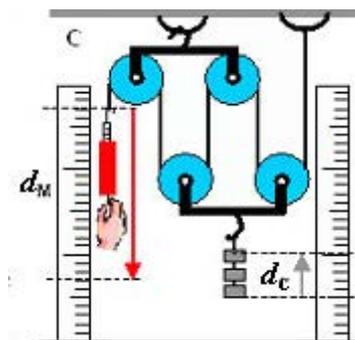


Figura 0-19 Fissaggio elastici alla struttura

## Sistema di carica

Per raggiungere una velocità di circa 50 km/h è necessario pretensionare gli elastici con una forza di circa 7600 N, che tradotti in kg sono circa 780 kg.



Il sistema sopra raffigurato permette di andare a ridurre di un fattore 0,2 il carico iniziale di 780 kg; occorre quindi andare a selezionare un sistema che fornisca una forza di almeno 160 kg.

La scelta è stata quella di utilizzare un argano elettrico con capacità di sollevamento di almeno 300 kg.

Di seguito le foto del verricello e del sistema totale:

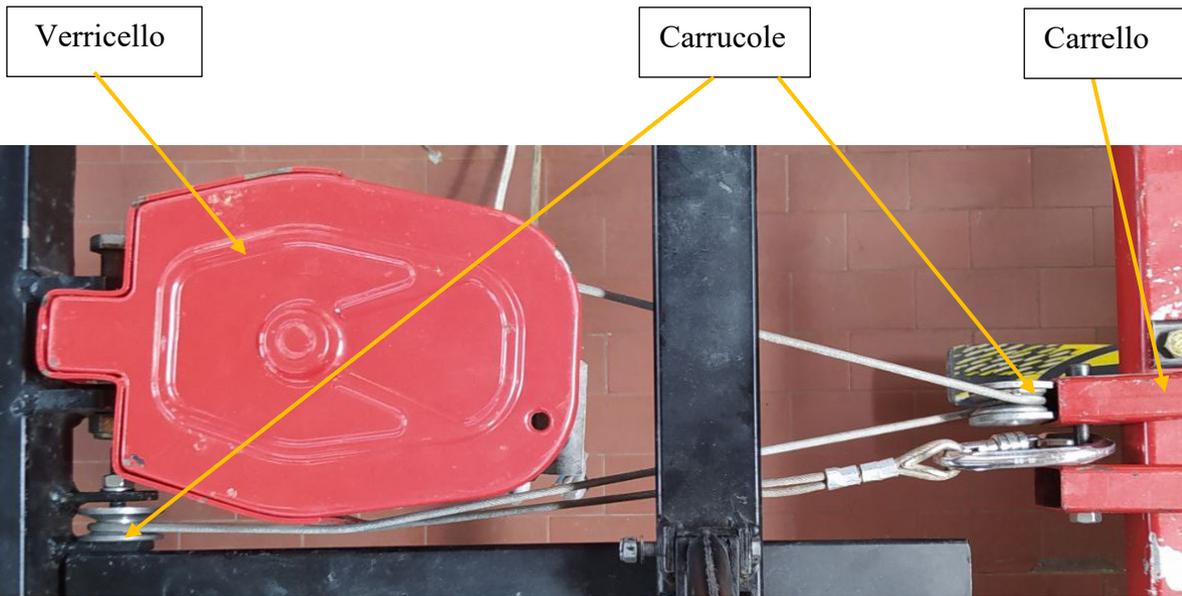


Figura 0-20 Assieme del sistema di carico



Figura 0-21 Verricello elettrico

## Sistema di rilascio

Il sistema di sgancio consente lo sgancio del carrello precedentemente precaricato con elastici. Questo sistema di sgancio deve avere la caratteristica di essere molto rapido nello sgancio del carrello e deve inoltre permettere agli operatori che lo azionano di trovarsi ad almeno 4 metri di distanza dalla catapulta, questo per garantire sicurezza nel caso si verificassero problemi nel lancio.

Questo sistema di sgancio è una combinazione di due diverse leve, ed è rappresentato in figura

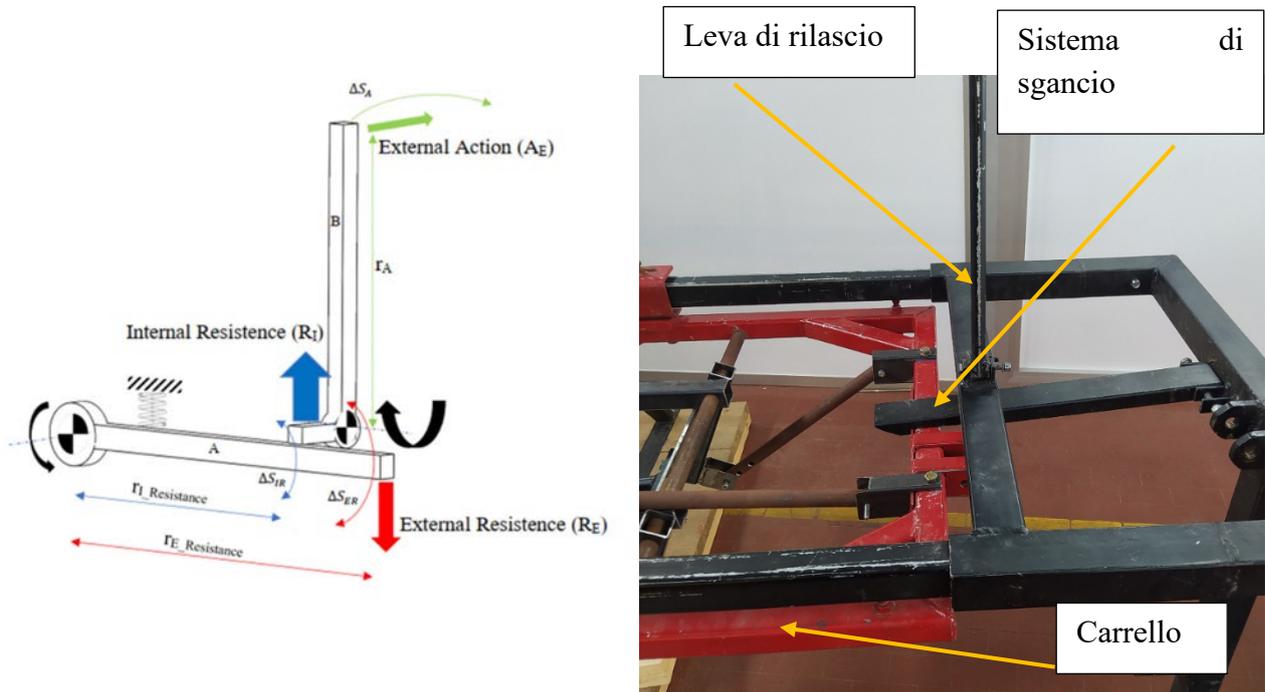


Figura 0-22 Sistema di sgancio

## Sistema di freno

Per riuscire a dissipare l'energia del carrello, per poter rilasciare il Dummy versione sciatore o la slitta con il cilindro, sono stati predisposti, due dissipatori di energia, proveniente dal settore automotive. La corsa di lavoro di questi dissipatori va dai 20 ai 30 cm.

Dalle prove di Lorenzo Crosetta si è visto che i dissipatori lavorano fino a fine a corsa, è quindi possibile andare a stimare un'energia media che questi dissipano.

Andando ad 'assumere una lunghezza di dissipazione =  $0,2 \pm 10\% m$ , l'energia è:

$$E_{dissipated} = \frac{1}{2} * m * V_f^2 = F_{dumpers} * Stroke$$

$$E_{dissipated} = \frac{1}{2} * 25 * 13^2 \pm (6\% + 12\%) = 2112.5 \pm 18\% J$$

La forza a cui è soggetto ogni dissipatore è di:

$$F_{dumpers} = \frac{2112.5}{0,20} = 10562 N \pm 28\%$$

I dissipatori posizionati sulla catapulta sono 2.

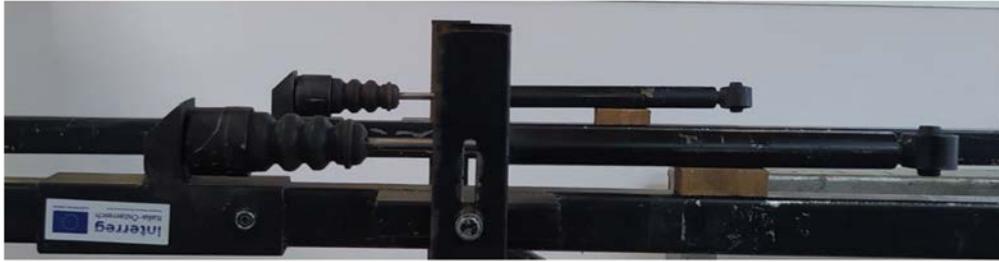


Figura 0-23 Dissipatori di energia

Il funzionamento di questi due ammortizzatori è molto semplice, sul carello sono posizionati due sistemi che ricalcano la forma della testa degli ammortizzatori.

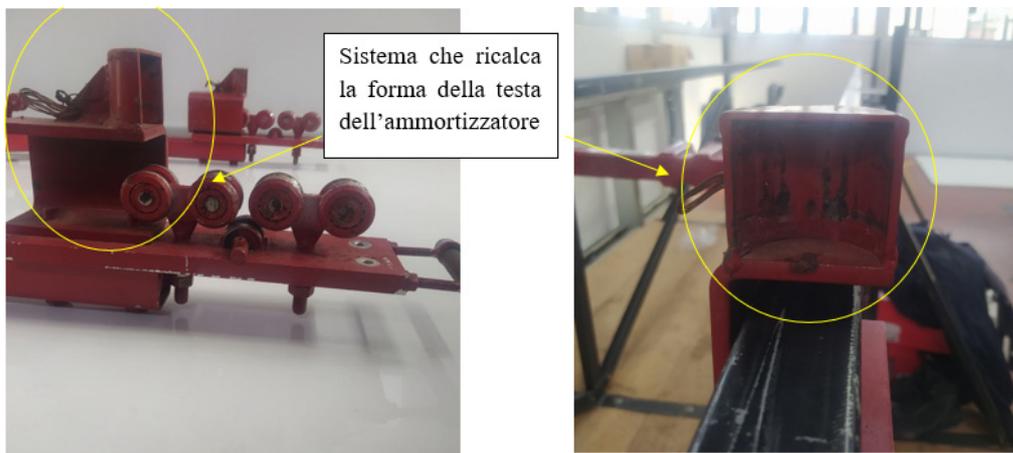


Figura 0-24 Sede di appoggio ammortizzatori

Quando il carello arriva nel punto dove deve essere stoppato, la testa dell'ammortizzatore va ad inserirsi, nel sistema sopra rappresentato e va ad azionare l'ammortizzatore.

Qui sotto la foto del sistema prima di entrare in azione con la punta dell'ammortizzatore che è entrata nel sistema predisposto sul carello:



Figura 0-25 Entrata in funzione degli ammortizzatori

## Regolazioni possibili della macchina

Per questo prototipo è possibile effettuare due regolazioni:

- Energia elastica immagazzinata;
- Altezza del carrello;

Per la prima regolazione è chiaro capire che aggiungendo o riducendo il numero di elastici in parallelo è possibile gestire l'energia immagazzinata, e quindi la velocità di lancio. La seconda regolazione riguarda la possibilità di modificare in altezza la posizione del carrello.



*Figura 0-26Punti di fissaggio delle guide laterali*

Agendo sui tre punti di ancoraggio mostrati nella foto è possibile regolare l'altezza del carrello. Questo regolamento è necessario, in versione 1.1 per utilizzare biciclette diverse, infatti essendo un crash test sia il manichino che la moto possono rompersi. Nelle altre due versioni la regolazione è utilizzata per cercare di avere la forza risultante il più allineata possibile con il centro di massa di manichino oppure del "Solid Dummy".

## Collaudo del sistema

### Stabilizzazione manichino

In fase di costruzione del sistema sono stati effettuati diversi test pilota in modo tale da poter evidenziare eventuali punti deboli o bug del sistema, così da arrivare pronti durante le prove di lancio sulla pista del Nevegal.

Per la guida del manubrio vengono utilizzate due piastre a forma di C. Questa soluzione è dovuta al fatto che alla fine dell'accelerazione il manichino deve correre senza ostacoli fuori dalla slitta. Quindi,

la forma C lo consente, ma durante il test Pilota, la possibilità che il manubrio superi la C ha evidenziato che in fase di carico la moto può staccarsi dalla guida, in particolare quando si effettuano lanci con inclinazioni negative. Questo fatto porta una situazione pericolosa perché non c'è modo di scaricare il sistema una volta che è pronto per l'avvio.



*Figura 0-27 Zone di spinta della bici*

Invece, per quanto riguarda il collegamento tra manubrio e manichino, sono stati utilizzati semplici fascette di plastica, facilmente acquistabili in commercio. Infatti durante il test pilota il primo lancio ha dimostrato che senza di esse il momento di ribaltamento dovuto al braccio che il baricentro dell'insieme manichino-bici ha rispetto al punto di carico di applicazione del carrello fa cadere il manichino all'indietro.



*Figura 0-28 Primo test di collaudo*

Quindi le mani del manichino sono state collegate al manubrio con fascette. Poi anche il manichino è stato sostenuto dalla cintura gialla mostrata nella foto seguente, in modo da aiutare a scaricare parte del carico dalle mani alla schiena.



*Figura 0-29 Fascette fissaggio mani manichino*



*Figura 0-30Cinghia per sostenere la schiena*

## Guida per ruote

In fase di accelerazione la bici viene spinta dal manubrio e le ruote sono libere di muoversi lateralmente. È necessaria una guida che costringa le ruote ad andare dritte. La forma di queste guide è stata scelta in modo da riuscire a guidare la bicicletta durante il carico e il rilascio, ma anche pensata da limitare un eventuale tentativo di oltrepassare la guida. Infatti si è passati da una sezione pressochè quadrata ad una trapezoidale.



*Figura 0-31Guida ruota bicicletta*

Le guide sono fissate al pianale di legno tramite viti, quindi in fase di test se dovessero cambiare le dimensioni degli pneumatici è facile una loro modifica in poco tempo.

## Sistema di rilascio e sicurezza

Il sistema di rilascio deve avere le seguenti caratteristiche per la sicurezza:

- Un solo punto di rilascio;
- Almeno due sistemi di sicurezza prima del lancio;

La prima caratteristica è dovuta alla sincronizzazione non perfetta che possono avere i due punti di rilascio. Se un lato del carrello viene rilasciato prima dell'altro si potrebbe verificare un blocco del sistema. La seconda caratteristica è correlata al concetto di punto di non ritorno, durante il carico del sistema di propulsione non ci deve essere alcuna possibilità che il carrello si stacchi dal verricello. Quindi il primo sistema di sicurezza consiste in un perno che collega il paranco che carica l'elastico e il carrello come mostrato in foto.



*Figura 0-32 Sistema di rilascio carrucola*

Durante l'intero carico dell'elastico tutta la forza agisce su quella punta metallica. Una volta che il carrello raggiunge la parte posteriore del telaio, un gancio si collega ad esso. A questo punto ci sono due sistemi di sicurezza:

- Perno metallico;
- Attacco a gancio;

In questa fase è importante verificare se la moto e il manichino sono nella giusta configurazione. Perché durante il carico c'è la possibilità che il manubrio fuoriesca dai supporti a forma di C. Come in questa foto:



*Figura 0-33Fuoriuscita involontaria manubrio*

Per ovviare a questo problema nel momento in cui si va a fissare il manichino in posizione si lega la bici al carrello in modo che in fase di carica la bici non possa scorrere in avanti. Nel momento in cui si scollega il perno di collegamento al paranco si libera anche questo cordino e da questo istante la bici è libera.

## **Installazione del manichino**

In fase di preparazione del manichino in sella alla bicicletta, si è notato che a causa del poco spazio a disposizione è molto scomodo e faticoso caricarlo, quindi si è pensato di creare un 'arco al di sopra delle guide e fissarvi una carrucola. Tramite l'utilizzo dello stesso verricello elettrico posizionato nella parte posteriore della slitta, si fa passare il cavo nella nuova carrucola fissata in alto e quindi usare il nuovo sistema per posizionare in sella il manichino.



*Figura 0-34Installazione manichino*

# Utilizzo

## Layout per i test in versione 1.1



*Figura 0-35 Layout prove Nevegal*

Nell'ambito del progetto europeo good ride, finanziato dal programma Interreg VA Italia-Australia, sono stati effettuati test outdoor in vivo nel 2018 e nel 2019, sia in Italia nel Nevegal Bike Park che in Austria nel Saalbach Bike Park. Durante queste sessioni, gli obiettivi principali sono quelli di ricavare le storie di carico che hanno agito sulla bici e di definire le linee guida per la progettazione di bike park più sicuri.

Le prove di lancio presso il Nevegal hanno coinvolto sia il Dummy con la valutazione della fattibilità del lancio sia la raccolta di ulteriori dati riguardanti i carichi strutturali e antropometrici sulla moto e sul pilota esperto. In totale sono stati spesi tre giorni. Il primo è stato testato il manichino con il sistema di lancio inclinato di  $+4^\circ$ . Il secondo giorno, il manichino è stato testato con il sistema di lancio impostato a  $0^\circ$  e  $-4^\circ$ . Il terzo giorno il rider esperto è stato testato con la rampa inizialmente inclinata di  $0^\circ$ , poi di  $4^\circ$  e infine di  $-4^\circ$ .

## Layout per i test in versione 1.2

Queste sessioni di test sono state svolte all'interno dei laboratori dell'università di Padova. In foto si può vedere il layout della catapulta in versione sciatore per il lancio del Dummy. Vengono inoltre descritte la strumentazione utilizzata per le varie misurazioni esterne.

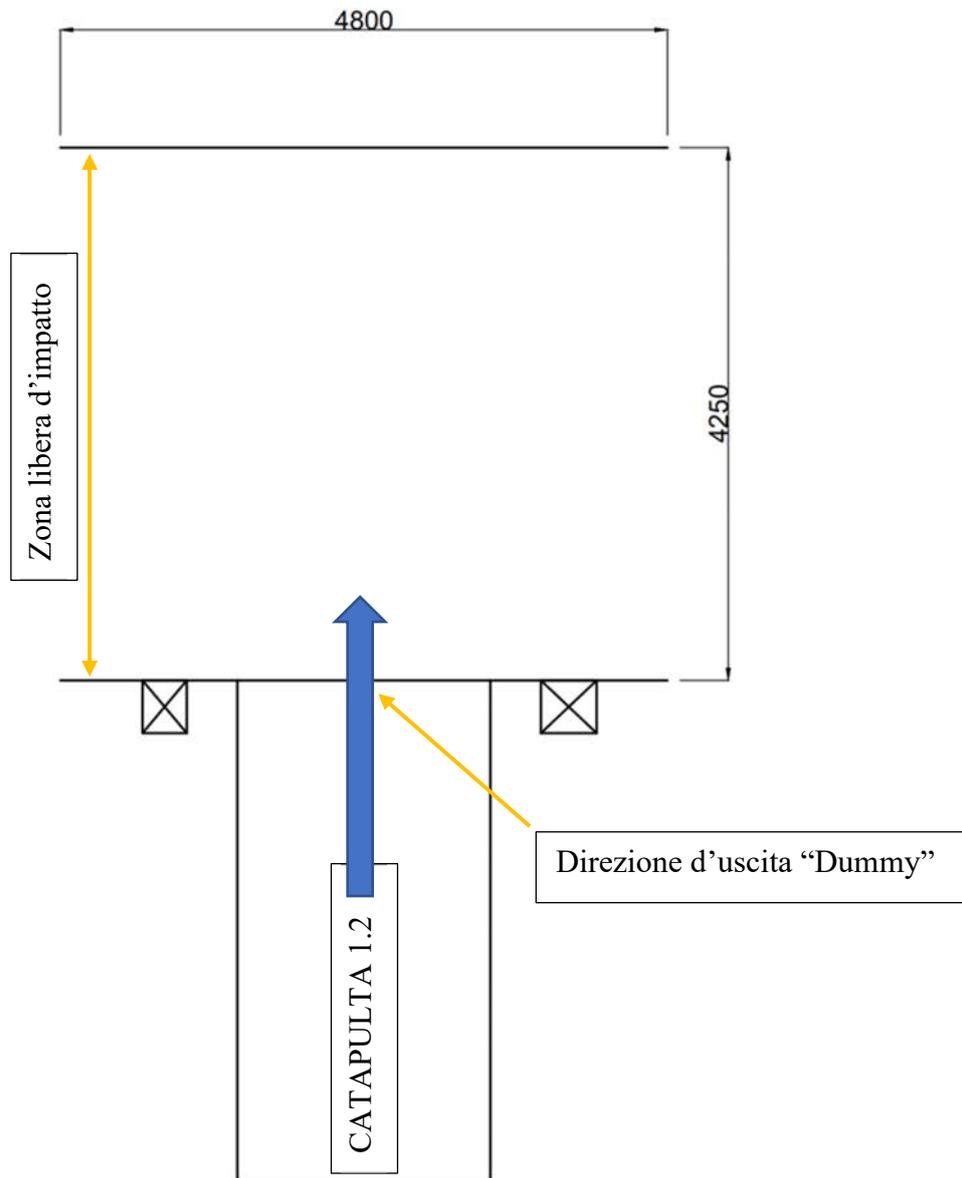


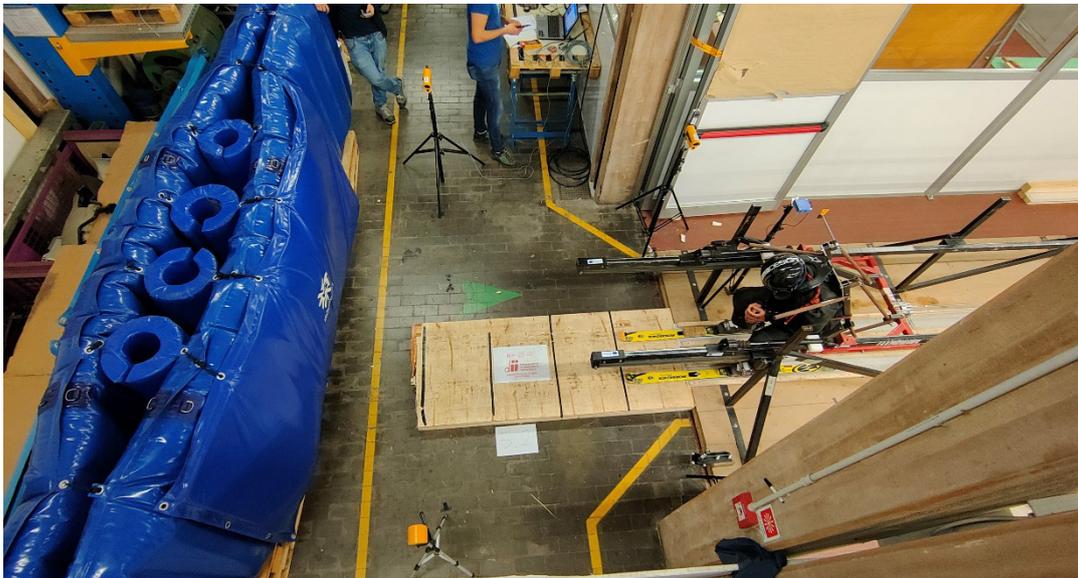
Figura 0-36 Layout prove Padova

Durante le prove in laboratorio sono stati testati diverse tipologie di materassi, utilizzati nella maggior parte dei casi lungo le piste da sci, posizionati principalmente lungo le aree più critiche del percorso.

In questo caso si tratta di materassi ad alto assorbimento ad aria, forniti dall'azienda Silvano Vidori; il materasso è posizionato sopra dei pallet in modo da permettere agli sci fissati al manichino di scorrevi sotto senza bucare il materasso, inoltre è poggiato nella parte posteriore a ridosso di una superficie rigida cosicché non vengano sfalsati i dati acquisiti a causa di materiali cedevoli in grado di assorbire energia. Il materasso viene impattato perpendicolarmente dal manichino e sono state effettuate 4 prove di lancio:

- Prova 4.1;
- Prova 4.2;
- Prova 5.1;
- Prova 5.2;

Dove i numeri 4 e 5 vanno ad indicare il numero di elastici utilizzati per ogni ramo della catapulta, mentre i valori 1 e 2 dopo il punto indicano il non utilizzo del neck-brace (1) e l'utilizzo (2). Il numero di elastici andava a variare la velocità d'impatto, mentre l'utilizzo o no del neck-brace era volto a studiare l'angolo massimo di flessione del collo durante l'impatto.



*Figura 0-37 Materassi ad alto assorbimento ad aria*

### **Layout per i test in versione 1.3**

Queste prove sono state effettuate utilizzando lo stesso layout della versione 1.2, ma oltre al materasso ad aria sono stati impattati diversi modelli di materassi al fine di ricavare curve di forza su penetrazione per poter paragonare le performance dei singoli.

Materassi utilizzati:

- Materassi ad alto assorbimento ad aria;
- Materassi in gomma piuma da 10 cm;
- Materassi in gomma piuma da 15 cm;
- Materassi in mondaplen da 10 cm;
- Materassi in mondaplen da 15 cm;

I materassi in gomma piuma sono i più utilizzati in pista grazie al loro basso costo ed essendo i primi usciti in commercio, questi si portano appresso una grossa pecca causata dal deterioramento della custodia in PVC che li ricopre. Questa nel tempo perde le sue proprietà di impermeabilità oppure nel corso di un impatto si fessura e durante lo scioglimento della neve fa impregnare la gomma piuma di acqua e quando le temperature scendono nella notte la fa solidificare, rendendo inutile il materasso durante una caduta.



*Figura 0-38Mondaplen*

Il mondaplen è un nuovo materiale, costituito dall'accoppiamento, ottenuto tramite aria calda, di due o tre fogli di polietilene espanso o di altri materiali termosaldabili. Conserva un'elevata adattabilità anche nelle varianti di alto spessore, combinando la conformazione ondulata solita del cartone con la flessibilità del polietilene espanso.

Utilizzato principalmente nel settore dell'imballaggio, il suo utilizzo nei materassi è reso possibile grazie al suo alto grado di impermeabilità, infatti anche se il telo in PVC che lo contiene, permette all'acqua di entrare, esso non è in grado di trattenerla quindi riesce a mantenere le proprietà di assorbimento d'energia richieste.

Durante lo studio si vuole paragonare questi ultimi due tipi di materassi, cercando di capire quali spessori degli uni e degli altri garantiscono le stesse proprietà di dissipazione di energia.

Anche durante queste prove gli impatti sono stati perpendicolari al materasso, ad una altezza di circa 40 cm da terra.



*Figura 0-39 Layout caratterizzazione materassi*

Durante le prove con queste due tipologie di materassi, sono stati posti nella parte posteriore:

- Materasso a geometria grecata di 50 cm di spessore;
- Un materassino in gomma piuma di 8 cm di spessore;
- Un pallet in legno per poggiare meglio sulla superficie di sostegno;



*Figura 0-40 Materasso grecato da 50 cm*

# Strumenti di misurazione

## Misurazione velocità (Versione 1.1)

La velocità in questa versione è stata ricavata solamente a posteriori tramite un'analisi video. Per ricavare la velocità di uscita, vengono utilizzati i video di una telecamera inquadrata sull'uscita del pilota dalla rampa. È stato applicato un marker al piede del manichino ed è stato valutato il movimento di quest'ultimo rispetto al tempo, avendo come unità di riferimento due pali fissati a terra alla distanza di 1m.

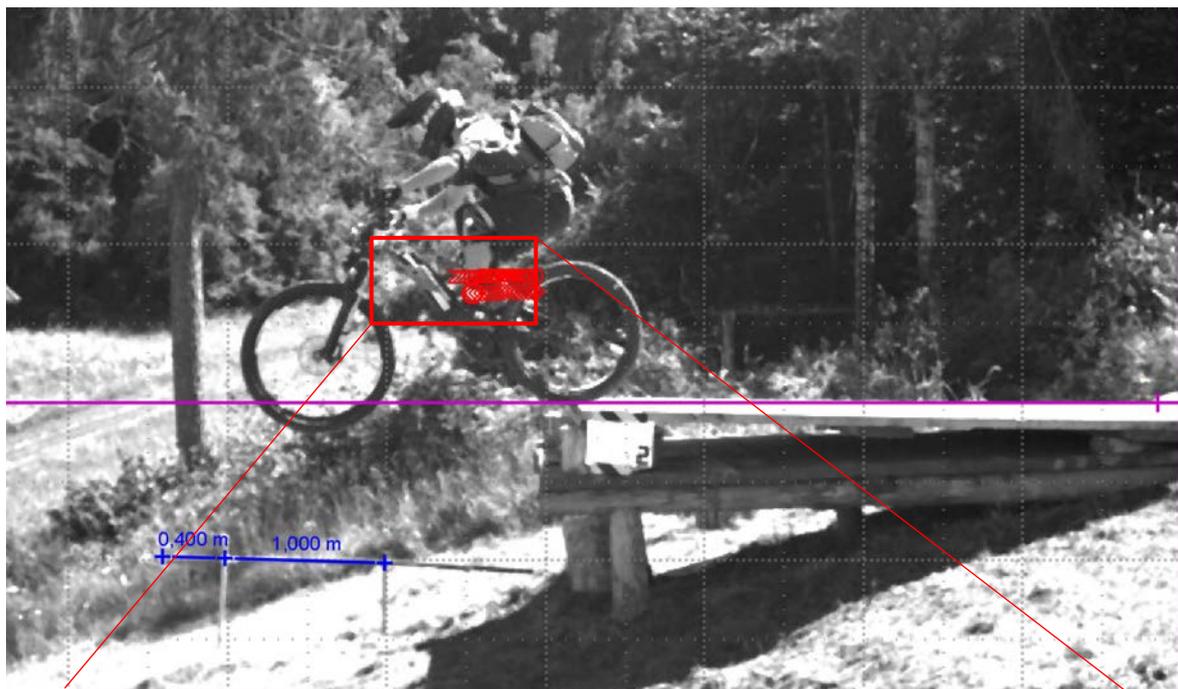


Figura 0-4 | Misurazione velocità

## Misurazione velocità (Versione 1.2)

Per la misurazione della velocità sono stati usati 3 metodi:

- Sistema di fotocellule Microgate
- Sensore arduino
- Analisi video
- Humotion Data Logger

### Sistema di fotocellule Microgate

Il sistema Microgate (4) è stato utilizzato per misurare la velocità di uscita dello sciatore dalla catapulta. Il sistema è composto da un elaboratore dati "RACETIME 2" a due fotocellule "POLIFEMO", e da un sistema di trasmissione dati "LINKGATE".

Il sistema funziona molto semplicemente, va a rilevare il tempo che intercorre per il passaggio tra le due fotocellule, questo segnale viene trasmesso al sistema "RACETIME 2", in quest'ultimo sistema è stata inserita preventivamente la distanza tra le due fotocellule, e con questi dati si ottiene la velocità.

Di seguito è riportato un diagramma di come funziona il sistema e foto di come è stato posizionato per il test.

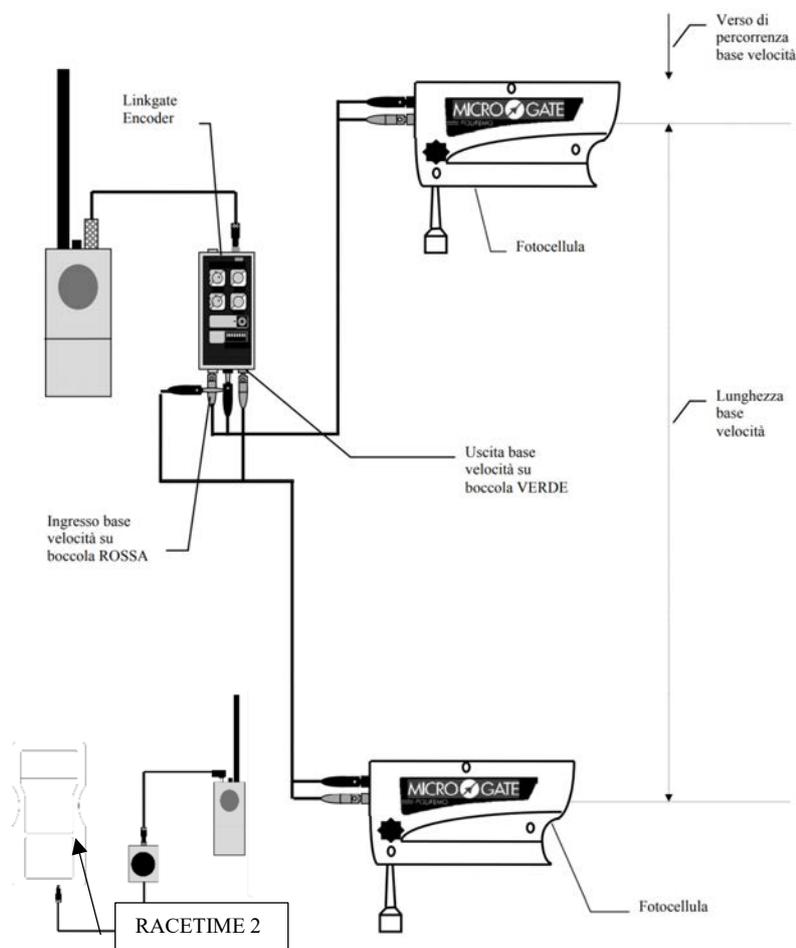


Figura 0-42 Sistema Microgate

## Sensore arduino

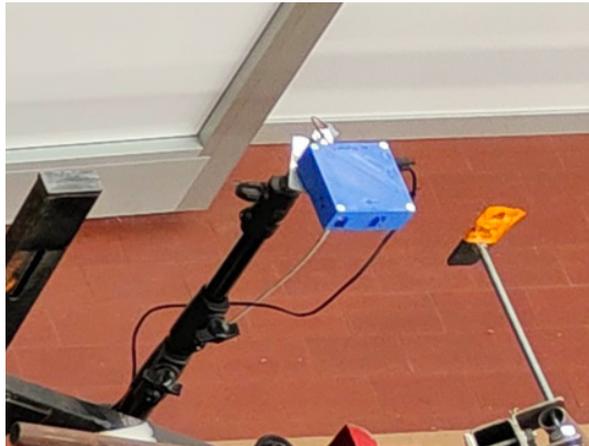


Figura 0-43 Sistema Arduino

Questo sistema di misurazione fornisce un'ulteriore misurazione della velocità d'uscita in caso di mal funzionamento degli altri.

Consiste in un sistema formato da 2 luci ad infrarosso, posizionate all'interno di un carter in materiale plastico, nel momento in cui una bandierina vi passa davanti si vanno a creare 2 impulsi, e una volta preso in tempo tra i due, si riesce a ricavare una velocità d'uscita.

## Analisi video

Tutte le prove di test effettuate sono state riprese da più angolazioni, in modo da poter ricavare informazioni quali velocità d'uscita, penetrazioni (materassi) e angoli d'uscita.

Conoscendo la frequenza di acquisizione dei video si riesce a ricavare la velocità avendo cura di posizionare in prossimità del lancio un'unità di misura in modo tale da poterla prendere come riferimento durante l'analisi.

## Humotion Data-Logger

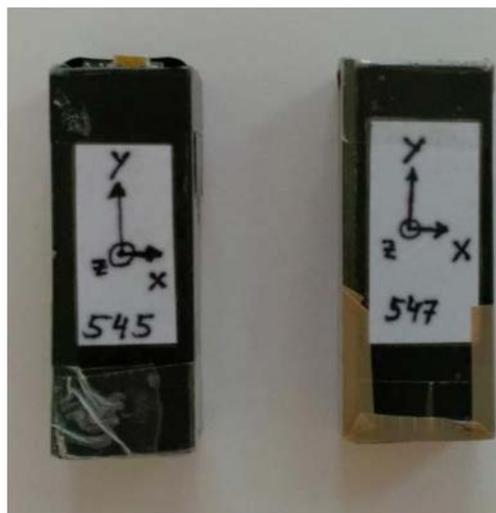


Figura 0-44 Humotion Data Logger

Humotion Data-Logger è un sistema di monitoraggio del movimento, composto da un piccolo dispositivo di misurazione e dal software associato. Grazie alle sue dimensioni ridotte (più piccole di una mano) può essere integrato nel manichino per fornire misurazioni accurate del movimento del corpo. Questo dispositivo di misurazione è in grado di registrare una vasta gamma di dati, dall'accelerazione al magnetico. I dati possono essere facilmente esportati in un formato utilizzabile per successive analisi indipendenti.

Ha una frequenza massima di acquisizione di 400 Hz. Può registrare le tre accelerazioni in X, Y, Z fino a 16 g, le velocità angolari ed i dati magnetici e di temperatura. Essendo un MEMS come già detto, è in grado di registrare l'accelerazione di gravità. Quindi può essere usato come inclinometro.

### **Misurazione velocità (Versione 1.3)**

La velocità anche in questo caso viene utilizzato:

- Sistema arduino
- Analisi video
- Slice nano DTS

In questa versione si è deciso di togliere l'utilizzo delle fotocellule perché posizionandole molto vicine fanno fatica a ricavare la velocità in quanto l'impulso dei due strumenti utilizzati è molto corto.

Si è mantenuto invece il sensore arduino in quanto dopo un'attenta analisi dei lanci in versione 1.2 si nota un errore molto basso nella lettura in paragone alla integrazione delle accelerazioni ed analisi video. Inoltre è uno strumento molto compatto e si riesce ad installarlo in una zona abbastanza protetta della catapulta a riparo del rimbalzo del sacco.

L'analisi video viene mantenuta in quanto oltre ad avere una ridondanza nel sistema di misurazione della velocità, si riesce a ricavare inoltre una misura della profondità di penetrazione del sacco.

### **Slice nano DTS**

Slice è un sistema di acquisizione dati modulare, caratterizzato da piccole dimensioni e massa, è formato a moduli sovrapponibili partendo da 2 di base utilizzati per microprocessore memoria e batteria, gli altri in aggiunta vanno a rendere disponibili 3 canali di acquisizione alla volta fino ad un massimo di 24 canali.



*Figura 0-45 Acquisitore DTS nano*

Nel nostro caso è stato fissato all'interno del "Solid Dummy", insieme ad un sensore 6DX PRO, (un accelerometro triassiale e un girometro anch'esso triassiale), quindi con 6 canali occupati sul modulo base. La frequenza di acquisizione è stata impostata a 10 kHz e ad ogni prova veniva fermata la registrazione per limitare la quantità di dati da registrare ed evitare la saturazione della memoria flash del dispositivo.

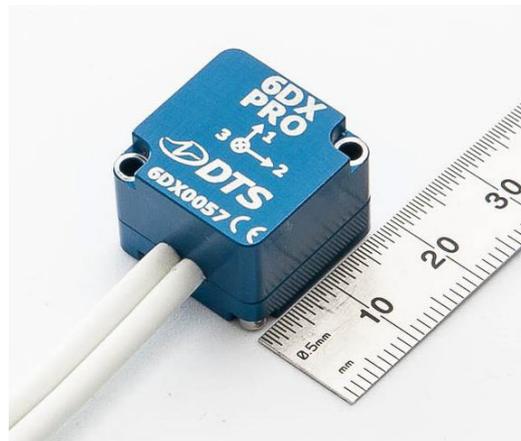


Figura 0-46 Sensore 6DX PRO

Acquisendo le accelerazioni si è riusciti tramite integrazione a ricavare velocità e dopo aver trovato il punto d'impatto anche le penetrazioni. Di seguito viene riportata la disposizione degli strumenti all'interno del sacco.



Figura 0-47 Disposizione strumentazione nel Solid Dummy



# Criteri di valutazione del trauma cranico

## HIC (Head Injury Criterion) <sup>(8)</sup>

Il trauma cranico (TBI: Traumatic Brain Injury) rappresenta una delle cause più frequenti di mortalità e disabilità delle persone coinvolte in incidenti di qualsiasi tipo. La testa è un sistema molto complesso costituito da tre componenti quali la scatola cranica; la pelle e altri tessuti molli coprenti il cranio; ed il contenuto interno della scatola cranica, ovvero il cervello, il cervelletto, le membrane protettive e vasi sanguigni. In particolare, il cranio svolge la funzione di assorbimento dell'energia come meccanismo naturale, infatti la creazione di qualche piccola frattura del cranio non causa lesioni cerebrali e quindi la sua presenza è proprio mirata a proteggere la zona cerebrale interna diffondendo e dissipando l'energia d'urto.

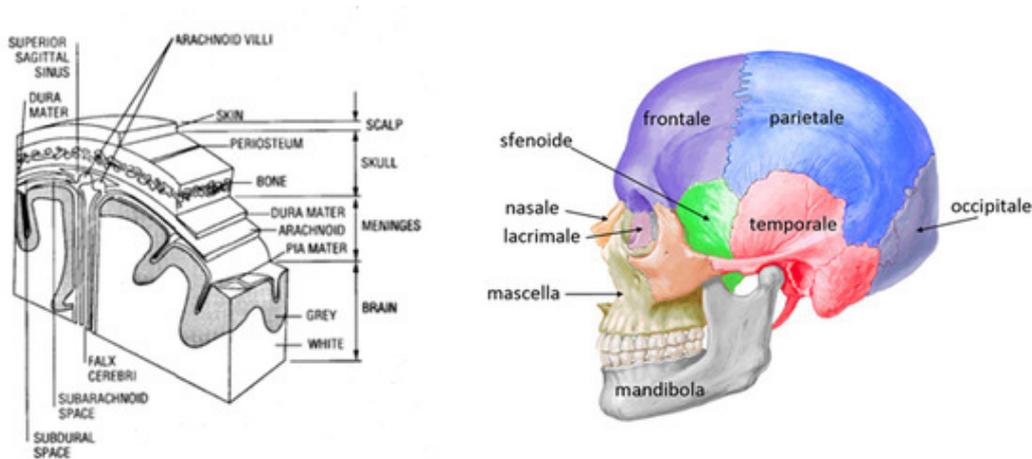
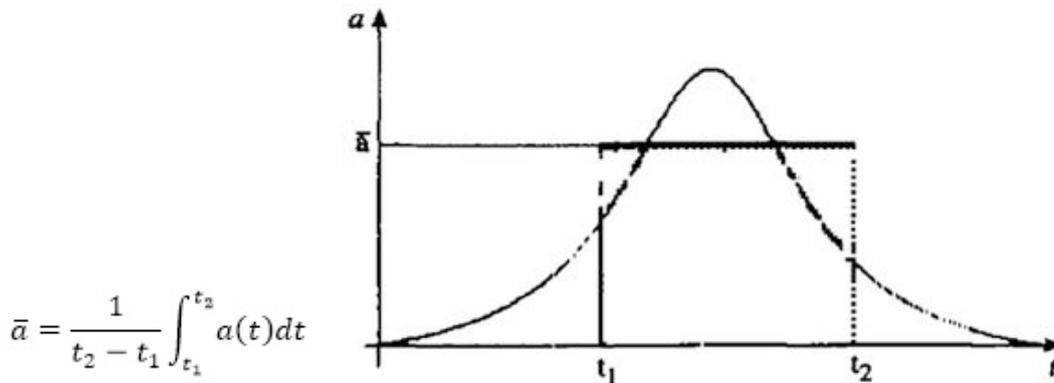


Figura 0-1 Testa Umana

Le lesioni della pelle possono essere suddivise in superficiali o profonde, e comprendono la contusione (livido), la lacerazione (taglio), e l'abrasione (raschiatura). Le lesioni alla scatola comportano la rottura di una o più ossa del cranio mentre quelle degli organi interni dell'encefalo sono il risultato di un impatto della testa, di un suo brusco movimento o di una combinazione dei due processi. Si ricorda che, quando il capo urta contro un ostacolo, la sua corsa si ferma tuttavia gli organi al suo interno proseguono nel loro movimento inerziale generando possibili lesioni intracraniche. Il trauma cranico può essere generalmente definito come un danno temporaneo o permanente di uno o più componenti del cranio e del sistema cerebrale in seguito ad un colpo alla testa. In generale sotto la voce trauma cranico possono essere raggruppate quattro categorie, come i danni al cuoio capelluto, la frattura del cranio, le lesioni cerebrali e le lesioni al collo.

La ricostruzione biomeccanica di un evento dannoso deve innanzitutto comportare la determinazione della causa (da contatto o da accelerazione) e della tipologia delle lesioni. I criteri quantitativi di prestazione delle lesioni "Injury Criteria" sono stati sviluppati per avere una risposta, in termini di rischio alla vita o di lesioni, utilizzando prove di crash test con manichini antropomorfi (Hybrid III, EuroSid, BioRID), unico criterio per la determinazione dei danni alla testa ammesso dalla NHTSA, secondo la normativa FMVSS n° 208, è l'indice HIC (Head Injury Criterion). Innanzitutto,

esaminando il seguente grafico di accelerazione, è necessario definire il concetto di media tra due istanti di tempo t1 e t2:



L'HIC è quindi definito come il massimo valore del prodotto tra (t2-t1)  $\bar{a}^{2.5}$ , ovvero tra la durata e l'accelerazione media elevata alla 2.5:

$$HIC = \max_{t_1, t_2} = \left[ (t_2 - t_1) \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^{2.5} \right]$$

dove:

- t2-t1 < 36 ms a dimostrazione del fatto che decelerazioni più durature non modificano significativamente il rischio lesivo;
- a è la risultante dell'accelerazione della testa, espressa in g.

Il seguente grafico mostra l'andamento della curva di probabilità nel caso di lesioni AIS in funzione del valore di HIC36. Il valore di soglia dell'HIC è pari a 1000 e corrisponde ad una probabilità del 15-20% di lesione AIS4+. Sale fino quasi il 60% per HIC=1500. Il valore dell'HIC dipende strettamente dalla rapidità con cui l'accelerazione raggiunge il valore di picco e per quanto tempo lo mantiene.

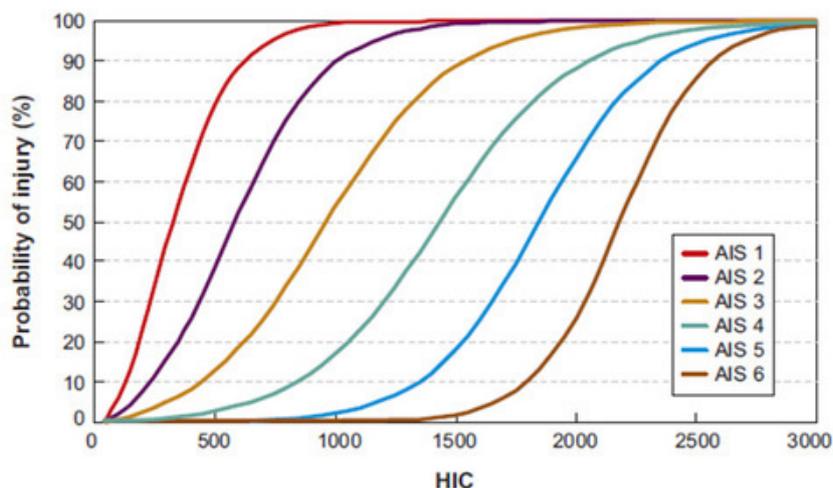


Figura 0-2Grafico andamento HIC

VALORI	VALUTAZIONE AIS	TIPO DI DANNO	REGIONI INTERESSATE
1	Lieve	Distorsioni, lievi contusioni, abrasioni.	Estremità inferiori e superiori, volto.
2	Moderato	Slogature, lacerazioni, contusioni, lievi fratture.	Estremità inferiori e superiori, volto, testa.
3	Serio	Fratture, rotture, gravi contusioni, commozioni cerebrali.	Estremità inferiori e superiori, volto, testa, addome.
4	Severo	Gravi lacerazioni, gravi contusioni, fratture multiple.	Torace, cervello.
5	Critico	Vari.	Cervello.
6	Mortale	Vari.	Torace, colonna vertebrale.

Figura 0-3 Tabella descrizione AIS

## BrIC (Brain Injury Criterion) <sup>(9)</sup>

La rotazione della testa come meccanismo per le lesioni cerebrali è stata proposta negli anni '40. Da allora sono stati condotti numerosi studi di ricerca da parte di varie istituzioni per confermare/smentire questa ipotesi. La maggior parte degli studi sono stati condotti su animali e hanno concluso che l'accelerazione rotazionale sostenuta dalla testa dell'animale può causare deformazioni assionali abbastanza grandi da indurre l'interruzione funzionale. Altri studi hanno utilizzato modelli matematici di teste umane e animali per derivare criteri di lesione cerebrale basati su storie di deformazione/pressione calcolate dai modelli.

Poiché i dati sulle lesioni animali utilizzati nella derivazione del BRIC erano prevalentemente per lesioni assionali diffuse (DAI) che è una lesione AIS 4+, la misura del danno da sforzo cumulativo (CSDM) è stata utilizzata per derivare la curva di rischio BRIC per le lesioni cerebrali AIS 4+. L'AIS 1+, 2+, 3+, e 5+ curve di rischio per CSDM sono state quindi calcolate utilizzando i rapporti tra le curve di rischio corrispondenti per il criterio di trauma cranico (HIC) con un rischio del 50%. Le curve di rischio per BRIC sono state quindi ottenute ponendo il suo valore a 1 in modo che corrisponda al 30% di probabilità di DAI (AIS4+).

Il nuovo criterio di lesione cerebrale è un complemento all'HIC esistente che si basa sulle accelerazioni traslazionali. Insieme, i due criteri possono essere in grado di catturare la maggior parte delle lesioni cerebrali e delle fratture del cranio che si verificano in un'auto o in qualsiasi altro ambiente di impatto. Uno dei principali limiti per qualsiasi criterio di lesione cerebrale, incluso il BRIC, è la mancanza di dati sulle lesioni umane per convalidare i criteri rispetto a, sebbene venga fornita un'approssimazione per l'infortunio AIS 2+ sulla base della stima delle velocità angolari e delle accelerazioni angolari (commozione cerebrale) medie per i giocatori di football del college dotati di un sistema di casco 5 DOF. Nonostante i limiti, un nuovo criterio di lesione cerebrale rotazionale cinematica - BRIC - può offrire una protezione aggiuntiva a un occupante di un'auto in situazioni in cui l'utilizzo dell'HIC basato sulle accelerazioni traslazionali da solo potrebbe non essere sufficiente.

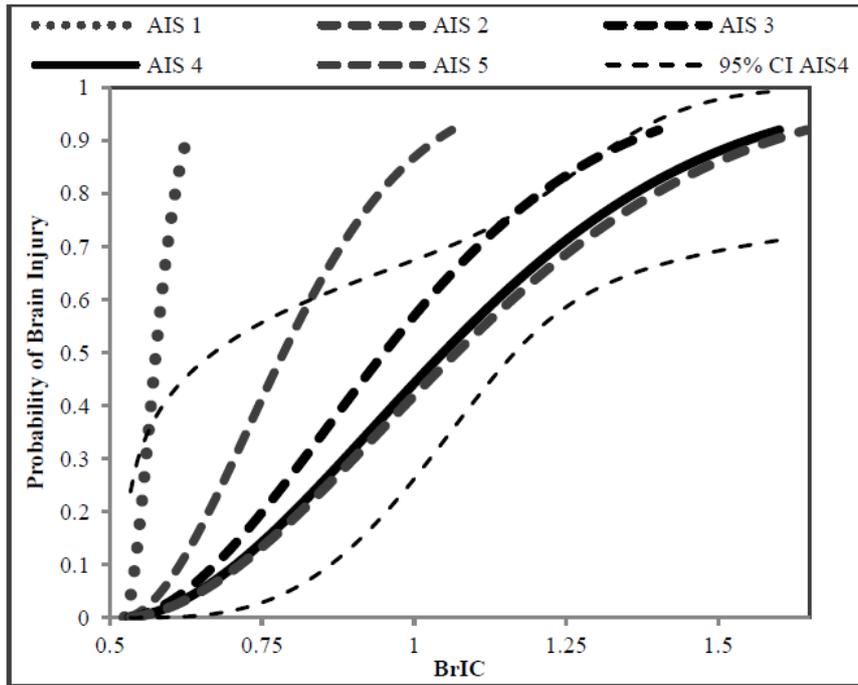


Figura 0-4 Grafico BrIC

Nell'analisi del BrIC si nota una dipendenza direzionale dalla velocità angolare critica ed è stata incorporata in una formulazione per BrIC come mostrato nell'equazione:

$$BrIC = \sqrt{\left(\frac{\omega_x}{\omega_{xC}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_y}{\omega_{yC}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_z}{\omega_{zC}}\right)^2},$$

dove  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  e  $\omega_z$  sono velocità angolari massime rispettivamente sugli assi X, Y e Z e  $\omega_{xC}$ ,  $\omega_{yC}$ , e  $\omega_{zC}$  sono le velocità angolari critiche nelle loro rispettive direzioni. Le velocità angolari critiche sono:

Critical Max Angular Velocity	Rad/s (CSDM Based)	Rad/s (MPS Based)	Rad/s (Average of CSDM and MPS)
$\omega_x$	66.20	66.30	66.25
$\omega_y$	59.10	53.80	56.45
$\omega_z$	44.25	41.50	42.87

# Risultati Catapulta 1.1

In questo capitolo verranno presentati i risultati di tre giorni di test outdoor effettuati nel Bikepark del Nevegal. Vengono espresse valutazioni sia qualitative che quantitative dei principali risultati di manichini e piloti.

## Descrizione Sessione Nevegal 02

La Nevegal Session 02 ha coinvolto sia il Dummy con la valutazione della fattibilità del lancio sia la raccolta di ulteriori dati riguardanti i carichi strutturali e antropometrici sulla moto e sul pilota esperto. In totale sono stati spesi due giorni. Il primo è stato testato il manichino con il sistema di lancio inclinato di + 4°. Il secondo giorno, il manichino è stato testato con il sistema di lancio impostato a 0° e -4°. Il terzo giorno il rider esperto è stato testato con la rampa inizialmente inclinata di 0°, poi di 4° e infine di -4°.

Tutti i lanci sono stati effettuati alla massima velocità ottenibile dal sistema di lancio. Anche nel test in vivo, la velocità non era una variabile indipendente. Infatti, al cavaliere è stato chiesto di mantenere una velocità costante il più possibile tra i diversi salti.

Nome file:

Nella tesi di Gabriele Crocitto viene proposta una particolare nomenclatura di tutti i segnali acquisiti durante le prove. Questa nomenclatura è stata progettata per essere utilizzata in futuro durante diverse sessioni di test. In effetti, anche Lorenzo Tancon lo ha giustamente usato. Resta quindi inteso che anche per questa sessione verrà utilizzato. Il nome di ogni file è costituito da un codice di lettera diviso in tre serie:

First Series:

B	Somat channels data
E	Noraxon Data
Y	Gyko accelerometer helmet data
P	Pedopad insole data
HH	Humotion Channel applied on Head
HT	Humotion Channel applied on Trunk
HR	Humotion Channel applied on Rider Back
HB	Humotion Channel applied on Bike
G:	G: gps data;
GO, GO1, GO2	GoPro, GoPro1 or Gopro2 data;
HSC	Salzburg high speed camera
DHS	DolomitiCert Hight Speed Camera
C	Canon Camera
PH	Phone Camera

The second series stands for:

NE	Nevegal;
SA	Saalbach.

The third series stands for:

S0	session0;
S1	session1;
S2	session2.

The fourth series stands for:

D1	day1
D2	day2

The fifth series stands for:

MC	Marco de Col;
DU	Dummy

The sixth series stands for:

J1, J2...	jump1, jum2...
-----------	----------------

The seventh series stands for:

0, DW4 , UP4	Inclination: Flat, Down -4°,Up +4°
--------------	------------------------------------

The seventh series stands for:

X-sens	Series of jumps made to test the X-sens
--------	---

La settima e l'ottava serie vengono utilizzate solo durante l'elaborazione dei dati al fine di avere un maggiore feedback ed evitare errori. Per la raccolta dei dati si fa riferimento solo alla progressione dei salti.

Le tabelle seguenti riassumono completamente i tre giorni, evidenziando anche quali sensori hanno funzionato e quali no.

DAY DI	LEGEND					UnClean Signal								
	YES	All ok	NO	Loose data or breakage	FS		Full Scale	UC						
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGHT [m]  post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE  Tracker_softw	HUMOTION_HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION_TRUNK(547) CHANNELS	VALIDITY	IM40 CHANNELS	VALIDITY
01	+4	23/07/2020	17:35:00	D1_01_UP4	NO	hand detached from the handlebar	MISS	0 m/s	accX	NO	accX	YES	accX	YES
							MISS	0 km/h	accY	NO	accY	YES	accY	YES
									accZ	NO	accZ	YES	accZ	YES
									gyroX	NO	gyroX	YES	Pot_stern	YES
									gyroY	NO	gyroY	YES		
									gyroZ	NO	gyroZ	YES		
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGHT [m]  post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE  Tracker_softw	HUMOTION_HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION_TRUNK(547) CHANNELS	VALIDITY	IM40 CHANNELS	VALIDITY
02	+4	23/07/2020	18:46:00	D1_02_UP4	YES	front wheel hits before.	13.5	12 m/s	accX	NO	accX	YES	accX	YES
							MISS	43.2 km/h	accY	NO	accY	YES	accY	YES
									accZ	NO	accZ	YES	accZ	YES
									gyroX	NO	gyroX	YES	Pot_stern	YES
									gyroY	NO	gyroY	YES		
									gyroZ	NO	gyroZ	YES		
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGHT [m]  post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE  Tracker_softw	HUMOTION_HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION_TRUNK(547) CHANNELS	VALIDITY	IM40 CHANNELS	VALIDITY
03	+4	23/07/2020	19:23:00	D1_03_UP4	YES	front wheel hits before.	11.9	11 m/s	accX	NO	accX	YES	accX	YES
							MISS	39.6 km/h	accY	NO	accY	YES	accY	YES
									accZ	NO	accZ	YES	accZ	YES
									gyroX	NO	gyroX	YES	Pot_stern	YES
									gyroY	NO	gyroY	YES		
									gyroZ	NO	gyroZ	YES		
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGHT [m]  post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE  Tracker_softw	HUMOTION_HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION_TRUNK(547) CHANNELS	VALIDITY	IM40 CHANNELS	VALIDITY
04	+4	23/07/2020	20:00:00	D1_04_UP4	YES	front wheel hits before.	9.9	10 m/s	accX	NO	accX	YES	accX	YES
							MISS	36 km/h	accY	NO	accY	YES	accY	YES
									accZ	NO	accZ	YES	accZ	YES
									gyroX	NO	gyroX	YES	Pot_stern	YES
									gyroY	NO	gyroY	YES		
									gyroZ	NO	gyroZ	YES		

DAY	LEGEND				F5	Full Scale	UC	Unclean Signal						
	YES	All ok	NO	Loose data or										
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGTH [m] post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE Tracker_sq [udm]	HUMOTION HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION TRUNK (547) CHANNELS	VALIDITY	M40 CHANNELS	VALIDITY
01	-4	24/07/2020	10:20:00	D2_01_DW4	NO	MISS	MISS	0	accX	NO	accX	NO	accX	NO
								m/s	accY	NO	accY	NO	accY	NO
								km/h	accZ	NO	accZ	NO	accZ	NO
									gyroX	NO	gyroX	NO	gyroX	NO
									gyroY	NO	gyroY	NO	gyroY	NO
									gyroZ	NO	gyroZ	NO	gyroZ	NO
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGTH [m] post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE Tracker_sq [udm]	HUMOTION HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION TRUNK (547) CHANNELS	VALIDITY	M40 CHANNELS	VALIDITY
02	-4	24/07/2020	11:16:00	D2_02_DW4	YES	MISS	7.7	7	accX	NO	accX	NO	accX	YES
								m/s	accY	NO	accY	NO	accY	YES
								km/h	accZ	NO	accZ	NO	accZ	YES
									gyroX	NO	gyroX	NO	gyroX	Pot_stern
									gyroY	NO	gyroY	NO	gyroY	YES
									gyroZ	NO	gyroZ	NO	gyroZ	YES
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGTH [m] post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE Tracker_sq [udm]	HUMOTION HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION TRUNK (547) CHANNELS	VALIDITY	M40 CHANNELS	VALIDITY
03	-4	24/07/2020	16:24:00	D2_03_DW4	NO	MISS	8.6	12	accX	NO	accX	NO	accX	YES
								m/s	accY	NO	accY	NO	accY	YES
								km/h	accZ	NO	accZ	NO	accZ	YES
									gyroX	NO	gyroX	NO	gyroX	Pot_stern
									gyroY	NO	gyroY	NO	gyroY	YES
									gyroZ	NO	gyroZ	NO	gyroZ	YES
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGTH [m] post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE Tracker_sq [udm]	HUMOTION HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION TRUNK (547) CHANNELS	VALIDITY	M40 CHANNELS	VALIDITY
04	-4	24/07/2020	17:35:00	D2_04_DW4	NO	MISS	9	12	accX	NO	accX	YES	accX	YES
								m/s	accY	NO	accY	YES	accY	YES
								km/h	accZ	NO	accZ	YES	accZ	YES
									gyroX	NO	gyroX	YES	gyroX	Pot_stern
									gyroY	NO	gyroY	YES	gyroY	YES
									gyroZ	NO	gyroZ	YES	gyroZ	YES
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGTH [m] post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE Tracker_sq [udm]	HUMOTION HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION TRUNK (547) CHANNELS	VALIDITY	M40 CHANNELS	VALIDITY
05	0	24/07/2020	16:30:00	D2_05_FLAT	NO	MISS	10	13	accX	YES	accX	YES	accX	YES
								m/s	accY	YES	accY	YES	accY	YES
								km/h	accZ	YES	accZ	YES	accZ	YES
									gyroX	YES	gyroX	YES	gyroX	Pot_stern
									gyroY	YES	gyroY	YES	gyroY	UC
									gyroZ	YES	gyroZ	YES	gyroZ	UC
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGTH [m] post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE Tracker_sq [udm]	HUMOTION HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION TRUNK (547) CHANNELS	VALIDITY	M40 CHANNELS	VALIDITY
06	0	24/07/2020	19:10:00	D2_06_FLAT	NO	MISS	7	12	accX	YES	accX	YES	accX	YES
								m/s	accY	YES	accY	YES	accY	YES
								km/h	accZ	YES	accZ	YES	accZ	YES
									gyroX	YES	gyroX	YES	gyroX	Pot_stern
									gyroY	YES	gyroY	YES	gyroY	UC
									gyroZ	YES	gyroZ	YES	gyroZ	UC
N°LAUNCH	INCLINATION	DATE	HOUR	NOMENCLATURE	VALIDITY	In field	LAUNCH LENGTH [m] post-elaboration	VELOCITY ESTIMATE Tracker_sq [udm]	HUMOTION HEAD(545) CHANNELS	VALIDITY	HUMOTION TRUNK (547) CHANNELS	VALIDITY	M40 CHANNELS	VALIDITY
07	0	24/07/2020	19:40:00	D2_07_FLAT	NO	MISS	8	12	accX	YES	accX	YES	accX	YES
								m/s	accY	YES	accY	YES	accY	YES
								km/h	accZ	YES	accZ	YES	accZ	YES
									gyroX	YES	gyroX	YES	gyroX	Pot_stern
									gyroY	YES	gyroY	YES	gyroY	UC
									gyroZ	YES	gyroZ	YES	gyroZ	UC









## Risultati della Sessione Nevegal 02

La rappresentazione della grande quantità di dati acquisiti e sincronizzati ha richiesto l'elaborazione di 3 diversi tipi di grafici. Il primo tipo di "channel plot" divide i canali bici e pilota in 4 gruppi, concentrandosi sugli istantanei di decollo, volo e atterraggio. Il secondo tipo sono gli "istogrammi" in cui il massimo, il minimo e l'intervallo di ciascun canale sono stati impostati rispettivamente al numero di salti. La sequenza di salto si riferisce al cronoprogramma con cui abbiamo condotto i test. L'ultimo tipo di grafici sono "grafici di correlazione". Da questi è possibile valutare l'influenza della pendenza della rampa sull'aumento o la diminuzione dei segnali

### Grafici dei canali

Il primo passo riguarda lo zoom di tutti i segnali all'istante di atterraggio. Avendo molti dati, abbiamo scelto come rappresentare chiaramente i grafici. Pertanto, sono stati divisi in quattro trame. I primi tre grafici mostrano sensori posizionati sulla parte anteriore della moto, sensori al centro e sensori nella parte posteriore. Il quarto grafico è focalizzato sulle velocità angolari, tre data logger possono misurarle: Physiolog, Humotion Bike, Humotion Rider.

#### First plot: Anterior channel

Plot Label	Channel	Comments
Frontal Stroke	Somat- F_lin_z	/
Frontal Acc-	Somat- Acc_FW_axial	/
Frontal Axial Force-	Somat- N_FFax	/
Handlebar Forces:	Somat- N_HRFx & N_HRFz	/
Hand Acc:	Noraxon-HANDay* & HANDaz*	*: for the orientations refer to the reference system of figure 2.4-1.
Frontal Bending	Somat- FBM	

#### Second plot: Middle channel:

Plot Label	Channel	Comments
Head Acc	Physiolog- accX & accZ	/
Neck Acc	Noraxon- NECKax & NECKaz	/
Rider Pelvis Acc	Humotion Rider (HR)- accX & accZ	/
Frame Acc	Humotion Bike (HB)- accX & accZ	/
Foot Acc	Noraxon-FOOTax & FOOTaz	/
Pedal Force	Pedopad- Rsum & Lsum	Sum of medial, lateral and heel values

#### Third Plot: Rear channel:

Plot Label	Channel	Comments
Rear Stroke	Somat- R_lin_z	/
Rear Acc	Somat- Acc_RW_z	/
Rear Vertical Force	Somat- N_RWFz	/
Pedal Force	Pedopad- Rsum & Lsum	/

#### Fouth Plot: Angular velocities:

Plot Label	Channel	Comments
Y Head	Physiolog-gyroX,gyroY,gyroZ	/
H Pelvis	Humotion Rider (HR)-gyroX, gyroY, gyroZ	/
H Bike	Humotion Bike (HB)-gyroX, gyroY, gyroZ	/

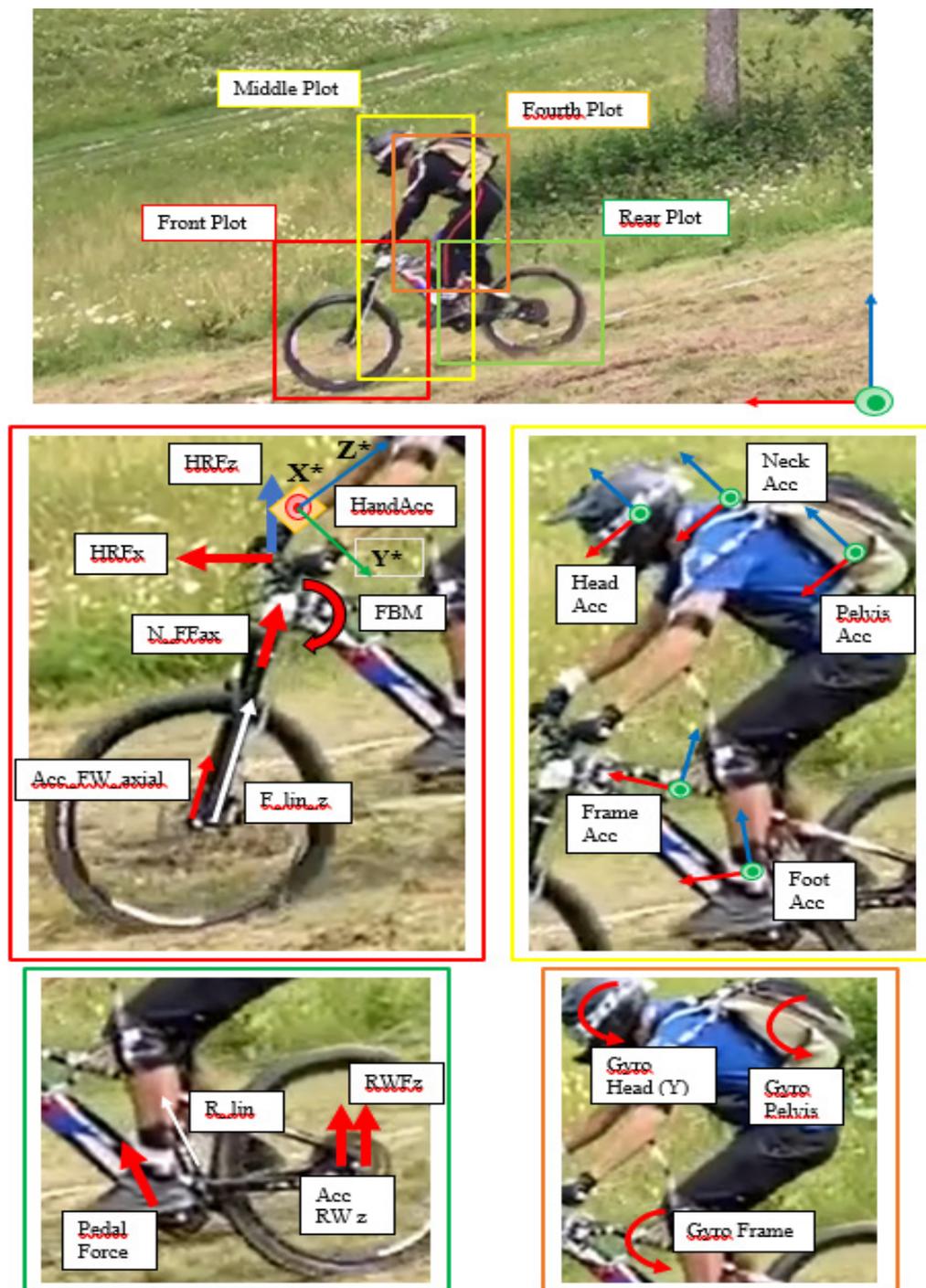
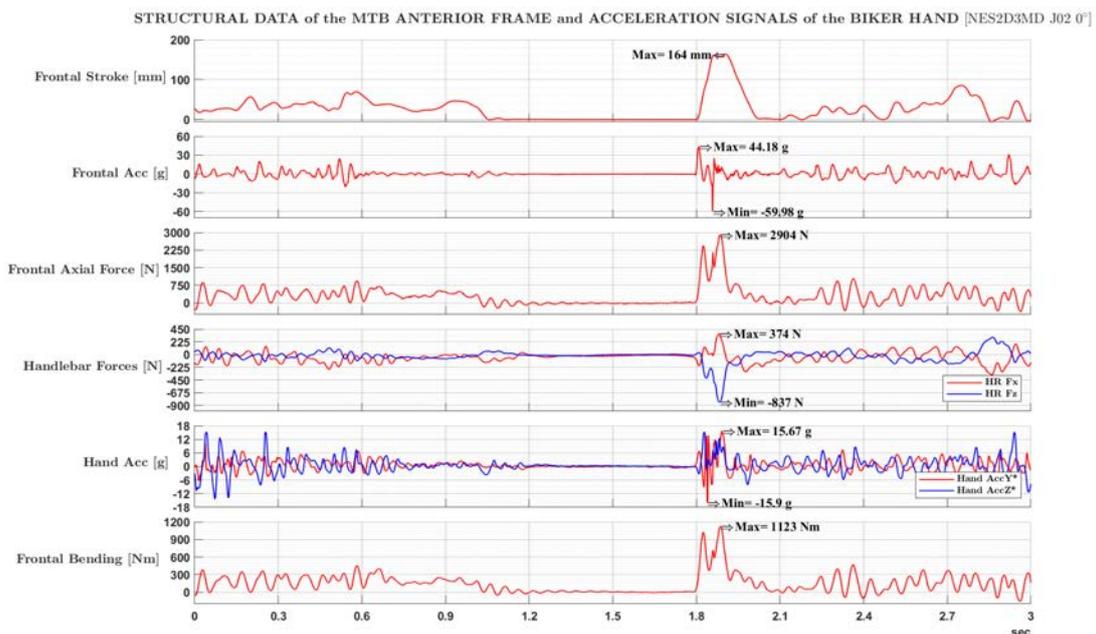


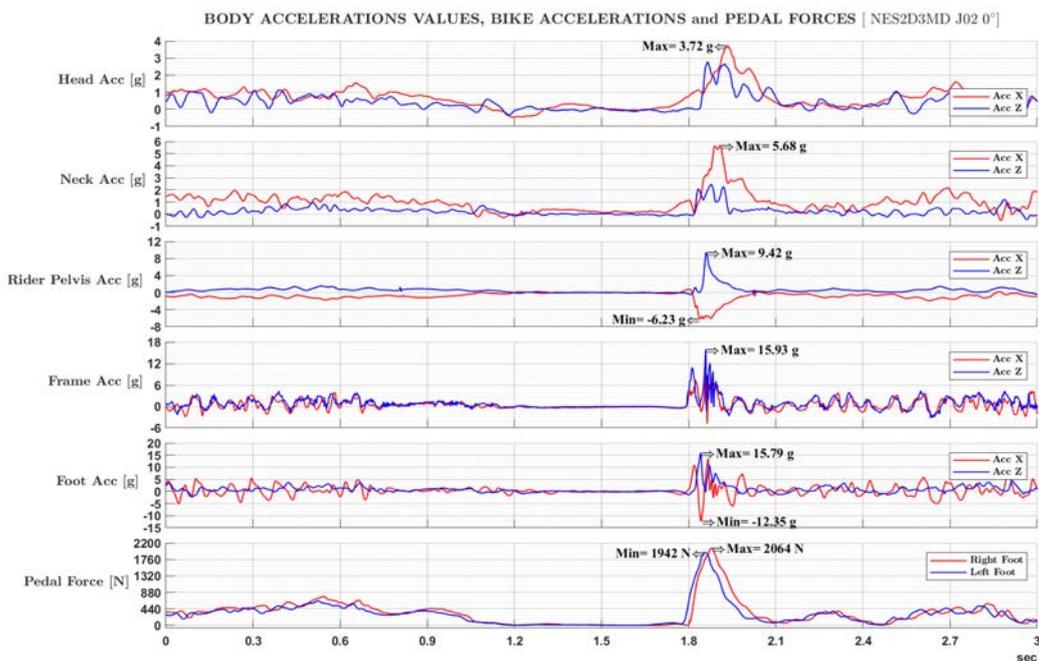
Figura 0-1 Suddivisione sensori

I grafici di Salto 02 ( $0^\circ$ ), Salto 06 ( $+4^\circ$ ) e Salto 10 ( $-4^\circ$ ) saranno mostrati qui. Tutti gli altri 19 salti sono collegati separatamente.

## NES2D3MD J02 0°-First plot: Anterior channel

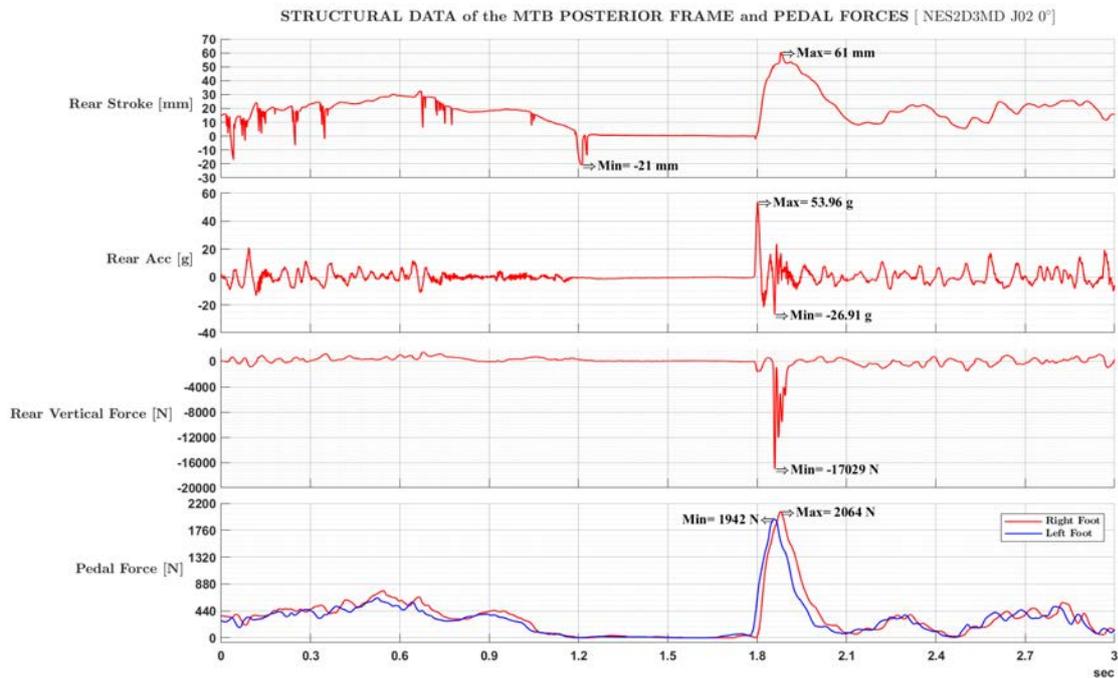


## NES2D3MD J02 0°-Second plot: Middle channel

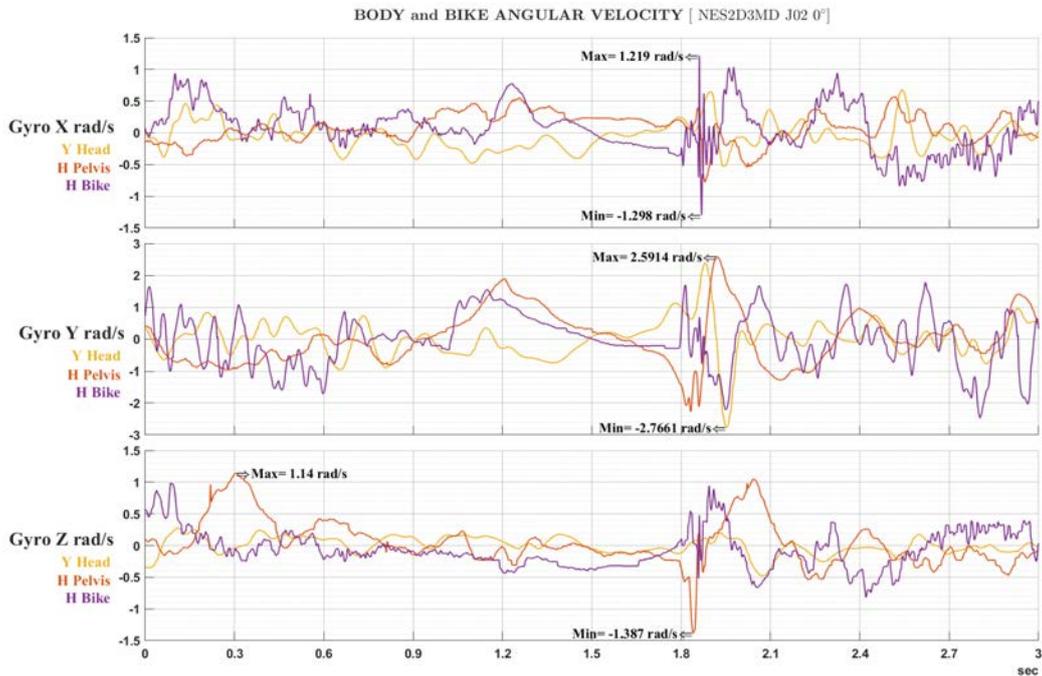


Come primo risultato, possiamo vedere che il lavoro di sincronizzazione ha portato risultati eccellenti. Infatti, data la particolare cura di questa parte, è ora possibile ragionare sulla sequenza dei picchi di segnale e sulla loro forma. Si può vedere che all'impatto ci sono sempre due picchi ravvicinati. Ciò è dovuto al primo contatto con il terreno della MTB e all'ammortizzazione dell'inerzia del manichino poi.

### NES2D3MD J02 0°-Third plot: Rear channel

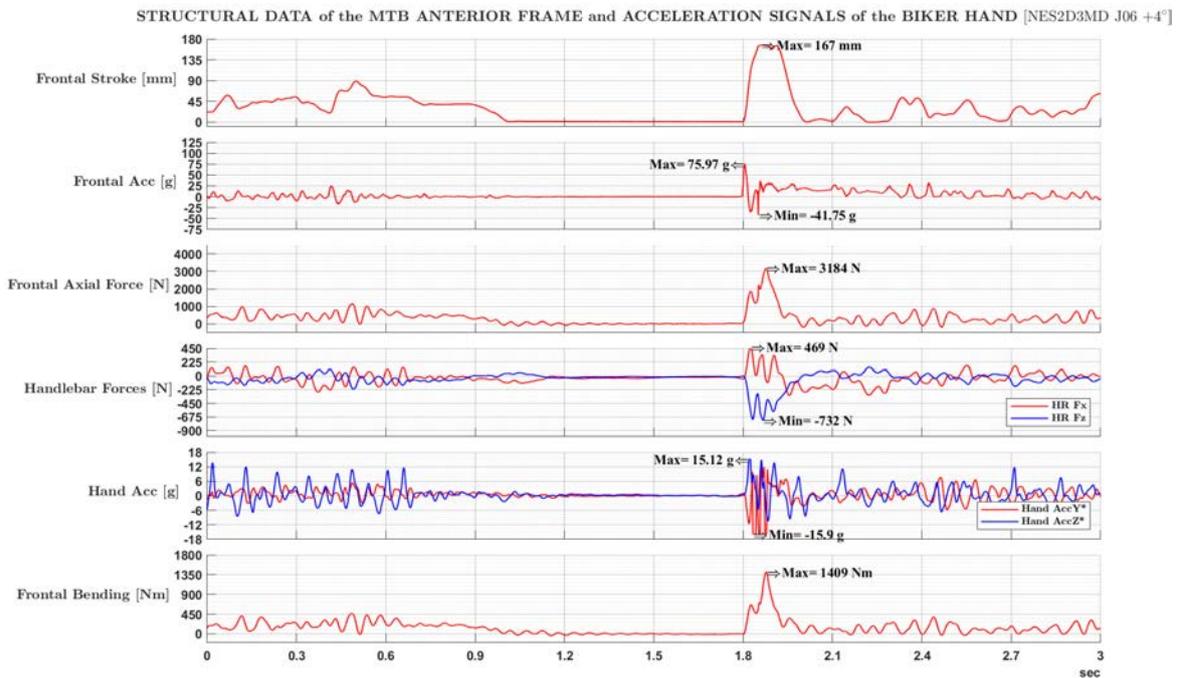


### NES2D3MD J02 0°-Fourth plot: Angular velocities

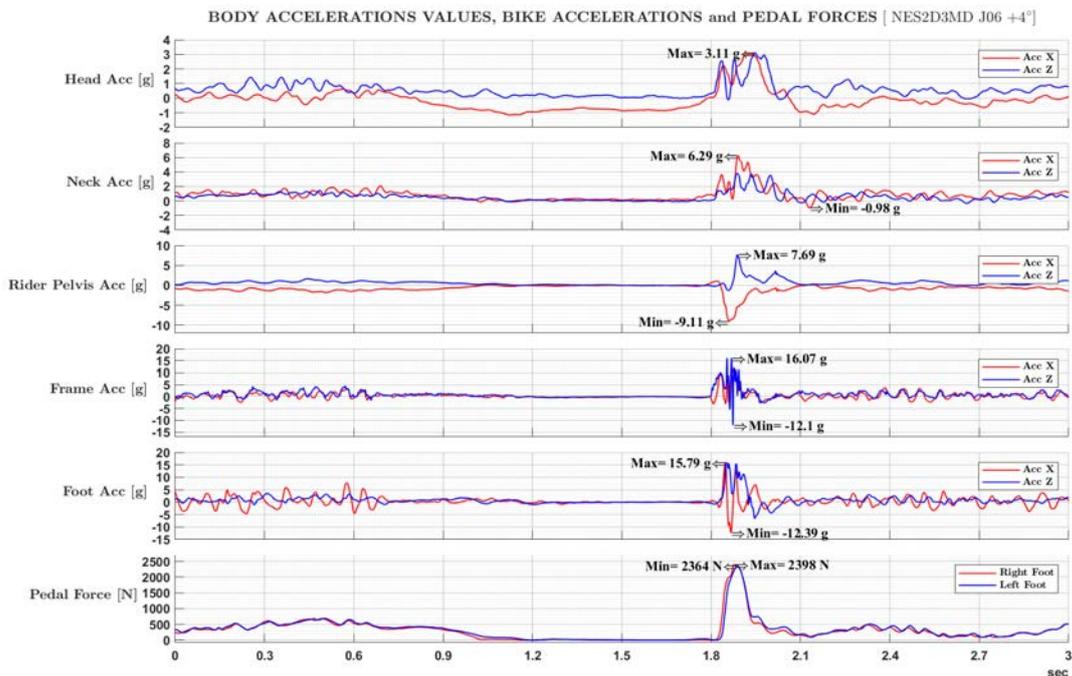


Dal grafico di Pedal Force, si può vedere che prima c'è un segnale sul piede sinistro e poi su quello destro. Guardando questo aspetto su tutti i 22 salti puoi vedere che questo accade sempre. Quindi il cavaliere fa sempre il salto con la stessa configurazione delle gambe. Osservando il grafico delle velocità angolari, si può vedere che quelle lungo l'asse Y hanno valori doppi rispetto agli altri due.

## NES2D3MD J06 +4°-First plot: Anterior channel

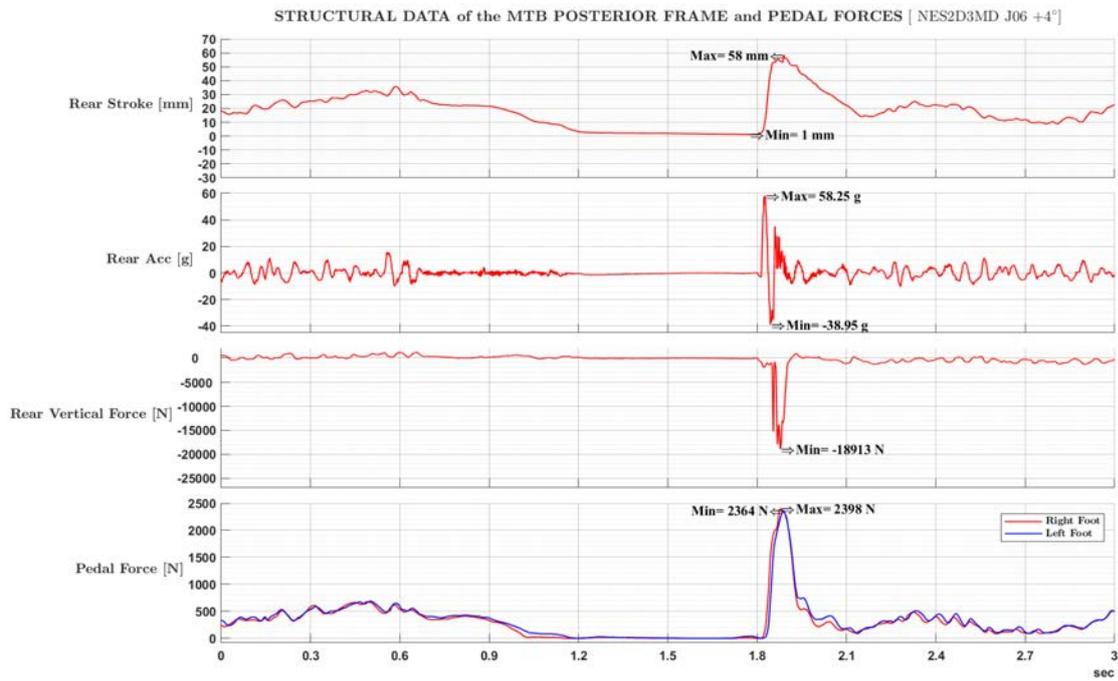


## NES2D3MD J06 +4°-Second plot: Middle channel

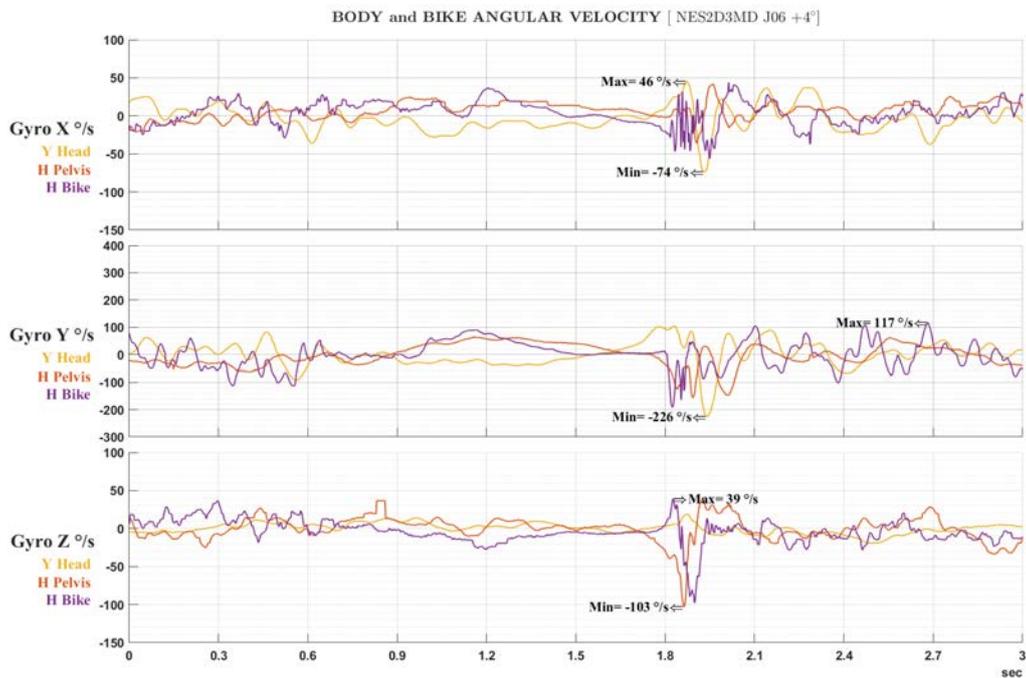


Rispetto ai grafici del J02 si nota che i segnali delle forze al manubrio (forze first-plot-handlebar) hanno una forma significativamente diversa. Ciò significa che l'orientamento della risultante delle forze cambia. Quindi cambiare l'orientamento del pilota al momento dell'atterraggio.

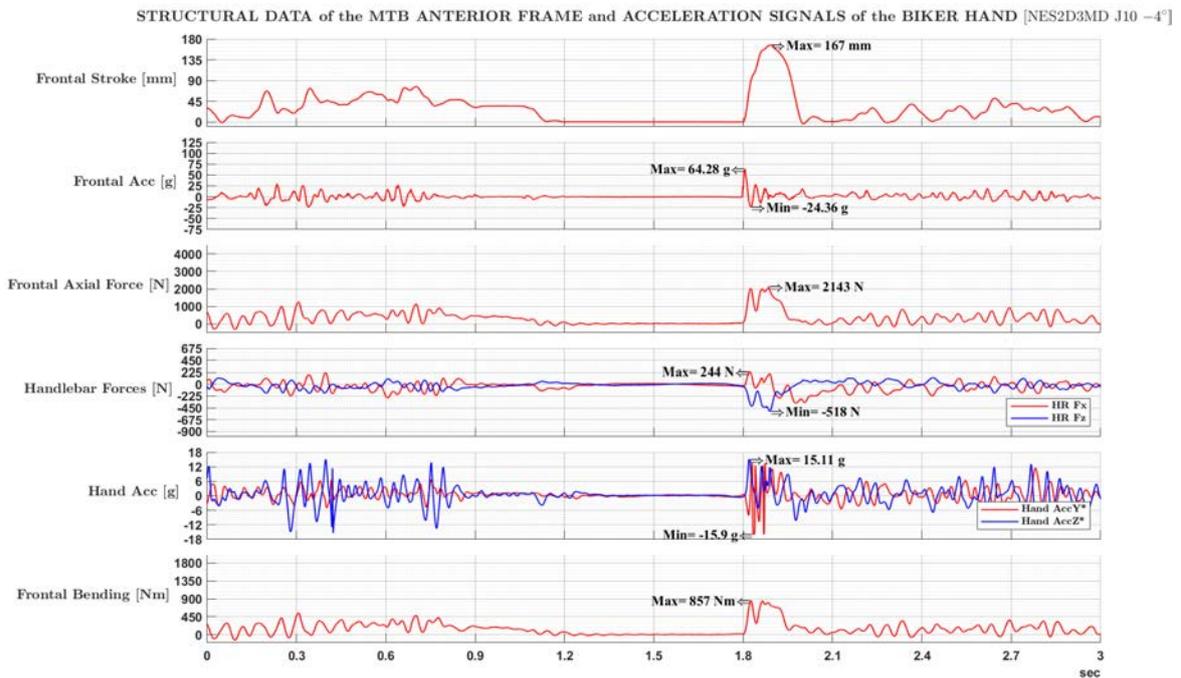
### NES2D3MD J06 +4°-Third plot: Rear channel



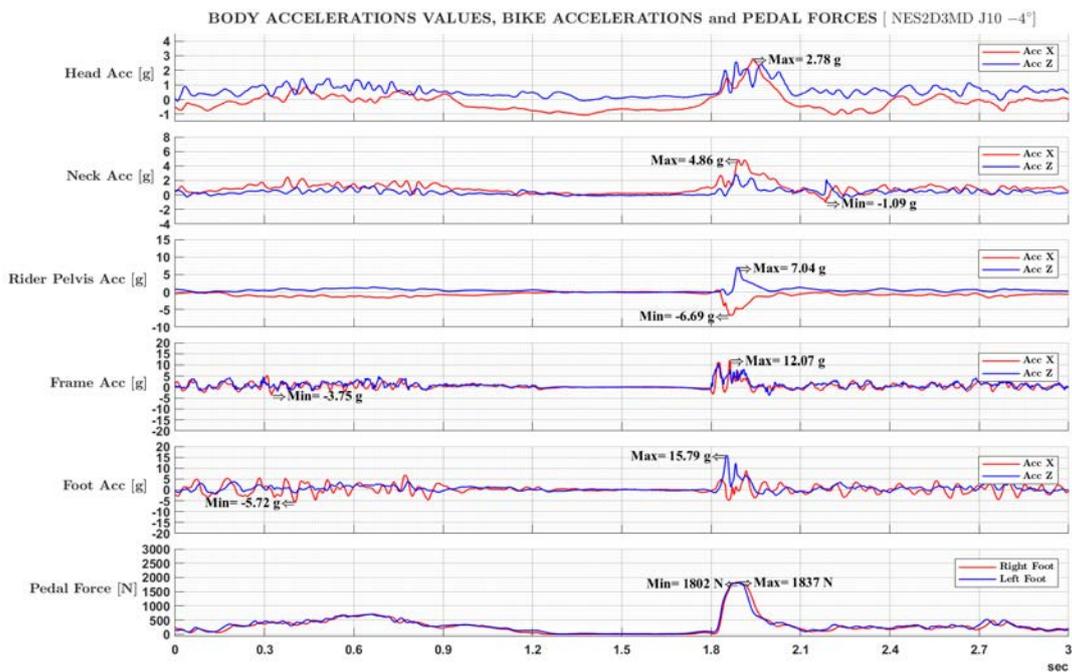
### NES2D3MD J06 +4°-Fourth plot: Angular velocities



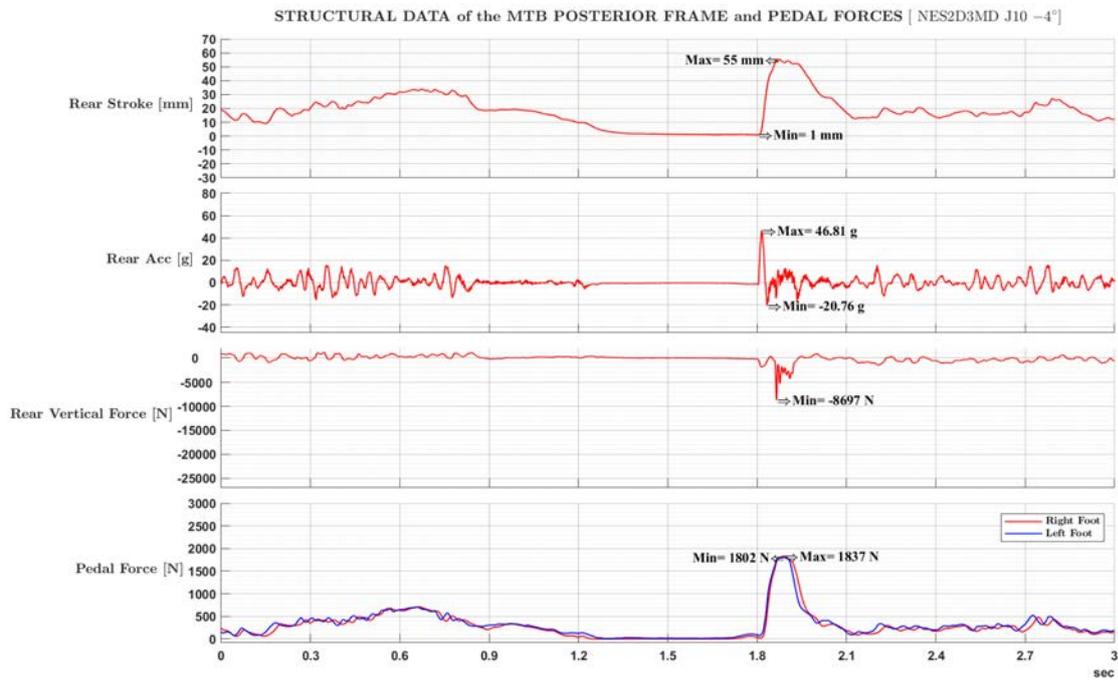
## NES2D3MD J10 -4°-First plot: Anterior channel



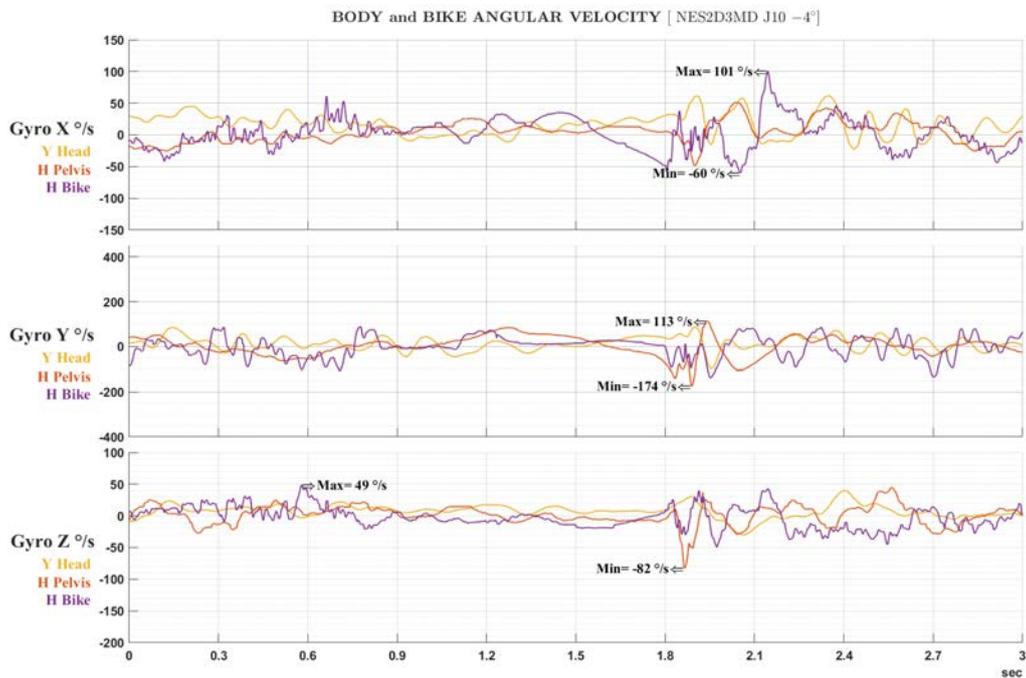
## NES2D3MD J10 -4°-Second plot: Middle channel



### NES2D3MD J10 -4°-Third plot: Rear channel



### NES2D3MD J10 -4°-Fourth plot: Angular velocities



Per avere uno sguardo più ampio a tutti i segnali si è deciso di realizzare grafici a barre riassuntivi. Per ogni canale sono stati valutati il valore massimo-minimo e la portata di tutti i 22 salti. Inoltre, l'andamento della velocità viene aggiunto al grafico a barre per permetterci di capire quali salti possono essere utilizzati per ricavare relazioni tra i gradi di inclinazione della rampa e il canale. Vogliamo infatti che le variazioni dei segnali dipendano solo dall'inclinazione della rampa e non dalla velocità. Anche se nella tesi di Gabriele Crocitto è stato evidenziato che la velocità non influisce sui carichi sulla moto.

Solo il riepilogo dei valori FBM e NECKAz viene fornito come esempio:

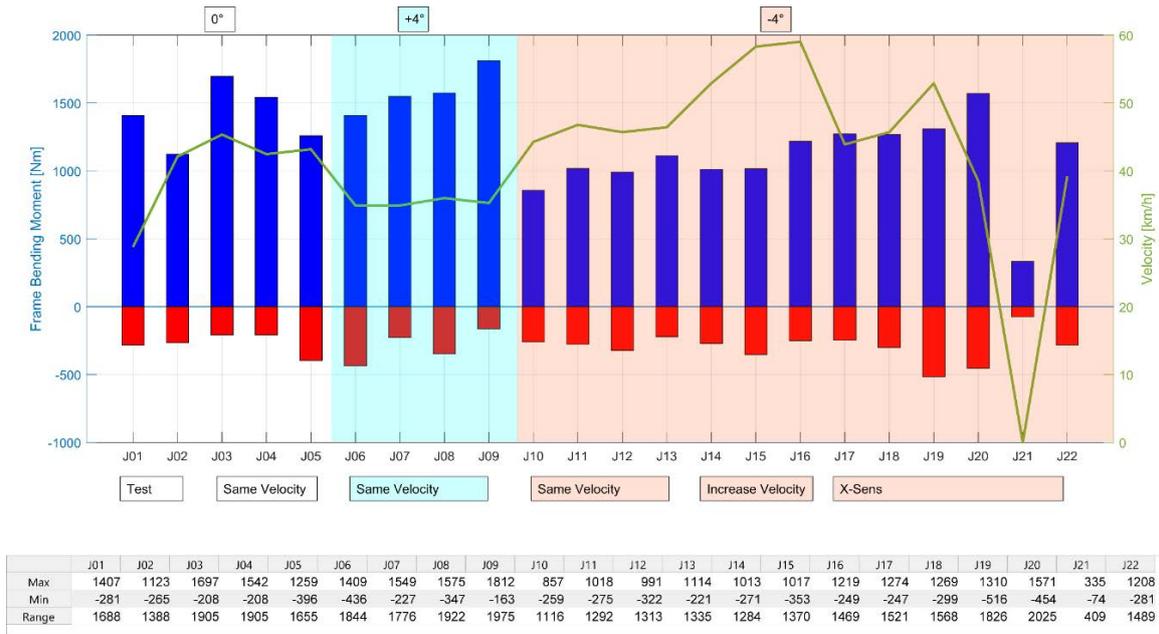


Table 3.3-1: Bar plot of the maximum minimum values and range of the Fantic FBM channel in all 22 jumps of the third day of testing in Nevegal.

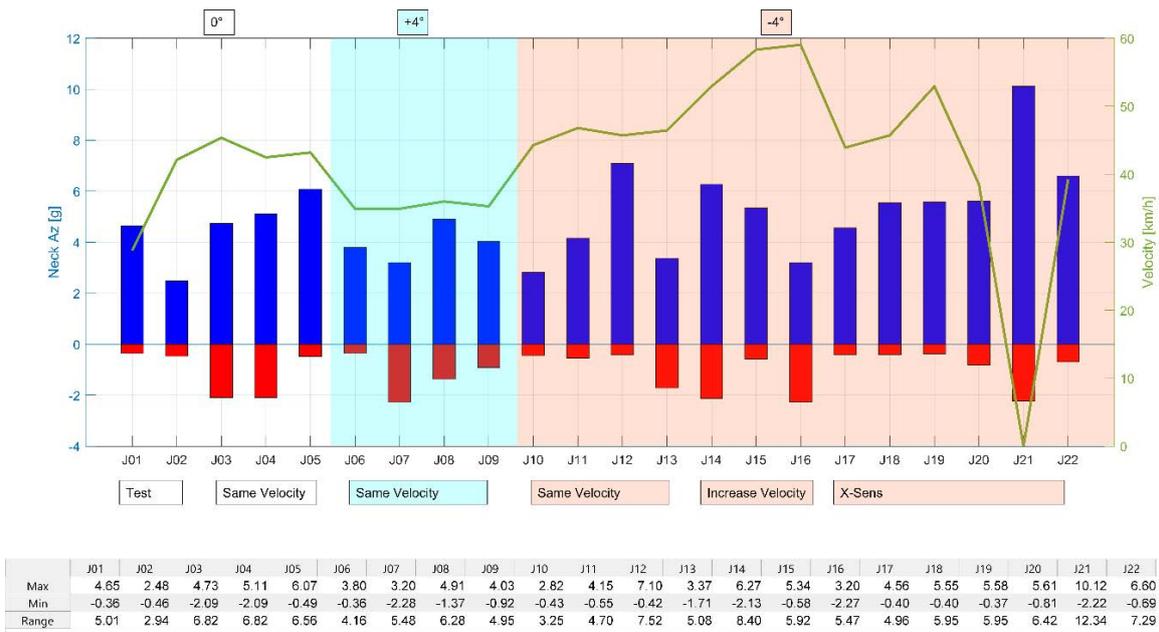
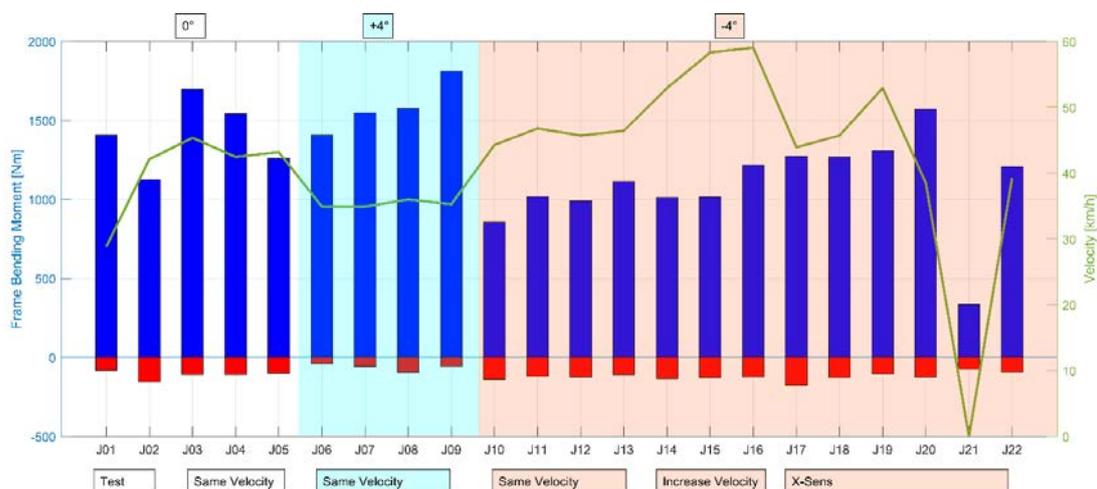


Table 3.3-2: Bar plot of the maximum minimum values and range of the Noraxon Neck Accelerometer along Z direction in all 22 jumps of the third day of testing in Nevegal.

Ora la decisione di quali canali valutare dipende solo da ciò che sei interessato a valutare. In questo caso siamo interessati ai carichi strutturali sulla MTB quindi guarderemo solo i relativi canali.



	J01	J02	J03	J04	J05	J06	J07	J08	J09	J10	J11	J12	J13	J14	J15	J16	J17	J18	J19	J20	J21	J22
Max	1407	1123	1697	1542	1259	1409	1549	1575	1812	857	1018	991	1114	1013	1017	1219	1274	1269	1310	1571	335	1208
Min	-80	-155	-108	-108	-101	-39	-56	-95	-55	-138	-117	-123	-110	-134	-128	-122	-178	-127	-104	-126	-74	-93
Range	1487	1278	1805	1805	1360	1448	1605	1670	1867	994	1135	1115	1224	1147	1145	1341	1452	1396	1414	1697	409	1301

Guardando la velocità vediamo che i salti che possono essere considerati sono:

Ramp Inclination	Comparable Jumps
-4°	J02-J03-J04-J05
0°	J06-J07-J08-J09
+4°	J10-J11-J12-J13

Infatti, la velocità rimane pressoché invariata solo per questi 4 salti di ogni serie. Qui capiamo l'importanza di avere un pilota già esperto per questo tipo di test. Infatti, Marco de Col è stato anche sottoposto a test nella Nevegal Session One. Si può apprezzare come riesca a fare il salto con velocità ripetibile. Dal Salto 14 al 22 la velocità varia molto perché il rider è espressamente tenuto a fare il salto a velocità crescenti, ma come si può vedere, i segnali del massimo-minimo e della portata non variano.

# Risultati Catapulta 1.2 e 1.3

## Materassi ad alto assorbimento ad aria



*Figura 0-1Materasso ad alto assorbimento ad aria*

Prove svolte nel laboratorio di Padova utilizzando la Catapulta 1.0 in versione 1.2 e 1.3, quindi effettuando test di lancio di un manichino in tenuta da sciatore, ipotizzando uno scontro frontale contro un materasso ad alto assorbimento ad aria, ed una successiva serie di lanci per la caratterizzazione del materasso utilizzando il “Solid Dummy”.

Prove effettuate:

- Prova 4.1
- Prova 4.2
- Prova 5.1
- Prova 5.2
- Sacco 4.1
- Sacco 5.1

Dove con 4 e 5 si vanno ad indicare il numero di elastici per ramo utilizzati sulla catapulta e quindi funzione della velocità finale, mentre gli indici 1 indica manichino libero e 2 con neck brace. Dei test nominati “Prova \_ . \_” si sono ricavati anche gli indici BRIC e HIC per analizzare l’impatto e quindi la capacità di attenuare un urto ad alta velocità.

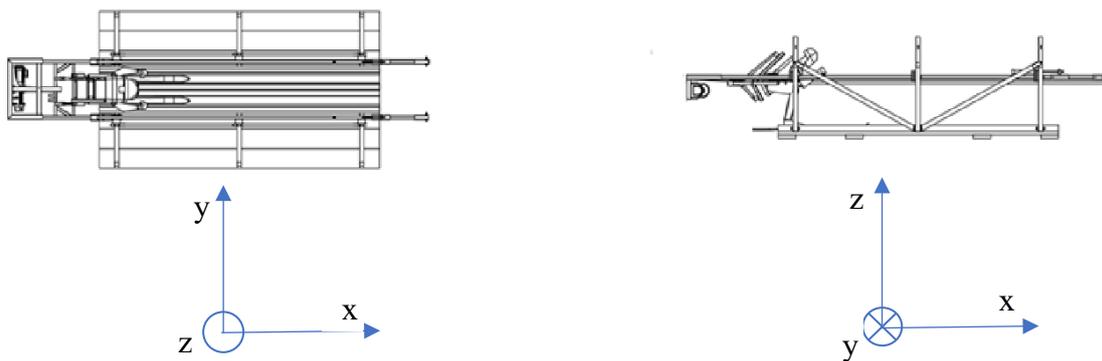


Figura 0-2 Orientamento assi assoluti

Le accelerazioni ricavate dagli accelerometri sono state ruotate, mediante matrice di rotazione, in modo da risultare sempre allineate alla terna di assi assoluta, cioè avendo come asse X la direzione di moto ed asse Z quello agente la gravità. In media Humotion 545 è ruotato verso il basso di un angolo di  $-40^\circ$ , mentre Humotion 547 sempre verso il basso di un angolo di  $-60^\circ$ . Ad ogni analisi dati attraverso l'uso di Matlab si è ricavata la risultante delle accelerazioni e quindi trovato l'angolo di G in relazione alla terna relativa, conosciuto l'angolo è proceduti ad allineare la terna relativa a quella assoluta.

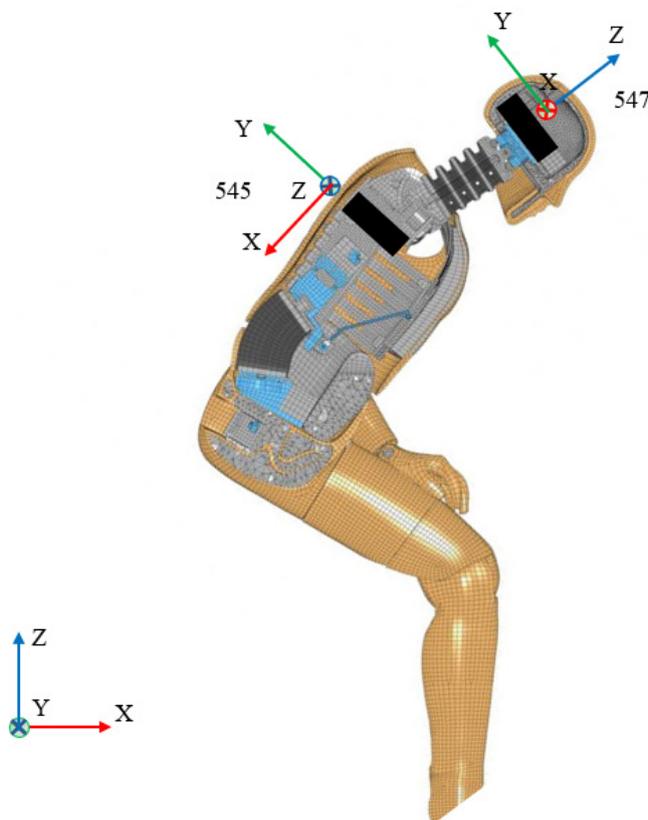
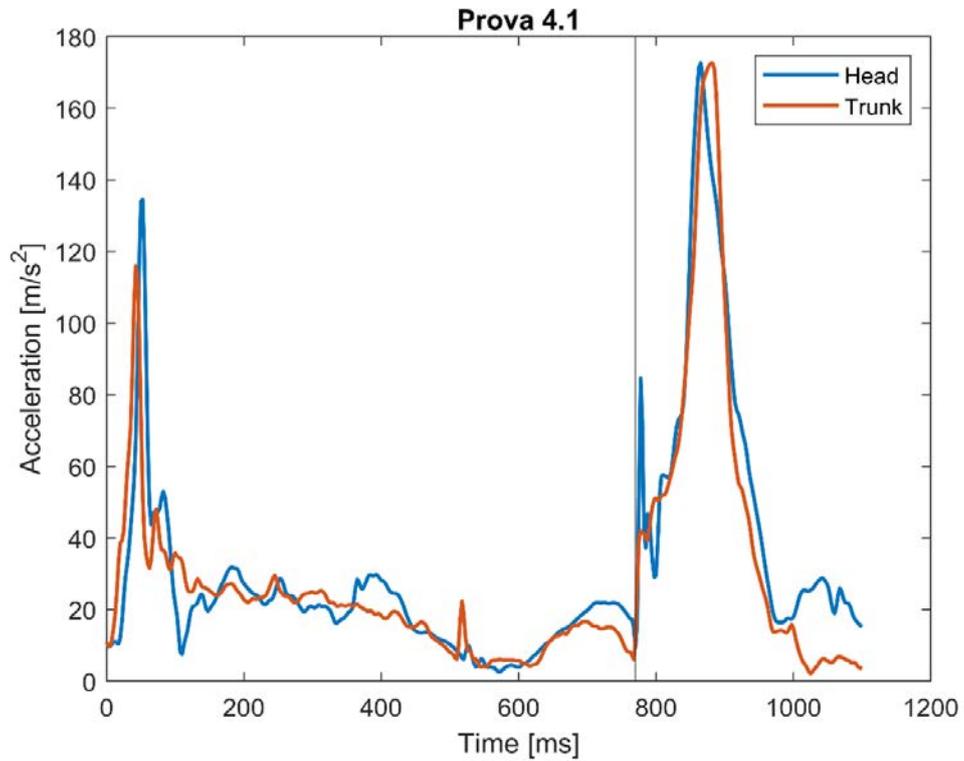


Figura 0-3 Orientamento assi relativi Humotion

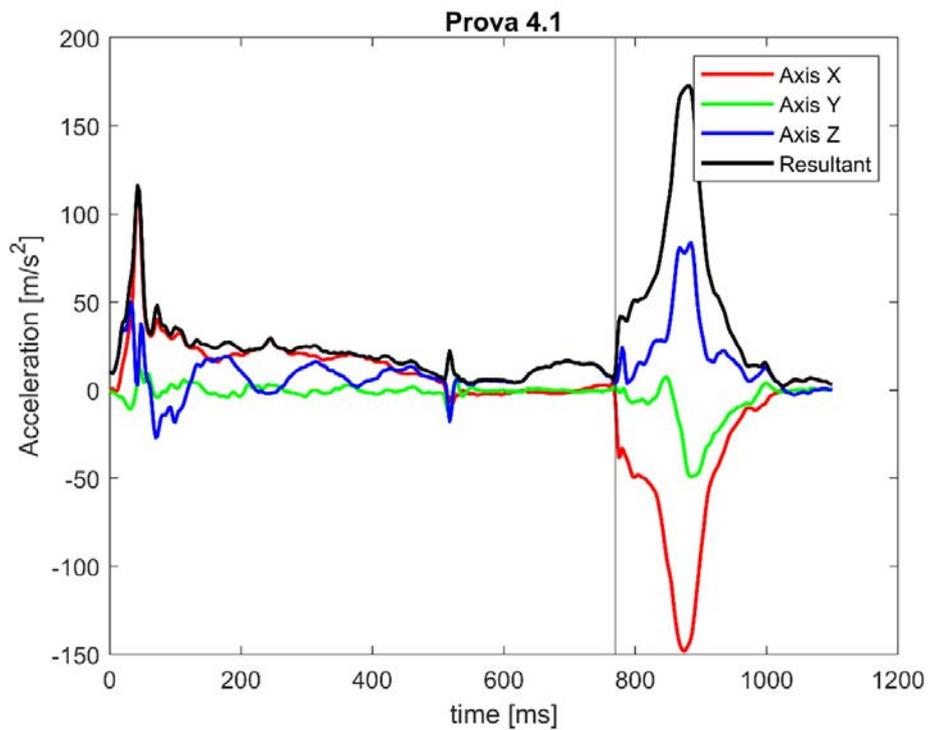
# Catapulta versione 1.2

## Prova 4.1

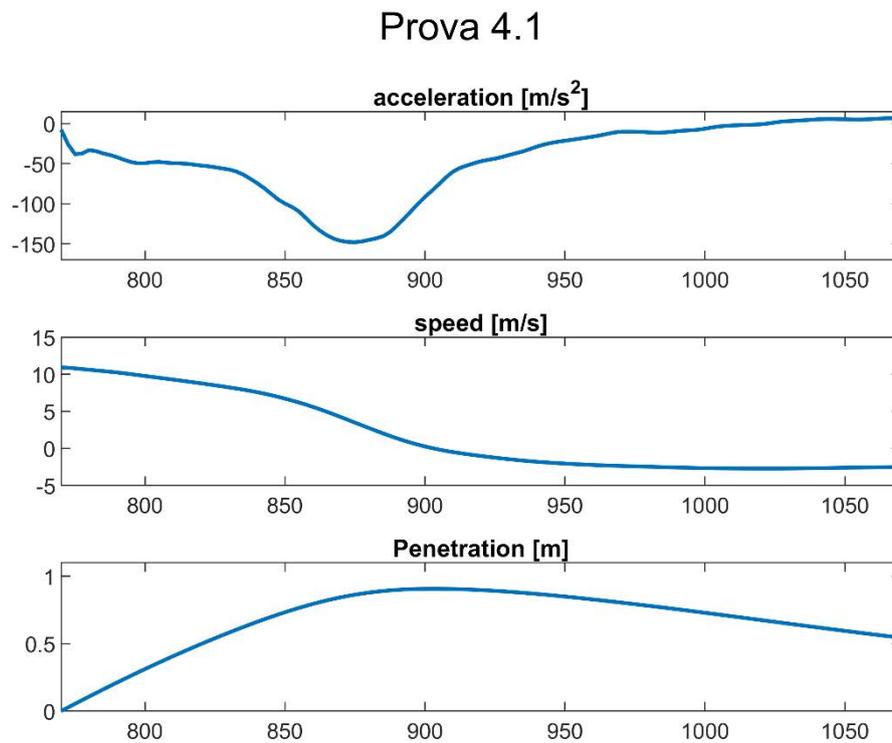
Accelerazione risultante durante l'intera prova di testa e tronco:



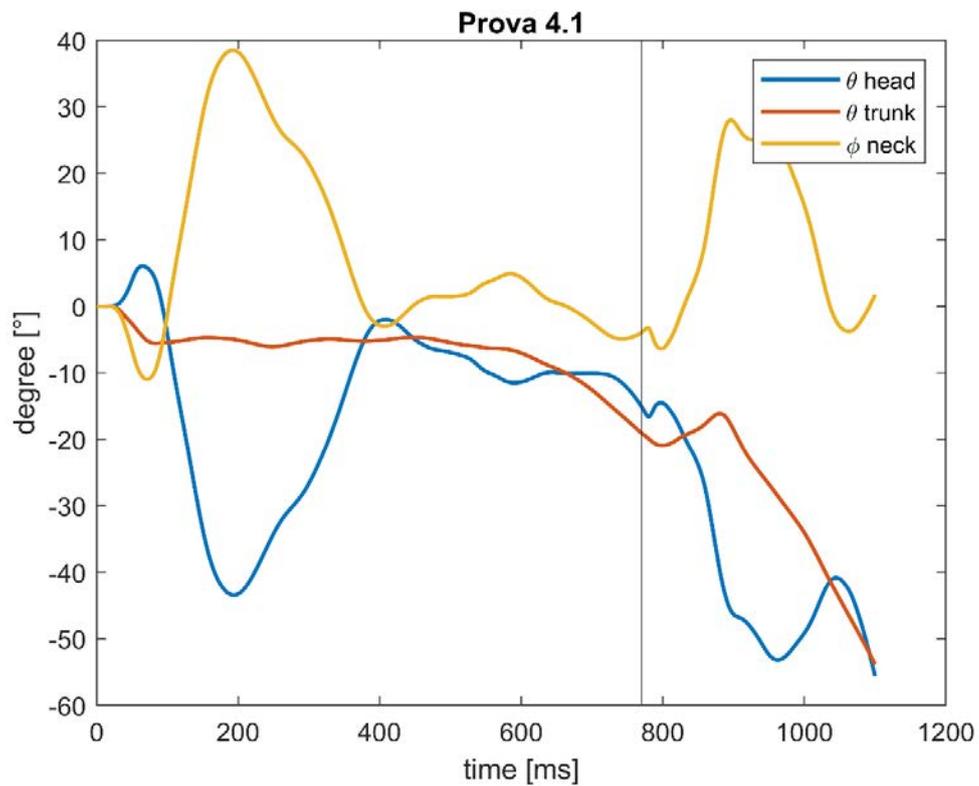
Andamento delle accelerazioni del tronco relative alla terna assoluta di lancio:



Accelerazione, velocità e spostamento del manichino misurato dal tronco durante l'impatto:



Andamenti degli angoli di tronco testa e collo:

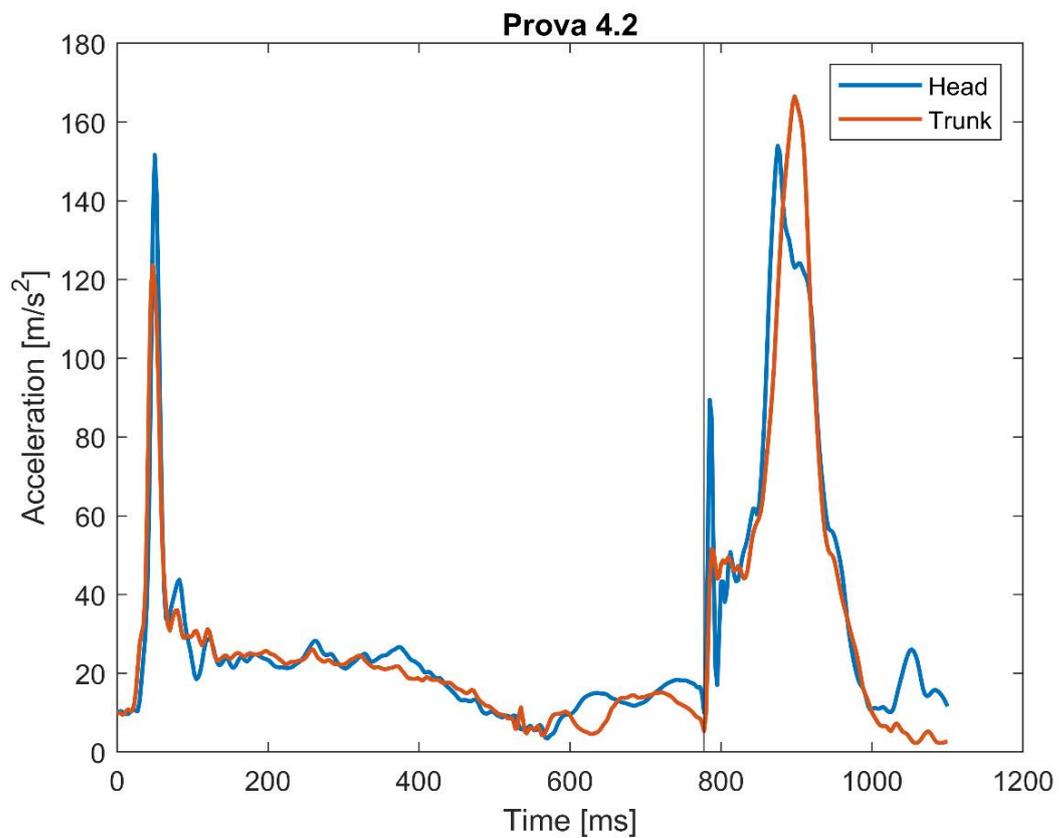


Riassunto dati ricavati durante la Prova 4.1:

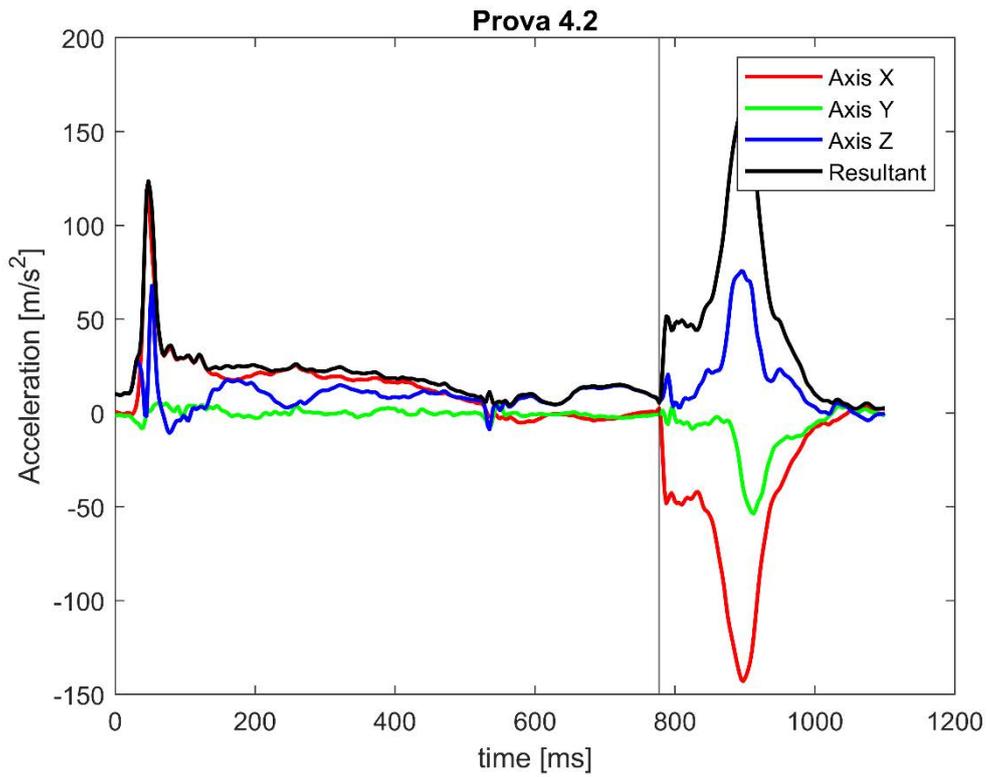
Lancio	Accelerazione massima Testa [ $m/s^2$ ]	134
	Accelerazione massima tronco [ $m/s^2$ ]	116
	Angolo Massimo estensione [°]	38
Uscita	Velocità d'impatto [m/s]	10.9
Impatto	Accelerazione massima Tronco [ $m/s^2$ ]	148
	Penetrazione massima [cm]	90.4
	Angolo Massimo estensione [°]	28
	BrIC	0.2521
	HIC	28.19

## Prova 4.2

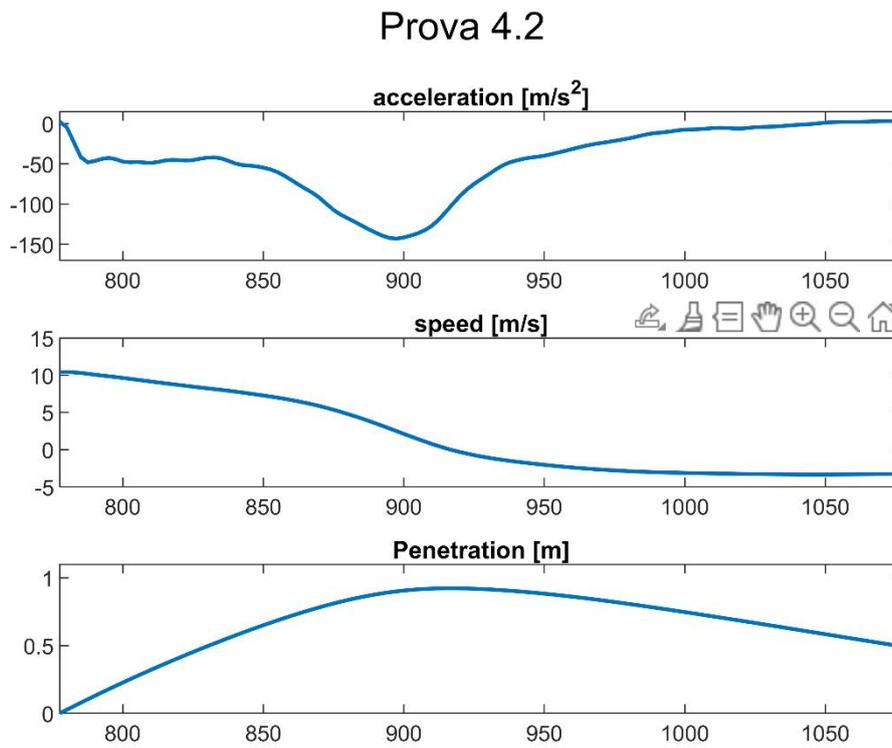
Accelerazione risultante durante l'intera prova di testa e tronco:



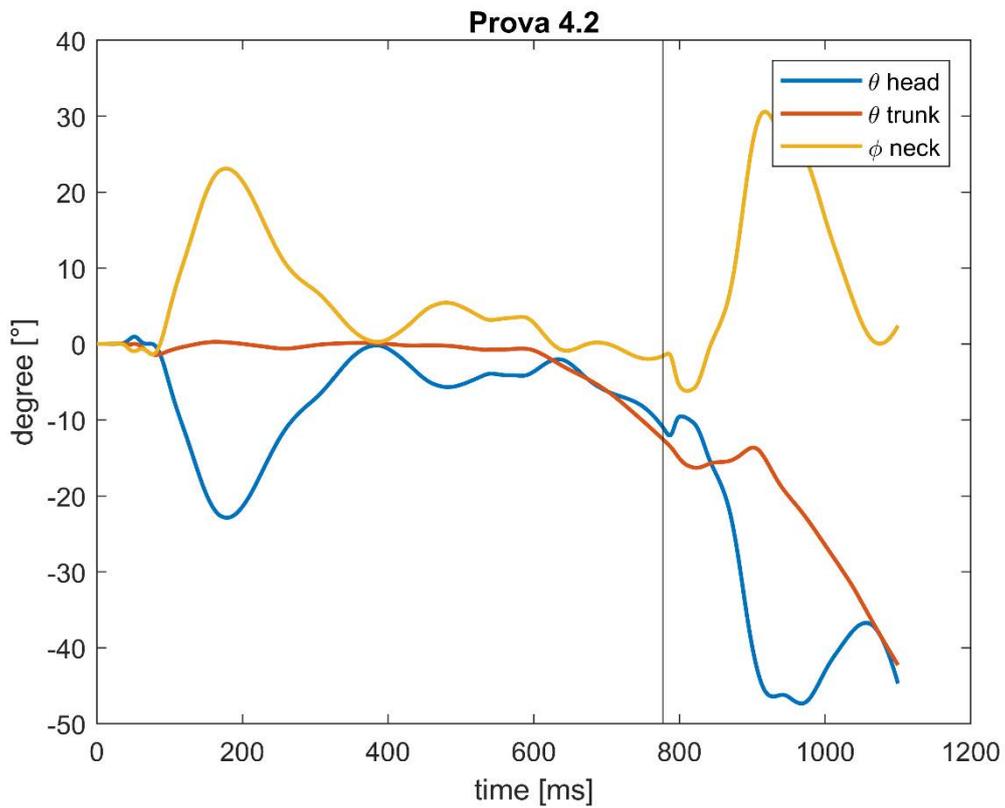
Andamento delle accelerazioni del tronco relative alla terna assoluta di lancio:



Accelerazione, velocità e spostamento del manichino misurato dal tronco durante l'impatto:



Andamenti degli angoli di tronco testa e collo:

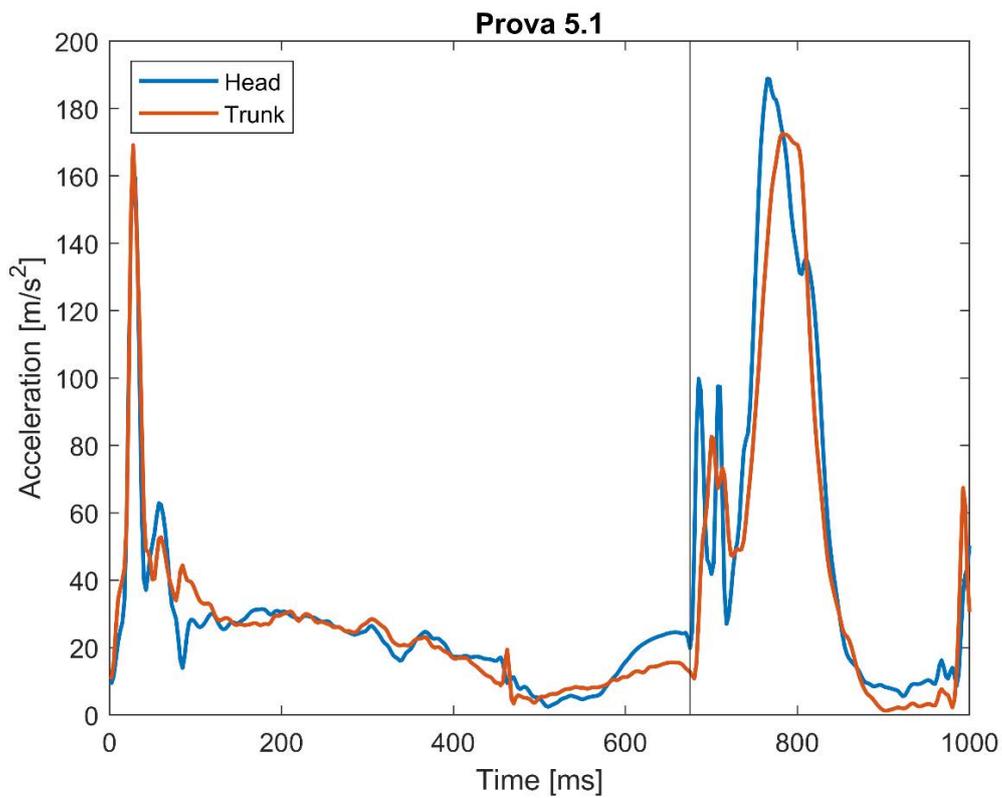


Riassunto dati ricavati durante la Prova 4.2:

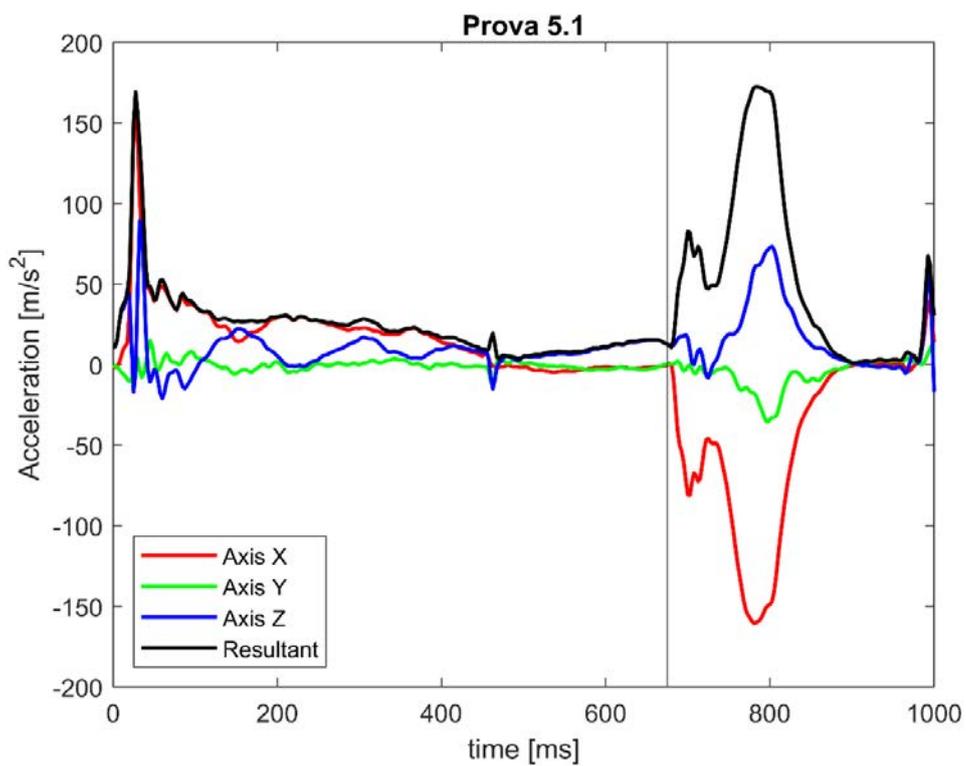
Lancio	Accelerazione massima Testa [ $m/s^2$ ]	151
	Accelerazione massima tronco [ $m/s^2$ ]	123
	Angolo Massimo estensione [°]	23
Uscita	Velocità d'impatto [m/s]	10.4
Impatto	Accelerazione massima Tronco [ $m/s^2$ ]	143
	Penetrazione massima [cm]	92.4
	Angolo Massimo estensione [°]	30
	BrIC	0.2239
	HIC	20.42

## Prova 5.1

Accelerazione risultante durante l'intera prova di testa e tronco:

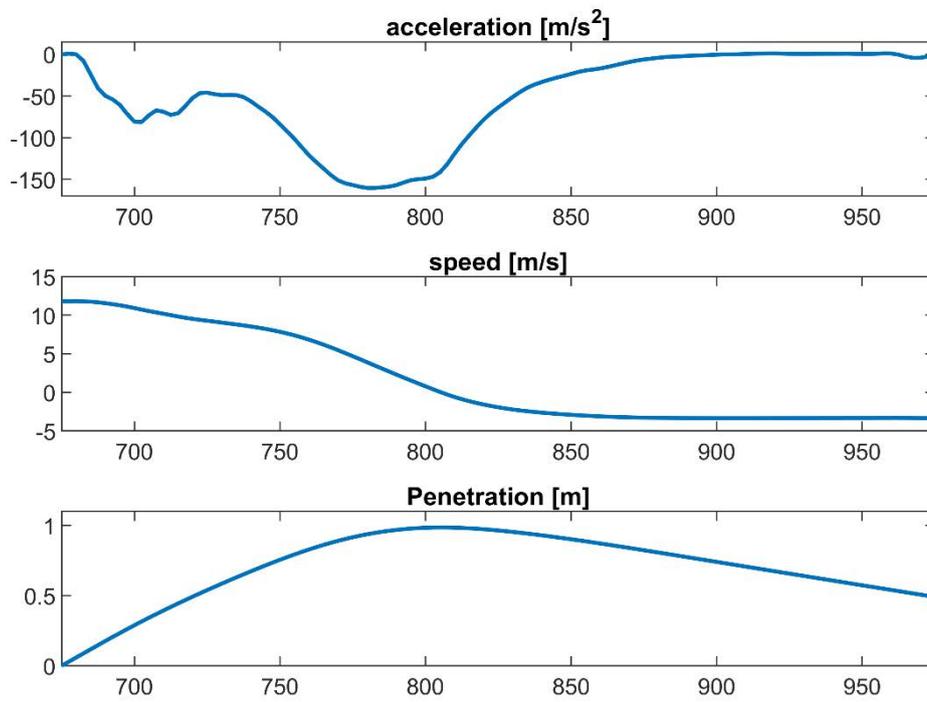


Andamento delle accelerazioni del tronco relative alla terna assoluta di lancio:

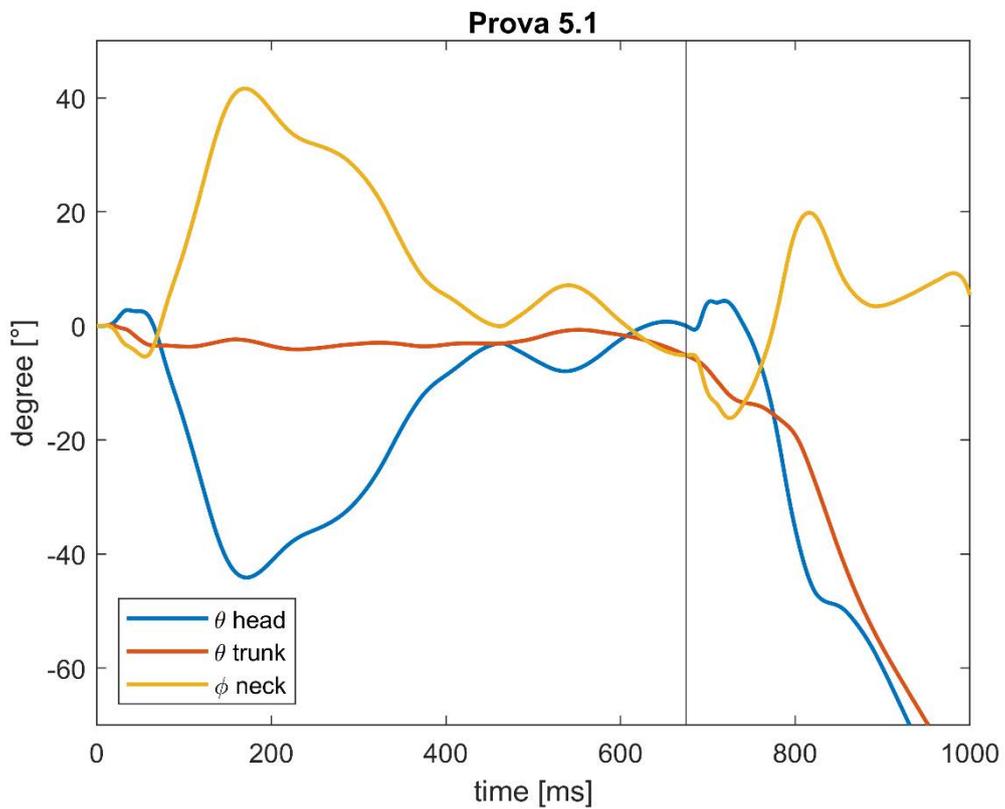


Accelerazione, velocità e spostamento del manichino misurato dal tronco durante l'impatto:

### Prova 5.1



Andamenti degli angoli di tronco testa e collo:

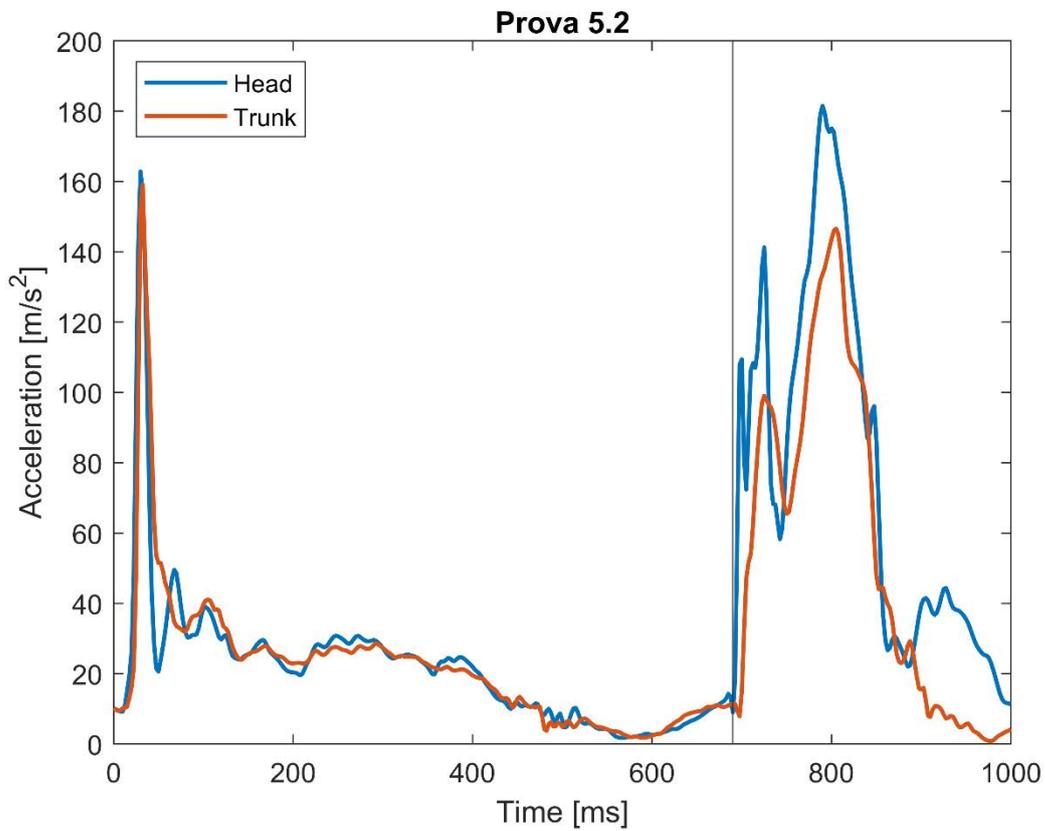


Riassunto dati ricavati durante la Prova 5.1:

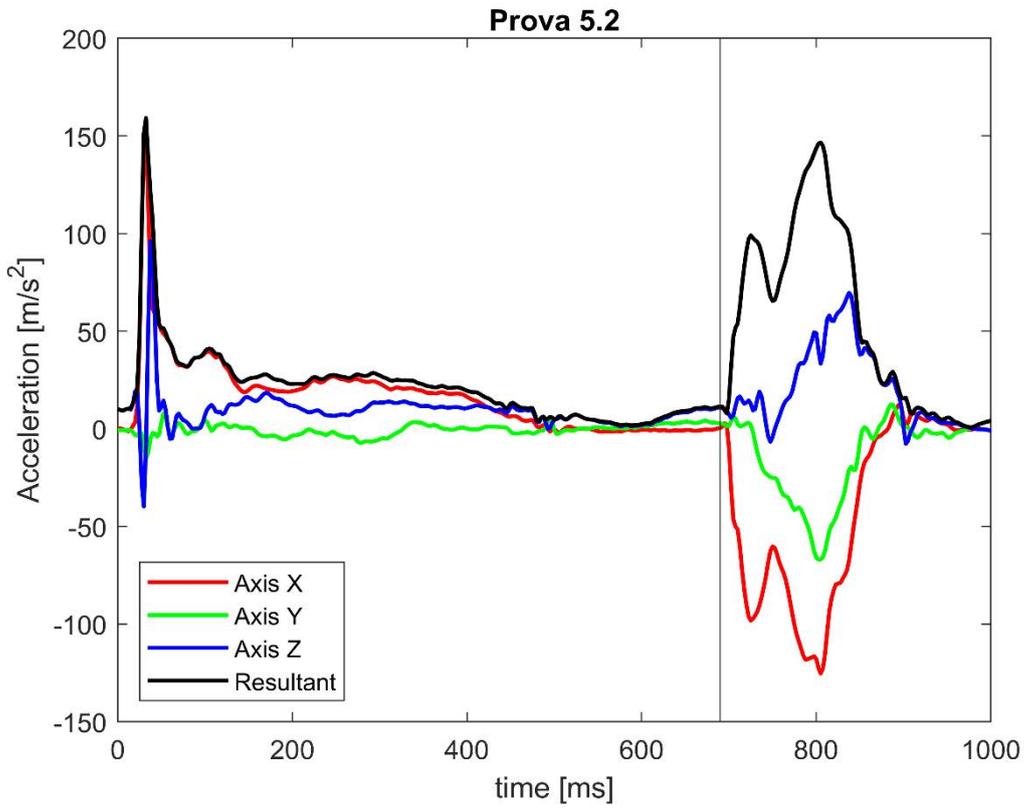
Lancio	Accelerazione massima Testa [ $m/s^2$ ]	163
	Accelerazione massima tronco [ $m/s^2$ ]	169
	Angolo Massimo estensione [°]	41
Uscita	Velocità d'impatto [ $m/s$ ]	11.8
Impatto	Accelerazione massima Tronco [ $m/s^2$ ]	160
	Penetrazione massima [cm]	98.5
	Angolo Massimo estensione [°]	20
	BriC	0.7637
	HIC	39.37

## Prova 5.2

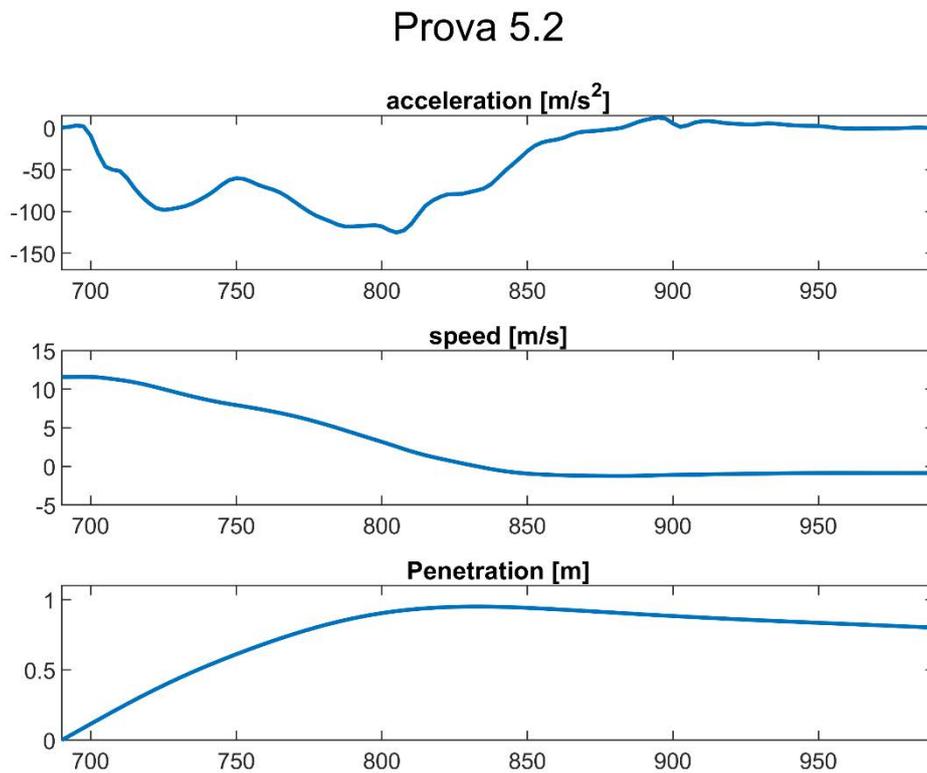
Accelerazione risultante durante l'intera prova di testa e tronco:



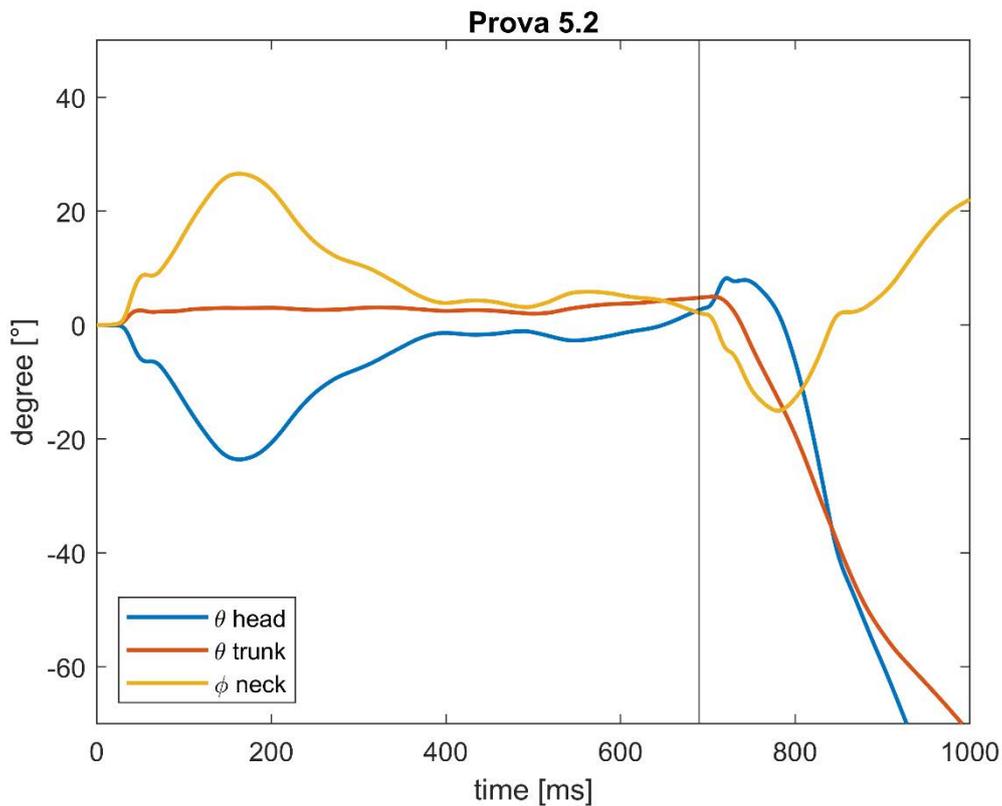
Andamento delle accelerazioni del tronco relative alla terna assoluta di lancio:



Accelerazione, velocità e spostamento del manichino misurato dal tronco durante l'impatto:



Andamenti degli angoli di tronco testa e collo:



Riassunto dati ricavati durante la Prova 5.2:

Lancio	Accelerazione massima Testa [ $m/s^2$ ]	162
	Accelerazione massima tronco [ $m/s^2$ ]	159
	Angolo Massimo estensione [ $^\circ$ ]	26
Uscita	Velocità d'impatto [ $m/s$ ]	11.6
Impatto	Accelerazione massima Tronco [ $m/s^2$ ]	125
	Penetrazione massima [cm]	95.1
	Angolo Massimo estensione [ $^\circ$ ]	23
	BrIC	0.2729
	HIC	35.52

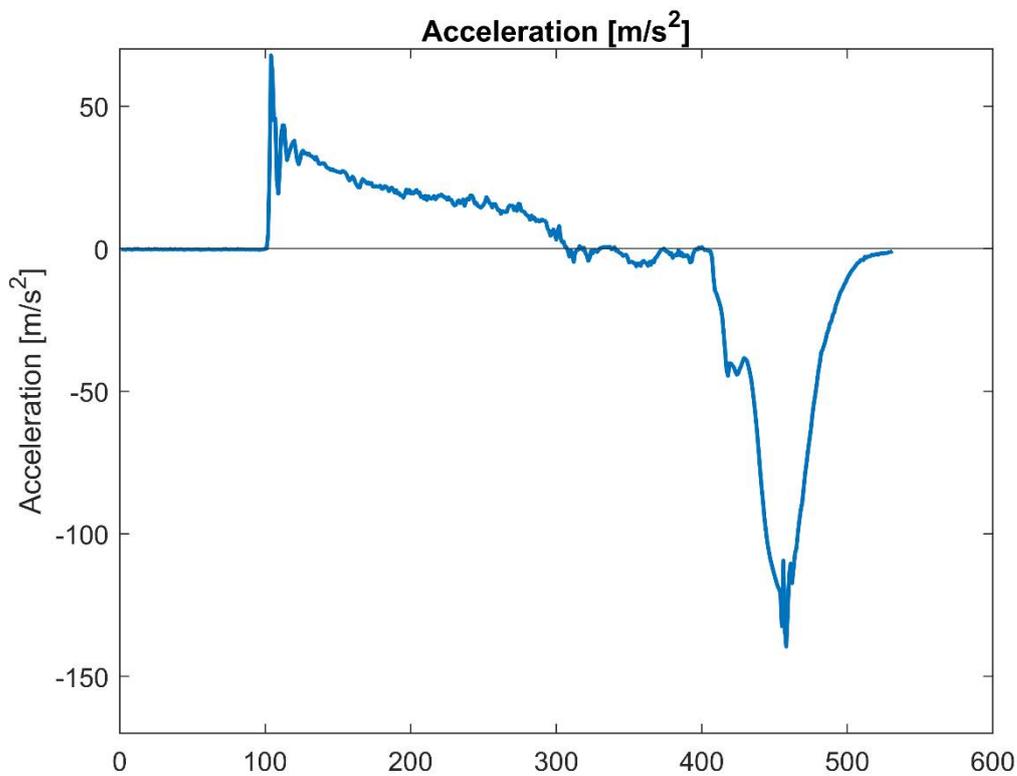
Durante le prove effettuate si è riscontrata l'influenza positiva del neck-brace, infatti paragonando a due a due le prove svolte, cioè a pari velocità d'impatto, si è notata una riduzione dell'angolo massimo di estensione del collo di - 37.5 % in fase di accelerazione, riducendo ad un limite di 23° la massima estensione.

Analizzando gli indici ricavati per la probabilità di danni al cervello si nota che solamente durante la Prova 5.1 l'indice BrIC arriva ad un massimo di 0.7637 collegato ad un potenziale danno del 15 %, questo valore risulta il più elevato a causa della velocità d'impatto più elevata, tutti gli altri valori di BrIC sono risultati bassi tanto da non essere collegati ad un potenziale danno. Passando invece all'analisi degli indici HIC, nessuna prova d'impatto risulta produrre decelerazioni tali da causare danni, infatti il massimo registrato si rivela essere 39.37, con un limite per un potenziale danno al 100 % alla soglia di 1000.

## Catapulta versione 1.3

### Sacco 4.1

Accelerazione:



Accelerazione velocità e spostamento di tutto l'evento:

### Sacco 4.1

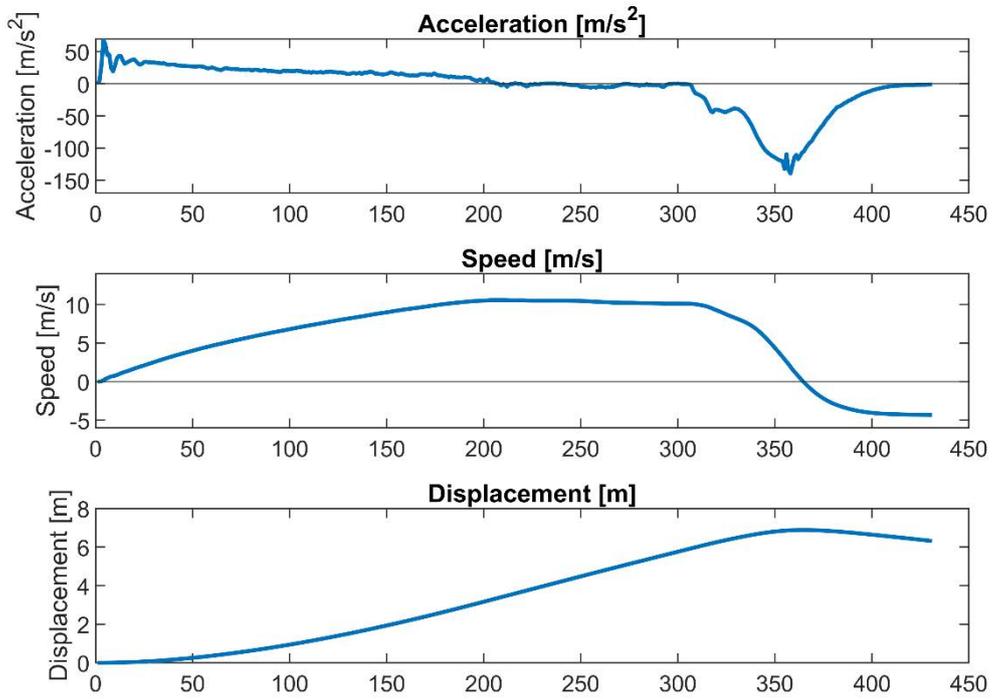
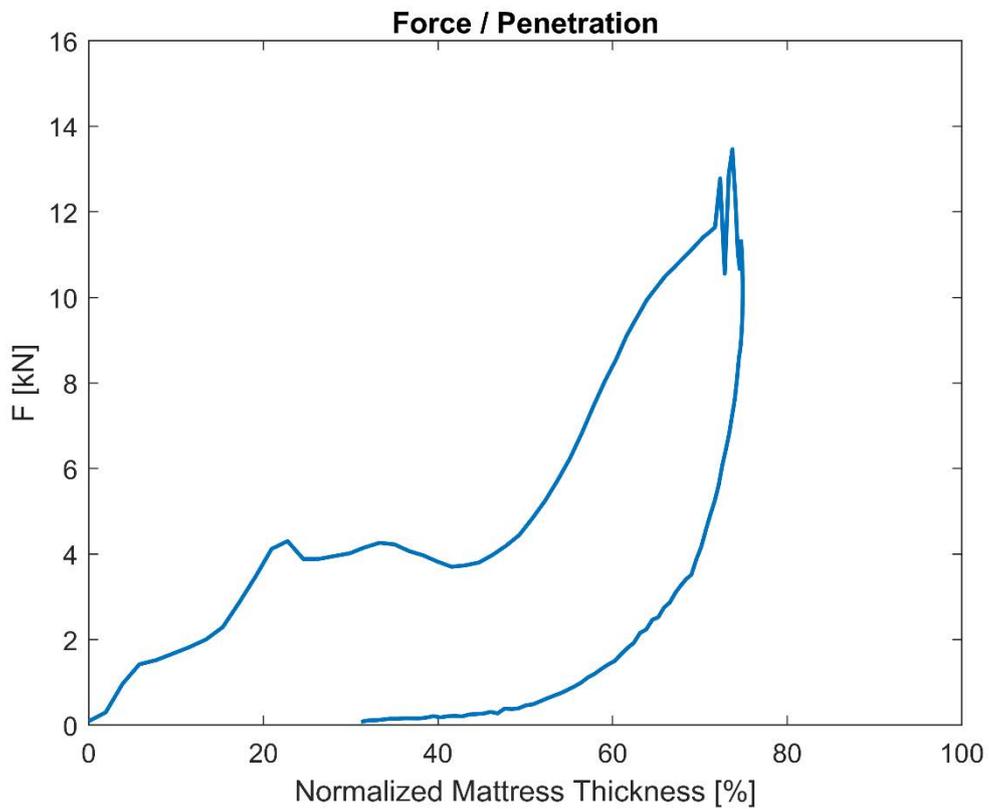
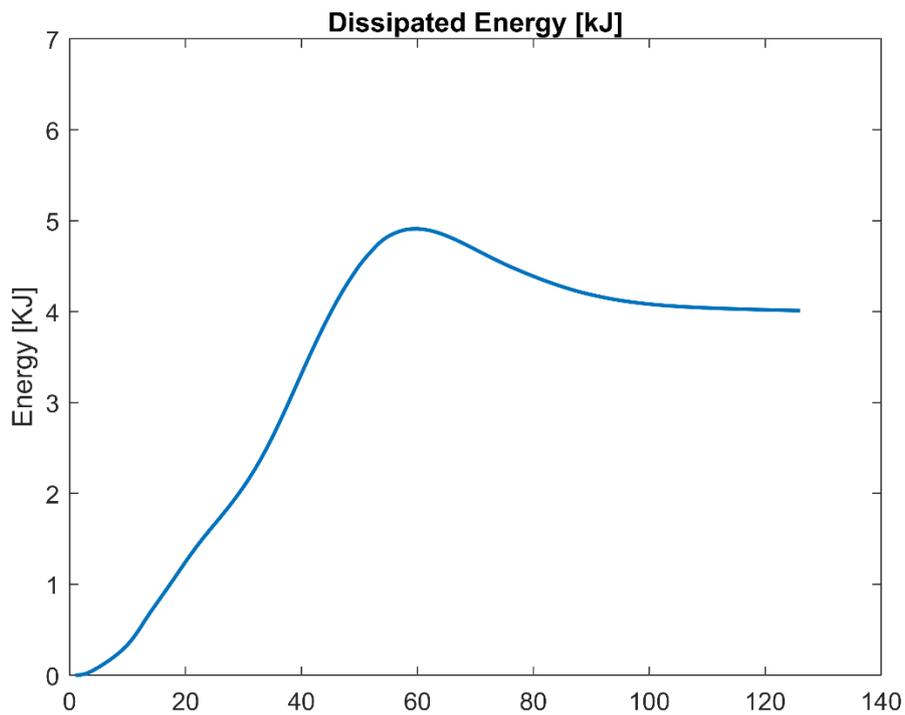


Grafico forza- Penetrazione:



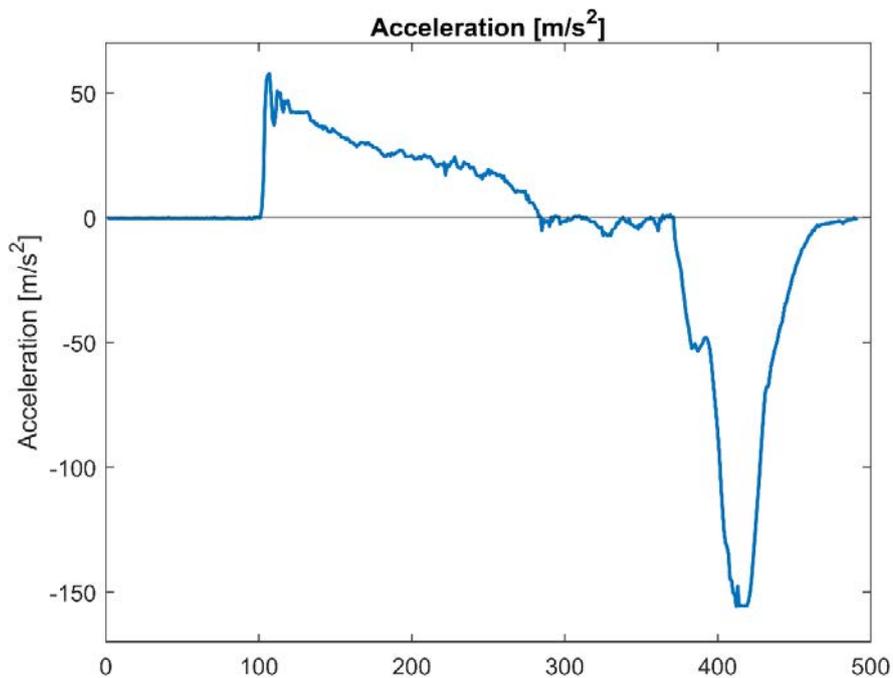
Energia dissipata:



La prova risulta essere effettuata ad una velocità d’impatto di 10.5 m/s producendo una penetrazione normalizzata allo spessore del materasso del 75 %.

### Sacco 5.1

Accelerazione:



Accelerazione velocità e spostamento di tutto l'evento:

### Sacco 5.1

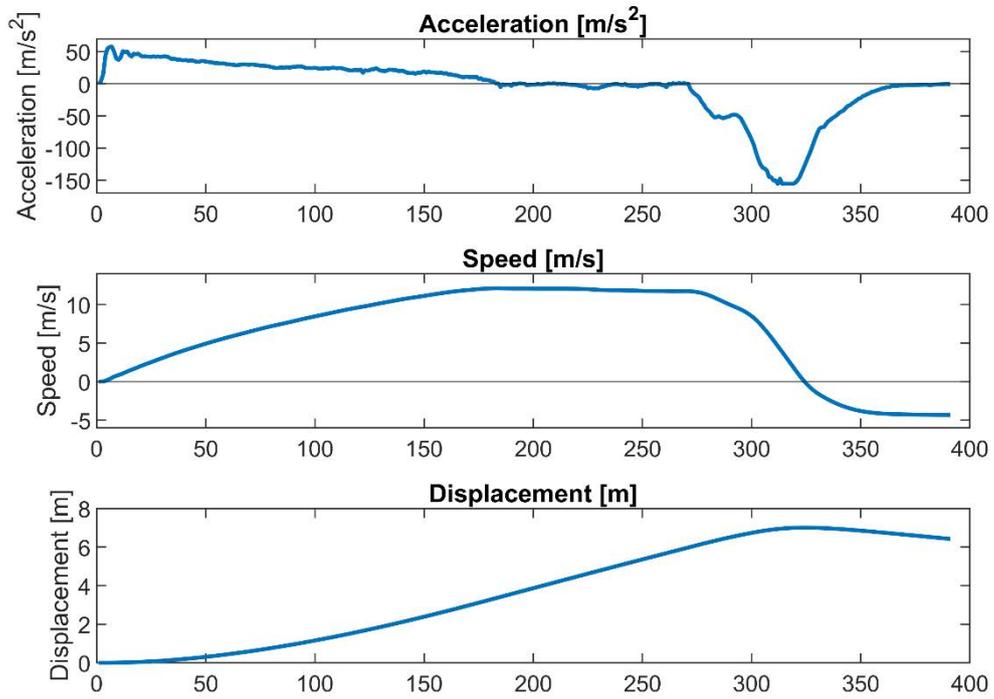
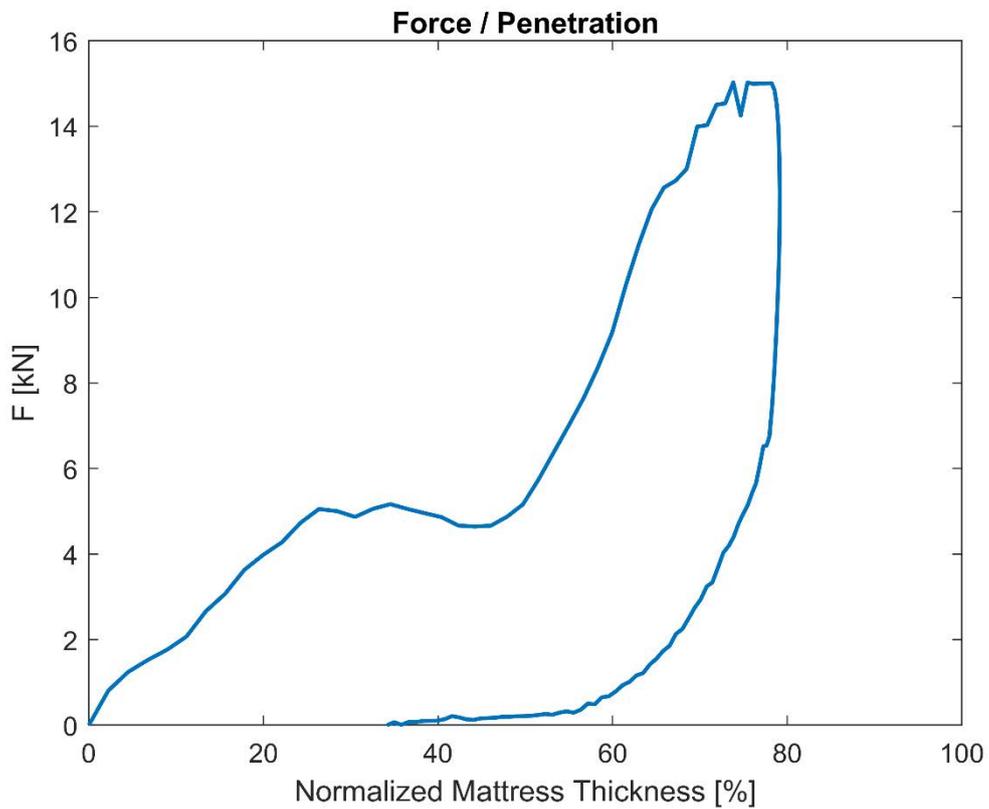
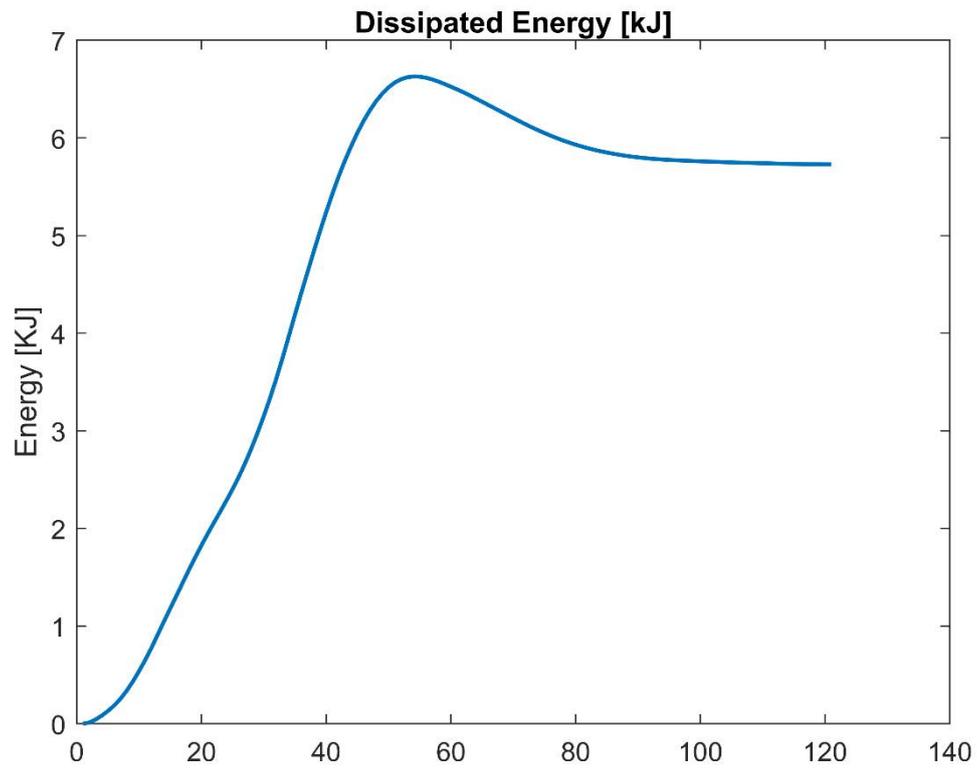


Grafico forza- Penetrazione:



Energia dissipata:



La prova risulta essere effettuata ad una velocità d'impatto di 12.1 m/s producendo una penetrazione normalizzata allo spessore del materasso del 79 %.

# Materassi in Gomma piuma e Mondaplen

## Impatti a terra



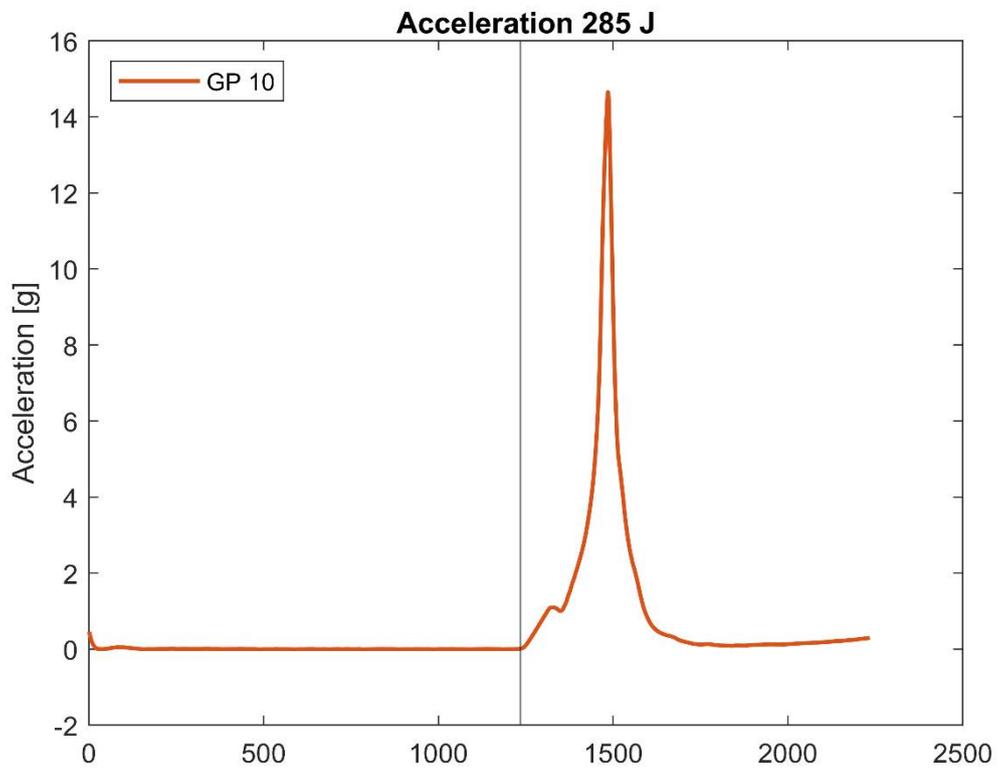
*Figura 0-4 Layout impatti a terra*

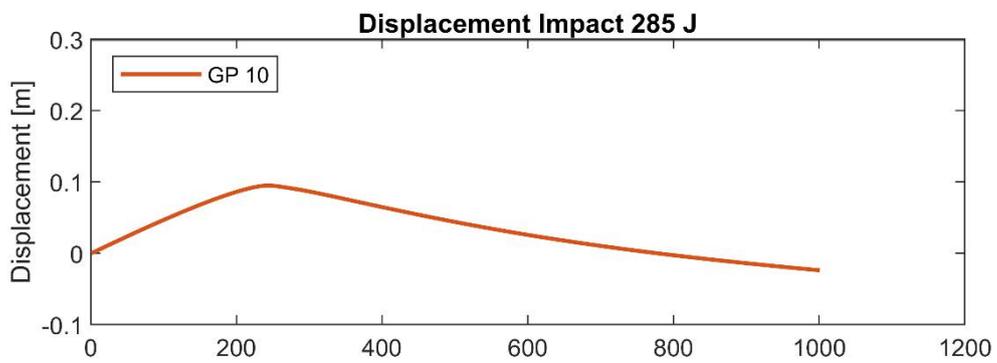
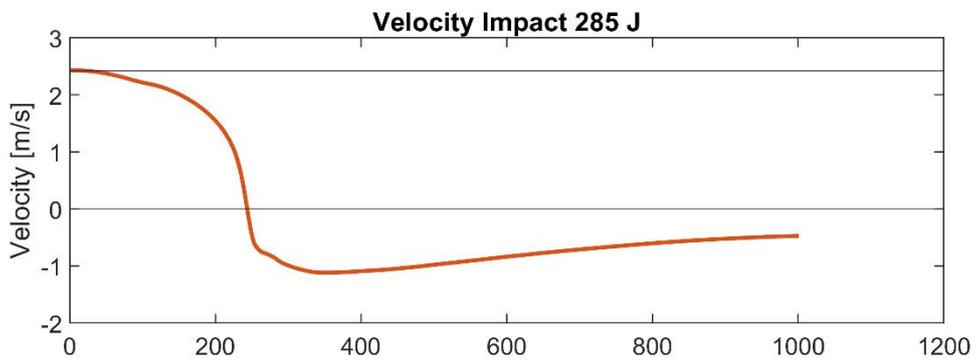
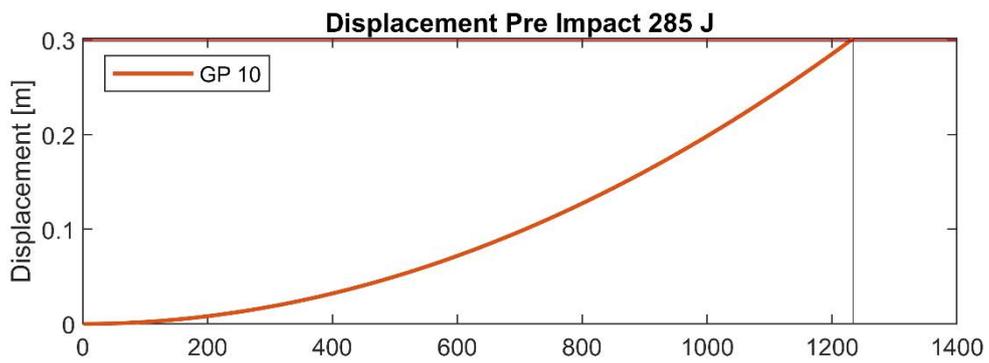
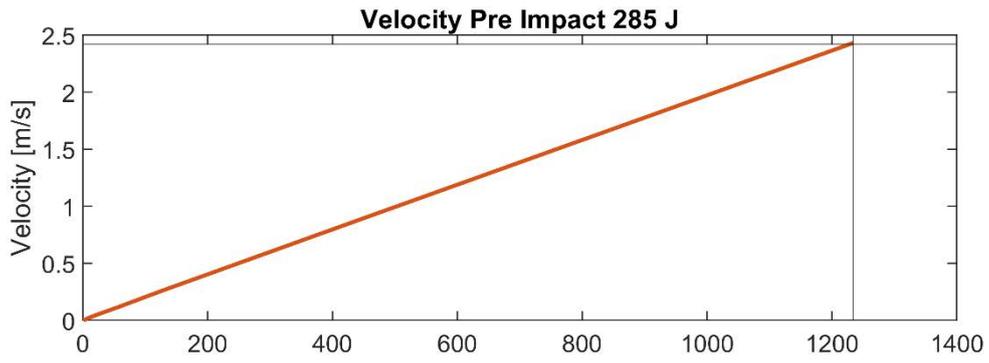
Queste prove sono state svolte sollevando da terra ad un'altezza prefissata un "Solid Dummy" di 96.5 kg sensorizzato, dove all'interno vi sono gli stessi accelerometri utilizzati nelle prove con la catapulta della versione 1.3. Le prove consistevano nell'andare a sganciare il peso dalla struttura di supporto e quindi impattare 4 modelli di materassi di spessore e materiale diverso analizzando successivamente i dati ricavati per definire le potenzialità dei singoli materassi. Per non compromettere le misure non si è mai testato nella stessa zona lo stesso materasso, quindi inizialmente lo si è diviso in zone numerate da 1 a 6 e successivamente impattate.

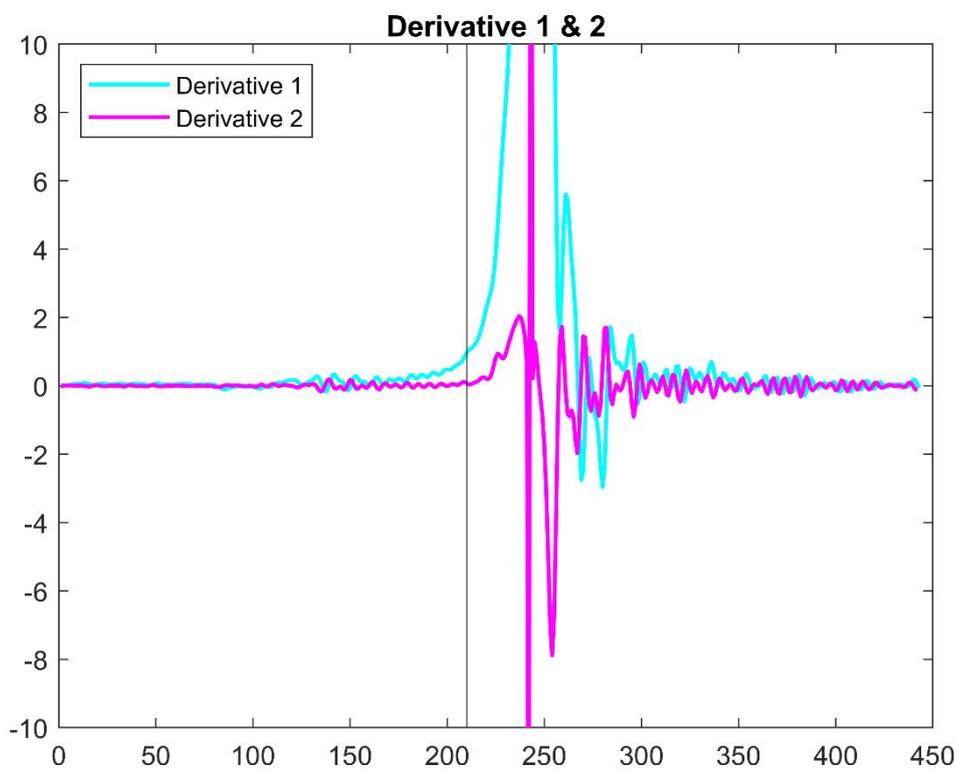
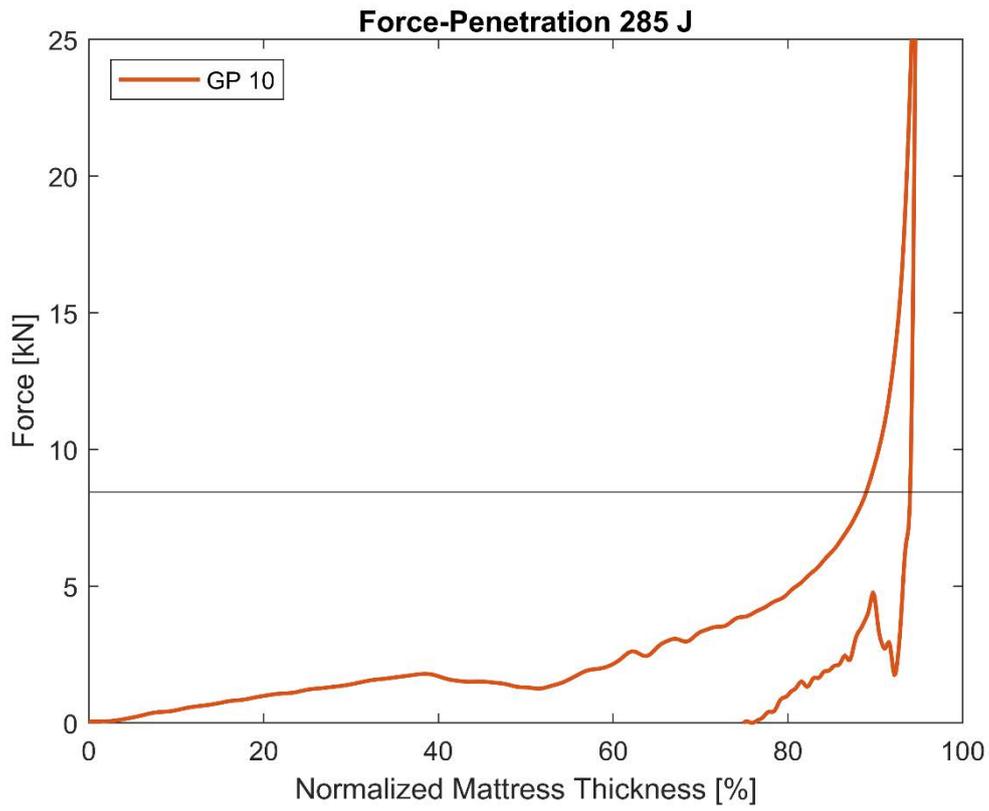
## Materasso GP\_10 (Rosso)

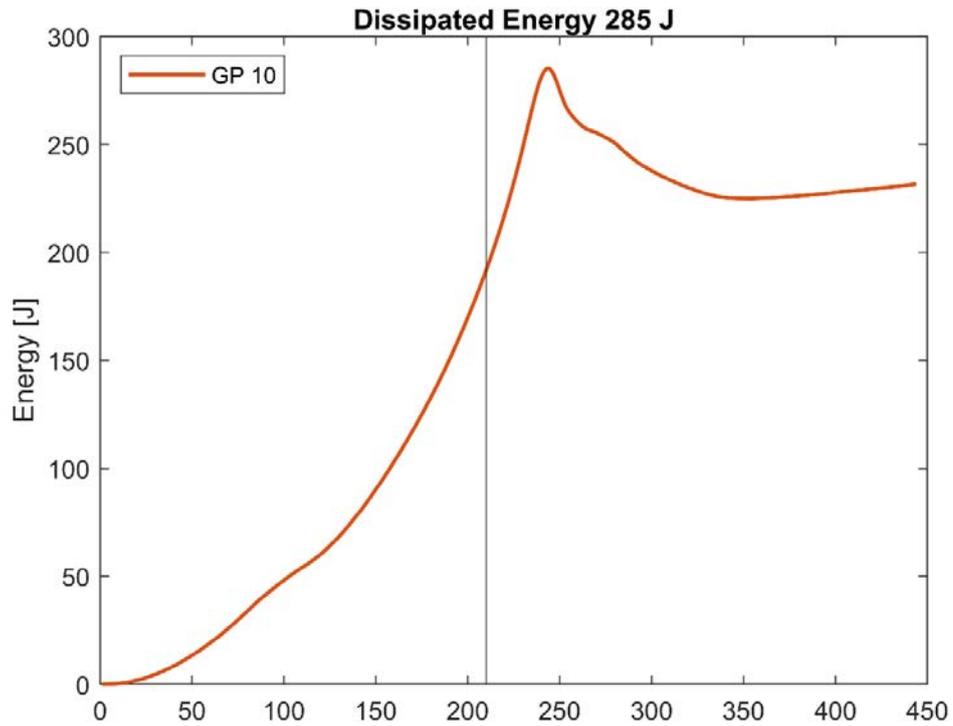
Caduta da 30 cm, cioè 285 J

L'impaccamento si ha al dato 210, Quando la derivata prima oltrepassa il valore 1, con energia assorbita fino a quel momento di 192 J, paragonabile ad un'altezza di 20,3 cm.





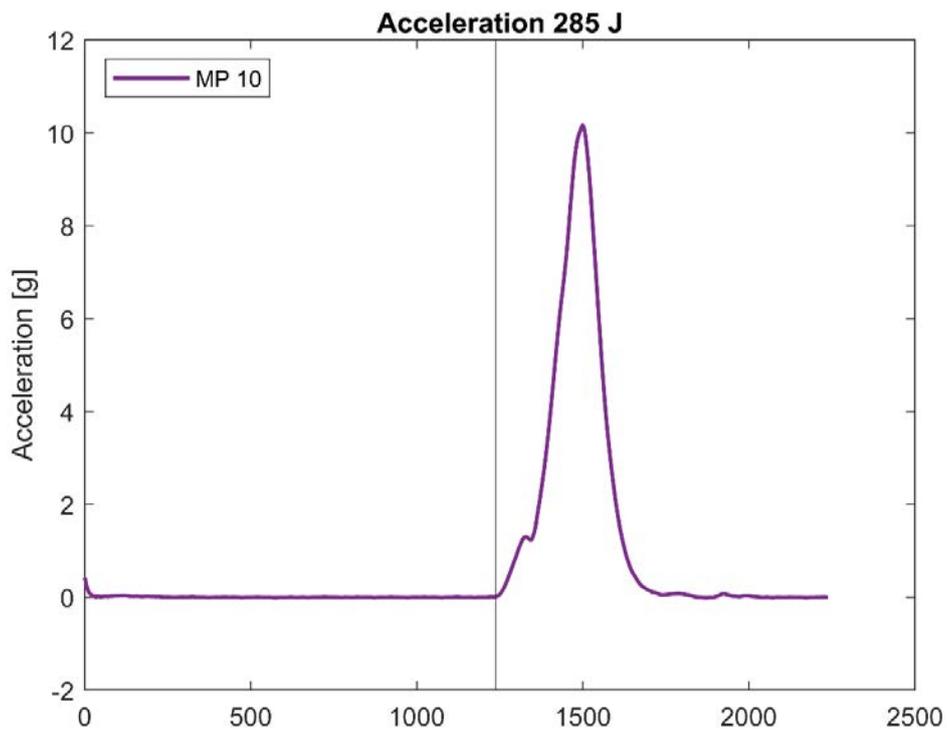


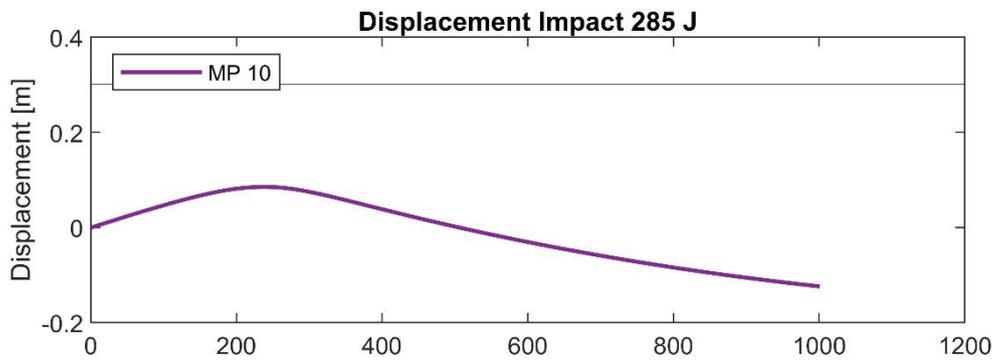
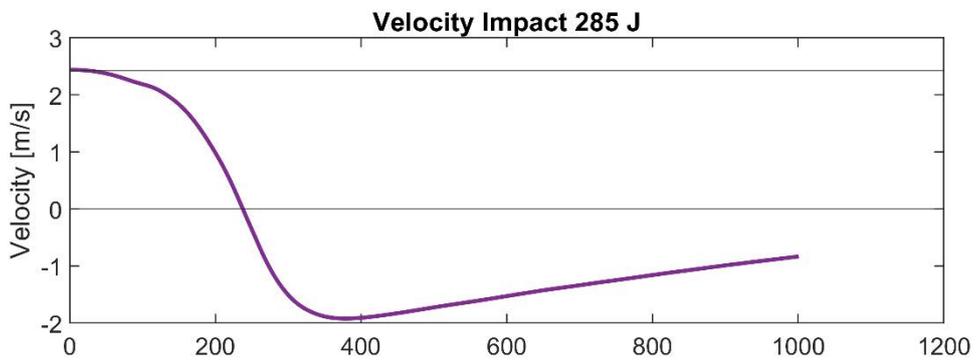
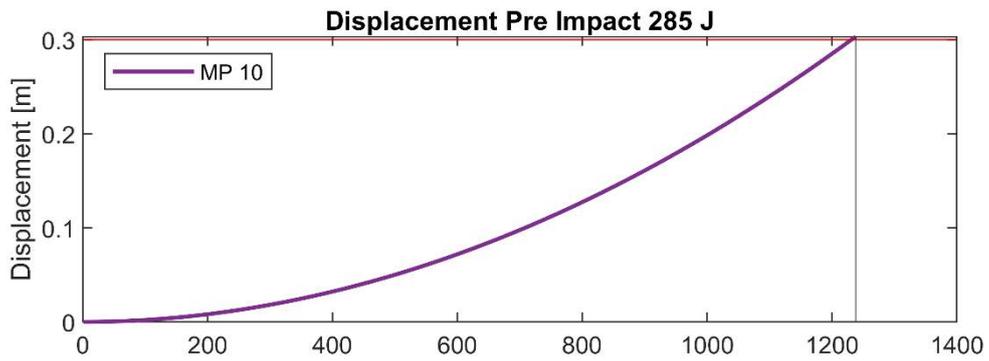
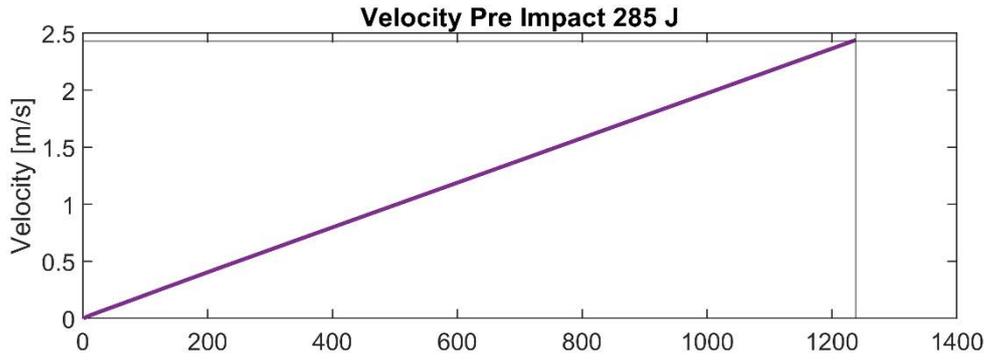


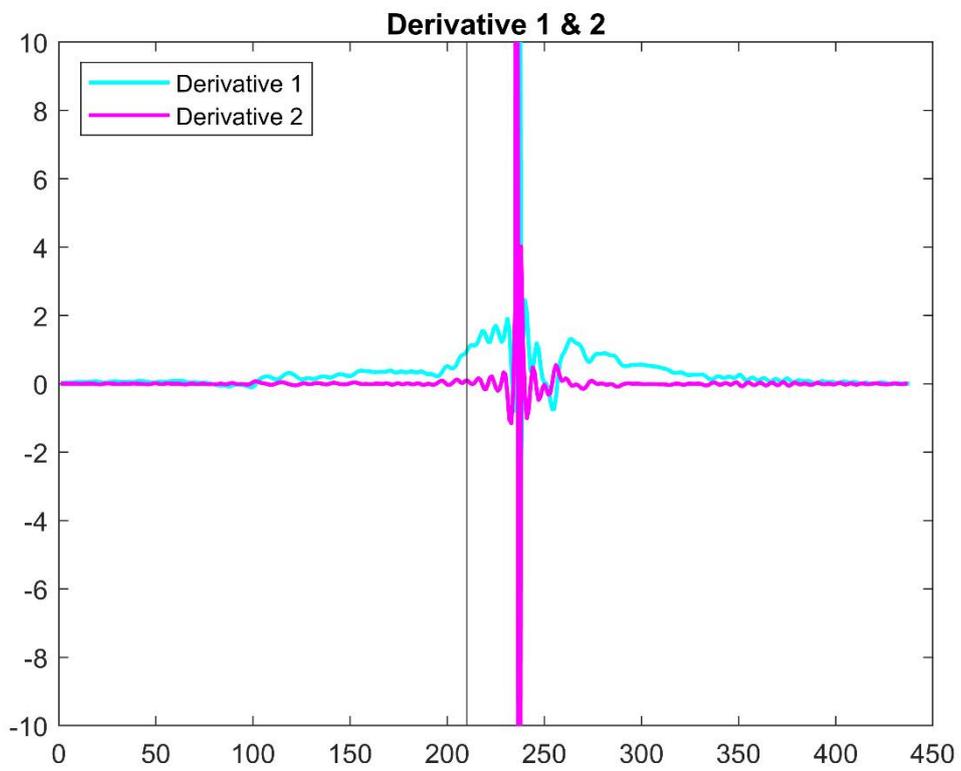
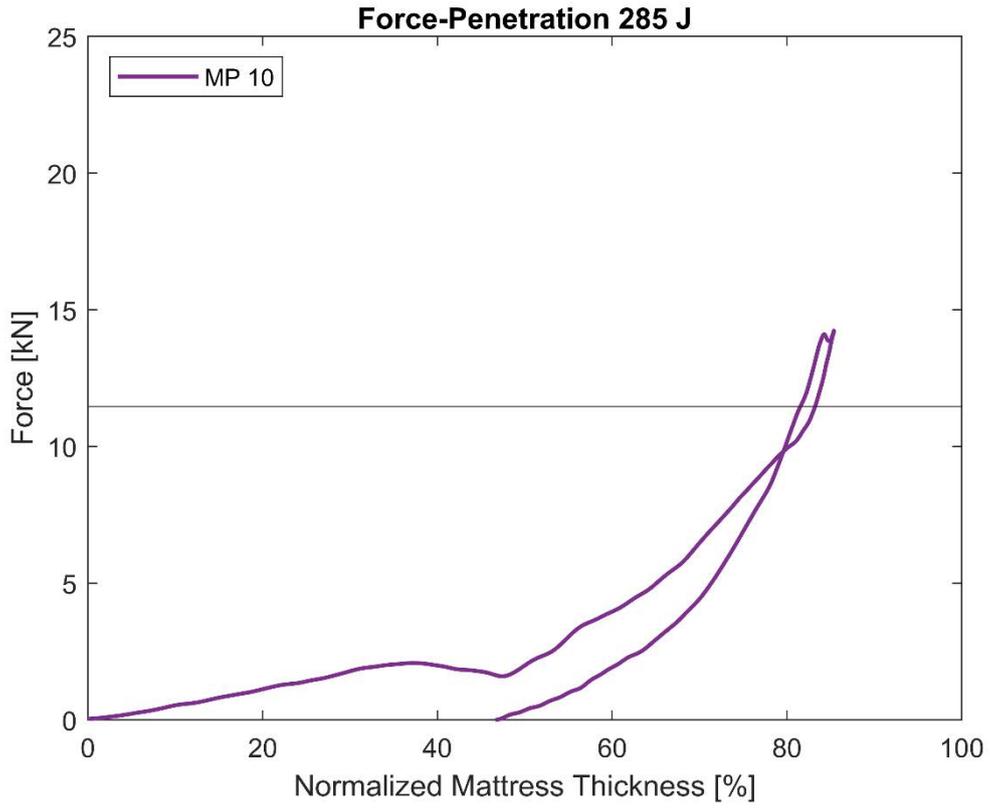
### Materasso MP\_10 (Viola)

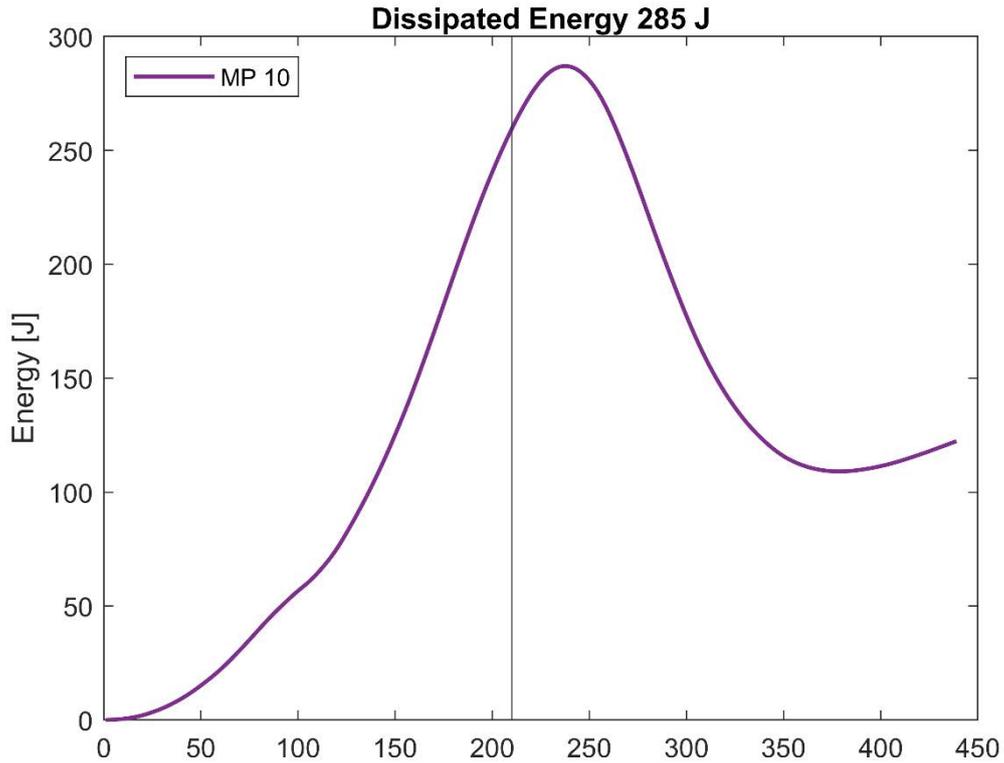
Caduta da 30 cm, cioè 285 J

L'impaccamento si ha al dato 210, Quando la derivata prima oltrepassa il valore 1, con energia assorbita fino a quel momento di 260 J, paragonabile ad un'altezza di 27,4 cm.





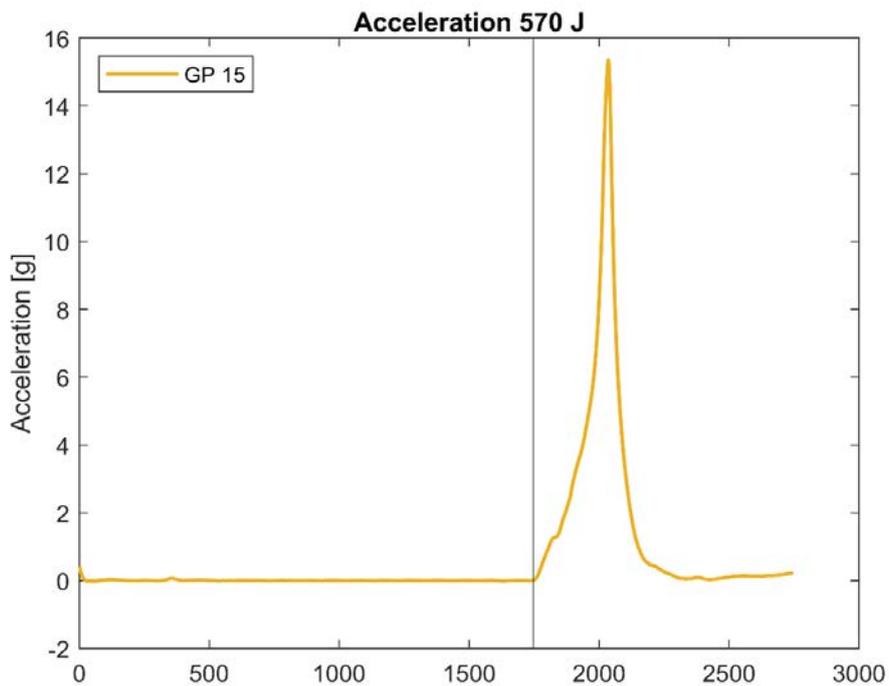


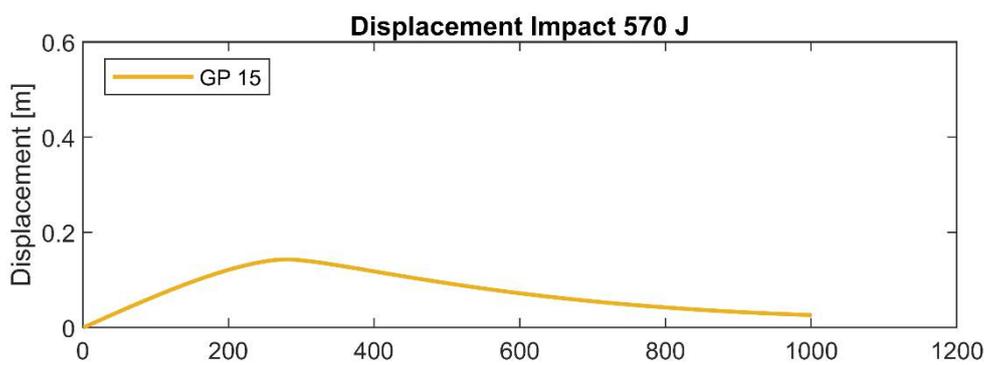
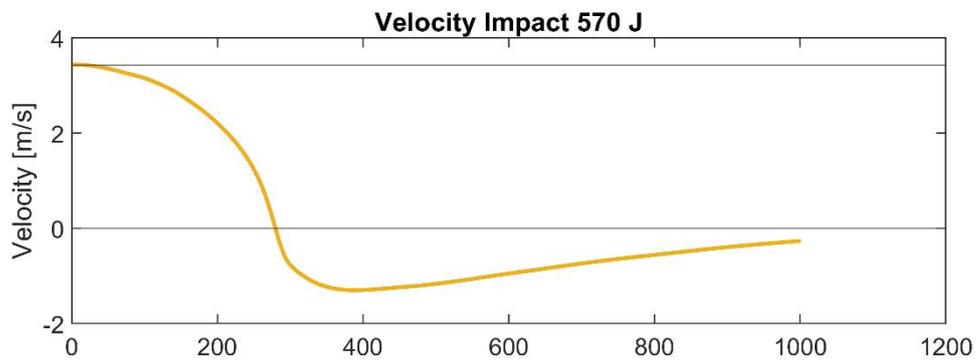
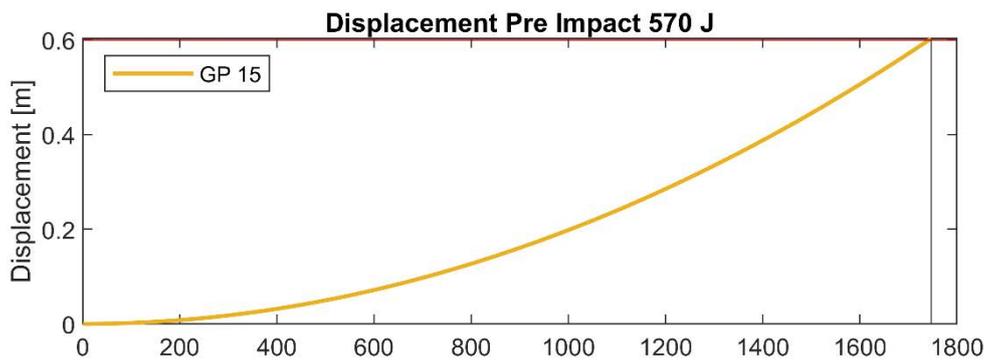
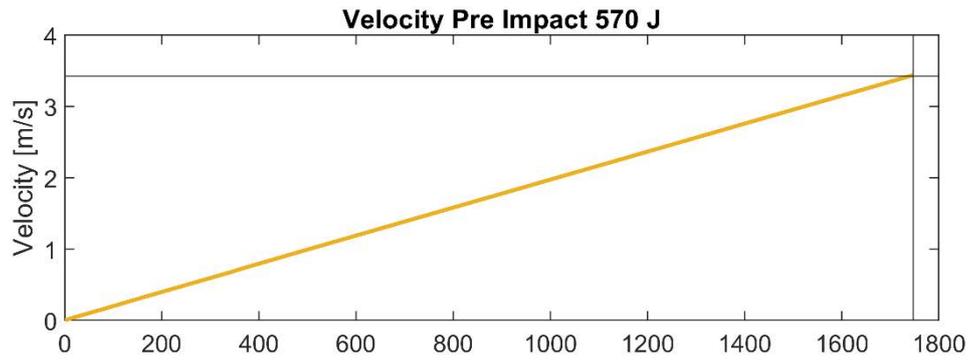


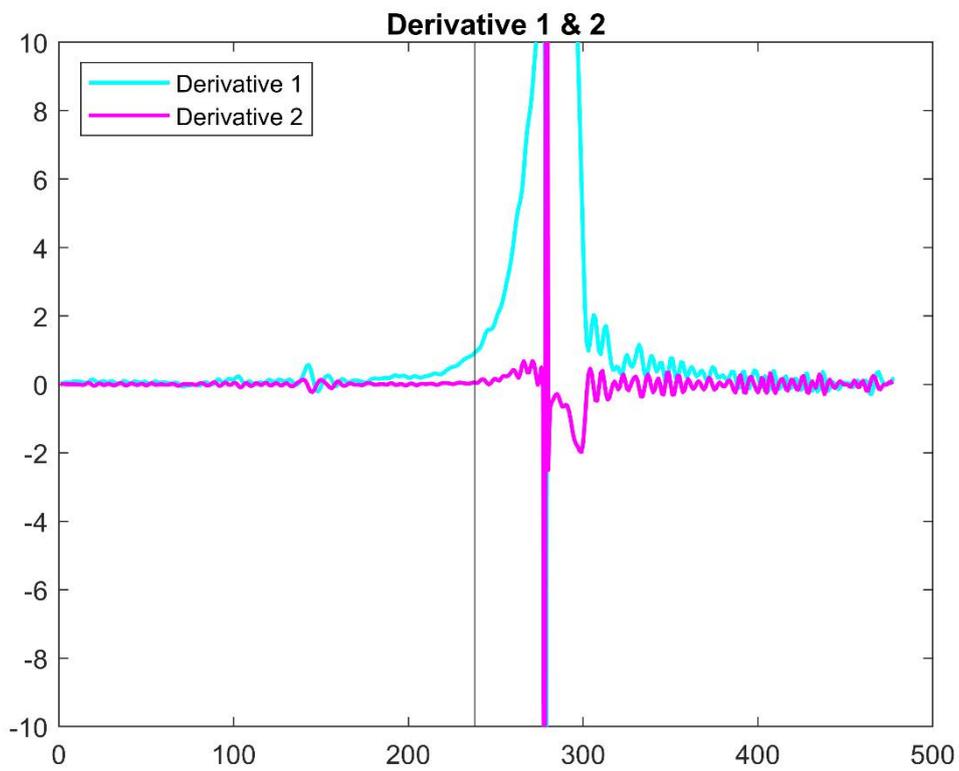
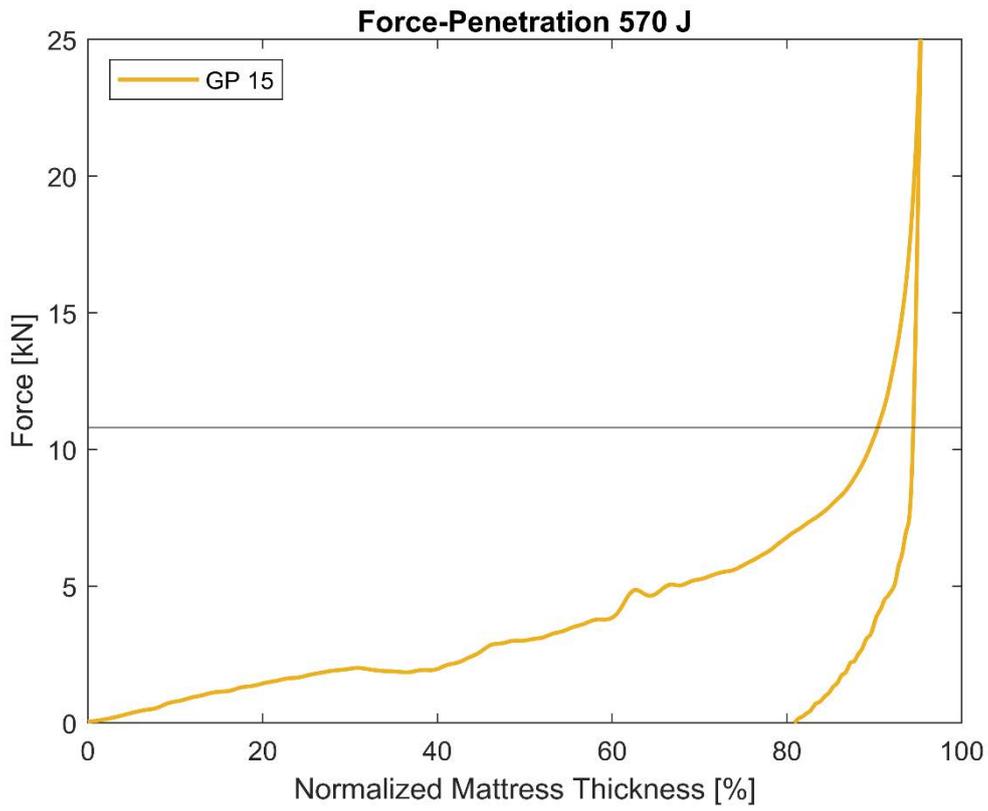
### Materasso GP\_15 (Giallo)

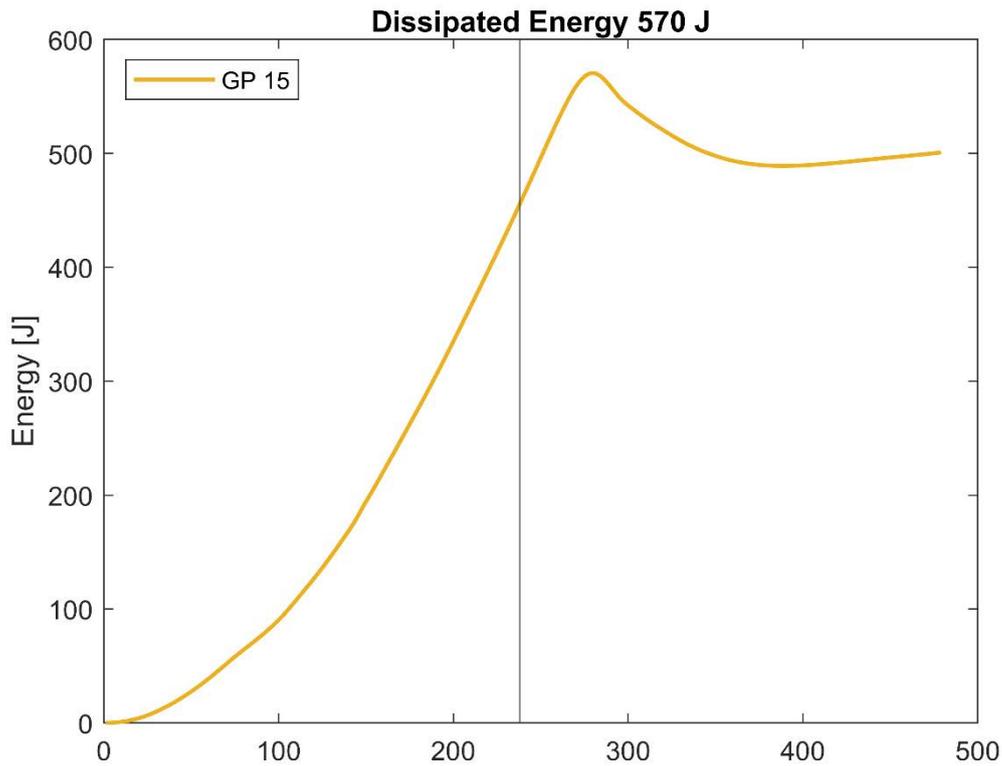
Caduta da 60 cm, cioè 570 J

L'impaccamento si ha al dato 238, Quando la derivata prima oltrepassa il valore 1, con energia assorbita fino a quel momento di 455 J, paragonabile ad un'altezza di 48,2 cm.





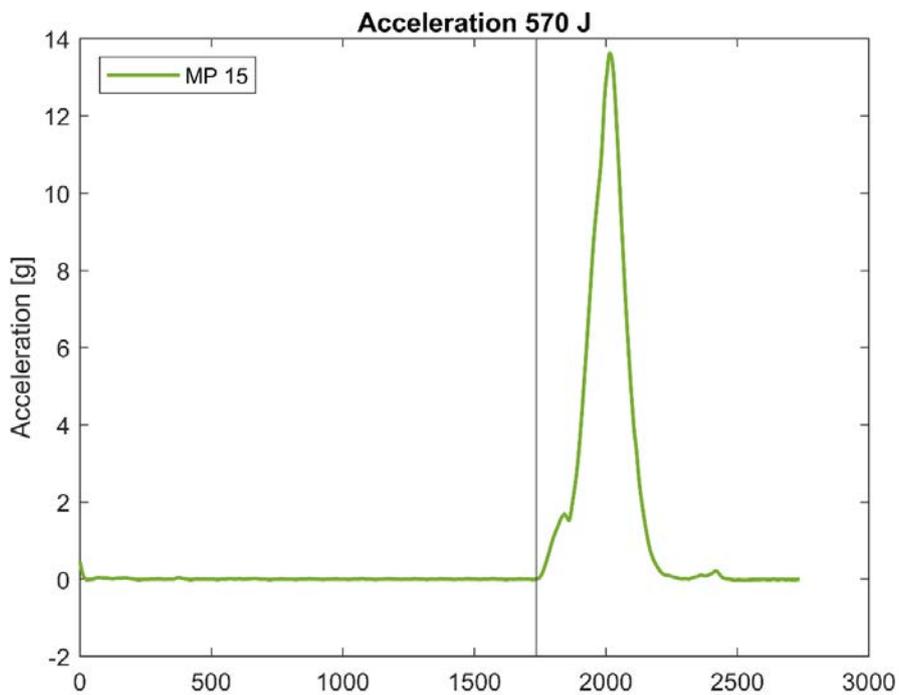


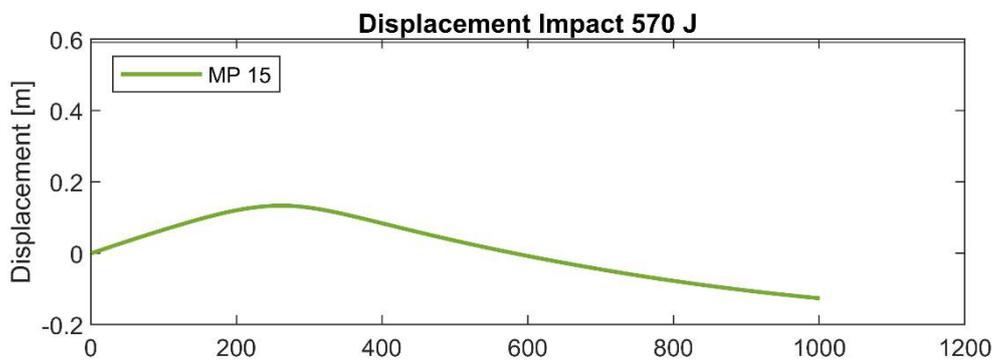
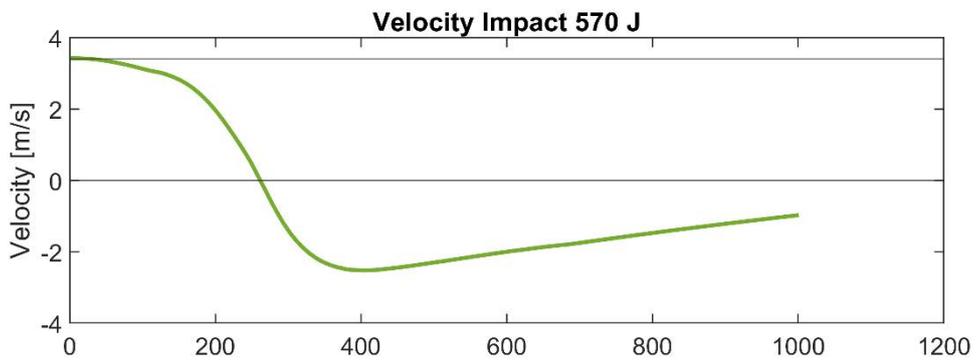
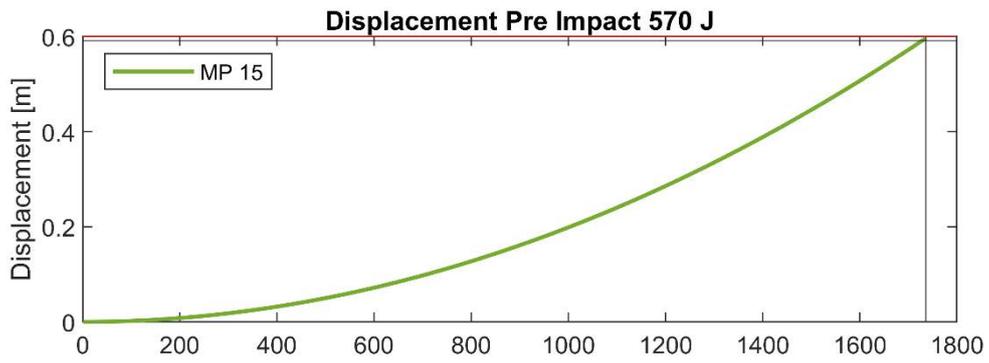
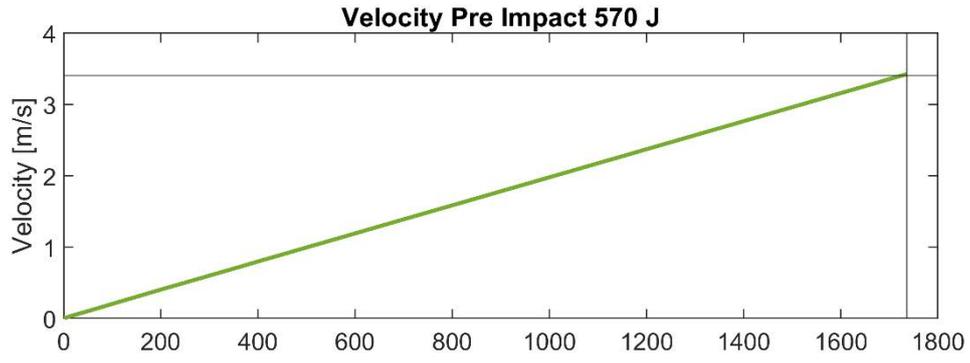


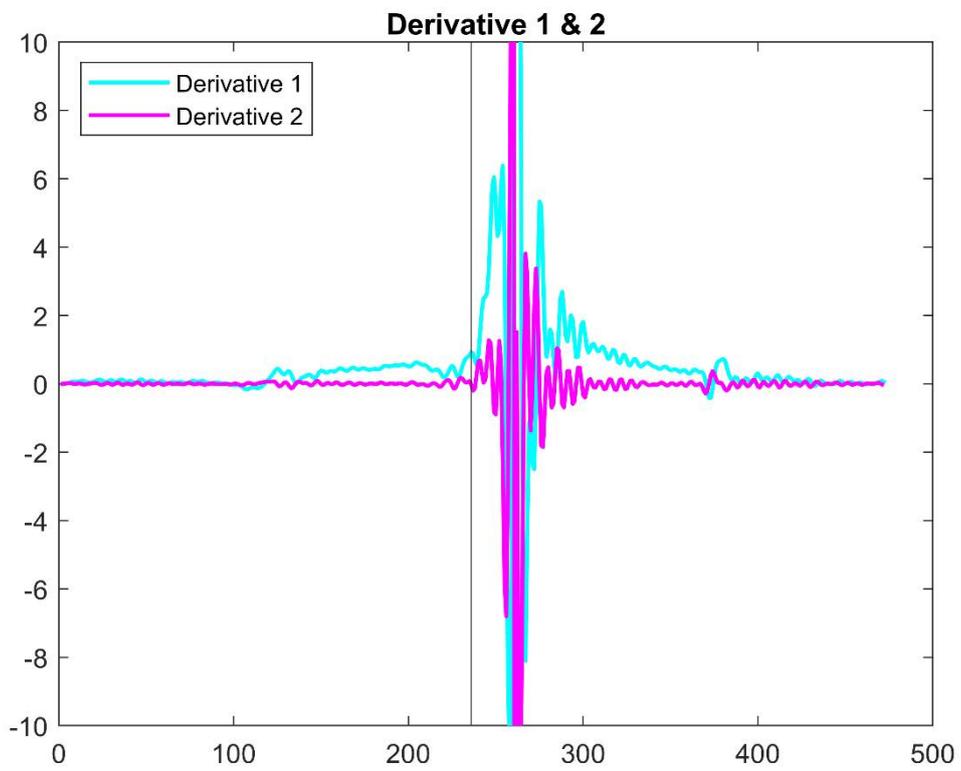
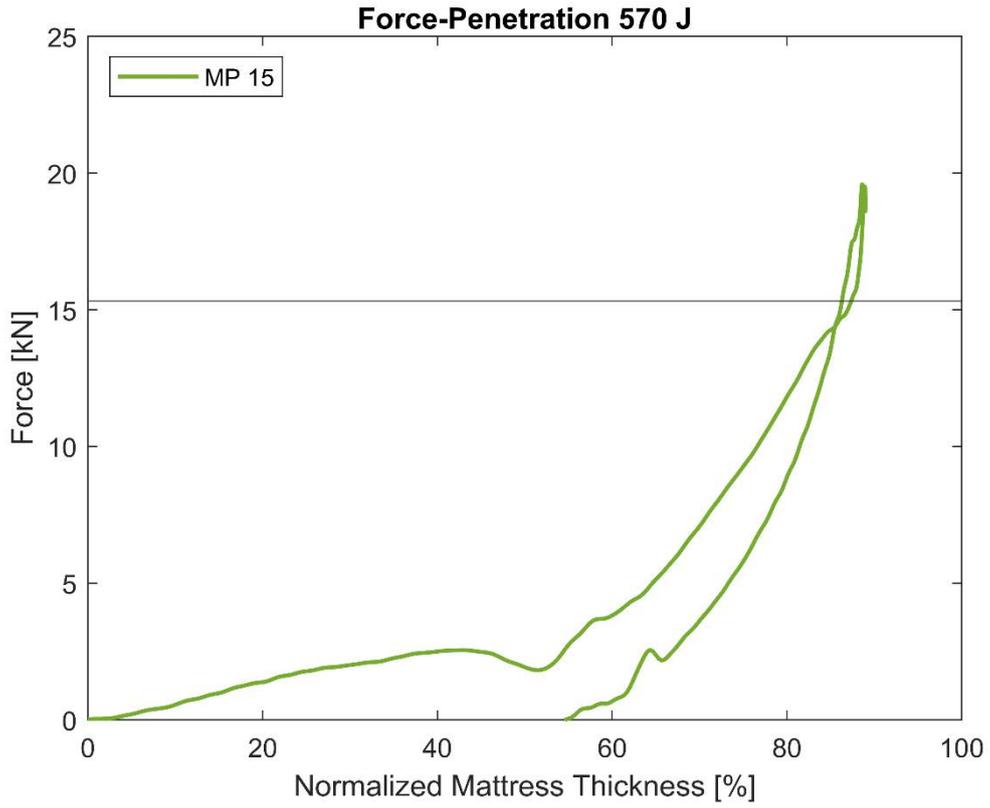
### Materasso MP\_15 (Verde)

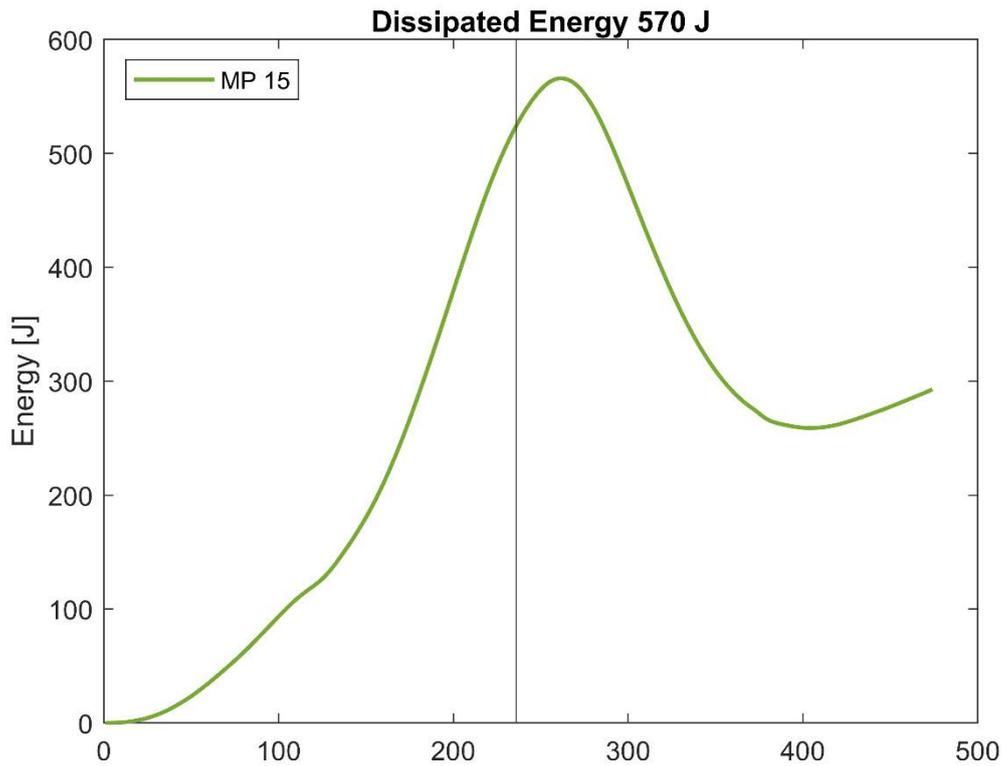
Caduta da 60 cm, cioè 570 J

L'impaccamento si ha al dato 236, Quando la derivata prima oltrepassa il valore 1, con energia assorbita fino a quel momento di 524 J, paragonabile ad un'altezza di 55,4 cm.



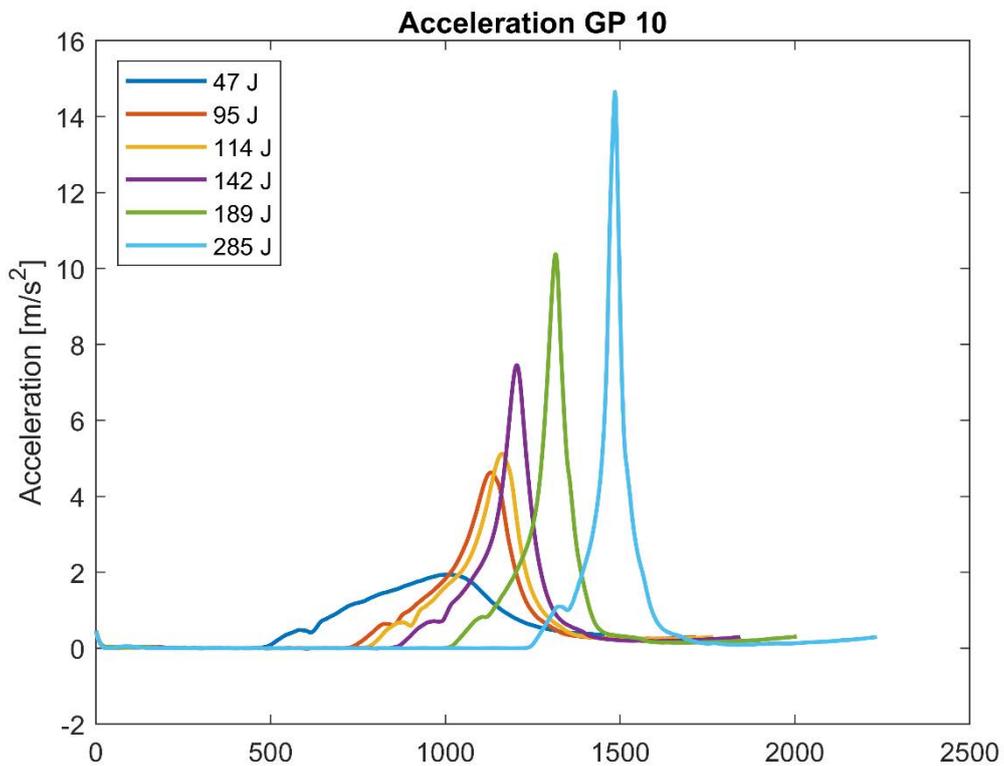


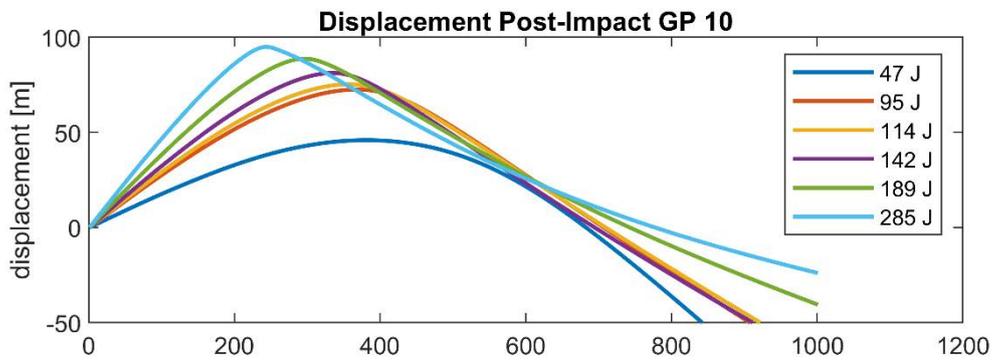
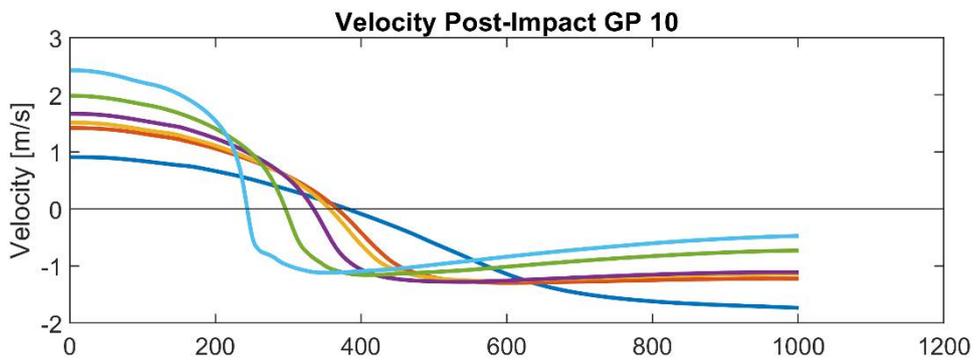
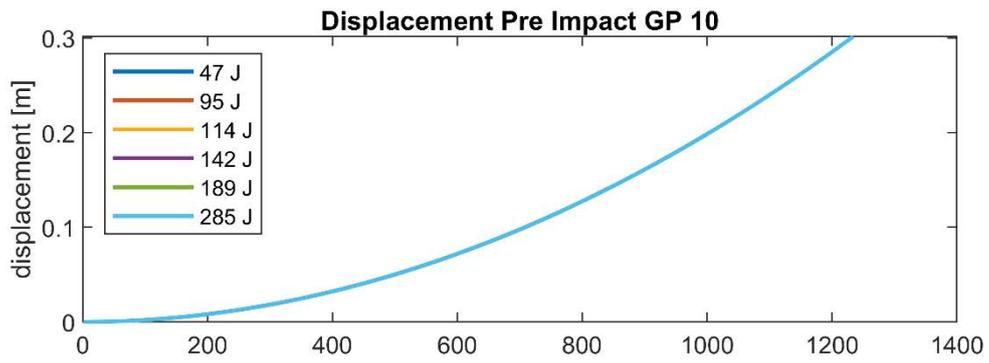
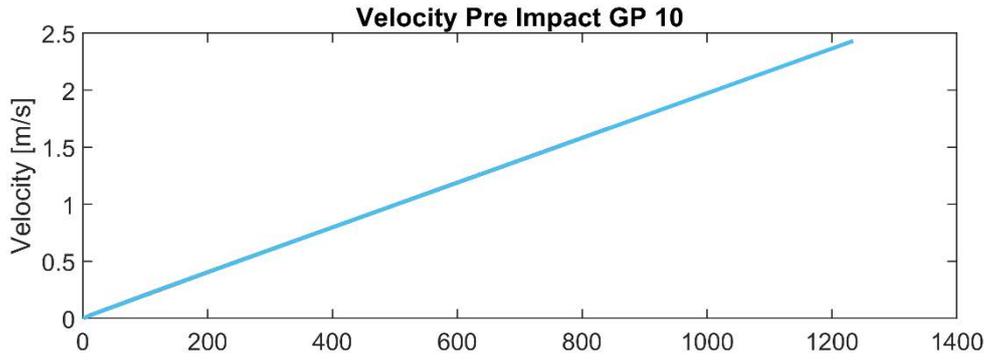


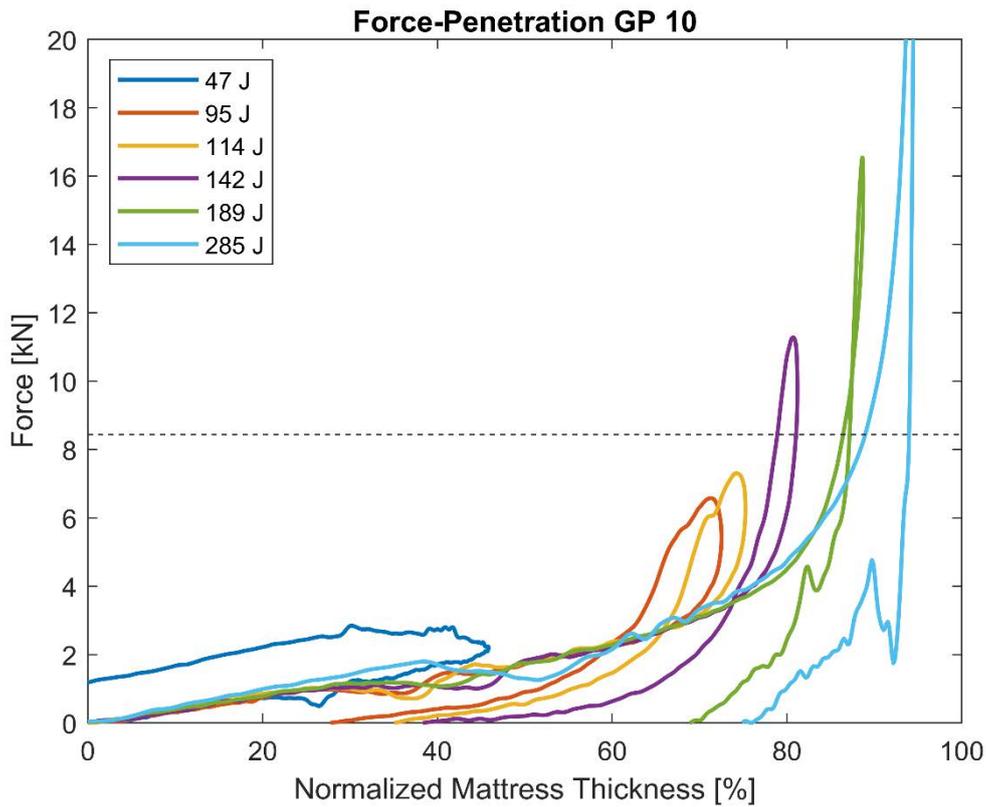


### GP\_10 Grafici riassuntivi

Grafici riassuntivi delle prove raggruppati per modello di materasso, all'impaccamento la forza massima risulta essere  $F_{\max} = 8.44 \text{ kN}$ .

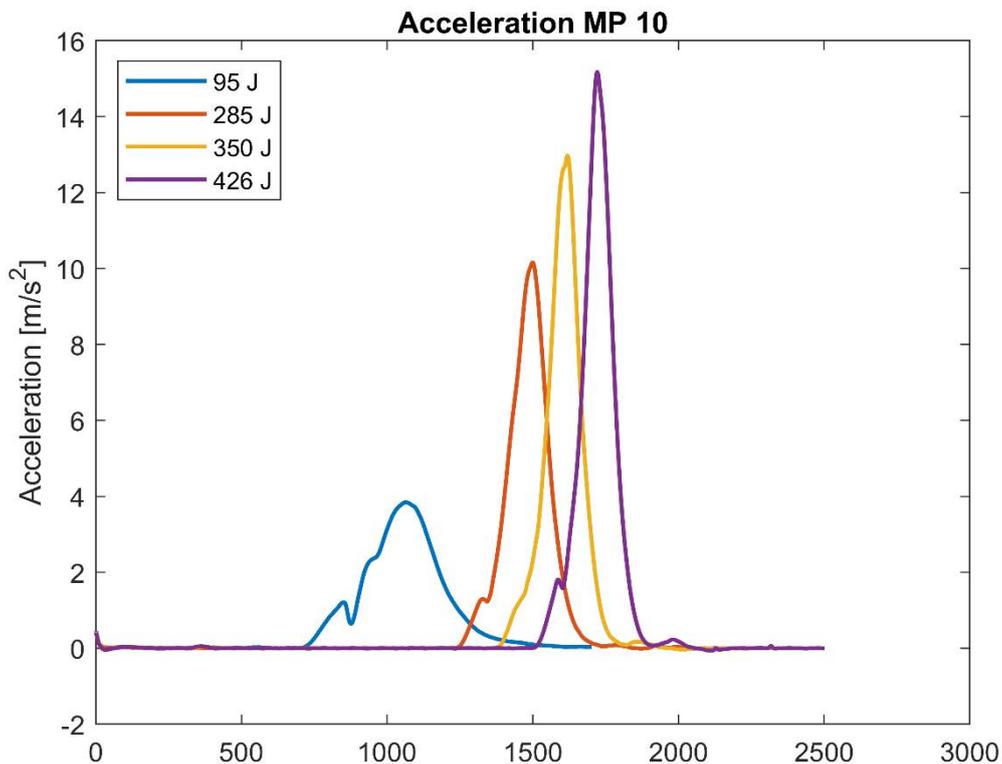


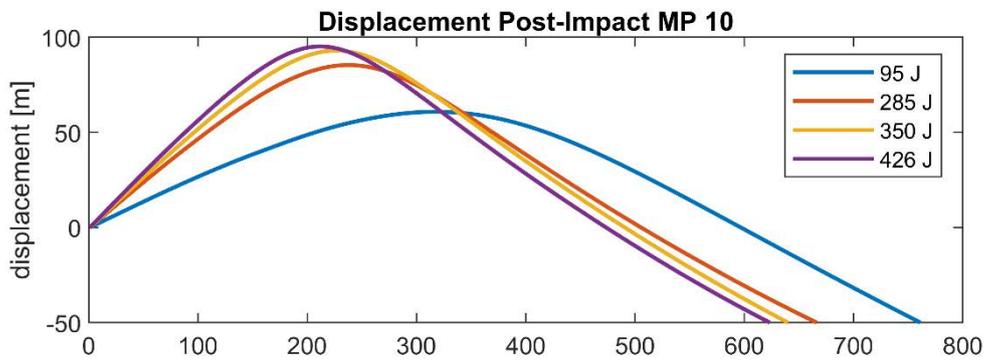
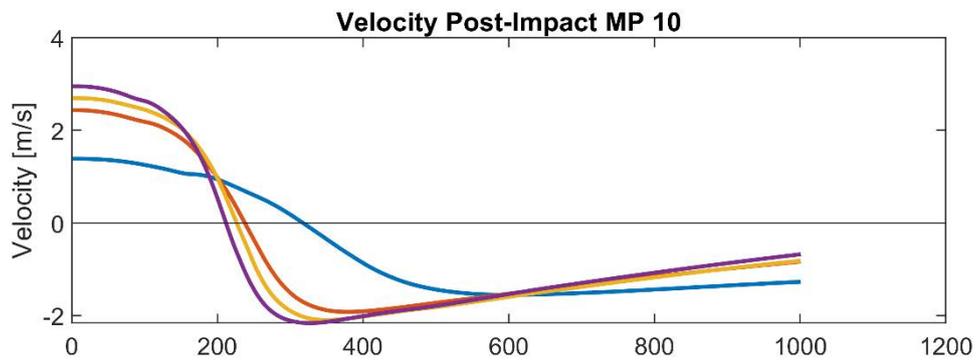
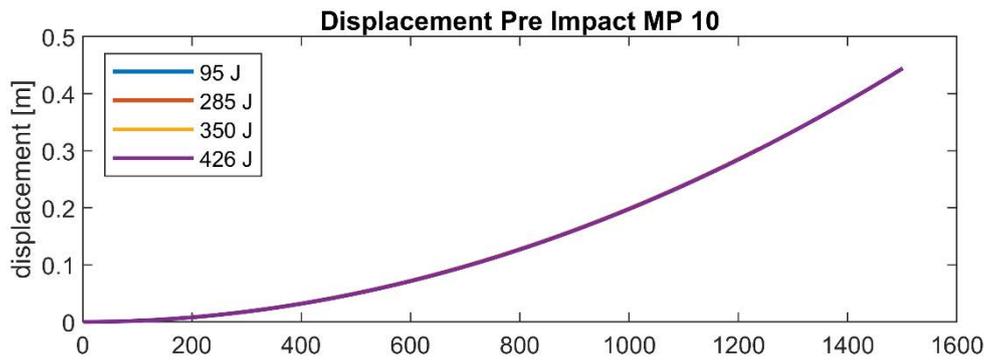
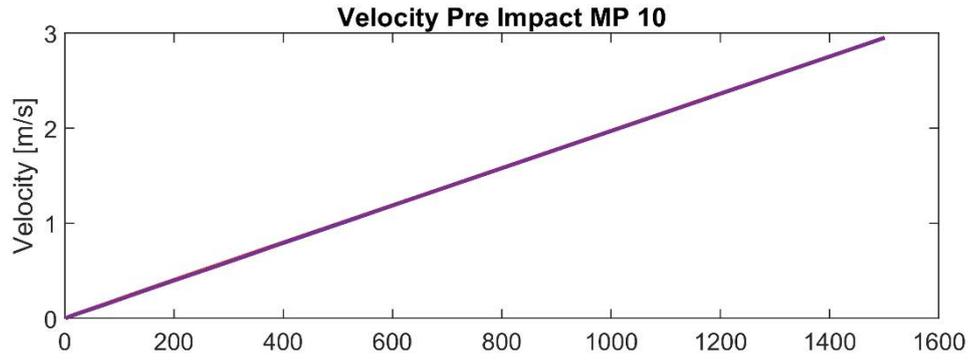


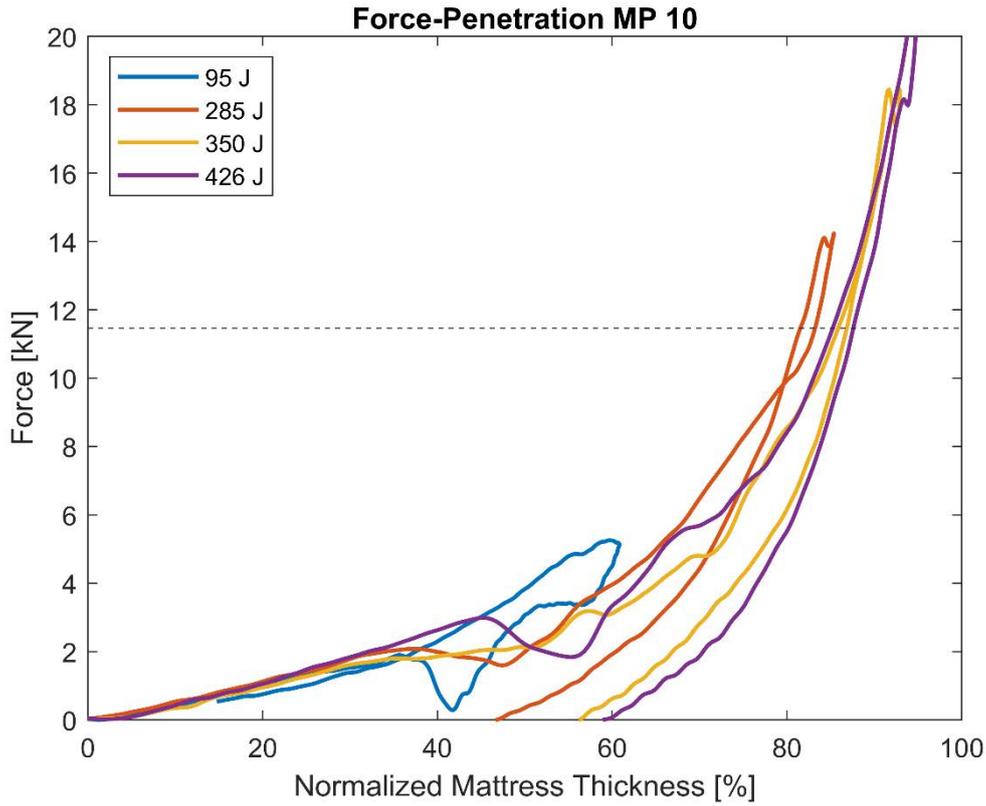


### MP\_10 Grafici riassuntivi

Grafici riassuntivi delle prove raggruppati per modello di materasso, all'impaccamento la forza massima risulta essere  $F_{max} = 11.46$  kN.

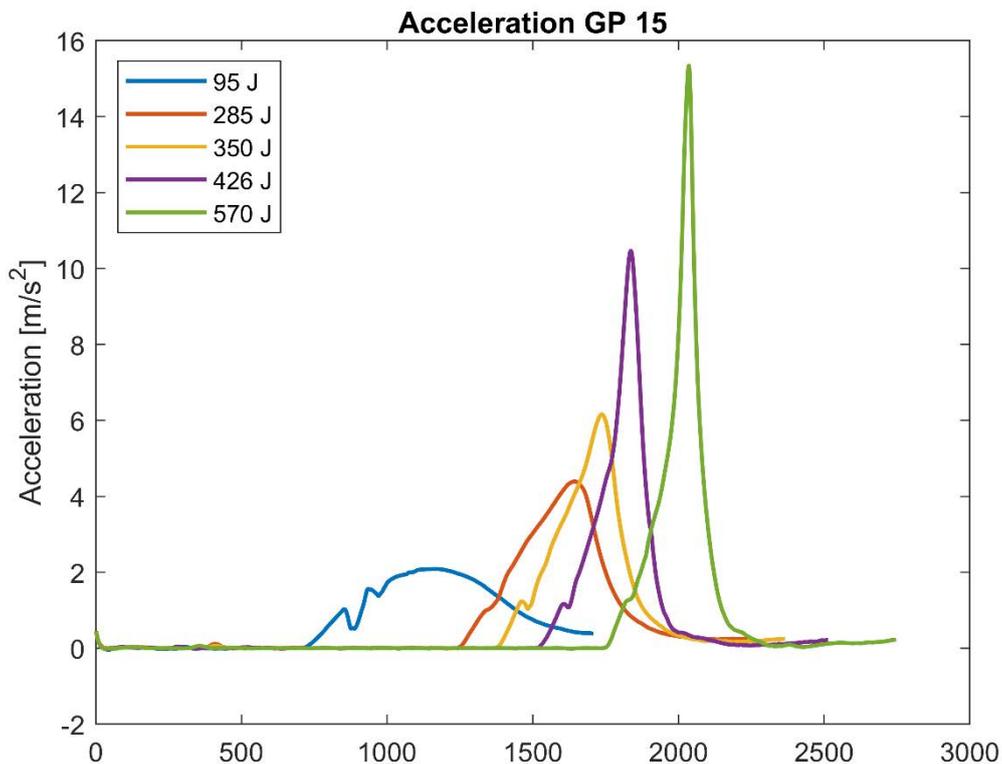


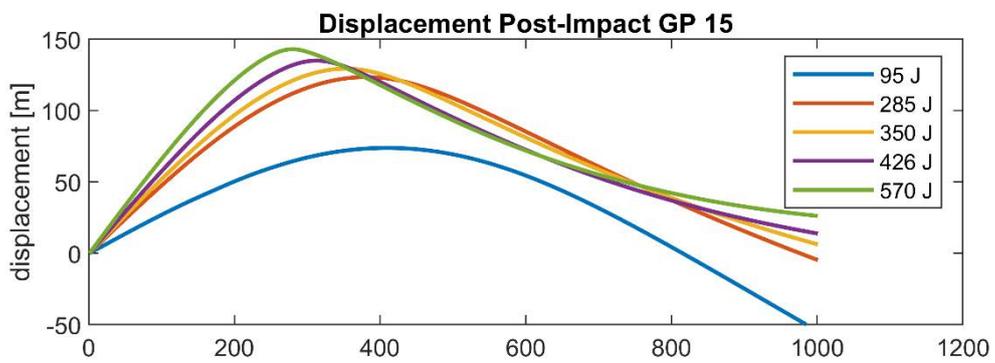
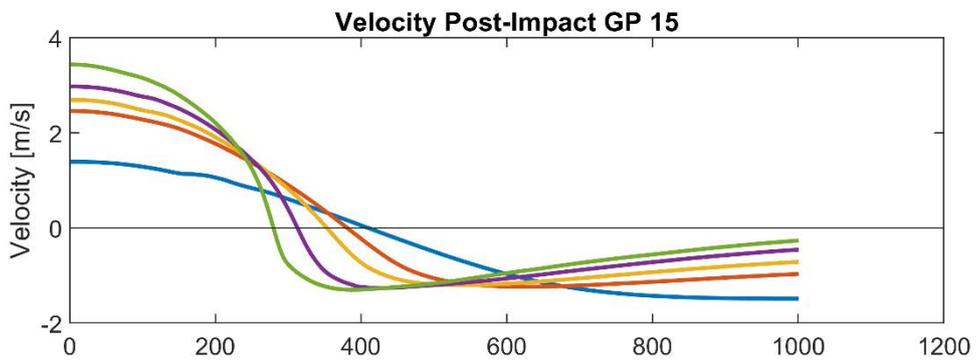
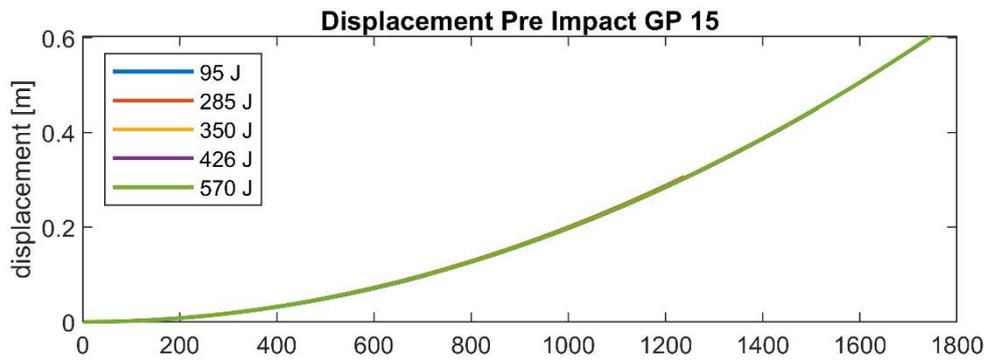
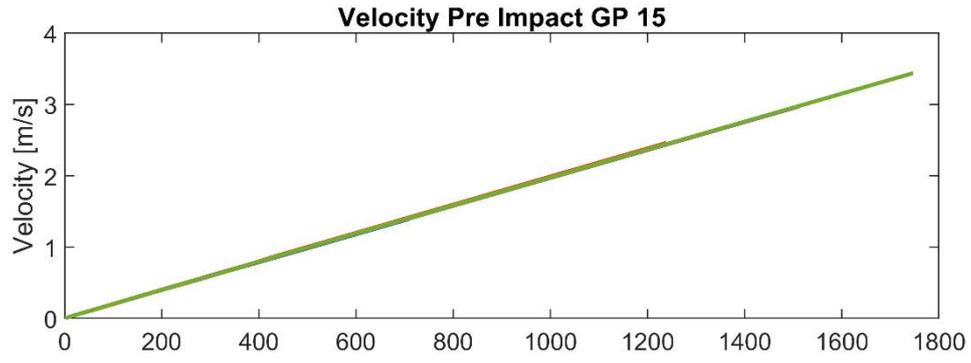


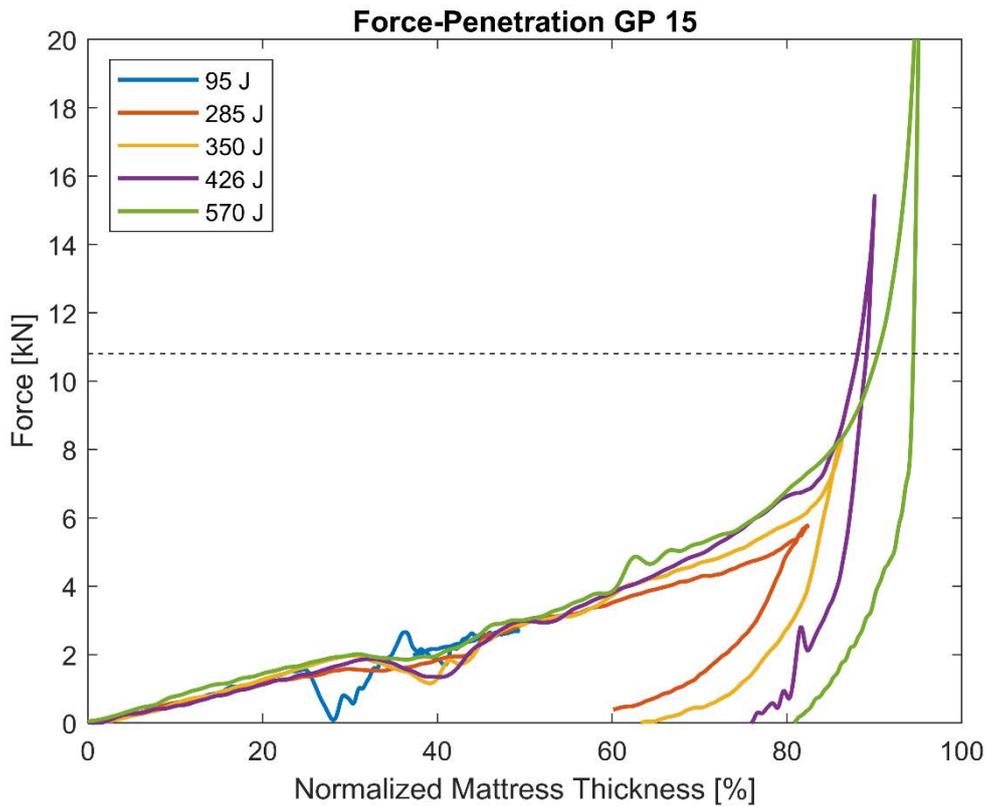


### GP\_15 Grafici riassuntivi

Grafici riassuntivi delle prove raggruppati per modello di materasso, all'impaccamento la forza massima risulta essere  $F_{\max} = 10.80$  kN.

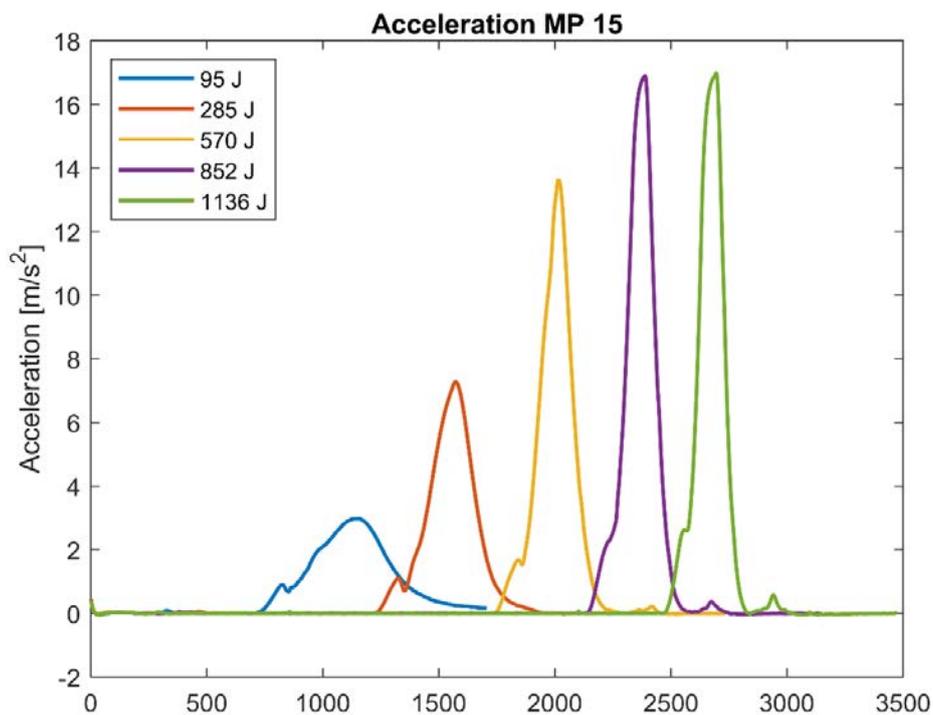


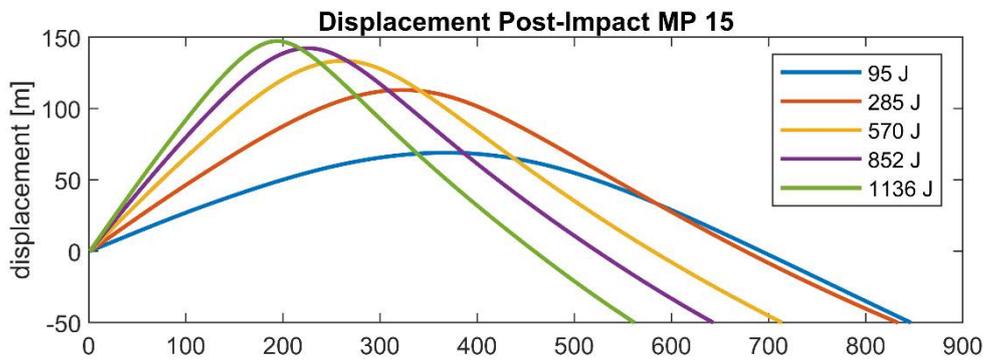
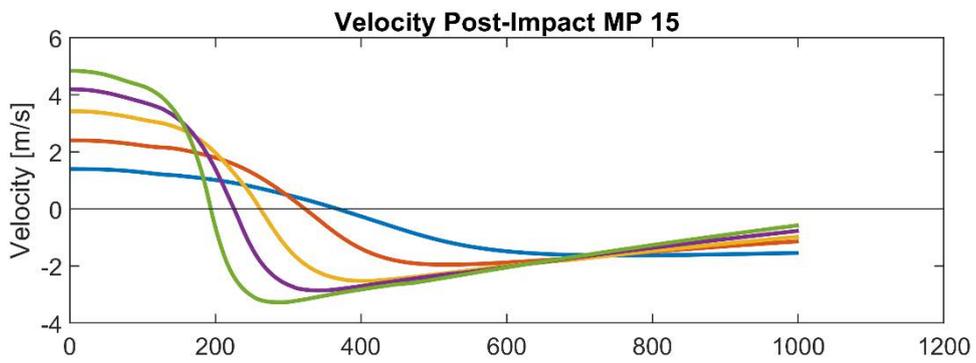
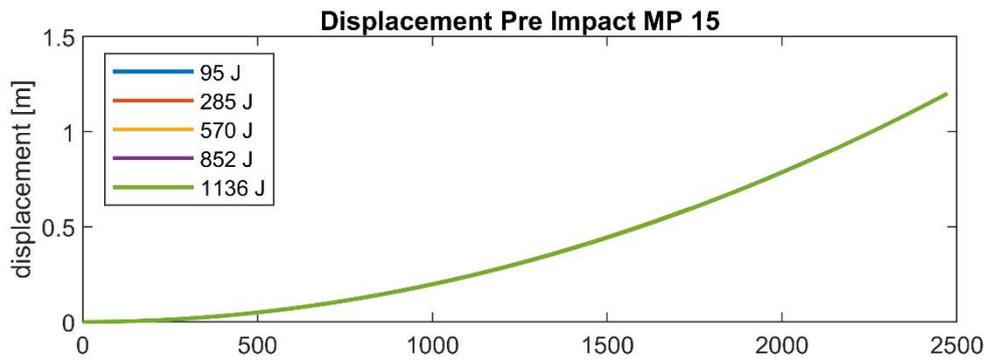
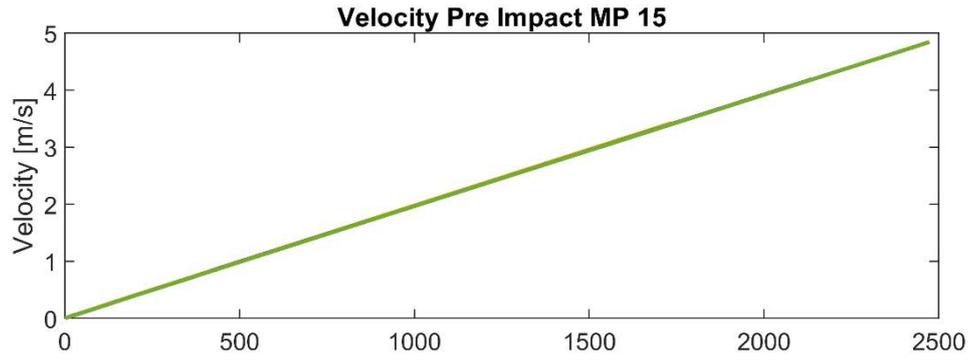


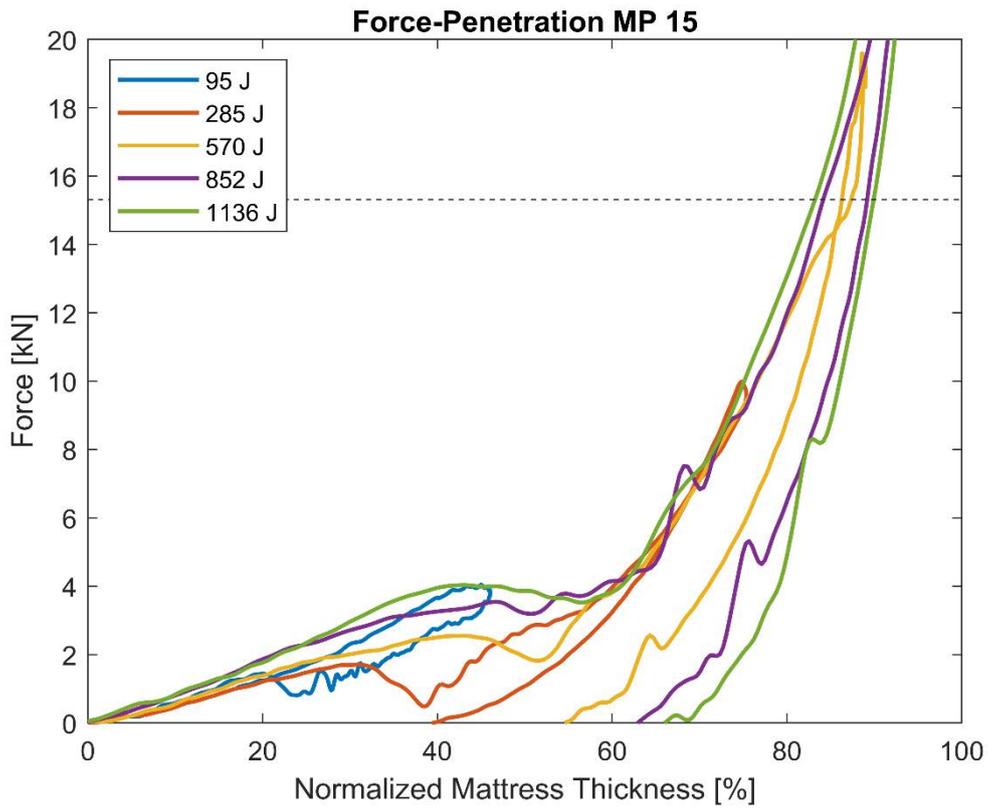


MP\_15 Grafici riassuntivi

Grafici riassuntivi delle prove raggruppati per modello di materasso, all’impaccamento la forza massima risulta essere  $F_{max} = 15.31$  kN.

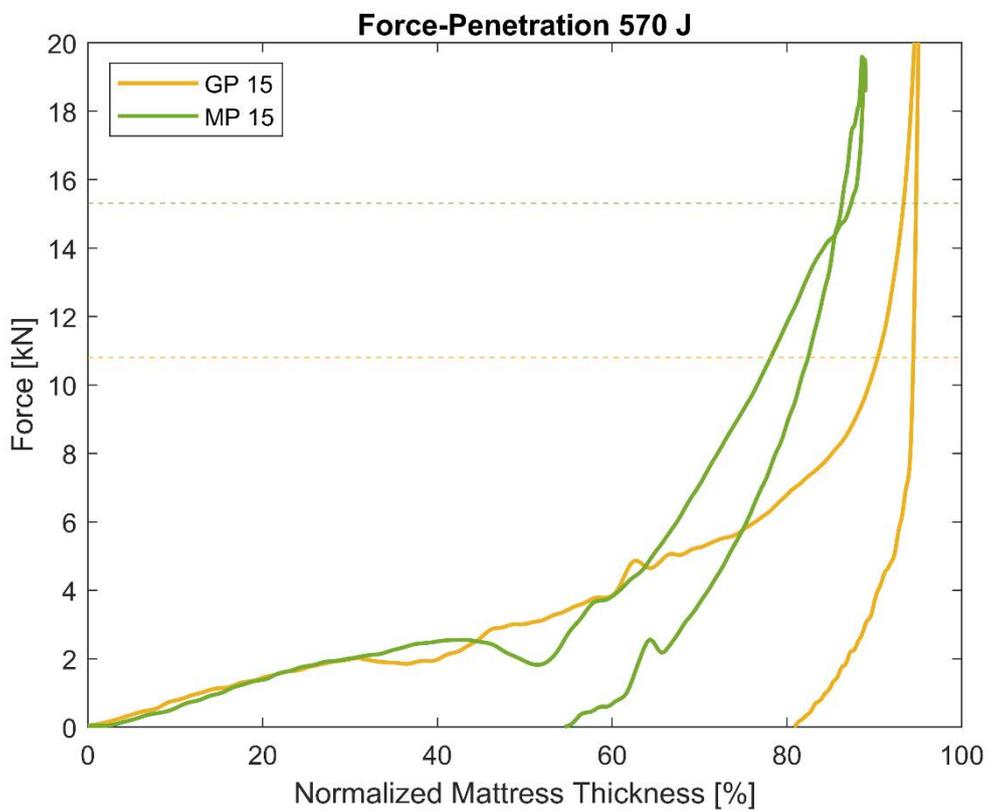


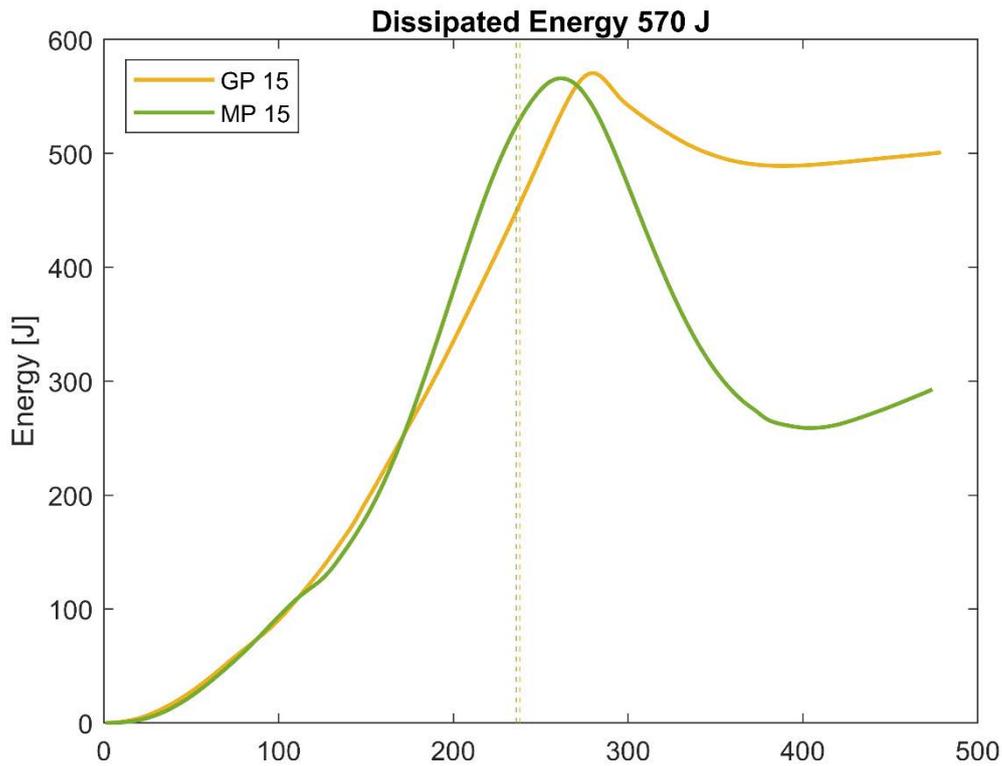




### Confronto caduta 570 J

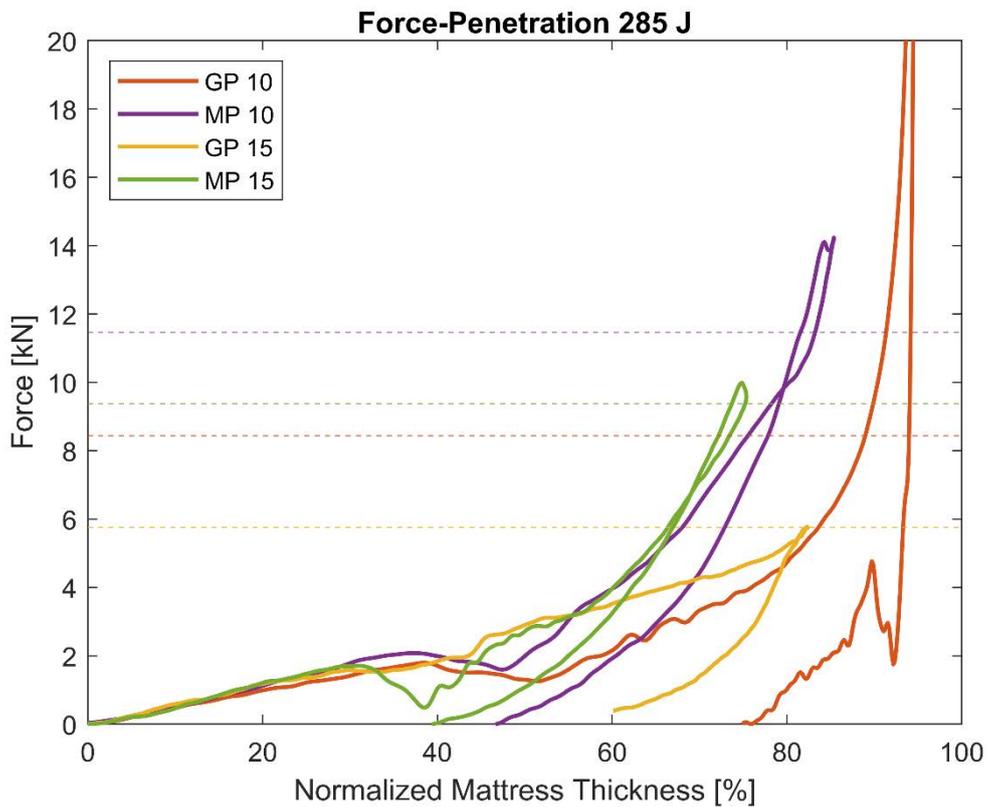
Messa in relazione dei materassi GP\_15 e MP\_15 ad una stessa caduta di 570 J (60 cm)

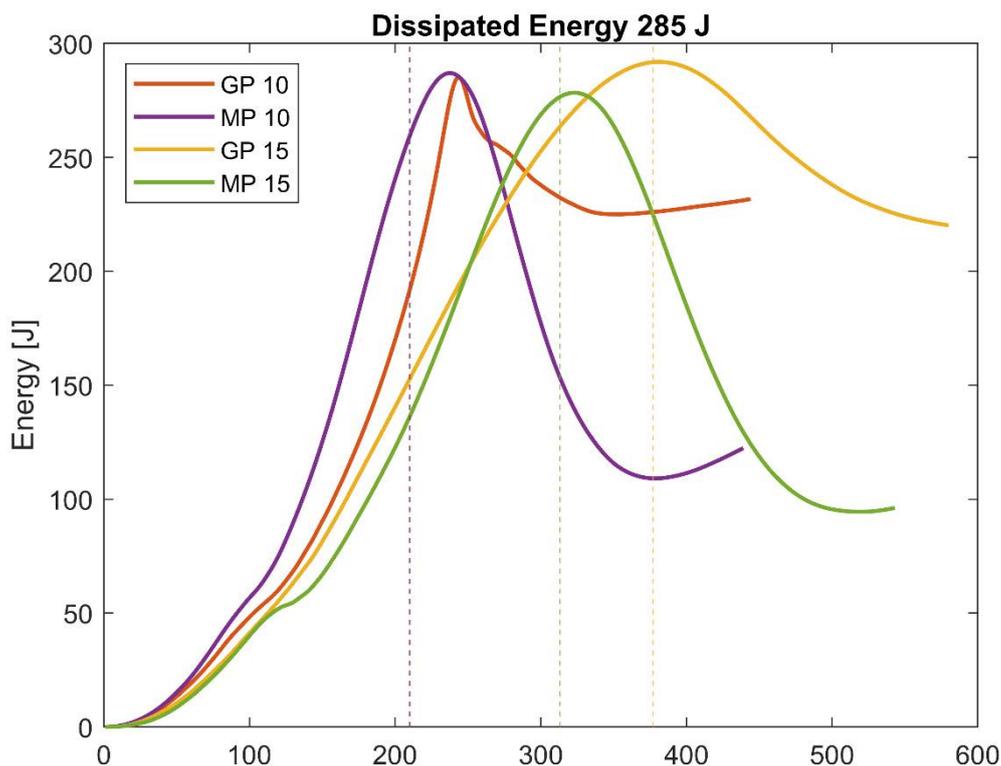




### Confronto caduta 285 J

Messa in relazione dei materassi GP\_10, MP\_10, GP\_15 e MP\_15 ad una stessa caduta di 285 J (30 cm)





Analizzando i dati ricavati da queste prove a terra si sono notate le diverse caratteristiche dei materiali che vanno a comporli, per ogni materasso si è andata a cercare quella soglia di energia tale da portarlo ad impaccamento, cioè non riuscire a dissipare più energia a causa di avere compresso ad alti livelli il materiale interno. Una volta giunto ad impaccamento si ha un incremento repentino della forza, infatti questo punto si è trovato analizzando la derivata prima del grafico Forza-Penetrazione e cercando quel valore di derivata che improvvisamente triplica il suo normale valore, questo punto era caratterizzato da una derivata prima = 0.9.

Da questa analisi sono stati esclusi a posteriori tutte le prove a bassa energia potenziale (cioè 47 J e 95 J) perché in fase di integrazione si accumulano molti errori dovuti alla deriva tali da comprometterne la lettura veritiera della prova, in quanto spostamento ed accelerazione non si trovano più in fase.

Registrate le forze di tutti i materassi si nota che i modelli in Mondaplen hanno forze d'impaccamento superiori del 35 % nella versione da 10 cm e superiori del 41 % nella versione da 15 cm. Inoltre a parità di energia dissipata (285 J), quindi confrontando le cadute da una stessa altezza, i modelli in Mondaplen hanno minori penetrazioni infatti si nota una riduzione del -5.7 % nella versione da 10 cm ed una riduzione del -7 % nella versione da 15 cm. Confrontando invece i lanci da un'altezza di 60 cm (570J) dei materassi da 15 cm, si registra una riduzione di penetrazione del -2.3 % nel modello Mondaplen da 15 cm.

Un ulteriore particolare si nota nell'andamento della forza in funzione della penetrazione, questa infatti nel modello in gomma piuma ha un andamento abbastanza lineare e crescente fino quasi ad arrivare all'impaccamento, grazie all'omogeneità del materiale al suo interno. Nel modello in Mondaplen a causa della diversa composizione e struttura interna, si osserva il collasso del materiale

interno dopo aver raggiunto un dettato livello di forza, questo fatto però causa una perdita di potenziale dissipazione di energia durante tutto l'istante di collasso, infatti in questo intervallo di tempo si ha una riduzione della forza che in seguito torna a crescere con derivata quasi doppia della prima fase, quindi incrementi di forza molto più veloci.

### Catapulta versione 1.3



*Figura 0-5 Materasso grecato utilizzato nelle prove "none"*

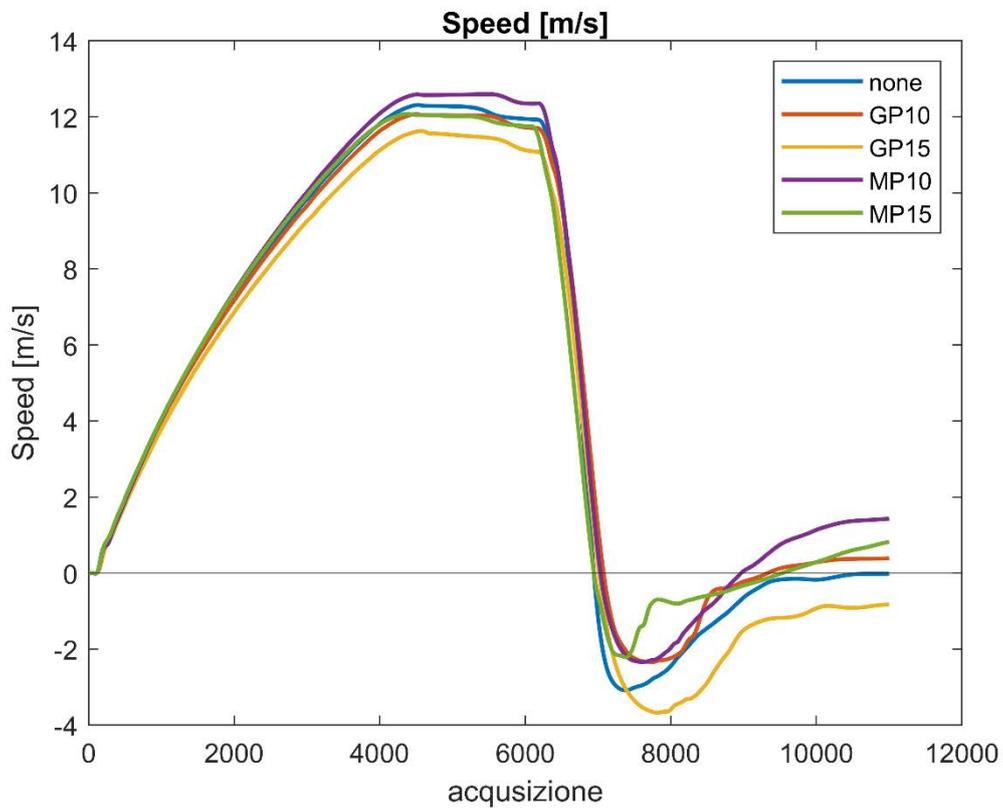
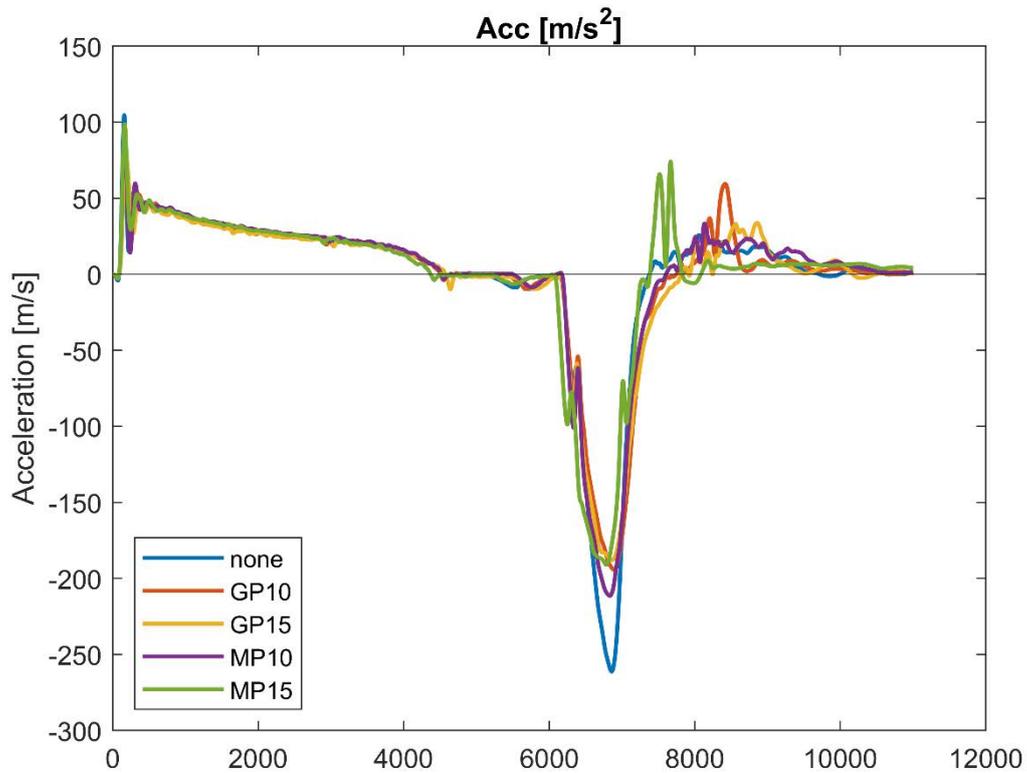
Sono state svolte 5 prove di impatto utilizzando il “Solid Dummy”:

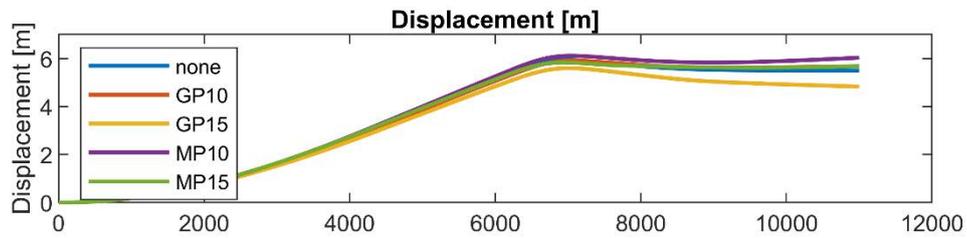
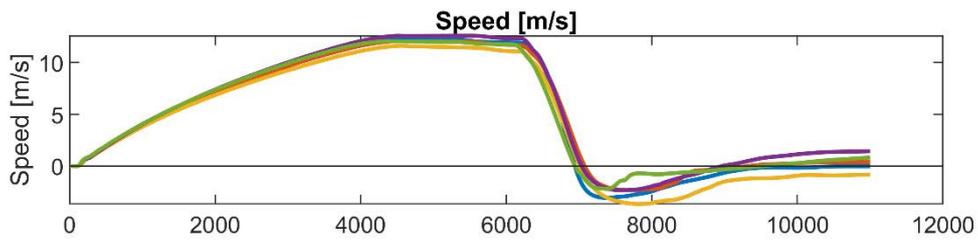
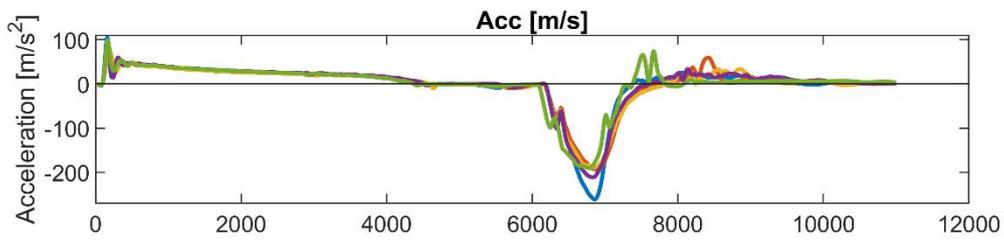
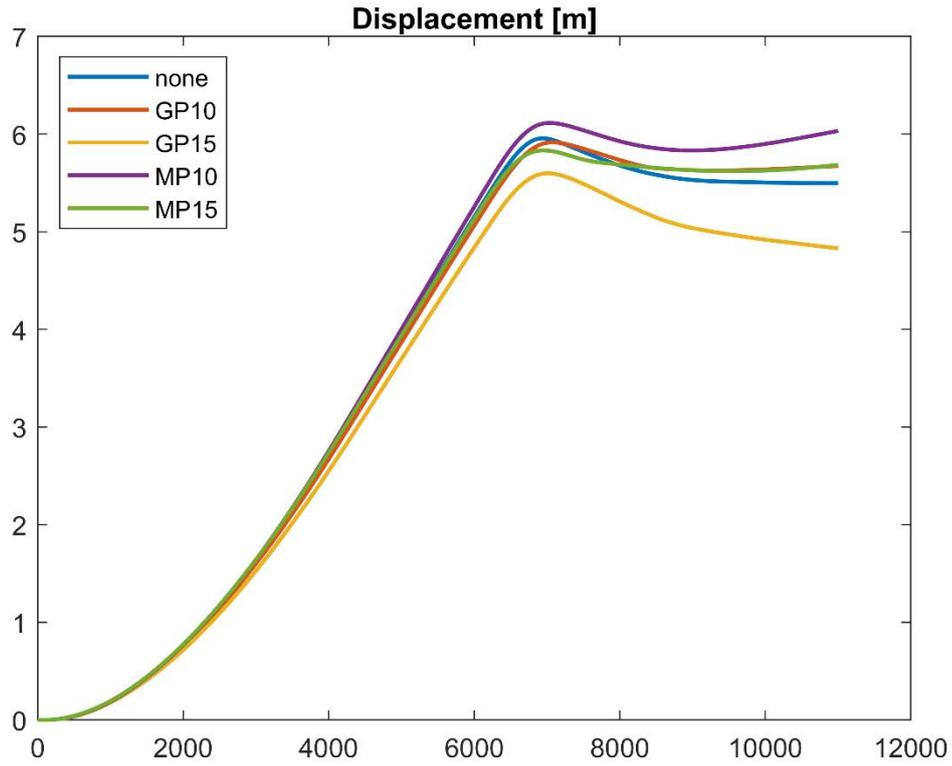
- None, cioè con solo materasso di base blu;
- GP\_10, applicazione di materasso in gomma piuma di 10 cm alla base “None”;
- MP\_10, applicazione di materasso in Mondaplen di 10 cm alla base “None”;
- GP\_15, applicazione di materasso in gomma piuma di 15 cm alla base “None”;
- MP\_15, applicazione di materasso in Mondaplen di 15 cm alla base “None”;

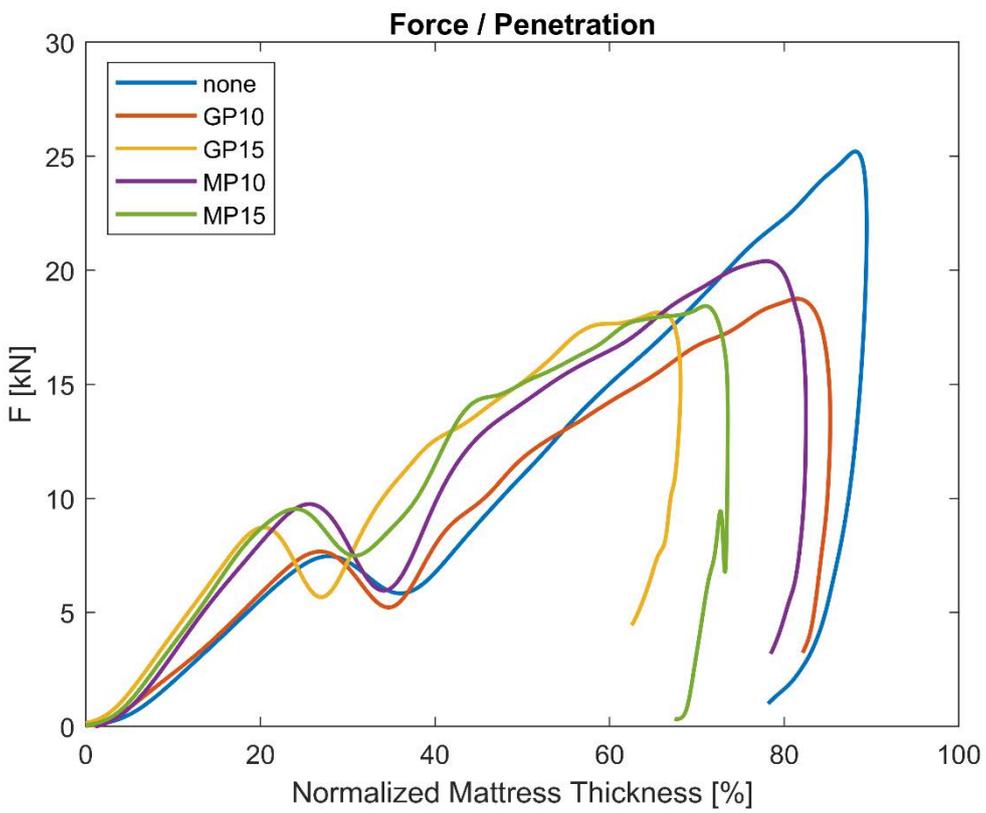
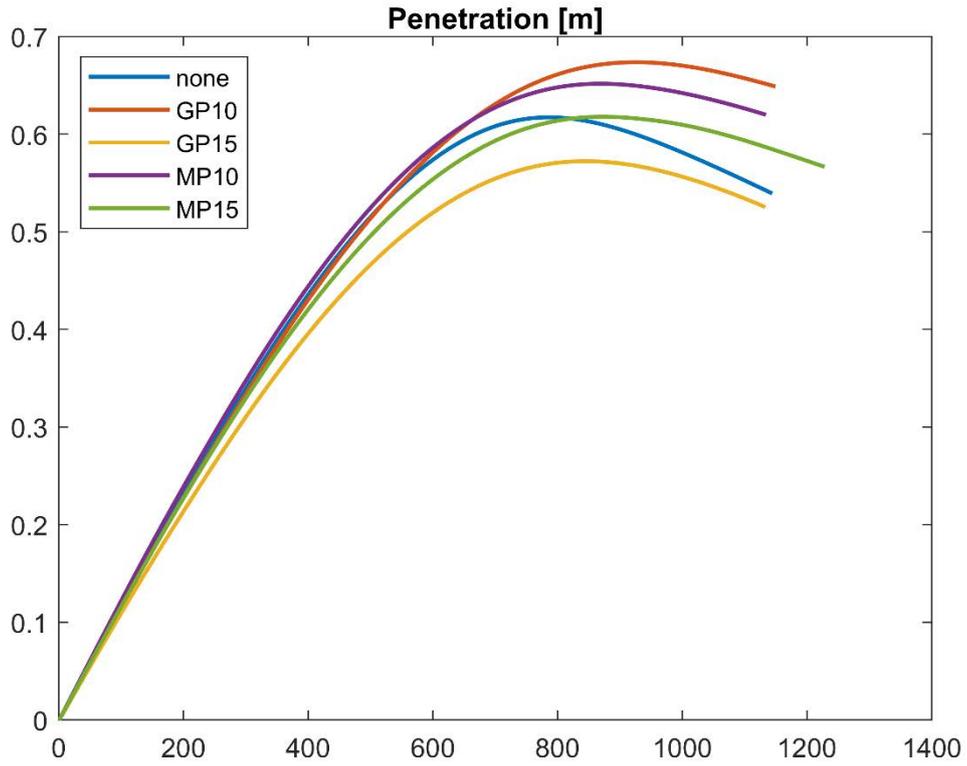
Le diverse prove d’impatto si sono eseguite utilizzando la Catapulta 1.3 sempre nella stessa configurazione, cioè lanciando ad una velocità d’uscita quasi simile ad ogni prova.

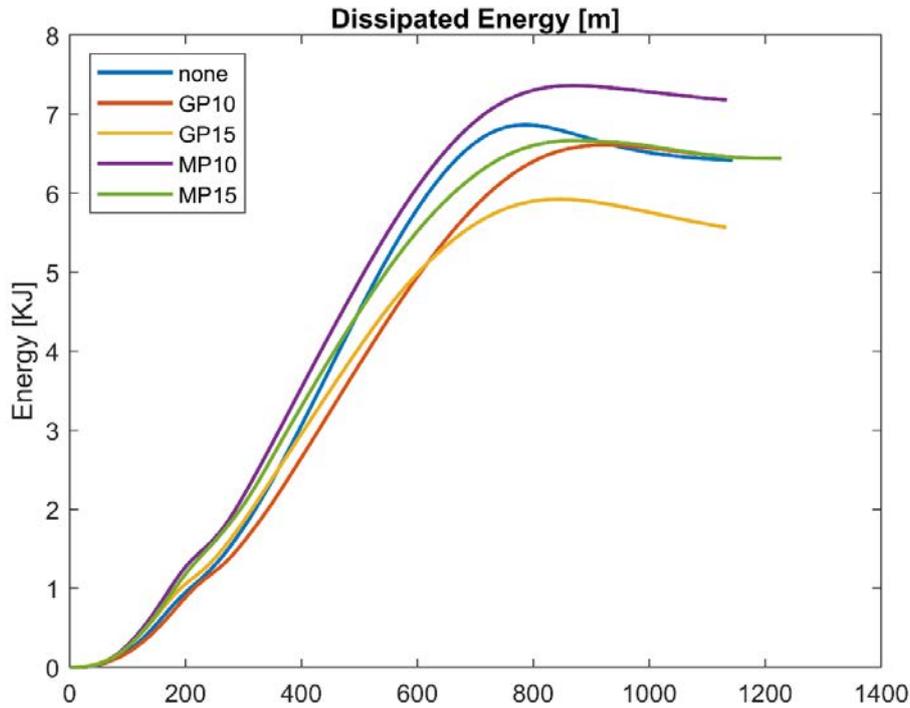
## Risultati lanci

Di seguito si riportano i grafici delle prove svolte:









Analizzando bene il grafico delle energie dissipate si nota una grande differenza nei valori di picco delle energie, infatti a causa della leggera differenza delle velocità d’impatto nelle prove si varia di molto l’energia in quanto funzione dipendente dal quadrato della velocità.

$$E_c = \frac{1}{2} * M * V^2$$

Per poter eseguire una comparazione nelle prestazioni dei diversi materassi si è eseguita una normalizzazione delle accelerazioni, cioè incrementati i valori di accelerazione di un fattore tale da rendere la velocità d’impatto, e quindi l’energia cinetica uguale ad ogni lancio. Si sono normalizzate le accelerazioni all’energia della posseduta dalla prova 3, cioè quella avente materasso MP\_10 ed energia 7.36 kJ. Il fattore di incremento si è ricavato come:

$$\text{Fattore d'incremento} = \sqrt{\frac{E_i}{E_{max}}}$$

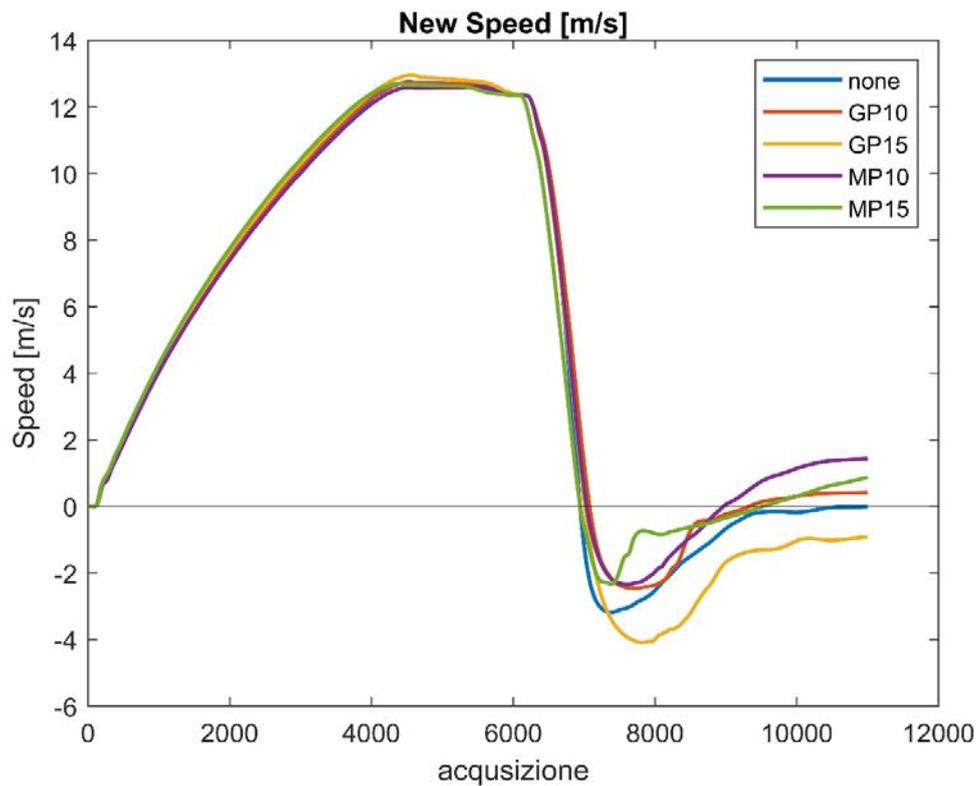
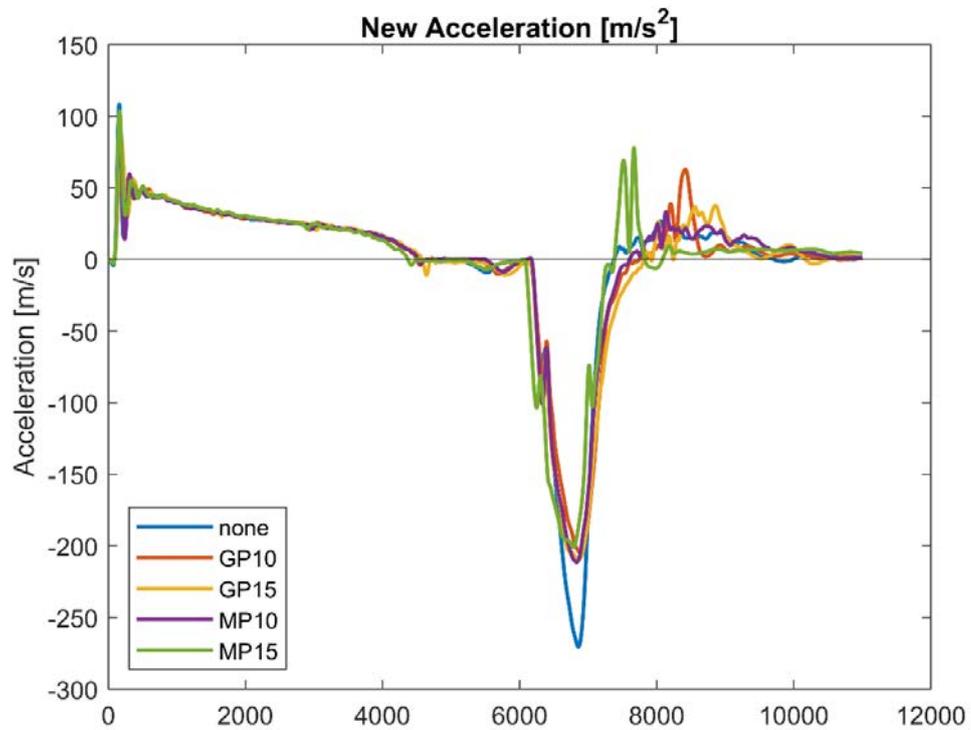
Inserendo come  $E_i$  l’energia massima alla i-esima prova e come  $E_{max}$  l’energia massima delle 5 ricavate, quindi in questo caso 7.36 kJ. Si dimostra che, imponendo le velocità d’impatto uguali:

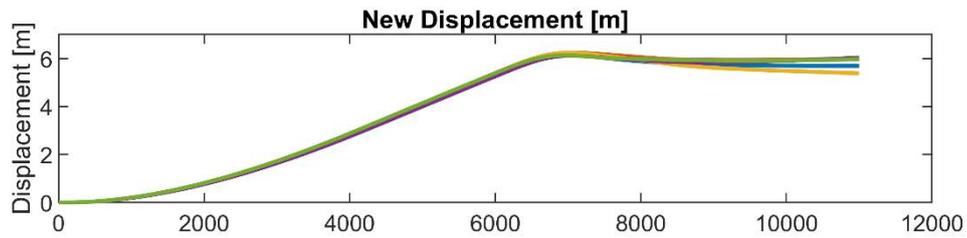
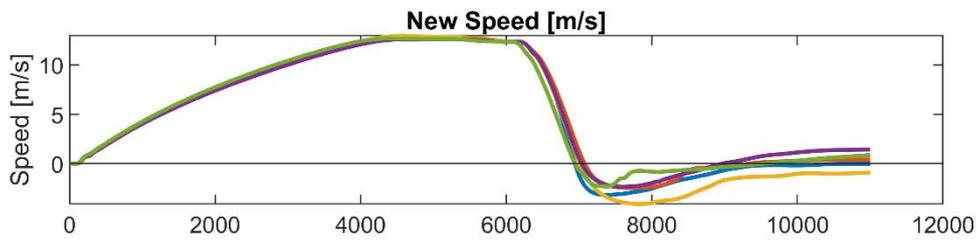
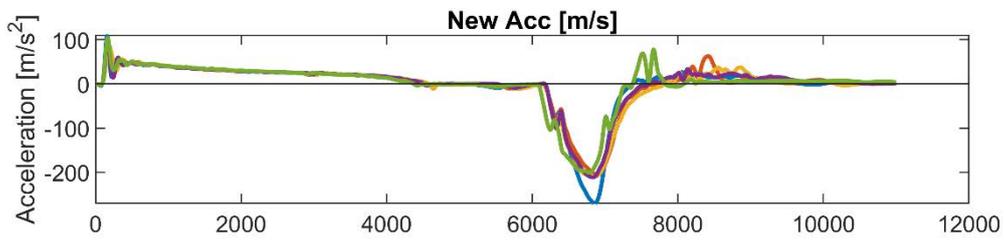
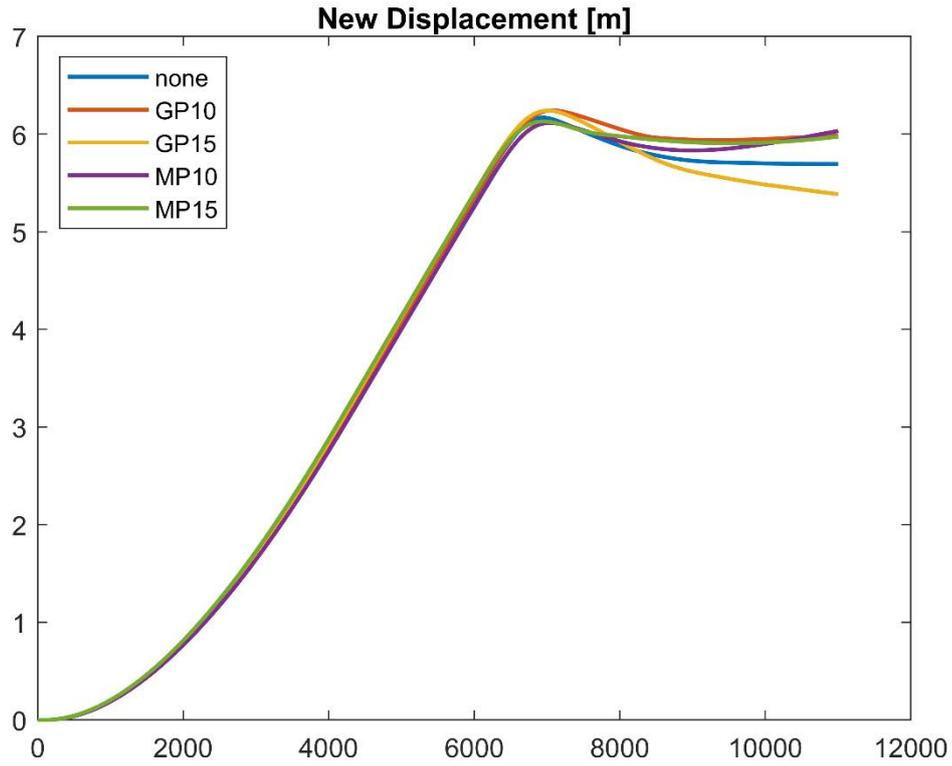
$$E_i = 0.5 * M * kv_i^2 \quad ; \quad E_{max} = 0.5 * M * v_{imax}^2$$

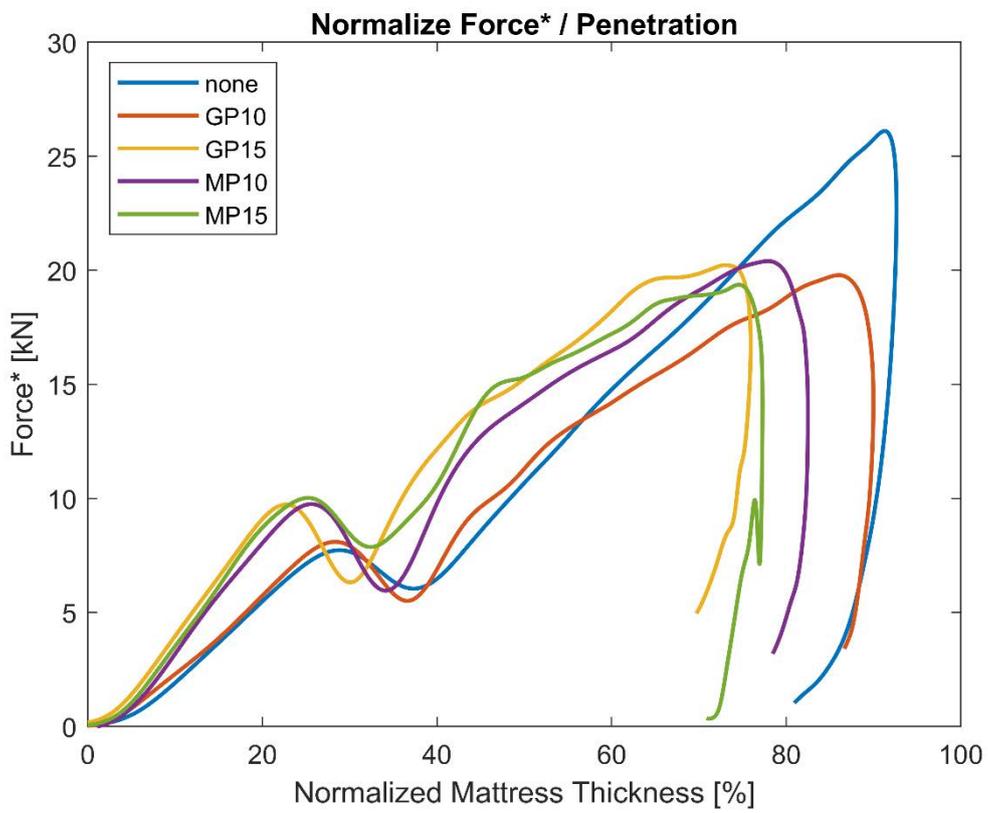
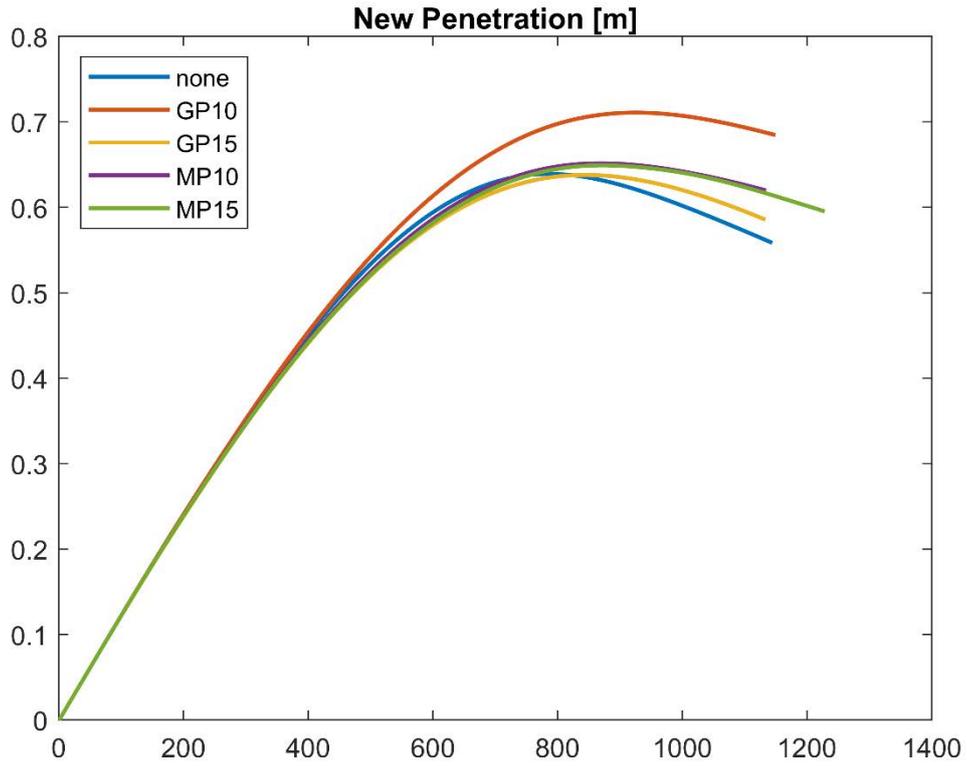
$$\frac{E_i}{E_{max}} = \frac{k^2 * v_i^2}{v_{imax}^2} ; \quad \text{allora } k = \sqrt{\frac{E_i}{E_{max}}}$$

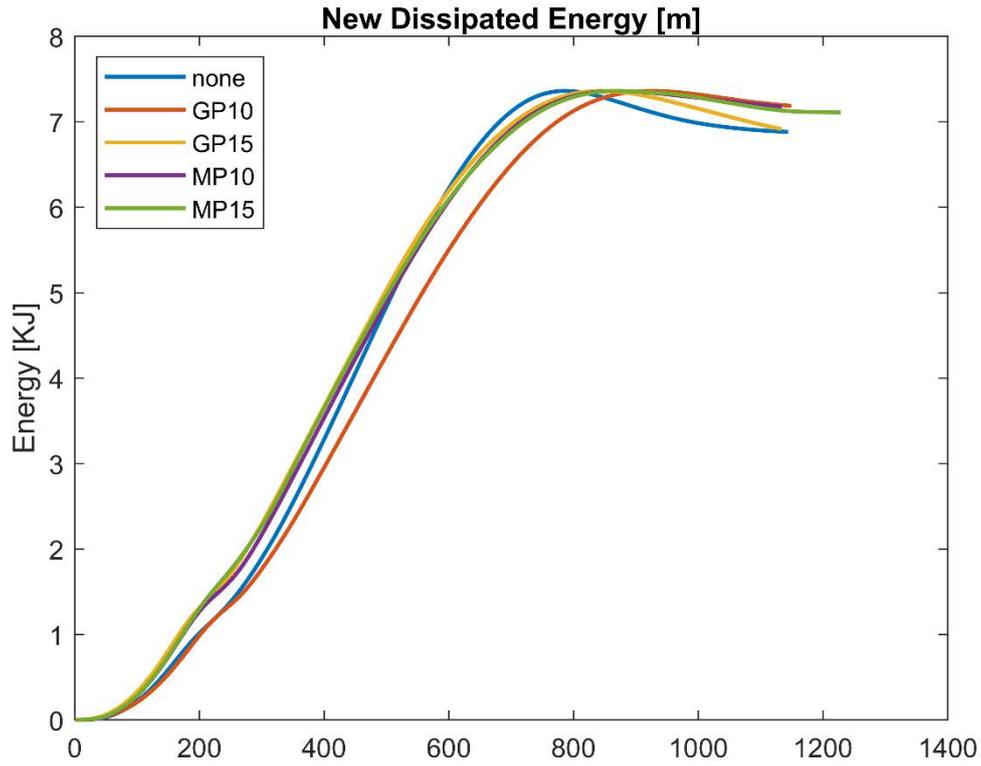
Le accelerazioni vengono incrementate del fattore k, in quanto durante l'integrazione per ricavare la velocità, la costante k si può togliere dall'integrale e quindi diventare fattore moltiplicativo della velocità.

Di seguito si riportano i grafici normalizzati:

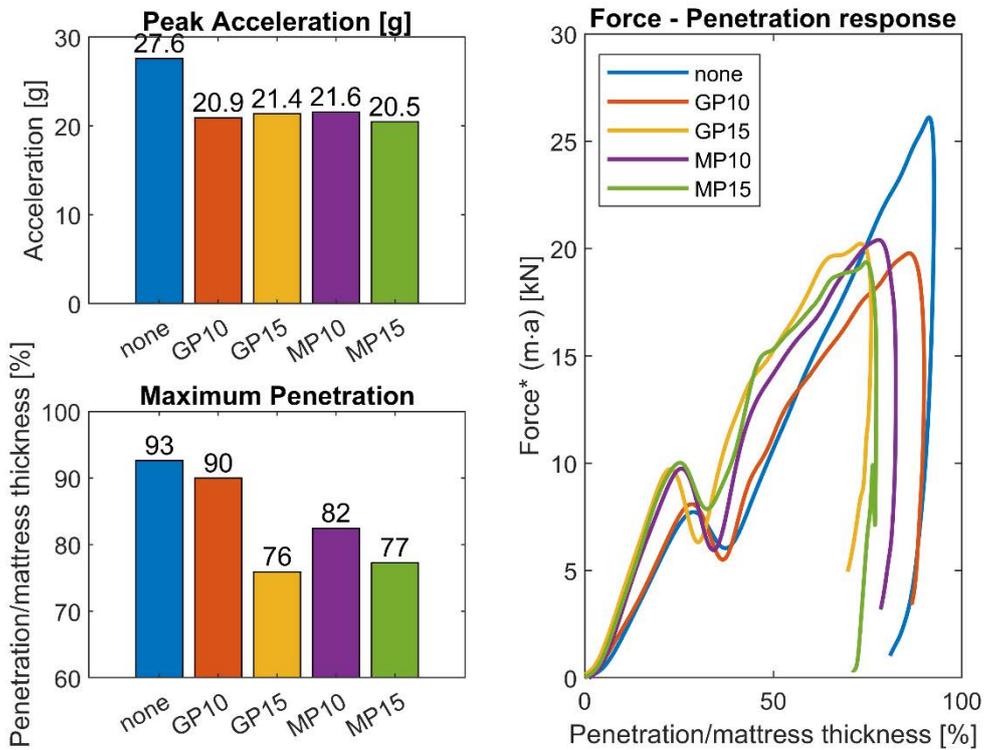








### Results of impact test on mattress



La ditta produttrice del nuovo materiale (Mondaplen) afferma che sia sufficiente metà spessore di mondaplen per svolgere la stessa funzione di un normale materasso in gomma piuma.

Un paragone quindi può essere fatto tra **MP\_10** e un **GP\_15** tra i due in effetti si nota un picco di accelerazione molto simile ed inoltre le curve di forza-penetrazione nella prima parte risultano essere quasi sovrapposte, si osserva inoltre che il mondaplen ha una penetrazione maggiore solamente del 6 %. Tra **MP\_10** e **GP\_10** si evidenzia una riduzione di penetrazione dell'8 % a favore del nuovo materiale restando con un picco di forza quasi dello stesso valore.

Paragonando invece i due materassi da 15 cm quindi **MP\_15** e un **GP\_15** si vede che entrambi offrono la stessa penetrazione, ma il mondaplen riesce a garantire un picco di accelerazione minore di quasi 1G (< 4.2 %).

Analizzando l'intero grafico di forza\*- penetrazione si nota in primo luogo che l'influenza dell'uso del materasso dalla prova "none" riesce a ridurre le accelerazioni di picco di almeno il 21.8 % (6g), ed inoltre le accelerazioni durante le 4 prove effettuate con l'uso ausiliario dei un materasso risultano essere praticamente paragonabili e fisse intorno al valore di  $21g \pm 3\%$  e quindi le sole differenze si possono notare sulla loro capacità di penetrazione.

In conclusione il mondaplen sembra avere una minor penetrazione della normale gomma piuma a parità di prova eseguita, dove si riesce a notar in maggior modo nel modello da 10 cm, a questo punto non si può affermare che si possa utilizzare la metà del materiale per eseguire lo stesso lavoro, con questi dati alla mano.

## Conclusioni

In questo capitolo si sono inseriti tutti i risultati ricavati dalle prove svolte utilizzando la Catapulta 1.0 in versione attrezzata per il lancio del manichino in veste da sciatore oppure in versione per il lancio di un "Solid Dummy". Si evidenzia la facilità e velocità di utilizzo anche nel passaggio da una versione all'altra in poco tempo, ed inoltre l'affidabilità della struttura nel suo complesso. Il sistema di lancio si può affermare ormai collaudato e pronto per l'utilizzo in campo nelle prove già in programma per testare l'influenza della composizione della neve sulle cadute.

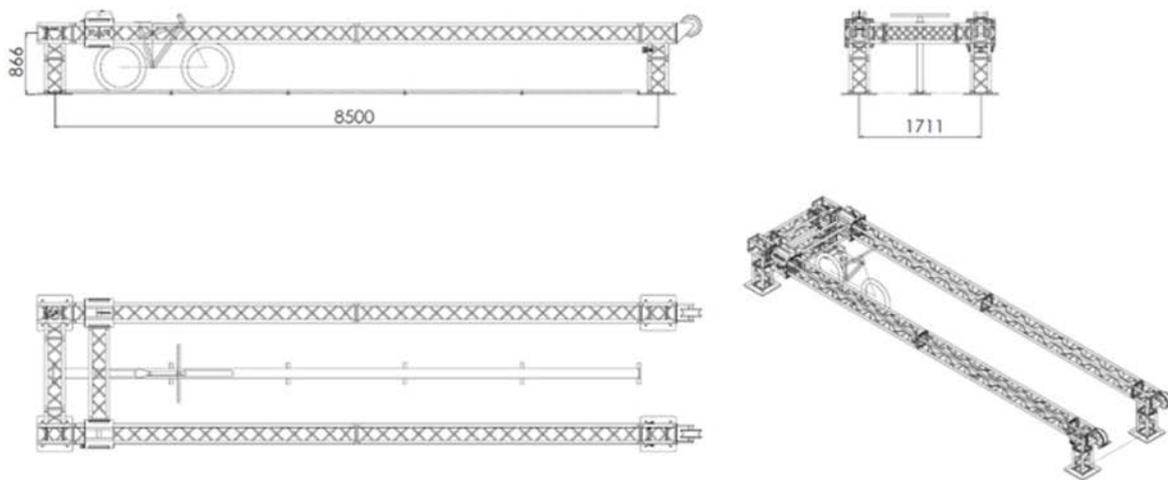
L'impiego di questo sistema di lancio per la caratterizzazione e certificazione di barriere e protezioni adoperate nel settore alpino è stato testato nell'analisi di materassi, sia ad alto assorbimento ad aria che normali in gomma piuma piuttosto che in nuovi materiali in commercio. Sono stati confrontati due modelli di materassi in diverso materiale, da cui si evince che tra i due non vi risulta essere una grossa differenza come si credeva esistere inizialmente, il nuovo materiale detiene a suo favore le alte capacità idrorepellenti che in questo ambiente risultano essere fondamentali.



# Catapulta Large 2.0

## Progettazione

Questo capitolo della prima parte descrive le varie configurazioni e i concetti di base di funzionamento della Catapulta 2.0 progettata da Lorenzo Crosetta. Nella seconda parte, vengono proposte modifiche per fare un upgrade della Catapulta 2.0 per il lancio di motociclette; in particolare, è stata avanzata una richiesta da parte dell'azienda Alpinestar all'ente certificatore Dolomiticert, che collabora con l'Università di Padova, per poter effettuare test per la certificazione degli airbag ad attivazione elettronica; di seguito sono elencate le modifiche eseguite sulla Catapulta 2.0 per poter lanciare una moto con il "Dummy" per i crash test.



*Figura 0-1 Configurazione Catapulta 2.0*

Item / Articolo	Description / Descrizione	Q.ty / Qtà	Weight / Pesi	
STRAIGHT TRUSS			cad. kg	tot. [kg]
999LT00001	999 LT QX30SA400	4	21.2	84.8
LT QX30SA100	ST30SA TRUSS QUADRA L=100cm	1	7.1	7.1
<b>TRUSS QUADRA L=131</b>	<b>"TRAVE personalizzata DA 1310 mm "</b>	<b>1</b>	<b>9.1</b>	<b>9.1</b>
LT QX30SA050	ST30SA TRUSS QUADRA L=050cm	4	4.8	19.2
LT QX30SA029	ST30SA TRUSS QUADRA L=029cm	0	3.8	0.0
LT QX30SA025	ST30SA TRUSS QUADRA L=025cm	0	3.6	0.0
CORNERS				
LT QX30SX4	Incrocio ST sez. Quadra 29 cm - 4 vie.	0	8.2	0.0
LT QX30SAT3	ST30SA ANG. QUADRO 3 VIE T	2	7.3	14.6
LT QX30SAT4	ST30SA ANGOLO QUADRO 4 VIE T	2	9.7	19.4
ACCESSORIES				
LT FP30M	ST30 BASE A TERRA UNIV.50x50cm	4	6.0	24.0
CART				
LT TLU30S	30S TRUSS CARRELLO UNIVERSALE	2	30.0	60.0
CONNECTION				
<i>* MANCANO I KIT DI BULLONI E VARIE CONNESSIONI*</i>				
TOT		TOT_PEZZI	TOT_PESO	
		20	238.2	

Questo sistema di lancio è stato progettato con l'idea di utilizzare una struttura facilmente assemblabile, leggera e se necessario trasportabile per eventuali dimostrazioni. Per seguire queste linee guida si è pensato di utilizzare dei tralicci in alluminio realizzati dalla azienda Litec Italia S.r.l. normalmente sfruttati nell'ambito di concerti.

L'idea di base è stata creare un sistema di lancio partendo dalla catapulta 1.0, quindi avere un sistema di sostegno su cui vi scorre un carrello e su di esso potervi fissare i vari attrezzaggi per le diverse prove. L'energia utilizzata per la propulsione anche in questo caso è sempre di tipo elastico, con costanti elastiche ed allungamenti molto diverse; per caricare il sistema si utilizzano 3 verricelli elettrici poiché le masse in gioco sono molto più elevate. Una differenza che la discosta dal modello precedente è l'utilizzo di due carrucole posizionate nella parte anteriore dove vi scorrono gli elastici, infatti questi sono collegati al carrello da un lato e dall'altro capo viene sfruttato lo spazio vuoto all'interno dei tralicci per mettere in tensione gli elastici.



Figura 0-2Elastici e carrucole anteriori

## Sottosistemi ricorrenti

Di seguito si andranno a descrivere i diversi sottoinsiemi come è avvenuto per la catapulta 1.0, cioè:

- Sistema di guida
- Sistema di sostegno
- Sistema di accelerazione
- Sistema di carrucole
- Sistema di carica
- Sistema di rilascio
- Sistema di freno
- Sistema di sollevamento

### Sistema di guida

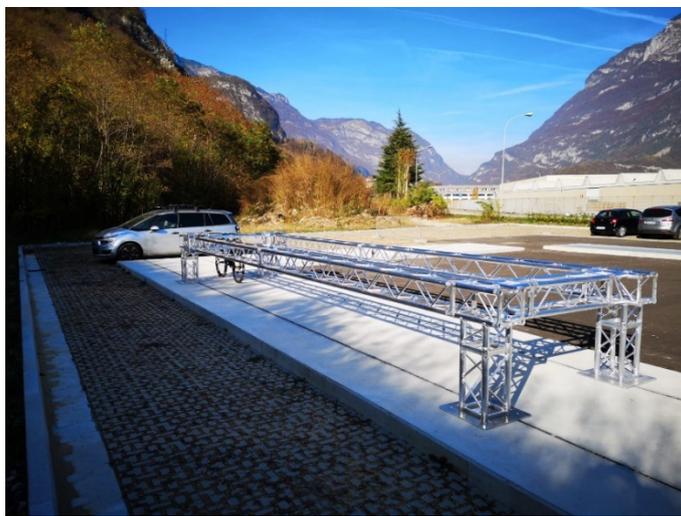


Figura 0-3 Struttura Catapulta 2.0

Il sistema di guida è formato da una struttura realizzata con travi Litec di modello QX30SA, cioè travi in alluminio a sezione quadrata di ingombro massimo pari a 30 cm. La struttura è caratterizzata da un traliccio di lunghezza 8 m su ogni lato, collegato nella parte posteriore da una trave, in modo da mantenere la corretta distanza tra le due. L'intera struttura è sostenuta da 4 colonne che mantengono il tutto ad un'altezza di circa 85 cm da terra e tramite 4 piastre imbullonate al terreno.

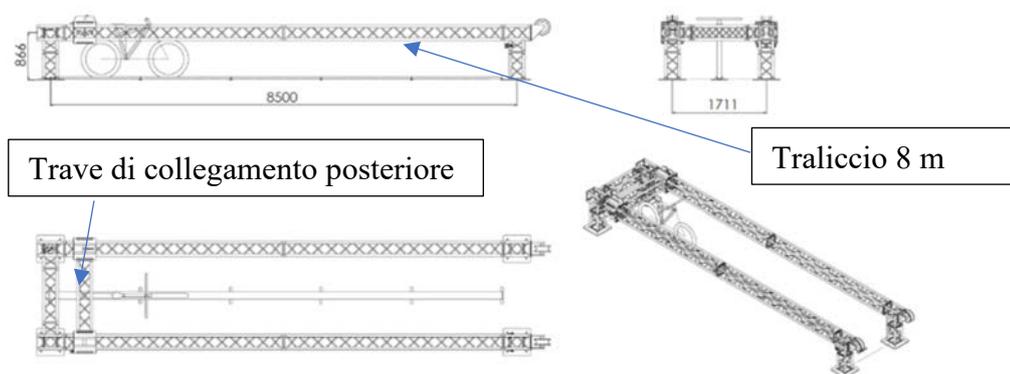


Figura 0-4 Configurazione Catapulta 2.0

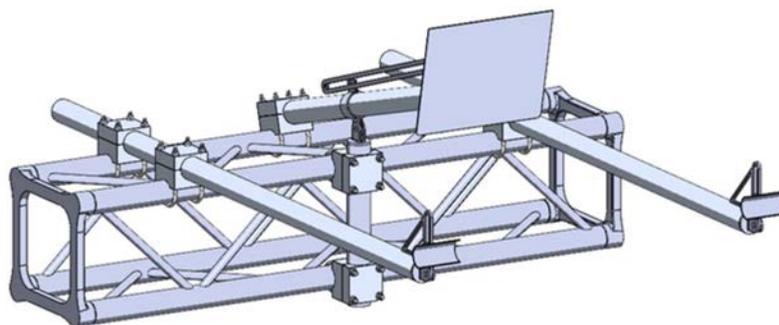
L'intera struttura è ulteriormente fissata al terreno tramite tiranti obliqui in modo da garantire una maggior rigidità sia in fase di accelerazione che di frenata.



*Figura 0-5 Controventi struttura*

## **Sistema di sostegno**

Il sistema di supporto deve essere progettato in modo da poter muovere la bici più il manichino avanti e indietro. Questo sistema è caratterizzato dall'utilizzo di una base costituita da una trave LITEC, dove su questa sono stati costruiti i vari sistemi per consentire il lancio, in particolare uno schienale per evitare che il 'Dummy' durante l'accelerazione ruoti all'indietro, e due supporti laterali uno a destra e l'altro a sinistra per poter sostenere la bici e trasferire il moto del carrello.



*Figura 0-6 Attrezzatura lancio bici*

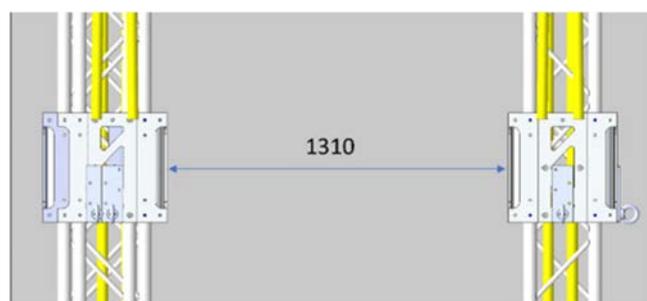
In pratica è la stessa idea di base utilizzata nella catapulta 1.1, dove in questo caso si hanno molte più regolazioni in modo tale da poter applicare il sistema a diversi modelli di bicicletta. L'intera struttura è realizzata in alluminio con il fine di mantenere le masse contenute e quindi dover spendere meno energia nel frenare il sistema dopo il lancio.



*Figura 0-7 Struttura completa*

Per scorrere lungo i tralicci sono utilizzati i carrelli LT TLU30S, questi sono carrelli universali prodotti da Litec, adatti a scorrere su travi QX30SA. Sono già pronti ad essere collegati alla trave centrale in quanto l'interasse dei fori risulta essere standard sull'intera gamma di prodotti. In questo modo si va a creare un carrello capace di scorrere lungo l'intera struttura, su cui possono essere applicate le varie attrezzature in funzione del lancio desiderato.

Il sistema realizzato con l'utilizzo dei moduli LITEC presenta grandi vantaggi per la sua leggerezza e facilità di montaggio, e la possibilità di trovare una base molto rigida dove andare ad attaccare i vari sistemi di tubazioni; Il peso totale del sistema è di 80kg, tenendo conto che solamente i carrelli laterali hanno massa 30 kg l'uno. Punto negativo dell'utilizzo dei sistemi modulari è che sono con misure fisse, e la trave QX30SAT3, standard in catalogo, risulta essere 1 cm più corta della distanza dei due carrelli che corrono sulle guide laterali; Pertanto, una possibile soluzione è farsi creare una trave di lunghezza 131 cm come necessario.



*Figura 0-8 Distanza carrelli laterali*

Un'altra pecca dell'utilizzo di queste travi è la geometria interna al traliccio formata da traversine che vanno a garantire rigidità al sistema da un lato, ma dall'altro danno problemi nel momento di fissare le attrezzature poiché i morsetti utilizzati hanno pochi posti disponibili su cui essere fissati.

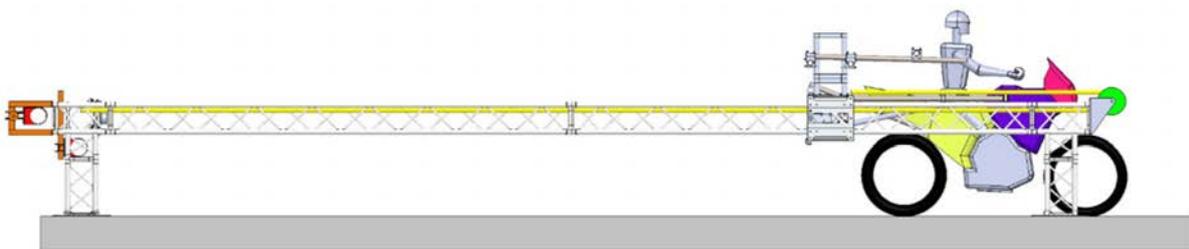


*Figura 0-9 Sistema sostegno bici e manichino*

Anche in questo sistema di lancio resta il problema di far restare ben allineata la bici in fase di carico ed uscita, infatti sono state fissate a terra 2 guide in legno ad una distanza leggermente superiore alla larghezza del copertone.

## Sistema di accelerazione

Nella catapulta 2.0 l'energia utilizzata è sempre di tipo potenziale elastica, si tratta di 2 elastici provenienti dal capo del bungee jumping (17), aventi una lunghezza di circa 5.1 m ed un diametro attorno ai 50 mm. Questi tipi di elastici sono stati prodotti su misura dall'azienda Diagoline S.r.l., esprimendo lunghezza a vuoto desiderata e costante elastica, infatti sono realizzati da singoli filamenti di lattice quindi andando a mettere in parallelo n-fibre si riescono a ricavare le costanti elastiche desiderate.



*Figura 0-10 Disposizione elastici nella struttura*

L'elastico alle sue estremità ha fissati due moschettoni di grosse dimensioni a cui facilmente è collegabile a golfari, infatti ad un capo nella parte superiore è fissato al carrello, ed una volta passato attorno alla carrucola, l'altro capo è collegato al verricello dedicato al suo tensionamento all'interno del traliccio.

In questo modo si riesce a sfruttare un maggior allungamento dell'elastico e quindi riuscire ad avere una maggior energia disponibile.



Figura 0-11 Moschettone fissaggio elastico

Parametri di progetto:

Velocità finale	Vf=50 km/h
Massa da accelerare	m=200 kg

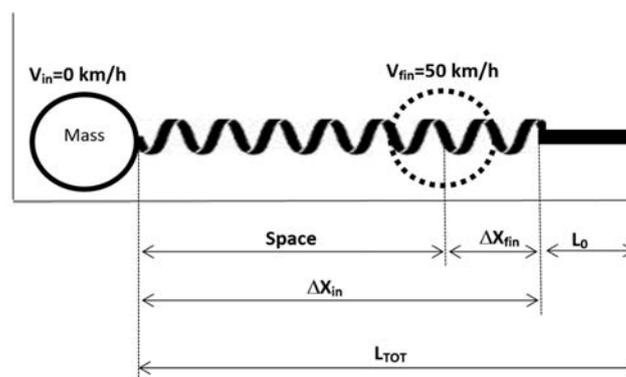
In questa fase di progettazione non consideriamo né l'effetto dell'attrito né l'effetto di altre fonti di energia decrescenti. Grazie a questa importante approssimazione possiamo utilizzare il principio della conservazione totale dell'energia meccanica. Quindi, l'energia elastica immagazzinata inizialmente sarà totalmente convertita in energia cinematica.

$$\frac{1}{2} * m * V_f^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_f^2 = \frac{1}{2} * m * V_i^2 + \frac{1}{2} * K * \Delta X_i^2$$

Con:

K = Rigidezza elastico;  $\Delta X$  = Allungamento. Con i simboli: f = Posizione finale, i = Posizione iniziale

Ora dobbiamo scegliere la rigidità, la lunghezza iniziale e l'allungamento massimo della fascia elastica, non solo la configurazione. Possiamo descrivere il problema con il seguente quadro:



Dalla soluzione del problema, Lorenzo Crosetta ha ricavato le seguenti caratteristiche per gli elastici, di seguito riporto l'analisi effettuata:

Usando 2 elastici personalizzati in parallelo, mantenendo come lunghezza massima 17 m, abbiamo:

- Lunghezza iniziale 5.1 m
- Costante elastica 232.2 N/m
- Fattore di incremento dovuto agli attriti

Rigidezza degli elastici:

$$K = \frac{m * V_f^2}{(L_{tot} - L_0)^2 - (L_{tot} - S - L_0)^2} * \frac{1.3}{2} =$$

$$= \frac{200 * (\frac{50}{3.6})^2}{(17-5)^2 - (17-6-5)^2} * \frac{1.3}{2} = 357.2 * \frac{1.3}{2} = 232.2 \text{ N/m}$$

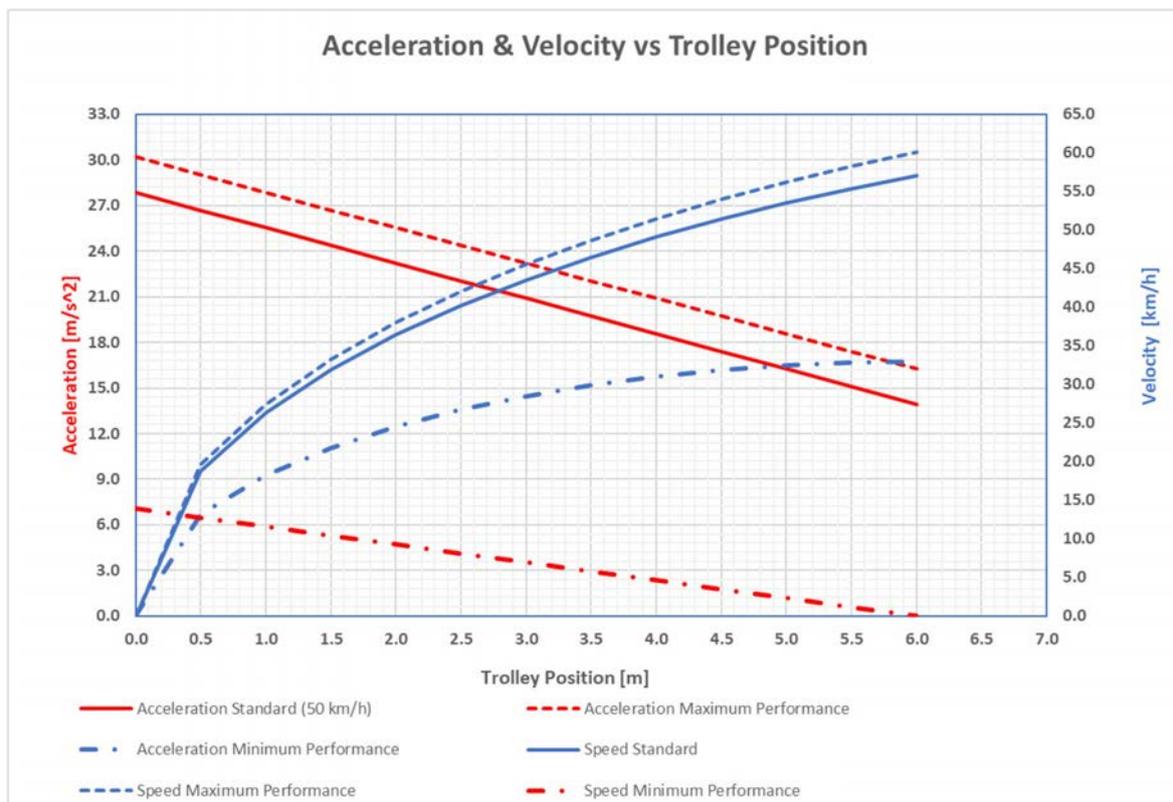
Queste saranno le condizioni standard in cui la slitta sarà accelerata. Tuttavia, il sistema permette di raggiungere i 18 m di lunghezza totale delle corde elastiche, quindi calcoleremo la forza massima non cercando i 50 km/h ma cercando le massime prestazioni del sistema.

- Lunghezza iniziale = 5.1 m;
- Deformazione massima  $\epsilon = 260 \%$ ;

La forza massima risulta:

$$F_{max} = K * (L_{MAX} - L_0) = 232.2 * (18 - 5) = 3000 \text{ N}$$

Risultati finali:



Questi sono valori guida, poiché andranno variate le masse per l'attrezzaggio ed inoltre l'attrito adottato nei calcoli è ipotizzato, non quello reale ed infine gli elastici non possono essere paragonati ad un elastico di tipo ideale.

## Sistema di carrucole

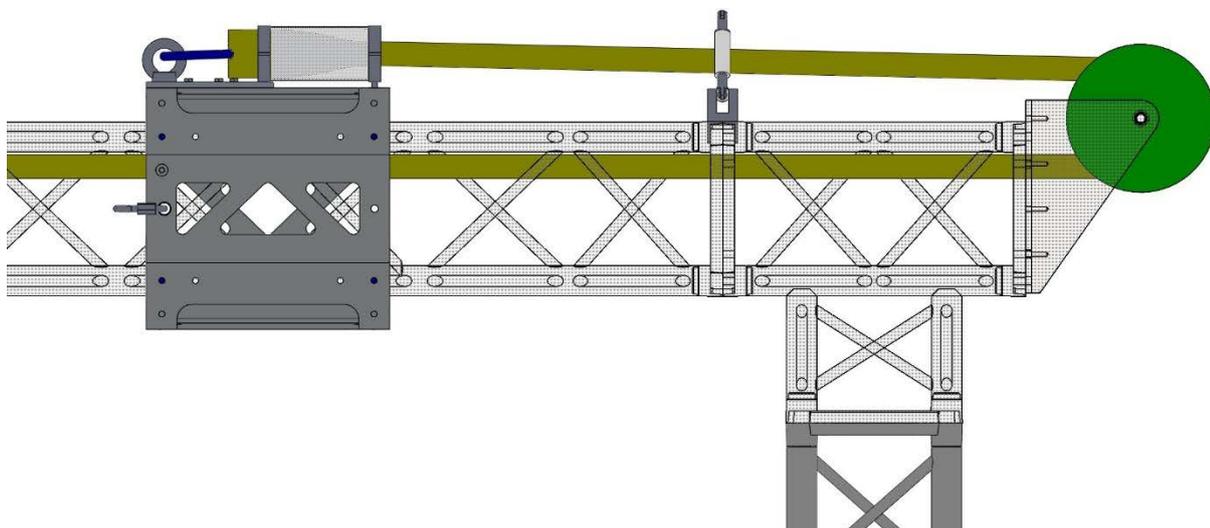


Figura 0-12 Carrucola anteriore

La struttura per poter utilizzare elastici di lunghezza maggiore e dunque allungamenti maggiori, sfrutta lo spazio vuoto all'interno dei tralicci per allungare gli elastici. Per fare ciò vengono poste nella zona anteriore 2 carrucole di grosse dimensioni in teflon in modo da deviare il tiro degli elastici e permettere il collegamento al carrello nella zona superiore.

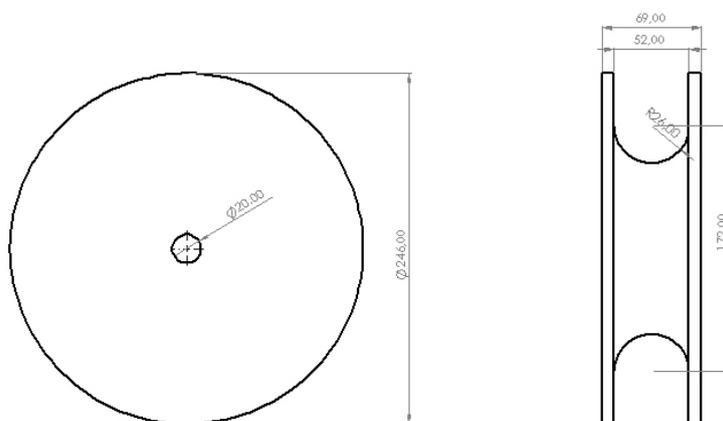


Figura 0-13 Messa in tavola Puleggia

Sono state realizzati dei supporti per il fissaggio delle pulegge in testa ai tralicci, posizionate in modo da lasciare l'asse di tiro centrato con il foro dei tralicci ed inoltre mantenere il tiro sul carrello il più orizzontale possibile.

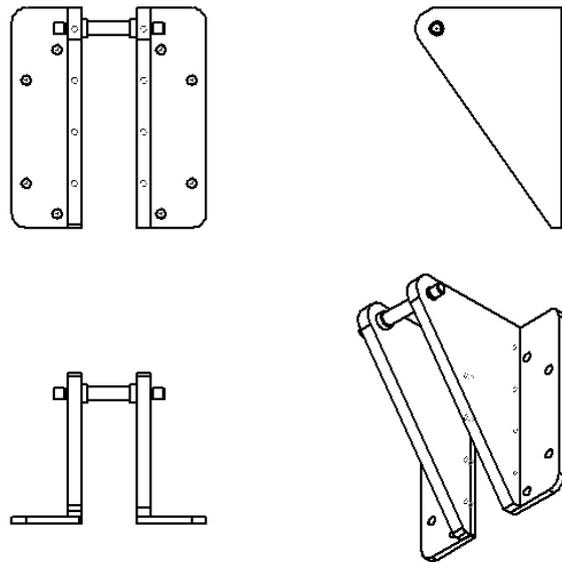
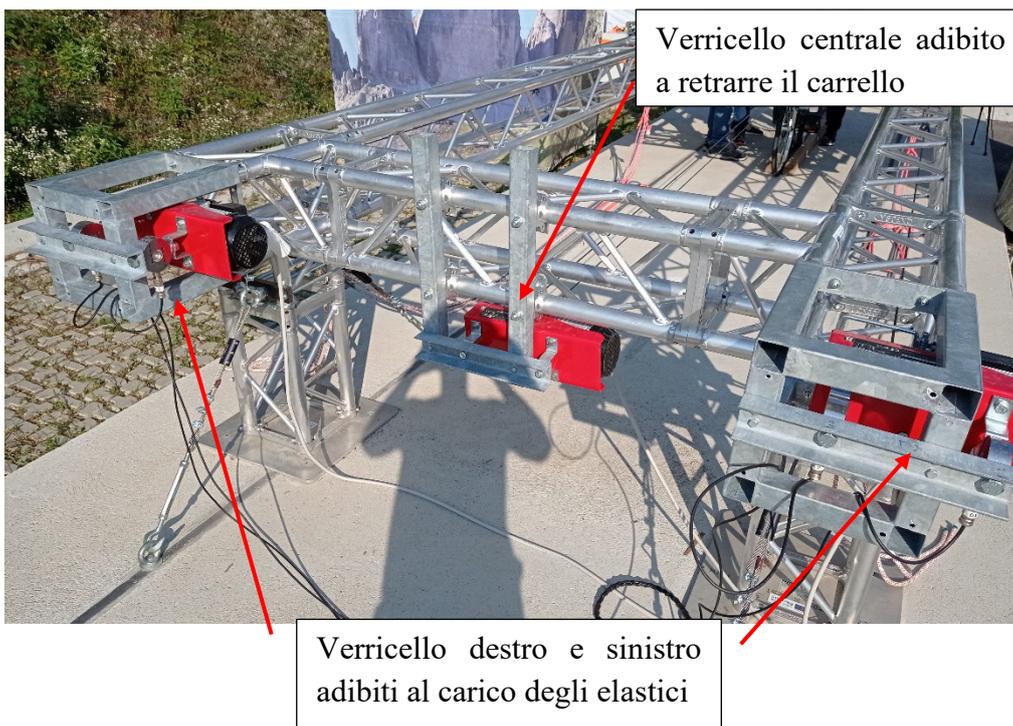


Figura 0-14 Sostegno puleggia

## Sistema di carica

In questo sistema di lancio le forze in gioco e le masse sono molto più elevate, infatti per caricare il tutto vengono utilizzati 3 verricelli posti nella parte posteriore della fionda.

Di questi uno è utilizzato per l'avvicinamento del carrello dalla parte anteriore, zona in cui si prepara la bici con in sella il manichino, alla parte posteriore per agganciarsi al sistema di rilascio. Altri 2 verricelli invece sono utilizzati per mettere in tensione i singoli elastici, avendo due sistemi indipendenti di tiro in modo da poter regolare le forze esercitate dai singoli elastici.



Per verificare il carico su ogni singolo elastico, i verricelli laterali sono fissati alla struttura tramite celle di carico, in questo modo si riesce a leggere dal pannello di controllo in ogni istante la forza esercitata, e quindi poter variare il tiro con lo scopo di aver la stessa forza risultante sia a destra che a sinistra del carrello.

Cella di carico (12):

- Marca e modello = AEP modello TS
- Codice: CTS82500KC25
- Carico massimo = 500 kg

A [mm]	B [mm]	C [mm]	D	E [mm]
82	78	30	M16x2	20

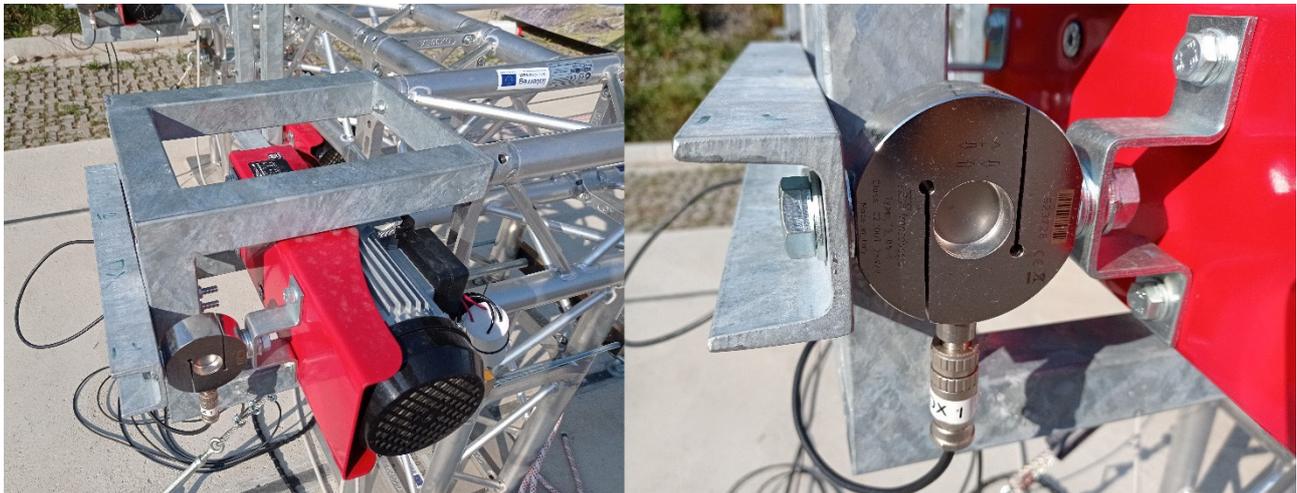
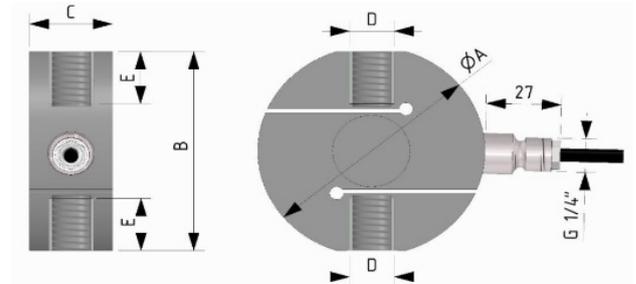


Figura 0-15Verricelli strumentati

Questi tipi di verricelli sono facilmente acquistabili in commercio, di seguito le caratteristiche:

- Marca e modello = Einhell TC-EH 600
- Tensione = 220 V
- Potenza = 1050 W
- Lunghezza cavo = 18 m
- Carico massimo = 300 kg
- Velocità = 8 m/min

A causa delle forze in gioco, il verricello centrale viene fatto lavorare in doppia tramite una carrucola, quindi si riesce ad avere una capacità di tiro di 600 kg a scapito di una velocità di tiro dimezzata. In fase di carico anche il verricello centrale si prende una parte del carico degli elastici poiché questi non possono scavallare la puleggia posta nella parte anteriore, quindi almeno 4 m deve riuscire ad allungarli.

Dal quadro elettrico generale è possibile visualizzare i carichi ei singoli elastici ed inoltre vi sono i comandi per le attivazioni dei singoli verricelli.

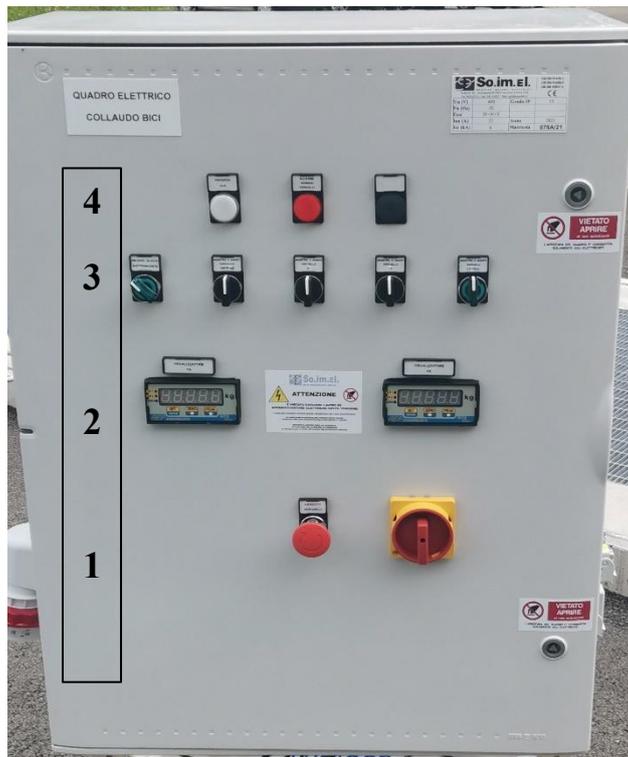


Figura 0-16 Pannello di controllo

Descrizione quadro:

- 1) Pulsante di emergenza
- 2) Display di carico dei singoli elastici
- 3) Interruttori per attivazione singoli verricelli
- 4) Luci di malfunzionamento

## Sistema di rilascio

Il sistema di rilascio è svolto in due step:

- Sgancio del verricello centrale;
- Rilascio del carrello nel momento desiderato;

in questo modo si riesce ad avere sempre un sistema di sicurezza prima di rilasciare gli elastici.

Lo sgancio del verricello centrale avviene tramite un attuatore elettrico alimentato a 24 v da 2 batterie posizionate sul carrello ed azionato da remoto tramite un radiocomando.

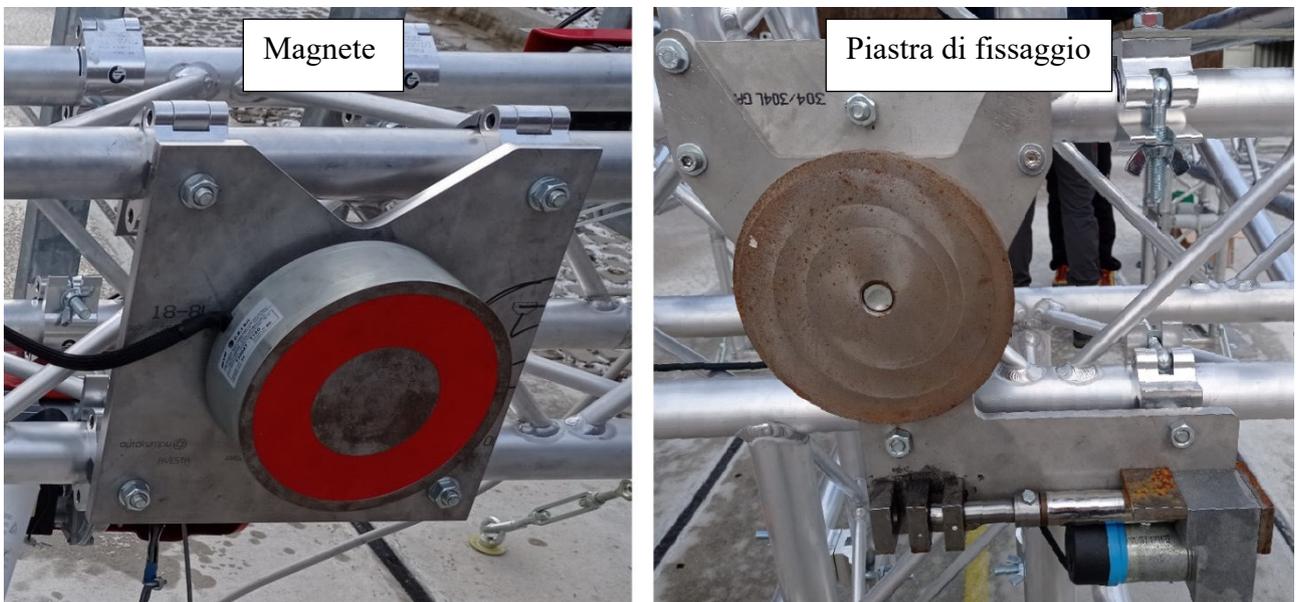


Carrucola verricello centrale

Figura 0-17 Attuatore elettrico

La carrucola centrale è posizionata e bloccata durante la fase di preparazione del manichino, d'ora in avanti il carrello resta bloccato perché da un lato riceve le forze degli elastici leggermente in tensione e dall'altro la reazione opposta del verricello.

Una volta che il sistema è stato arretrato fino alla zona posteriore entra in gioco il vero e proprio sistema di aggancio – rilascio, questo è formato da un'elettrocalamita azionata direttamente dal pannello centrale. Il magnete una volta attivato va a fissarsi ad una piastra di uguali dimensioni e spesso 20 mm collegata al carrello, in questo modo l'intero carico degli elastici passa attraverso il sistema di rilascio.



Magnete

Piastra di fissaggio

Figura 0-18 Magnete e piastra di aggancio

Caratteristiche magnete:

- Elettrocalamita T180 H63 24VCC 60W
- Forza massima = 15.000 N

Il magnete è stato fissato alla struttura tramite una piastra in acciaio inox da 10 mm e 4 morsetti Litec; il bullone di fissaggio viene lasciato leggermente allentato in modo da lasciare un po' di gioco al magnete che in fase di accoppiamento con il carrello riesce a combaciare in modo perfetto con la piastra, senza lasciare fessure di aria che vanno a far perdere esponenzialmente la forza di trattenuta.

### **La procedura di lancio avviene quindi in queste fasi:**

1. Aggancio del verricello centrale all'attuatore posizionato sul carrello;
2. Leggera messa in tensione degli elastici al fine di mantenere fermo il carrello durante il posizionamento della bici e manichino;
3. Fissaggio assieme bicicletta al carrello;
4. Retratto il carrello fino a far toccare i magneti;
5. Azionamento dei magneti per il blocco del carrello;
6. Carico degli elastici tramite verricelli laterali fino alla forza desiderata;
7. Sgancio del verricello centrale mediante l'attuatore azionato dal radiocomando;
8. Rilascio del carrello attraverso interruzione della tensione all'elettrocalamita posteriore;
9. Impatto

## **Sistema di freno**

Per quanto riguarda il sistema frenante del carrello, che è composto da un sistema dissipativo di funi dinamiche e statiche, collegate su un golfare posto nella parte bassa del carrello e le torrette nella zona posteriore della catapulta. La slitta ha 8 metri di corsa disponibile, di questi si cerca di non far arrivare mai il carrello negli ultimi 50 cm (in modo da avere sempre una sicurezza in più), quindi risultano esserci disponibili 7.5 m per poter accelerare e frenare la massa.



*Figura 0-19Punti di fissaggio corde d'arresto*

Durante i crush test effettuati con le bici le energie in gioco non erano molto elevate perché gli elastici erano stati sfruttati poco a causa delle masse e le velocità richieste basse, di conseguenza sono servite poche corde con piccoli allungamenti.

La corda che va a frenare il sistema è formata per il 50 % da corda statica e per il restante 50 % da corda dinamica, in questo modo si riesce a controllare l'allungamento massimo delle funi durante la frenata. Inoltre viene posta in parallelo anche un'ulteriore corda puramente statica per far sì che una

volta arrivati al limite, se le funi miste non sono riuscite a dissipare l'energia in gioco, allora il carrello viene frenato da queste in modo più violento causando accelerazioni e frenate più brusche.

Sono state effettuate svariate prove con le biciclette, durante le quali si avevano a disposizione 3 tipologie di bici e diverse configurazioni di lancio tra i quali anche impatti contro automobili. Si nota che tutte le prove possono essere raggruppate in due gruppi, in funzione alla velocità fissata per il lancio:

- Velocità d'uscita = 15 km/h;
- Velocità d'uscita = 30 km/h;

In base alla velocità prefissata si variava la lunghezza e la tipologia delle corde secondo uno schema prestabilito.

Per quota di arresto si intende la distanza percorsa dal carrello prima dell'entrata in funzione delle corde. Le corde vengono misurate una volta collegate quindi è difficile averle tutte della stessa lunghezza dovendo farci dei nodi. Solitamente dopo il 3 - 4° lancio le corde vengono leggermente accorciate perché a causa del lavoro di dissipazione dell'energia ottengono un allungamento dalla misura iniziale.

Tipo di prova	Quota di arresto	Lunghezza corde	N° e tipo di corde
Prove bici 15 km/h	5,5 - 6,5 m	6 m	3 corde giuntate per ciascun lato: 3 m corda dinamica + 3 m corda statica
Prove bici 30 km/h	6,5 - 7,5 m	7 m	3 corde giuntate per ciascun lato: 3 m corda dinamica + 3 m corda statica. In aggiunta una corda statica di 7,5 m come sicurezza finale

## Sistema di sollevamento

Il sistema di sollevamento era necessario, poiché il numero di lanci al giorno raggiungeva un numero significativo. Con un argano elettrico, è stato possibile sollevare l'Hybrid III per consentire la preparazione del test. La struttura di supporto era abbastanza solida e non introduceva alcun problema in termini ripresa video.



## **Regolazioni possibili della macchina**

Questo sistema di lancio mette a disposizione un maggior numero di regolazioni, infatti è possibile variare:

- Allungamento degli elastici
- Allungamento relativo tra i due elastici
- Istante di frenata
- Regolazioni a disposizione sull'attrezzaggio di lancio

Utilizzando gli elastici di lunghezza iniziale di circa 5 m si riesce ad avere a disposizione un allungamento compreso tra il 100% e il 260%; infatti il limite minimo serve affinché l'elastico possa partire dalla parte posteriore della catapulta, percorrerla tutta e infine passare attorno alla puleggia posta nella parte anteriore; il limite massimo è dettato dalla lunghezza dei tralicci, infatti una volta arretrati del tutto i verricelli laterali si raggiungono questi allungamenti massimi. Si nota inoltre che lavorare con bassi allungamenti causa il problema di scavalco degli elastici dalla puleggia durante l'istante di frenata, perché in essi non restano in tensione, quindi si preferisce non scendere sotto il 140%.

Un'ulteriore regolazione può essere effettuata grazie al feedback delle celle di carico, infatti è possibile tensionare più o meno un elastico al fine di ottenere la stessa forza generata da entrambi i lati del carrello in modo da non creare squilibri durante la fase di accelerazione.

L'istante di frenata può essere scelto in base alla lunghezza delle corde adibite a questo, avendo come unica accortezza la lunghezza massima, in quanto non si vuole far arrivare il carrello a sbattere sulle colonne finali.

L'attrezzaggio per il lancio delle bici dà a disposizione una vasta gamma di configurazioni in funzione della geometria della bici, come può essere la larghezza del manubrio e la sua altezza da terra, inoltre si può variare la posizione dello schienale per il sostegno della schiena del manichino.

## **Utilizzo**

### **Layout per test con biciclette**

La catapulta large 2.0 è stata utilizzata per testare l'attivazione degli air-bag montati negli indumenti da ciclismo. Le prove sono state effettuate e descritte nel particolare dal Giorgio Martini (10) durante il suo periodo di tesi presso l'azienda Dolomiticert.

Sono stati effettuati solamente lanci dritti di biciclette con in sella il manichino con a disposizione l'air-bag, come variabili, oltre alla velocità di uscita, lo si è fatto impattare su grossi blocchi di cemento, buche e incidenti contro automobili in diverse posizioni.



Figura 0-20Crush test contro auto

## Strumenti di misurazione

### Videocamere ad alta velocità

In tutte le prove effettuate si è andati ad analizzare principalmente la caduta del manichino e la conseguente attivazione dell'air-bag, inoltre la velocità d'impatto. Il tutto si è ricavato da un'attenta analisi dei video al rallenty, grazie a videocamere ad alta velocità puntate sul punto d'impatto ed un'unità di misura di lunghezza prefissata. Queste vengono attivate da un sensore che rileva il passaggio del carrello e da questo istante acquisiscono per pochi secondi ad alta definizione.

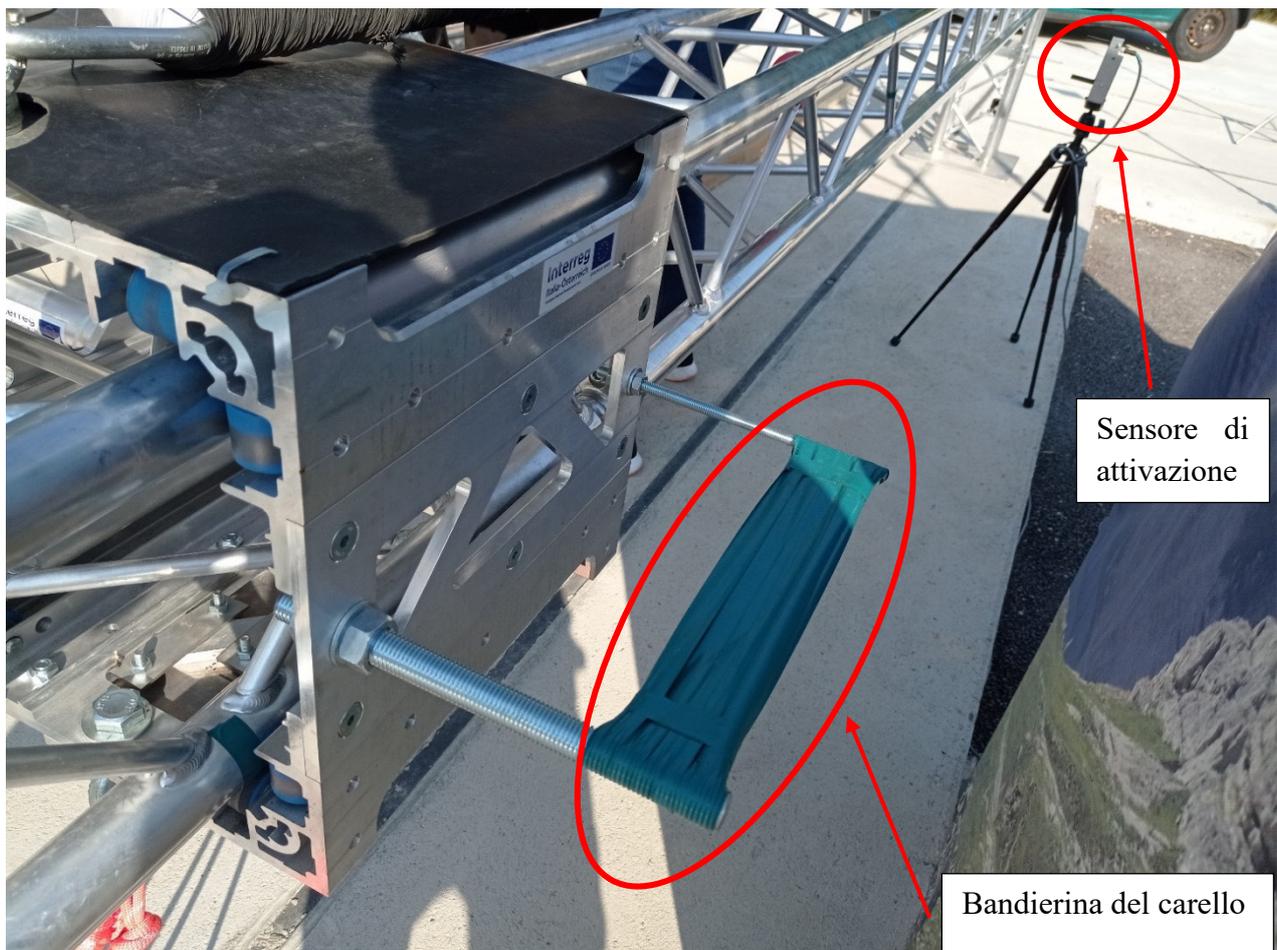


Figura 0-21Attivazione videocamere ad alta velocità

## Sistema di fotocellule Microgate

La velocità viene misurata utilizzando un sistema di fotocellule. Come mostrato in figura, quando l'Hybrid III attraversa il primo cancello (frecche rosse), il sistema inizia a misurare fino a quando, il manichino attraversa il secondo cancello (frecche blu). Dal tempo di attraversamento e dalla distanza tra le due fotocellule di riesce a trovare la velocità media di attraversamento.



*Figura 0-22Strumentazione microgate*

## Conclusioni

Questo capitolo ha avuto come obiettivo la descrizione nei dettagli della catapulta 2.0 già esistente presso l'ente di certificazione Dolomiticert a Longarone (BL). La progettazione, realizzazione e collaudo della struttura sono stati lavori che hanno eseguito due tesisti in precedenza, Giorgio Martini e Lorenzo Crosetta. La sua analisi è servita per comprendere i punti deboli della macchina in modo da migliorarne le prestazioni ed affidabilità ed inoltre essere in grado di rispondere alle richieste del mercato nel mondo della certificazione di air-bag ad attivazione elettronica. Nel capitolo successivo si andrà a discutere di tutte le modifiche apportate in modo da incrementare le prestazioni.

# Catapulta Large 3.0

## Progettazione

Questo sistema di lancio è un upgrade della versione 2.0, sono cambiati totalmente i parametri di progetto, avendo come unica limitazione l'uso della struttura già esistente. La grande variazione consiste nel dover effettuare crush test con moto, e non più biciclette, inoltre di due categorie diverse:

- Moto enduro di media cilindrata (300 cc);
- Moto maxi enduro di grossa cilindrata (1200 cc);

Si ha avuto un'ulteriore limitazione nella velocità d'impatto che deve essere di  $50 \pm 5$  km/h, inoltre con diverse configurazioni d'impatto, cioè con manichino in sella sia seduto che in piedi. Di seguito si va a riportare una tabella con le prove richieste:

	Lista 1 →	MOTO 1 (300cc)		MOTO 2 (1200cc)	
Lista 3	Lista 2 →	ST	SE	ST	SE
1	BLOCCO	1x	2x	1x	1x
2	SABBIA	1x			
3	HIGH SIDE		1x		
4	LOW SIDE		1x		

Figura 0-1 Tabella descrizione prove Alpinestars

- Lista 1, questa ci dà informazioni riguardo alle masse in gioco e quindi alle forze necessarie per poter raggiungere le velocità richieste, oltre a questo c'è da pensare riguardo alla modalità di spinta, poiché le due moto sono molto diverse.
- Lista 2, ST e SE stanno a significare rispettivamente in piedi (standing) e seduto (seated), quindi capire come tenere fermo il manichino sulla moto durante la preparazione, la carica del sistema e il rilascio nelle due diverse configurazioni, cercando di rimanere il più vicini possibile ad una normale guida.
- Lista 3, questa va a descrivere le diverse configurazioni d'impatto, le prime due indicano un normale crush, contro un blocco di grosse dimensioni e addosso ad un mucchio di sabbia, gli ultimi invece chiedono la possibilità di effettuare cadute laterali tipo high side e scivolate laterali tipo low side.

Per coprire tutte queste richieste si è dovuto lavorare su tutta la slitta, sovradimensionando tutti i sottosistemi ricorrenti al fine di garantire sempre la sicurezza durante le prove.

## Sottosistemi ricorrenti

Di seguito si andranno a descrivere i diversi sottoinsiemi che sono stati modificati per garantire la riuscita delle richieste di progetto:

- Sistema di guida
- Sistema di sostegno
- Sistema di accelerazione
- Sistema di carrucole
- Sistema di carica
- Sistema di rilascio
- Sistema di freno

### Sistema di guida

Il sistema di guida resta lo stesso della versione precedente, cioè una struttura in tralicci di alluminio di produzione Litec (11). L'unica modifica apportata è l'inserimento di un ulteriore traliccio di lunghezza 4 m per portare quindi la dimensione totale della catapulta ad una lunghezza di circa 12 metri in modo da poter avere a disposizione più spazio sia per accelerare che per frenare il tutto.

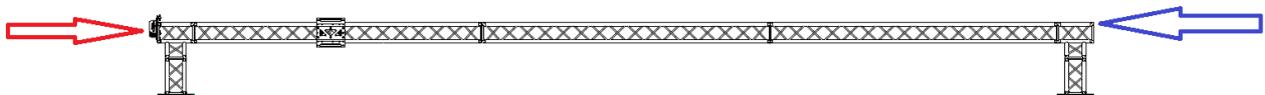


Figura 0-2 Orientazione forze sulla struttura

L'intera struttura verrà sottoposta ad un carico, assiale ai tralicci di 15 kN (freccia rossa) e un carico assiale ai due correnti superiori (freccia blu) pari a un massimo di 30 kN con probabili effetti dinamici durante le prove da eseguire.

In collaborazione con l'ufficio tecnico della ditta Litec si è fatta un'analisi della struttura cercando di capire le limitazioni di massima al fine di garantire sempre un coefficiente di sicurezza di  $\gamma = 1.5$  come previsto dagli eurocodici in materia di strutturale.

Verificando la tratta di 12 m di QX30SA con le formule previste da normativa (EC 9) e le azioni seguenti:

$$N = 30 \text{ kN} * 1.5 = 45 \text{ kN}$$

$$M = 30 \text{ kN} * h * 1.5 = 30 \text{ kN} * 0.239\text{m} * 1.5 = 10.8 \text{ kNm}$$

risulta sfruttata all'82.6%

Gli effetti dinamici in questi casi vengono tenuti in conto con una ulteriore amplificazione dei carichi agenti. L'amplificazione del 10% del carico dichiarato porta al pieno sfruttamento del QX30SA.

Questo significa che il coefficiente di sicurezza massimo disponibile per la forza massima di 30 kN è di  $1.5 \cdot 1.1 = 1.65$  rispetto al limite della struttura.



Figura 0-3 Sistema di guida da 12 metri

## Sistema di sostegno

Il sistema di sostegno sfrutta i carrelli derivanti dalla versione precedente andando però a realizzare delle piccole modifiche anche in questi.

## Ruote carrelli laterali

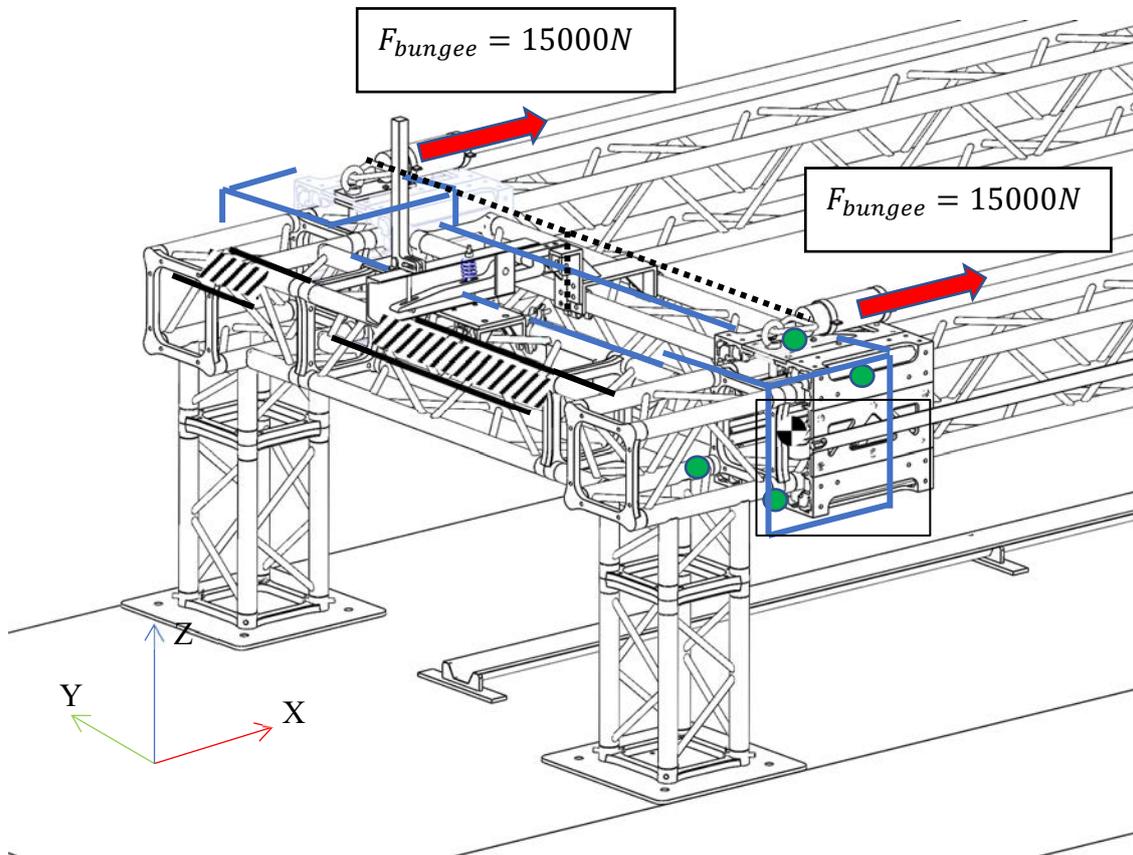


Figura 0-4 Disposizione forze sul carrello

Le forze che sono necessarie ad accelerare e frenare il sistema vanno a scaricarsi principalmente su 8 ruote, attualmente in gomma, e dopo le prove a bassa velocità effettuate con le biciclette si è notato la loro facile usura e prematura rottura.

Quindi sono state progettate e prodotte delle ruote in alluminio con sezione sagomata in modo tale da sostenere il peso su un'area il più grande possibile, ricavando in questo modo pressioni di contatto minori e quindi imbozzare il traliccio il meno possibile durante la fase di frenata. Le dimensioni sono state definite analizzando gli spazi disponibili all'interno del carrello e la geometria dei tralicci principalmente lungo le zone di giunzione.

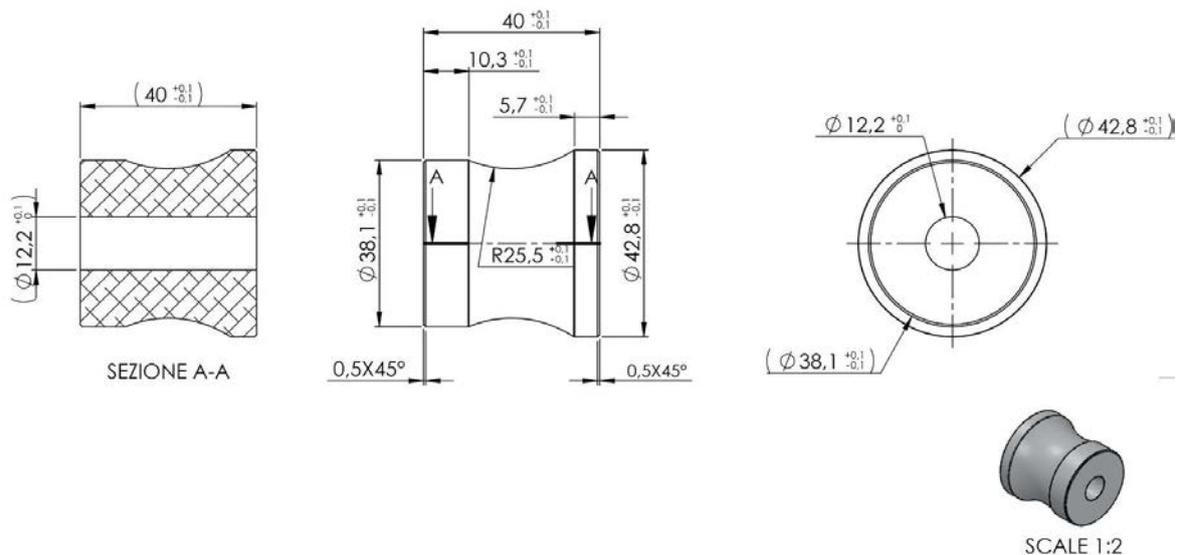


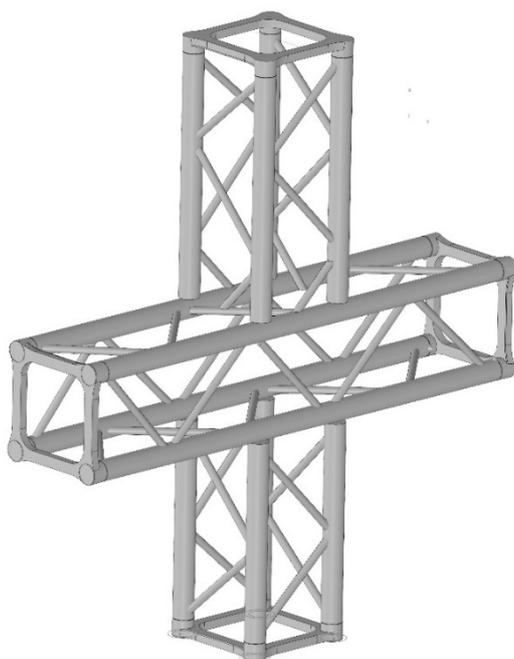
Figura 0-5Messa in tavola ruote in alluminio

## Rinforzo golfari

Sui carrelli laterali sono posti 2 golfari, uno nella parte superiore utilizzato per il fissaggio dell'elastico e uno sul lato inferiore per le corde di frenata, a conseguenza dell'aumento delle forze in gioco si è deciso di inserire delle piastre in acciaio per distribuire meglio lo sforzo su una zona maggiore.

## Traliccio di sostegno centrale

Come conseguenza delle idee di sostegno del manichino nelle sue due versioni, si è fatto produrre un traliccio centrale a forma di croce così da potervi fissare tutti gli attrezzaggi necessari al sostegno della moto.



*Figura 0-6Traliccio a croce centrale*

Su di esso saranno fissati i carrelli ai lati ed una ruota nella faccia inferiore al fine di sostenere il peso dell'intera struttura durante i lanci.

### **Ruota sostegno**

Per far in modo di non gravare eccessivamente sulle ruote dei carrelli durante le prove di lancio, si è posta al di sotto del traliccio centrale una ruota in gomma capace di sostenere fino a 400 kg senza deformarsi.



*Figura 0-7Ruota di sostegno*

Il sistema di collegamento tra i due è stato realizzato tramite piega di una lamiera da 10 mm in acciaio inox, è scelta la piega in quanto le tolleranze geometriche richieste non erano strette ed in questo

modo la produzione risultava molto più facile e quindi rapida. L'acciaio inox è scelto per le sue ottime qualità di resistenza alla corrosione, dettato dall'utilizzo e stoccaggio della struttura nell'ambiente esterno.

## Materiale Litec

Oltre alla struttura formata principalmente dei tralicci di lunghezza 4 metri, sono stati utilizzati altri accessori sempre prodotti dalla stessa azienda, per la facilità di scelta ed acquisto dei componenti. Sono stati molto utilizzati dei morsetti disponibili in 4 versioni:

- Singoli;
- Doppi allineati;
- Doppi ruotati di 90°;
- Doppio rotante;

In questo modo si è riusciti a coprire la richiesta di tutte le richieste necessarie, principalmente per l'attrezzatura necessaria a spingere la moto.

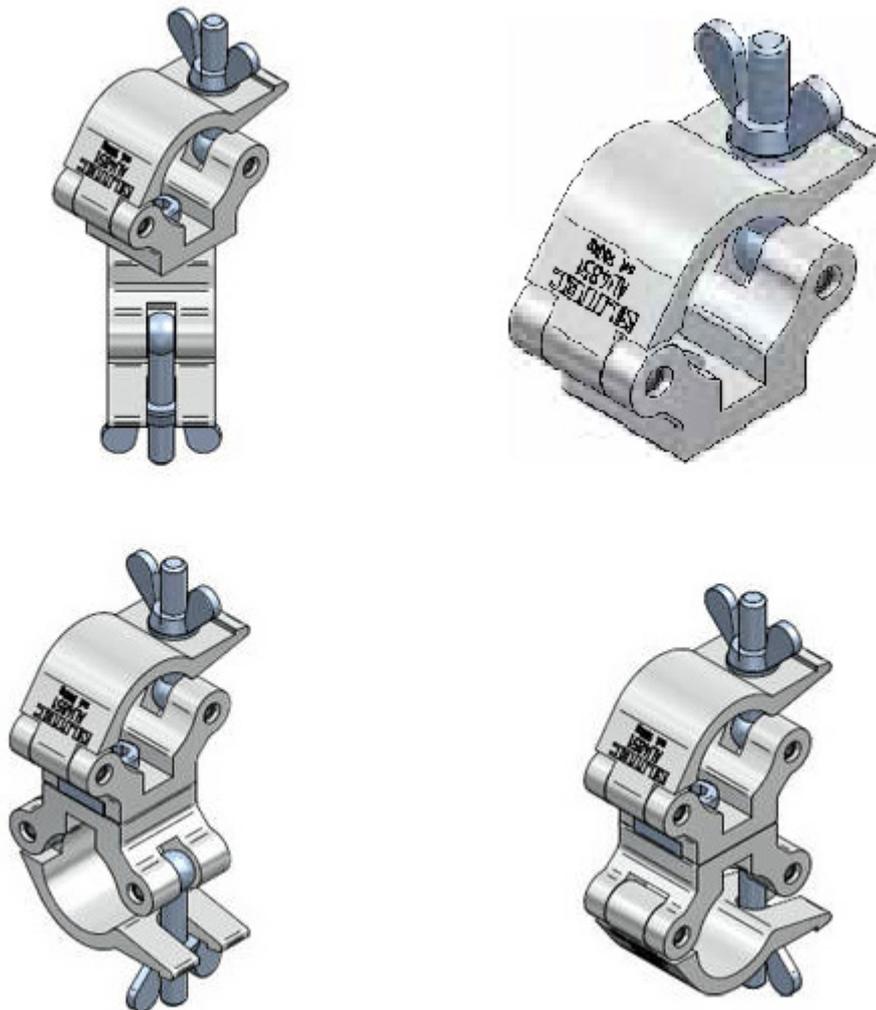


Figura 0-8 Morsetti Litec

Insieme ai morsetti sono stati acquistati anche 4 tubi di lunghezza 6 metri, diametro esterno 50 mm e spessore 3 mm, stesse dimensioni dei tubi che vanno a formare i tralicci. Questi tubi hanno la

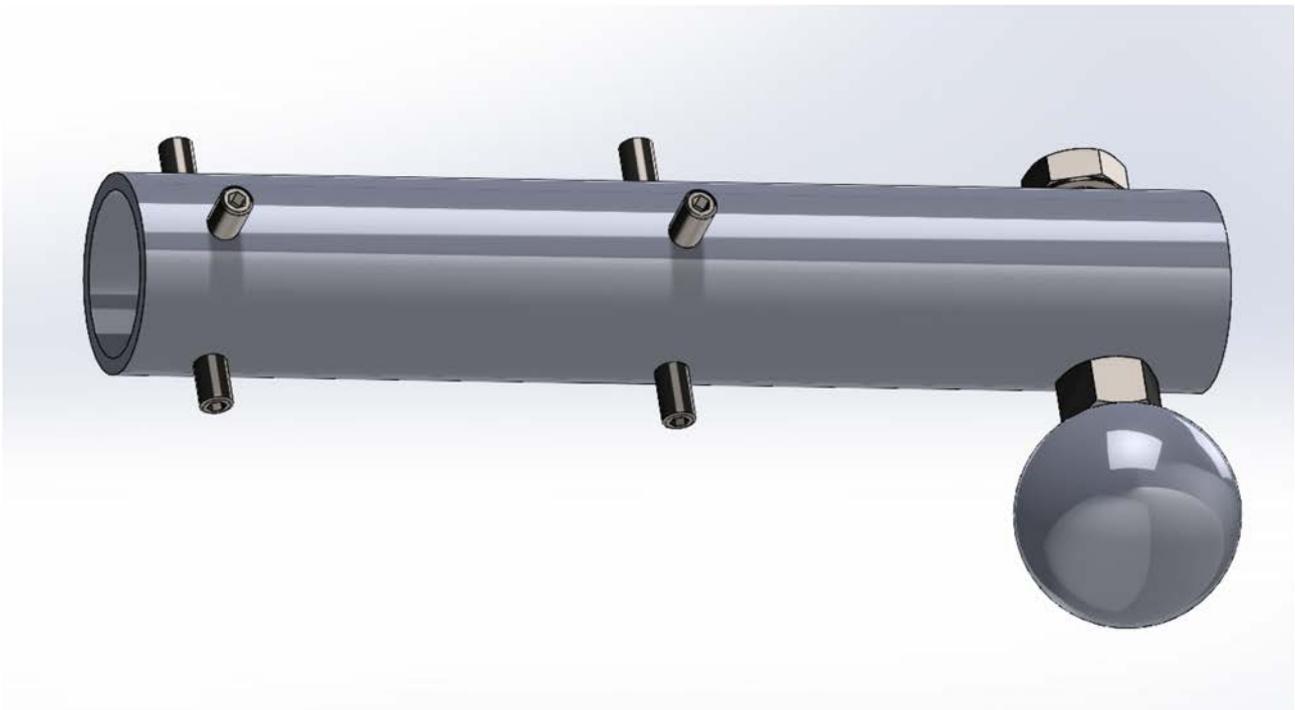
caratteristica di essere anch'essi in alluminio e quindi riescono ad aiutare a tenere bassa la massa del carrello, il loro utilizzo accoppiato all'uso dei morsetti è servito sia per la spinta della moto dall'asse ruota, sia per la tenuta in linea del manubrio.

### **Attrezzaggi per sostegno**

Ad ogni lancio viene preparata ogni moto al fine di togliere tutti gli accessori non necessari e che potrebbero causare problemi durante i test. Infatti si va a rimuovere sia le pompe che le pinze di entrambi i freni in modo da avere più spazio sul manubrio.

Per la spinta nei lanci normali, quindi quelli descritti come 1 e 2 dalla lista 3 già discussa in precedenza, si vuole dare la propulsione applicando la forza ai lati del manubrio tramite prolunghe e dall'asse della ruota posteriore mediante la sua sostituzione.

Le prolunghe sono formate da un tubo di spessore 4 mm e diametro interno 23 mm, fissato al manubrio mediante 8 brugole M6 x 1, in questo modo al variare del diametro del manubrio non è necessario cambiare tutto l'attrezzaggio. Alla sua estremità è fissata una sfera in acciaio di 40 mm forata e filettata M12, così che la spinta possa avvenire da questa e durante il suo rilascio non vi siano problemi dettati dall'incastro.



*Figura 0-9 Attrezzatura spinta manubrio moto*

Di queste prolunghe sono state prodotte 2 versioni, poiché le due famiglie di moto interessate da questi lanci differiscono principalmente dal diametro del manubrio.

### **Spinta posteriore**

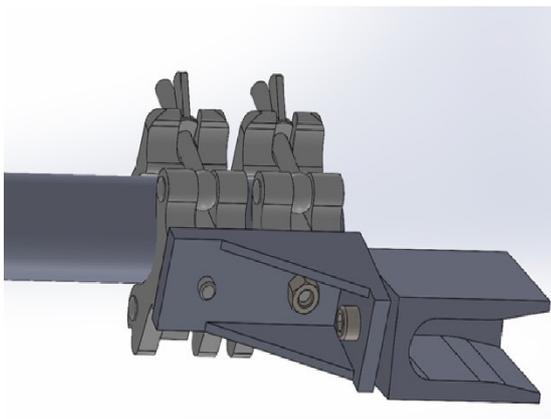
La maggior parte della spinta avviene dall'asse posteriore, infatti questo è stato scelto in quanto sia a moto scarica sia con in sella il manichino, l'altezza da terra non varia di molto quindi rende l'allestimento iniziale molto più semplice.

Come primo passaggio si deve cambiare l'asse della ruota posteriore sostituendolo con una barra filettata M16 circa 20 cm più lunga del normale, inserendovi ai lati delle boccole di diametro esterno 30 mm così da combaciare con la struttura di spinta ad essa accoppiata.



*Figura 0-10 Attrezzatura prolunga asse ruota posteriore*

L'attrezzatura che va ad appoggiarsi al perno è pensata per poter essere facilmente modificabile al variare della moto e della sua posizione, è ricavata per fresatura dal pieno di un blocco acciaio in modo da ricavarvi la sede di 30 mm di larghezza, capace di ospitare l'albero della ruota. Questa è fissata, tramite una staffa, direttamente al traliccio centrale grazie all'utilizzo di tubi e morsetti in alluminio prodotti da Litec.



*Figura 0-11 Attrezzatura spinta posteriore*

## **Spinta manubrio**

Al manubrio, come descritto in precedenza sono fissate alle estremità delle sfere, da queste si è pensato di imprimere parte della forza necessaria a raggiungere la velocità prefissata. Sempre partendo dal traliccio centrale, punto rigido di spinta, sono stati utilizzati dei tubi per allungarsi fino ad arrivare in prossimità del manubrio, in testa a questi è fissato un bicchiere in acciaio in grado di

combaciare con le sfere posizionate sul manubrio e quindi scambiare la forza. Sono realizzati in modo da avere un grado di libertà tale da essere utilizzato per allineare il più possibile il bicchiere alla direzione di lancio e quindi non interferire sull'uscita della moto. Per dare più rigidità ai tubi sono stati controventati allo stesso traliccio in modo da creare dei triangoli di base abbastanza ampia da bloccarne la flessione.



Figura 0-12 Bicchiere spinta manubrio

## Spinta manichino

A questo punto la moto è in grado di stare allineata ed essere accelerata, resta il problema dell'inerzia del manichino, che durante la fase iniziale viene spinto con grande forza in direzione opposta. Per ovviare a questo problema si è realizzata una piccola struttura in alluminio utilizzando tubi e morsetti, che va a sostenere la schiena del manichino.



Figura 0-13 Supporto manichino

È stata pensata per poter essere regolata sia in altezza, andando a variare il punto di fissaggio al traliccio, inoltre può essere cambiata la larghezza della schiena, usata quando viene spinto il manichino lateralmente. A causa della tuta protettiva di HIBRYD III in pelle si è preferito inserire degli stracci in cotone sui tubi di sostegno in modo da ridurre l'attrito tra i due e favorire l'uscita.

## Sistema di accelerazione

Anche in questa versione si continua a mantenere l'energia potenziale elastica come propulsione del sistema, in quanto non necessita di grossi collegamenti alla linea elettrica e inoltre rende molto facile e veloce l'assemblaggio della slitta.

I parametri di progetto sono cambiati, infatti ora si vuole effettuare prove con

- Velocità d'uscita = 50 km/h;
- Massa complessiva = 400 kg;

Come primo step è stata fatta una attenta caratterizzazione degli elastici esistenti in modo tale da poter ricavare informazioni necessarie per il presunto acquisto di bungee sovradimensionati alla versione precedente. Si pensa infatti che non essendo elastici di tipo ideale, le sue caratteristiche varino a causa di temperatura, allungamento e efficienza in dinamica.

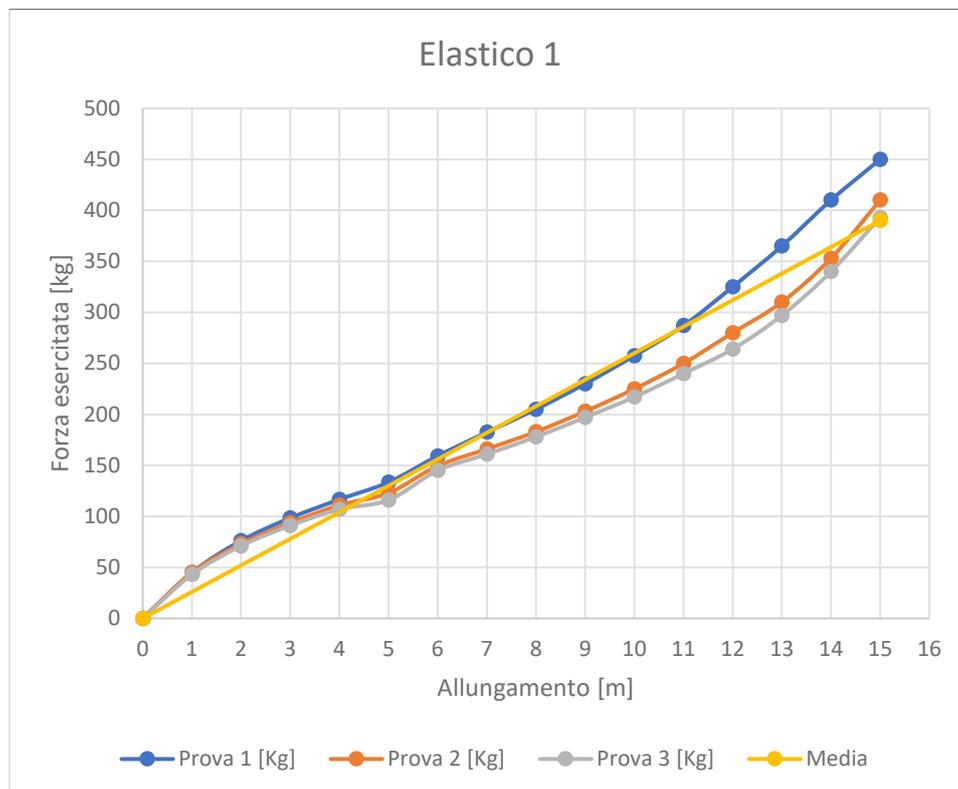
## Prova statica

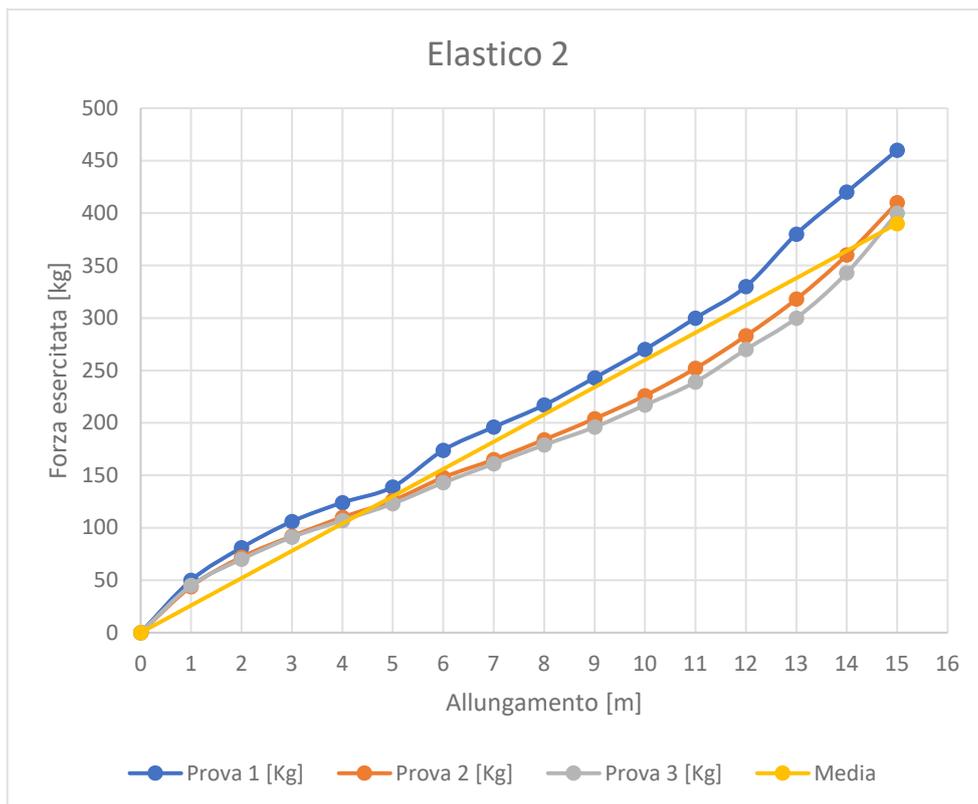
Per fare questo si è allestita solamente mezza slitta, così da avere un traliccio di 12 m con carrucola nella parte anteriore e verricello strumentato con celle di carico in quella posteriore. È stata effettuata una caratterizzazione statica arrivando fino ad un allungamento del 300% della lunghezza iniziale e misurando la forza esercitata ad ogni step.

Allungamento	Elastico 1			Elastico 2			Scarica prova 3
	Prova 1	Prova 2	Prova 3	Prova 1	Prova 2	Prova 3	
[m]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]	[Kg]
0	0	0	0	0	0	0	-6
1	45	45	43	50	44	45	24
2	76,1	73	71	81	72	70	49
3	98,4	93,8	91	106	92	91	70
4	116,6	111	107	124	110	107	87
5	133,5	123	116	139	126	123	100
6	159,3	149,5	145	174	148	143	119
7	182,5	166	161	196	165	161	131
8	205	183	178	217	184	179	141
9	230	203	197	243	204	196	149
10	257,5	225	217	270	226	217	159
11	287	250	240	300	252	239	172
12	325	280	264	330	283	270	192
13	365	310	297	380	318	300	220
14	410	353	340	420	360	343	269
15	450	410	393	460	410	400	

Elastico 1			Elastico 2		
K1	K2	K3	K1	K2	K3
[Kg/m]	[Kg/m]	[Kg/m]	[Kg/m]	[Kg/m]	[Kg/m]
0	0	0	0	0	0
45,0	45,0	43,0	50,0	44,0	45,0
38,1	36,5	35,5	40,5	36,0	35,0
32,8	31,3	30,3	35,3	30,7	30,3
29,2	27,8	26,8	31,0	27,5	26,8
26,7	24,6	23,2	27,8	25,2	24,6
26,6	24,9	24,2	29,0	24,7	23,8
26,1	23,7	23,0	28,0	23,6	23,0
25,6	22,9	22,3	27,1	23,0	22,4
25,6	22,6	21,9	27,0	22,7	21,8
25,8	22,5	21,7	27,0	22,6	21,7
26,1	22,7	21,8	27,3	22,9	21,7
27,1	23,3	22,0	27,5	23,6	22,5
28,1	23,8	22,8	29,2	24,5	23,1
29,3	25,2	24,3	30,0	25,7	24,5
30,0	27,3	26,2	30,7	27,3	26,7
29,5	26,9	25,9	31,2	26,9	26,2

Sono state svolte 3 prove di carico per ogni elastico, quindi un totale di 6 test, a p Valore medio svolto l'analisi dati si è riscontrato un andamento pressoché lineare dell'elastico, sapendo benissimo che in qualche modo ci si sposta dalla perfezione. Si nota una costante elastica leggermente più elevata durante i primi test che è causato da una prima distensione delle fibre, per poi stabilizzarsi intorno ad una media di circa 255 N/m, inoltre si sono notati carichi praticamente uguali su entrambi gli elastici andando a paragonarli agli stessi allungamenti percentuali.



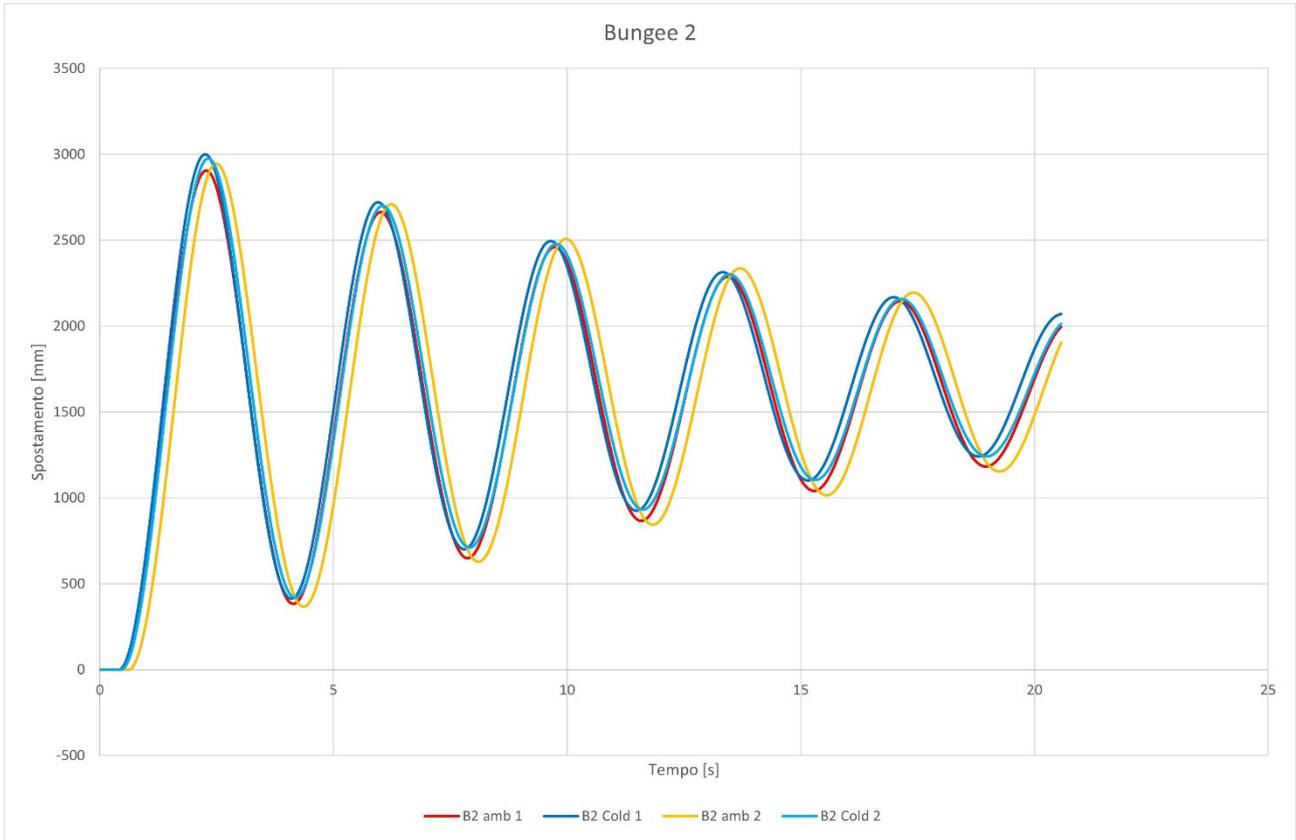
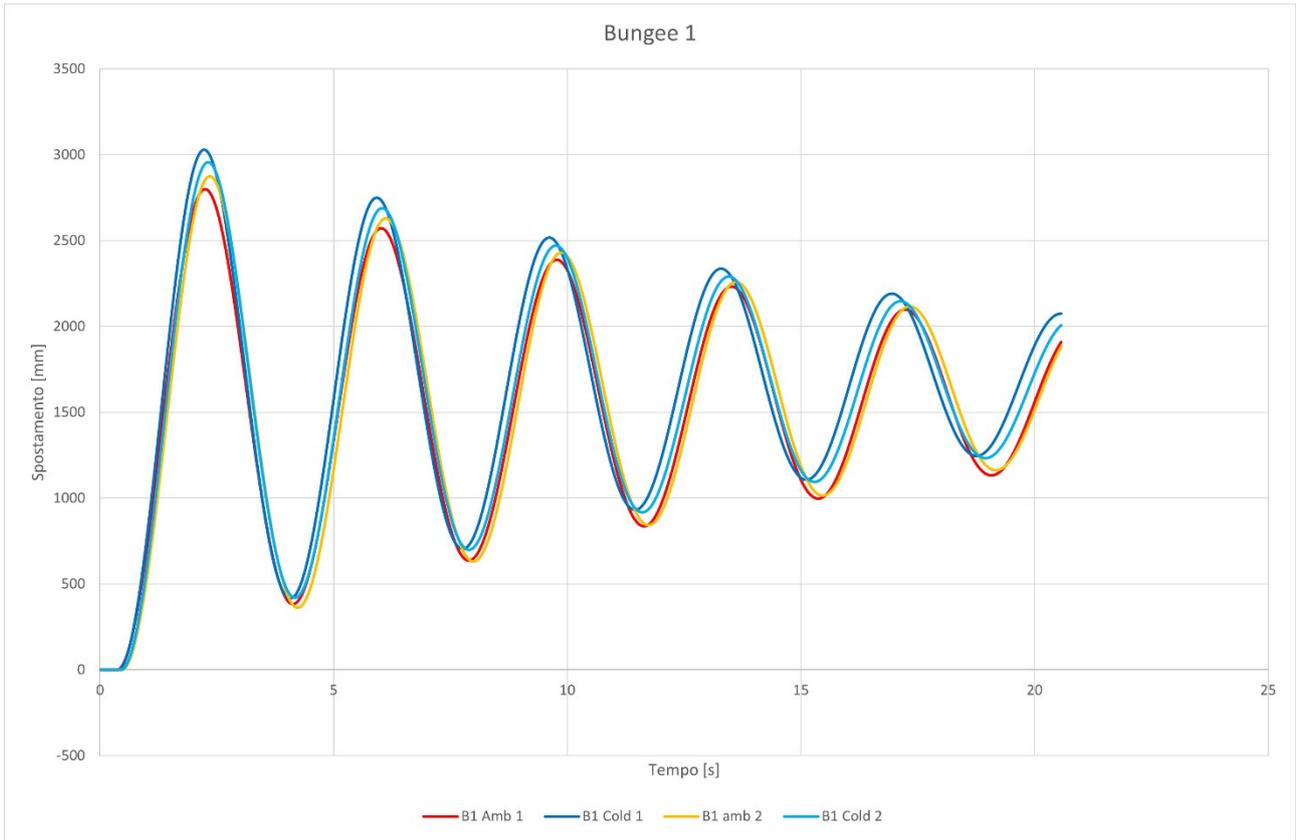


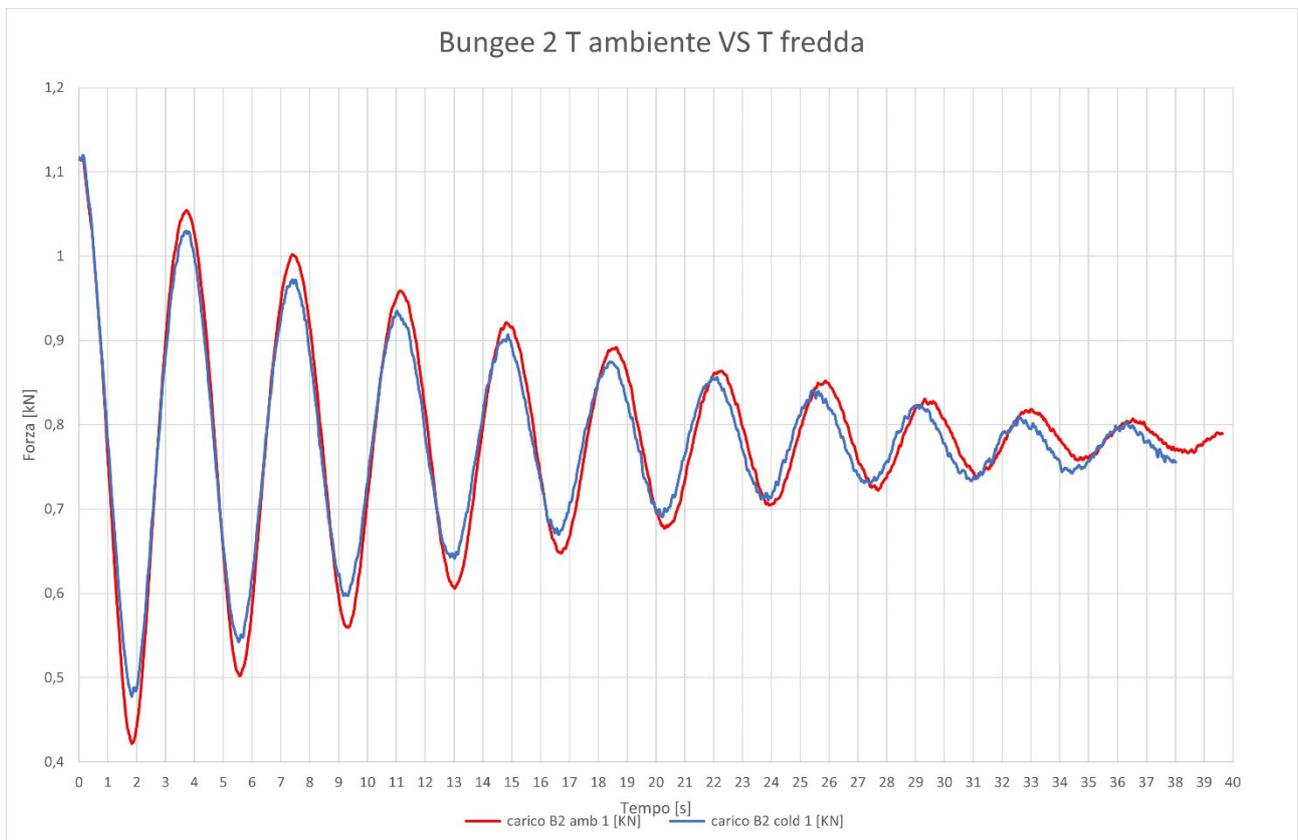
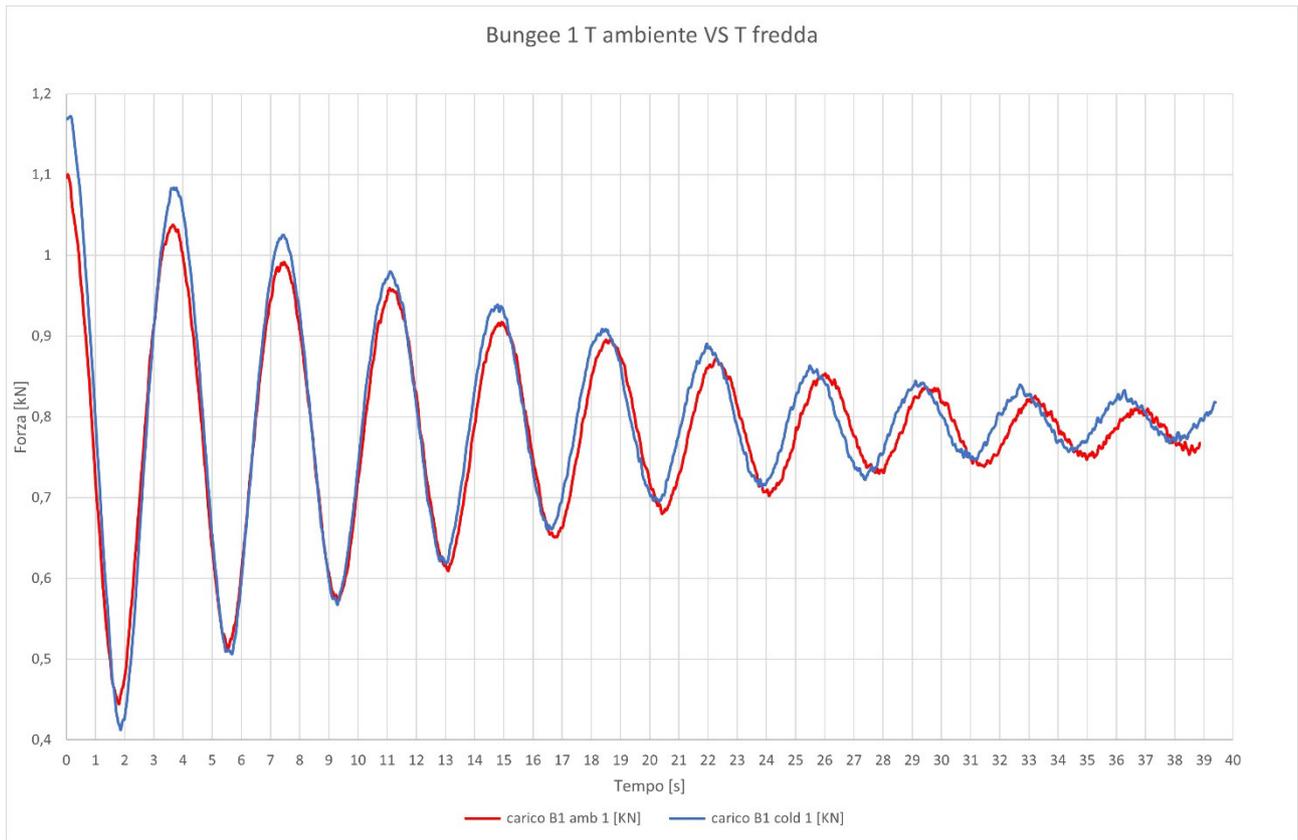
### **Incidenza della temperatura**

In un secondo momento si è voluto testare le prestazioni degli elastici al variare della temperatura di utilizzo, in quanto inizialmente i test finali si sarebbero svolti in pieno inverno quindi con una temperatura attorno allo 0°C. Per fare questo si è allestito un test veloce all'interno di una torre di caduta utilizzata di solito per prove dinamiche su corde da arrampicata, la prova in questo caso consisteva nel fissare inizialmente una massa di 80 kg alla base, all'interno di rotaie dotate di sensore di spostamento, e caricare l'elastico fino al 100% della deformazione allungandolo tramite un verricello posto nella zona superiore, anch'esso dotato di cella di carico per misurare le forze in gioco.

Dopo lo sgancio della massa si è andati ad analizzare gli spostamenti e le forze al variare della temperatura, infatti i test si sono svolti a temperatura ambiente 23°C ed a freddo con gli elastici condizionati in cella a 0°C.

Sono state svolte 2 prove a T ambiente e 2 prove a T fredda per entrambi gli elastici.





Da un'attenta analisi dei risultati non si nota una variazione di prestazioni durante le prove, forse causata anche dal poco allungamento applicato (100%). Si nota solamente un leggero incremento

della frequenza di oscillazione negli elastici condizionati a freddo, poiché questi acquisiscono una rigidità maggiore.

Alla fine di queste prove si può affermare che lavorare a temperature vicine allo 0°C non influisce sulle prestazioni degli elastici, solamente sulla frequenza di oscillazione, ma nel nostro caso non incide sulla qualità della prova.

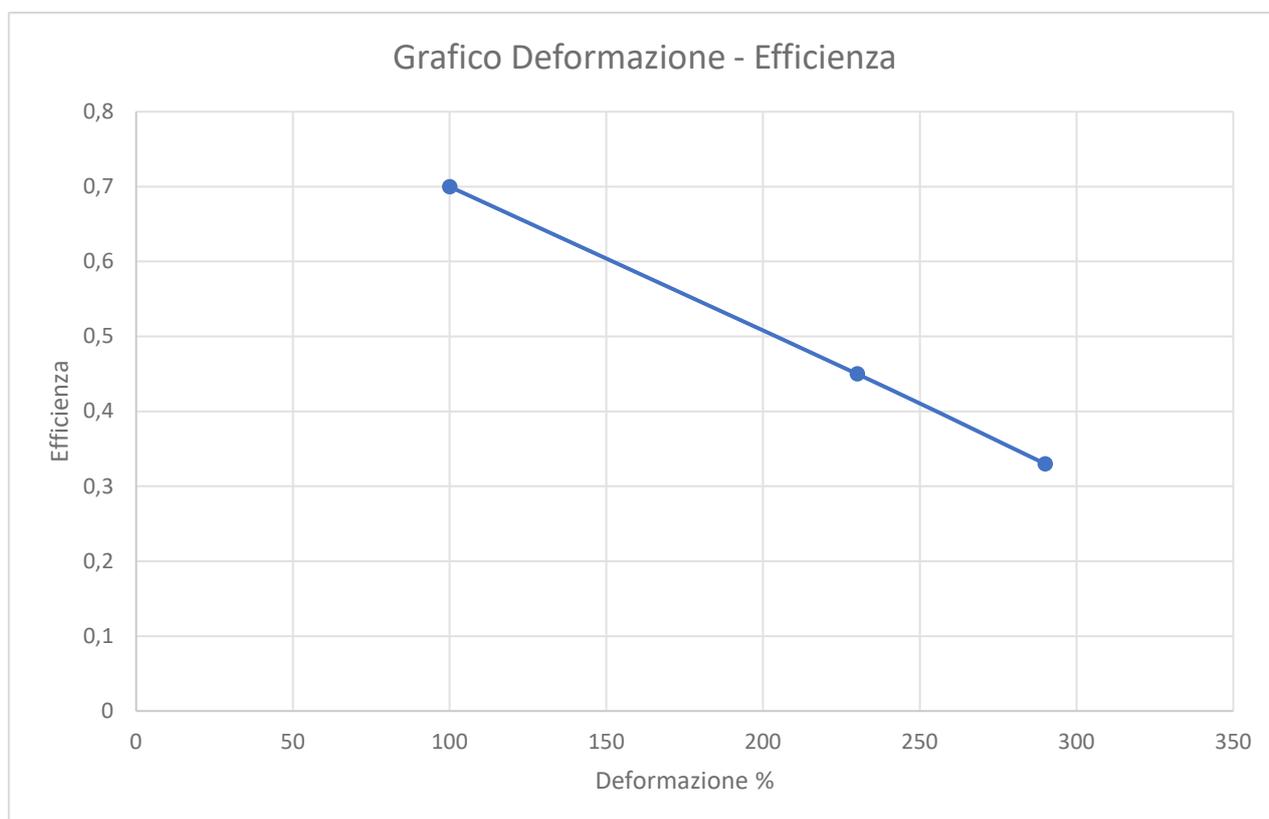
### Incidenza dell'allungamento

L'ultima prova eseguita si tratta di 3 lanci di una stessa moto al variare della deformazione dell'elastico, analizzando infatti l'influenza dell'allungamento sulla velocità d'uscita e capire se ci fosse una correlazione matematica tra i due.

Si sono effettuate prove con una deformazione del 290%, 230% e 100%, analizzando le velocità d'uscita ed anche l'efficienza del sistema ricavata paragonando le energie iniziali disponibili, conoscendo la deformazione, in confronto alla velocità della moto in uscita, sapendo la sua massa.

$$\mu = Ec / Ep$$

Nome	Deformazione	Velocità iPhone	Velocità GoPro8	Efficienza
S4_P1	290%	42 km/h	42 km/h	0.33
S4_P2	230%	37.5 km/h	37.5 km/h	0.45
S4_P3	100%	25 km/h	25 km/h	0.7



Dall'analisi dei dati si nota una correlazione lineare tra deformazione impressa ed efficienza del sistema, cioè gli elastici fanno più fatica a trasferire la loro energia alla moto più sono tirati all'estremo. Quindi in fase di ordine di nuovi elastici si pensa di acquistarne un paio di elastici tali da farli lavorare intorno al 200 % di deformazione avendo in questo modo un incremento di energia del 20 %.

## Caratteristiche nuovi elastici

Basandosi sulle prove effettuate si sono fatte delle considerazioni:

- Lunghezza elastici tale da sfruttare al massimo la corsa disponibile, ipotizzando di arrivare al massimo al 300% di allungamento;
- Scegliere una costante elastica media tale da soddisfare le richieste del problema pensando di lavorare al 200 %;

Partendo da questo e conoscendo la lunghezza disponibile sulla catapulta che si aggira attorno ai 28 metri, si ricava una lunghezza iniziale dei nuovi elastici di 7.5 m. Per ricavare la costante elastica media si va ad invertire la relazione sulla conservazione delle energie, inserendovi all'interno un fattore di perdita pari a 0.5 riferitosi ad un allungamento ipotizzato di lavoro del 200 %.

$$0.5 * K * \Delta x^2 * \mu = 0.5 * M * v^2$$

Inserendo:

- $M = 400 \text{ kg}$ ;
- $\Delta x = 15 \text{ m}$ ;
- $v = 13.8 \text{ m/s}$ ;
- $\mu = 0.5$ ;

Si ricava una costante elastica  $K = 650 \text{ N/m}$  ed una lunghezza iniziale  $L_0 = 7.5 \text{ m}$ .

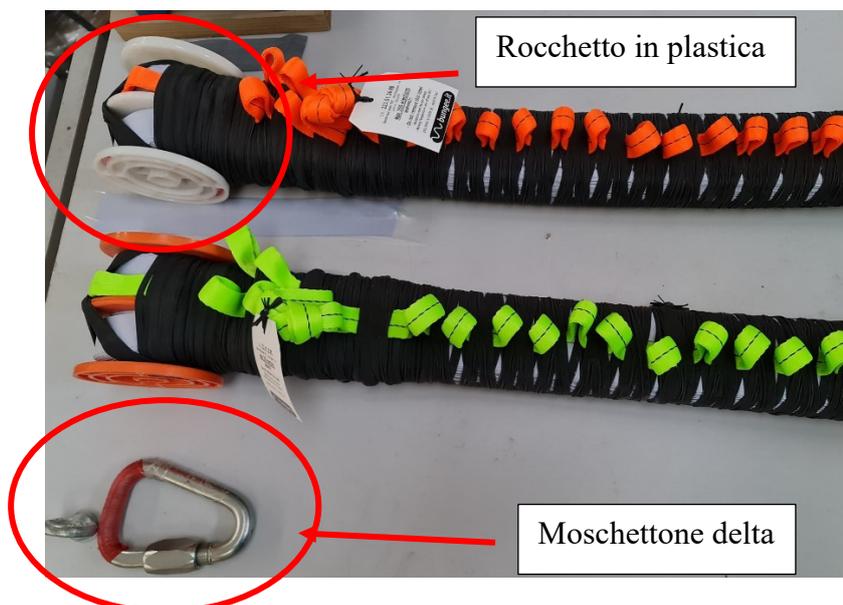


Figura 0-14Nuovi elastici

A causa dell'incremento di sezione dell'elastico dettato dalla maggiore costante elastica, si passa da un diametro di 50 mm ad una versione maggiorata che raggiunge 80 mm, creando problemi sul sistema di aggancio che finora era formato da un moschettone a delta, mentre nel nuovo modello devono essere utilizzati dei rocchetti in plastica da diametro e larghezza di 120 mm.

Le forze in gioco in questo momento iniziano ad aumentare, infatti pensando di lavorare alle condizioni di utilizzo più gravose cioè al 300 % di deformazione, si hanno delle forze su ogni elastico pari a 15000 N, quindi va effettuata un'attenta analisi ai sistemi di aggancio degli elastici alla struttura.

Si è deciso di utilizzare un albero in acciaio da 27 mm di diametro e lunghezza totale 170 mm, forato e fissato 2 golfari M12 in modo da riuscire a sfruttare il foro interno ai rocchetti in plastica dettati come vincolo dal costruttore. I golfari andranno collegati mediante l'uso di moschettoni ad un rigging-plate e da questo riuscire ad avere un solo punto di ancoraggio.

Facendo una veloce analisi si presume di avere uno sforzo massimo dettato principalmente dalla flessione della spina pari a 157 MPa, quindi un fattore di sicurezza pari a 1.65.

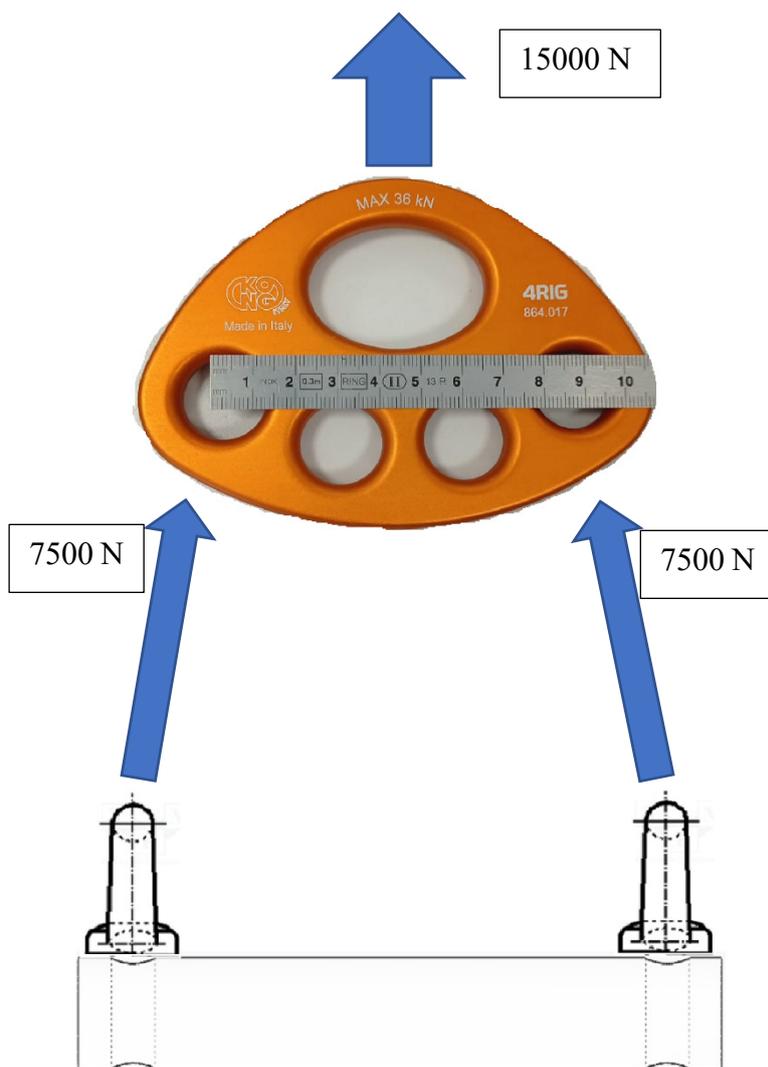


Figura 0-15Idea di fissaggio nuovi elastici

## Sistema di carrucole

Un altro problema dettato dall'incremento di prestazioni richieste è la sostituzione delle pulegge in testa al sistema di lancio, infatti con l'acquisto dei nuovi elastici di diametro di circa 80 mm, in coppia vanno sostituite le pulegge.

Sono state ridisegnate avendo come unica accortezza l'utilizzo della stessa piastra di supporto in modo da contenere i costi per la produzione. Quindi si hanno avuti queste limitazioni:

- Diametro massimo puleggia 375 mm;
- Gola nella quale scorre l'elastico di larghezza 90 mm
- Cercare di mantenere abbastanza allineato con il centro del traliccio il tiro dell'elastico;

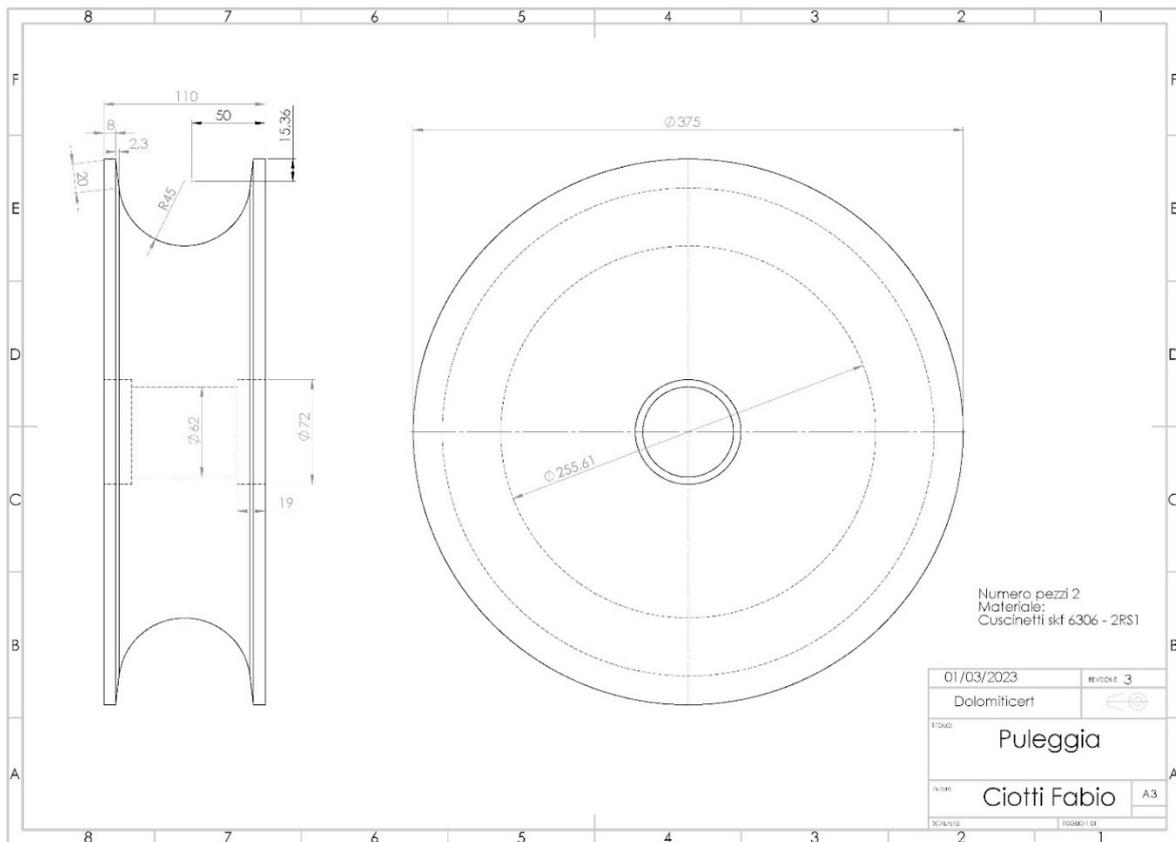


Figura 0-16Messa in tavola nuove pulegge

Con i limiti dettati dalla geometria si è ricavata l'unica forma possibile che garantiva buone prestazioni ed allo stesso tempo buone caratteristiche meccaniche capaci di garantire resistenza alle forze in gioco. Su di essa infatti andrà a scaricarsi il doppio della forza dell'elastico quindi un totale di 30000 N, come materiale è stato scelto il nylon (16) per le sue buone caratteristiche di resistenza meccanica e leggerezza al fine di non produrre inerzie causate dalla rotazione troppo elevate.

Il punto critico risulta essere la sede del cuscinetto, quindi al fine di ridurre le pressioni massime in gioco si è cercato un cuscinetto di grandi dimensioni che risulta essere SKF 6306 – 2RS1 (14). Da queste dimensioni si ricava una pressione massima in gioco pari a 8.61 MPa e con una resistenza a rottura di 80 MPa si riesce a garantire un coefficiente di sicurezza di 9.



**SKF**®

Dimensioni

Diametro esterno	72 mm
Diametro foro	30 mm
Larghezza	19 mm

Figura 0-17 Cuscinetti SKF

Un'altra analisi è stata attuata riguardo alla spina ed alla sua resistenza sotto quegli alti carichi, ma anch'essa ha superato l'analisi infatti presenta uno sforzo massimo di 139 MPa ed un coefficiente di sicurezza di 1.87.



Figura 0-18 Messa in tavola nuovo perno pulegge

Il supporto della puleggia viene riutilizzato il precedente, creando solamente 2 fori in più causati dall'allargamento della nuova puleggia.

## Sistema di carica

Sempre conseguenza delle forze massime dei nuovi elastici si è dovuto sostituire i verricelli posti nella parte posteriore della slitta inquanto quelli precedenti garantivano una tenuta fino ad un massimo di 600 kg, ma attualmente si parla di raggiungere i 1500 kg.

Si sono scelti verricelli di grosse dimensioni e peso prodotti da Officine Iori modello DM 800 E che garantiscono un sollevamento massimo di 800 kg, ma sfruttando l'intera disponibilità dei 60 m di corda si riesce a far lavorare il verricello con 4 tiri e quindi raggiungere una capacità di tiro massima pari a 1600 kg. Al capo finale della corda è stata fissata una cella di carico con capacità massima 500 kg, quindi dal quadro centrale si riesce comunque a capire la forza esercitata dall'elastico andando a moltiplicare per quattro il valore letto.



Figura 0-19 Verricelli ioni officine

Sono stati realizzati anche nuovi supporti dei verricelli realizzati utilizzando prevalentemente scatolato da 50 x50 di spessore 3 mm e travi UPN 50, ma questa struttura non risulta essere molto caricata in quanto si prende solamente  $\frac{1}{4}$  della forza totale, i restanti  $\frac{3}{4}$  vanno a scaricarsi direttamente sui tralicci in alluminio, questa risulta caricata al massimo di 400 kg.

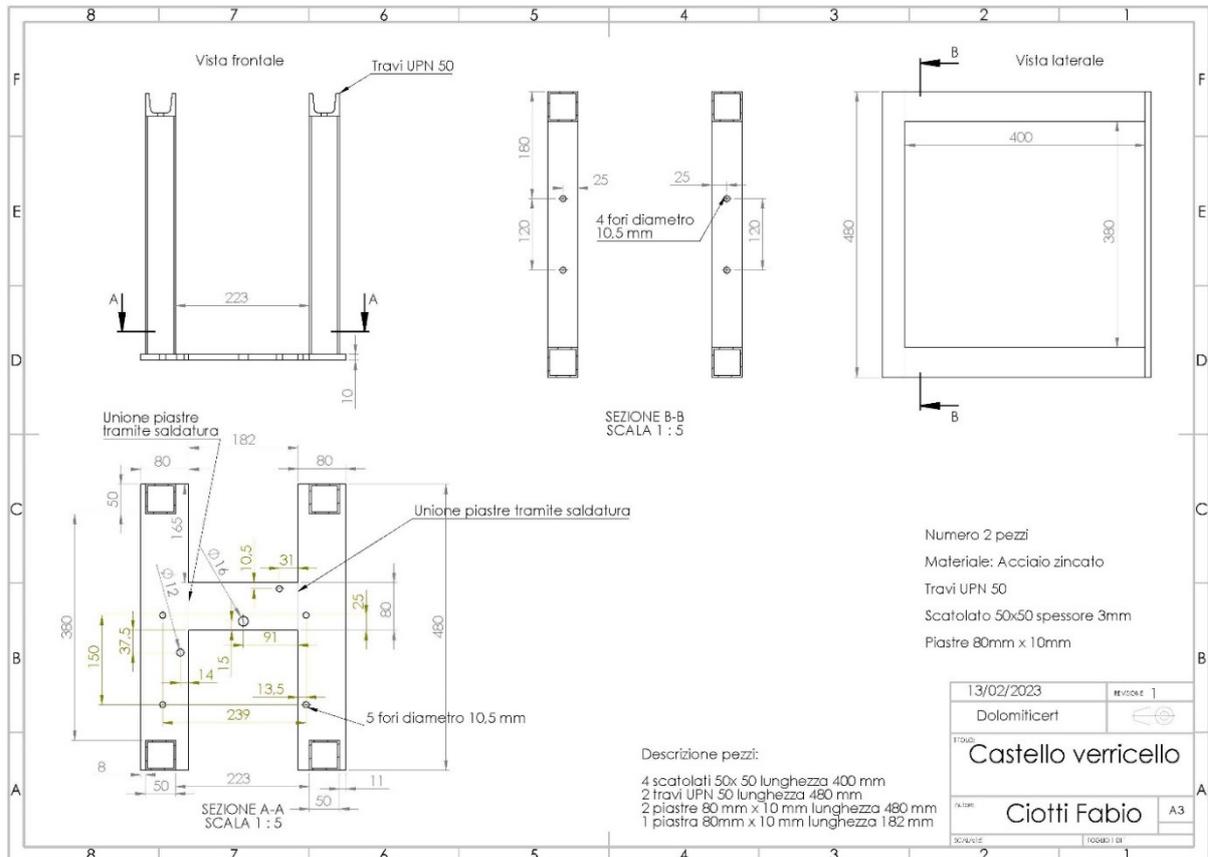
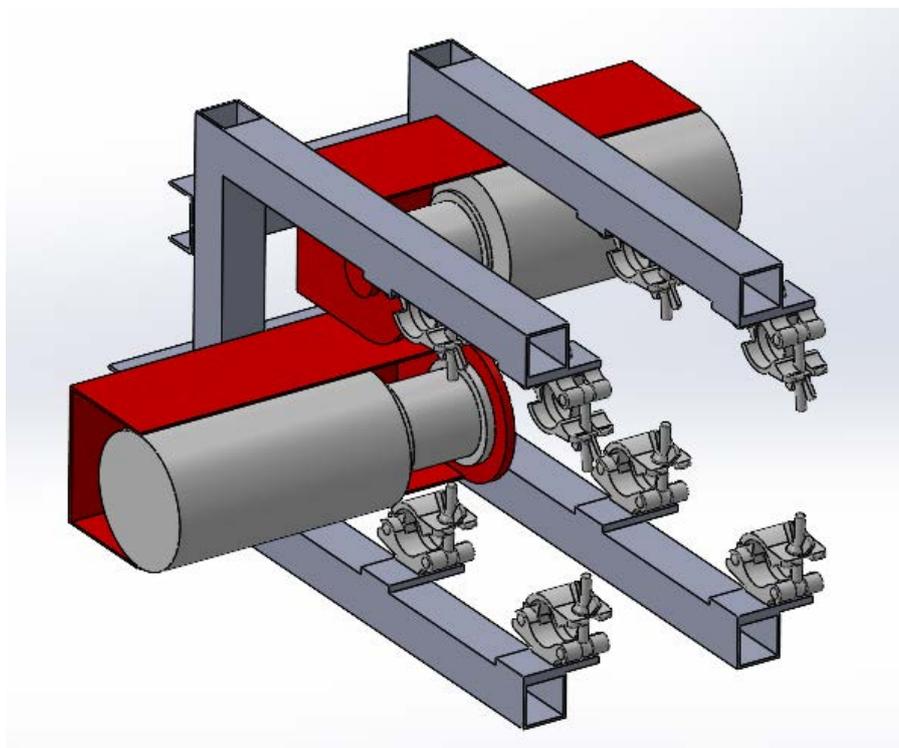


Figura 0-20 Messa in tavola sostegno verricello

Oltre la sostituzione dei verricelli laterali, si è dovuto maggiorare anche il sistema di tiro dell'argano centrale perché inizialmente risulta essere caricato dagli elastici fino a che non si arretra il carrello fino alla zona posteriore, una volta agganciato questo verricello resta presente solamente come sistema di sicura.

Il carico che deve vincere è dettato dall'allungamento di 6 m degli elastici, infatti a conseguenza dell'impossibilità di far scavallare gli elastici sulle pulegge anteriori, questo risulta essere il punto di massimo allentamento. Di 7.5 m disponibili, 1.5 m sono necessari per ruotare attorno alla puleggia ed i restanti 6 m per arrivare al centro dei tralicci, quindi la deformazione necessaria in questa fase risulta essere minimo 6 m con una conseguente forza esercitata di 7800 N.

La soluzione è stata trovata utilizzando i 2 verricelli laterali utilizzati nella catapulta 2.0, questi sono in grado di sollevare 6000N (in corda doppia), infatti si è scelto di mettere entrambi i verricelli in coppia e quindi raggiungere una capacità di carico di 12000 N ed una corsa massima di 9 m. In questo modo la risultante di tiro risulta essere allineata con il centro del traliccio e quindi non causa i problemi di torsione riscontrati nella precedente versione.



*Figura 0-21 Configurazione verricelli centrali*

Al fine di avere le risultanti di tiro dei singoli verricelli ben allineate si è deciso di fissarli ad una struttura di sostegno l'uno opposto all'altro. Lo spazio residuo tra i due verricelli risulta essere molto basso in modo da compattare gli argani all'interno della dimensione massima dei tralicci, cioè 30 cm e quindi avere una struttura semplice e leggera.

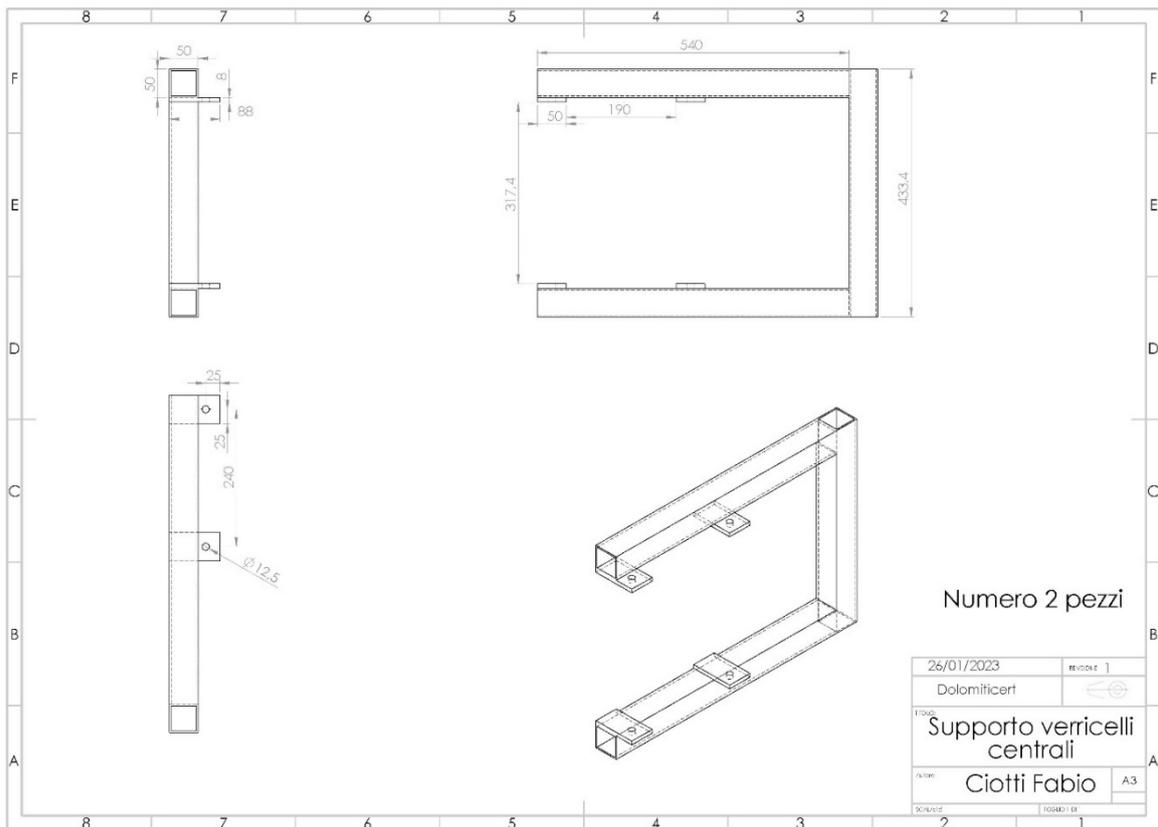


Figura 0-22Messa in tavola struttura verricelli centrali

Il verricello centrale si fissa al carrello sempre attraverso lo stesso sistema utilizzato nella precedente versione, cioè utilizzando un attuttore lineare elettrico azionato da remoto. È stata disegnata nuovamente anche la struttura necessaria al sostegno, perché risultava fondamentale traslarla verso l'alto al fine di allinearsi con la linea di tiro dei verricelli centrali. Anche in questo caso si sono utilizzate travi UPN 50 fatta lavorare insieme ad una piastra in acciaio inox per il fissaggio di tutti i componenti dell'attuttore.



Figura 0-23Fissaggio verricelli centrali al carrello

## Sistema di rilascio

Il sistema di rilascio non è stato rivoluzionato come avvenuto per i verricelli, la versione di base era formata da un'elettrocalamita azionata sempre dal quadro generale, capace di sviluppare una forza di tenuta pari a 15000 N. L'upgrade consiste anche in questo caso di accoppiare in parallelo due sistemi uguali, cioè spostare il sistema precedente dalla zona centrale e posizionarlo ai lati in modo simmetrico. I magneti sono fissati alla struttura tramite piastre in acciaio inox e 4 morsetti Litec.

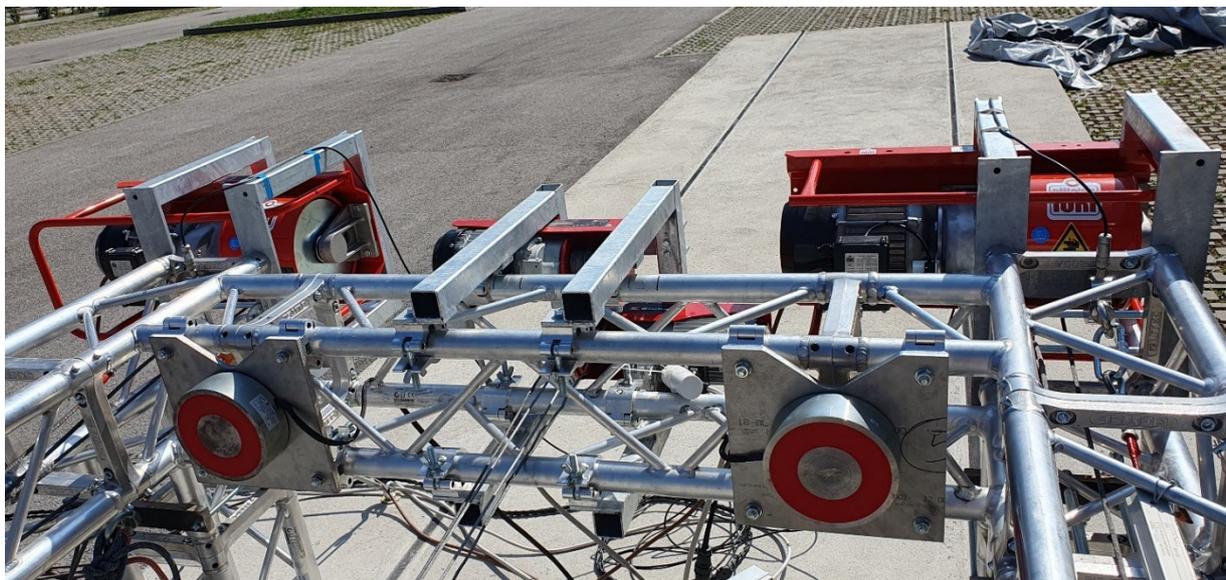


Figura 0-24 Assieme struttura posteriore

Questo sistema di rilascio funziona solamente se ben accoppiato con piastre in ferro fissate alla struttura del carrello, per fare ciò sono stati utilizzate le travi UPN 50 che hanno una geometria tale da avere un momento d'inerzia elevato e quindi riuscire a restare bassi di dimensioni e masse. Si è preferito fissare i dischi in ferro mediante 2 fori filettati in modo tale da avere un braccio disponibile alla forza il più corto possibile e ricavare un momento flettente sulla trave basso.

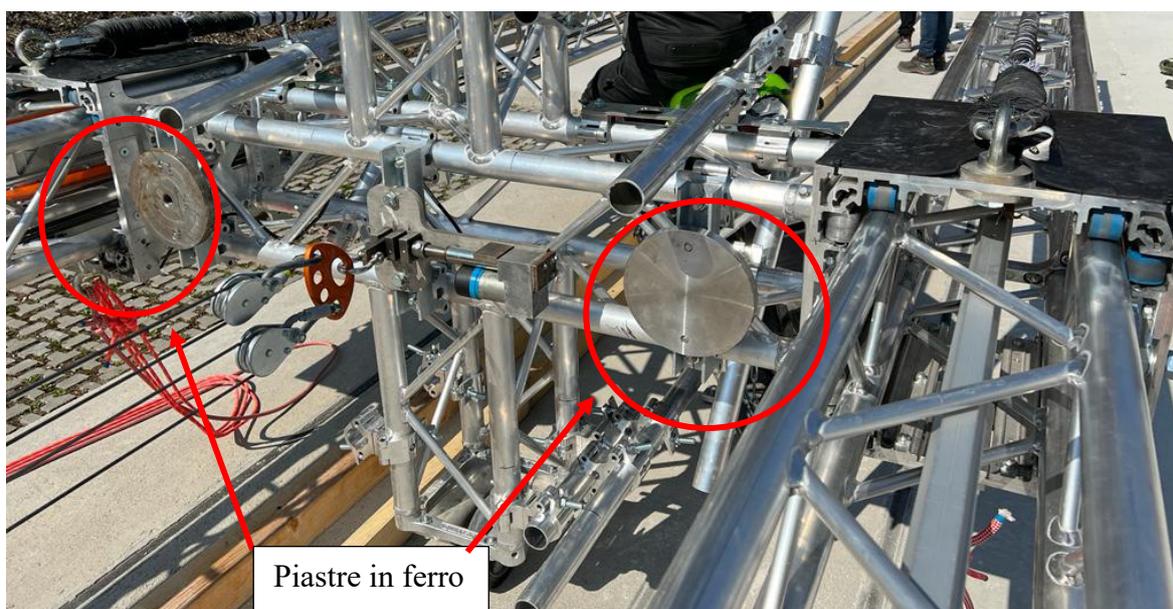


Figura 0-25 Assieme vista carrello

## Sistema di freno

A questo punto resta solamente da frenare il carrello in moto una volta raggiunta la quota di arresto normalmente fissata attorno ai 9 metri dalla partenza. Il sistema di freno viene utilizzato il precedente, cioè un insieme di corde dinamiche e statiche disposte in parallelo capaci di dissipare tutta l'energia cinetica del carrello senza arrivare ad impatti sulle torrette anteriori. In questa versione si andrà inizialmente per le prove pilota di verifica degli attrezzaggi si utilizzeranno sempre 3 corde di lunghezza maggiore in modo da raggiungere una quota di frenata attorno ai 10 m, successivamente per le prove a massima potenza, cercando di raggiungere i 50 km/h si andrà ad aggiungere un'ulteriore corda, anch'essa formata da 60 % statica e 40 % dinamica.

<b>Tipo di prova</b>	<b>Quota di arresto</b>	<b>Lunghezza corde</b>	<b>N° e tipo di corde</b>
Prove Pilota moto	9 - 10 m	10 m	3 corde giuntate per ciascun lato: 4 m corda dinamica + 6 m corda statica. In aggiunta una corda statica di 11 m come sicurezza finale
Prove Moto 50+ km/h	9 m	10 m	4 corde giuntate per ciascun lato: 4 m corda dinamica + 6 m corda statica. In aggiunta una corda statica di 11 m come sicurezza finale

Si va inoltre a fissare una corda puramente statica di lunghezza 11 m in modo da bloccare un eventuale eccesso di energia non dissipata dalle precedenti corde ibride, prima di giungere ad un impatto con la struttura di sostegno posta nella parte anteriore.

## Attrezzaggio prove Low Side

### Descrizione low side



*Figura 0-26 Low side stradale*

Il low side è un tipo di incidente motociclistico o ciclistico che di solito si verifica in curva. È causato quando la ruota anteriore o posteriore scivola fuori a causa di troppa frenata in curva, troppa accelerazione in entrata o uscita di una curva, o troppa velocità durante la curva per l'aderenza disponibile. Può anche essere causato da materiale scivoloso sulla superficie stradale o da una sua variazione di composizione.

Tutte le forze orizzontali che si verificano tra la motocicletta e la strada (come accelerazione, decelerazione e sterzata) vengono trasmesse per attrito nelle zone di contatto. C'è una quantità limitata di forza che ciascuna zona può trasmettere prima che lo pneumatico inizi a scivolare. In genere, la forza massima d'attrito una volta scivolato è leggermente inferiore rispetto a prima dello scivolamento.

Quando si percorre una curva, gli pneumatici forniscono la forza centripeta necessaria per l'accelerazione verso il centro della curva. Il momento di ribaltamento fornito dalla gravità che agisce sul baricentro della motocicletta quando si piega in curva è bilanciato da un momento di raddrizzamento generato dalle forze centripete nelle zone di contatto quando tutto funziona correttamente. Se, dopo aver raggiunto un dato angolo di inclinazione, le forze centripete si riducono, la motocicletta aumenta il suo angolo di inclinazione fino a toccare la superficie stradale, di solito spodestando il pilota nel processo.

Se invece si procede in moto rettilineo, una caduta low side può essere provocata da una frenata eccessiva della ruota anteriore o dal passaggio su di una zona scivolosa e quindi causare una perdita

di attrito sulla ruota anteriore e provocare una perdita di controllo della moto e la sua immediata caduta.



*Figura 0-27Low side off-road*

## **Attrezzaggio low side**

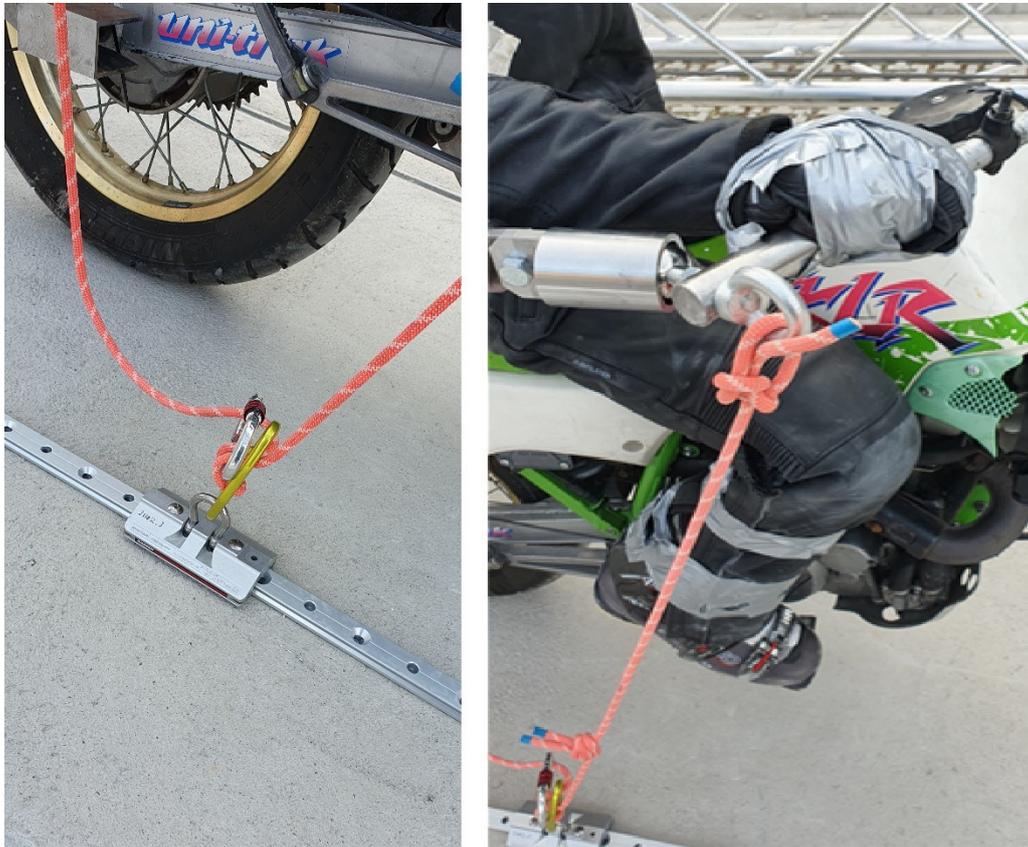
Una caduta low side causata da una perdita di controllo in curva è impossibile da riprodurre tramite la catapulta 3.0, in quanto mancherebbero tutte le componenti di accelerazione e velocità angolare presenti durante la percorrenza di una curva. Si è pensato quindi di portare avanti l'idea di una caduta per perdita d'attrito sulla ruota anteriore come avviene normalmente durante il passaggio su superfici scivolose come acqua o fango.

L'idea generale si basa sul fatto di far avvenire un normale lancio dritto, come avviene per le prove contro il blocco oppure il mucchio di sabbia, ed una volta rilasciata la moto dal carrello di spinta e giunta sopra una superficie scivolosa, farla sterzare bruscamente causando una perdita d'attrito nell'anteriore e una successiva caduta.



*Figura 0-28Attrezzaggio low side*

Il posizionamento ed il fissaggio sia della moto che del manichino avvengono come descritto nelle prove precedenti, utilizzando la medesima attrezzatura di supporto e fissaggio. L'unica modifica apportata è l'aggiunta di un golfare posizionato nella zona anteriore alla mano destra utilizzando lo stesso bullone di fissaggio della sfera adibita alla spinta. Il golfare è utilizzato come punto d'ancoraggio per causare la brusca sterzata scelta come origine dell'evento.



*Figura 0-29 Rotaia e carrellino per rotazione manubrio*

Parallelamente alla linea di percorrenza della moto si è fissata a terra una rotaia in alluminio di larghezza 27 mm e lunghezza 15m. Su di essa vi è fatto scorrere un carrellino di piccole dimensioni e con un basso coefficiente d'attrito, questo è utilizzato per scegliere l'istante d'inizio dell'evento, quindi il momento in cui il manubrio deve iniziare a sterzare. Il carrello è collegato alla moto utilizzando 2 m di corda dinamica ed un freno, in modo da restare sempre vicino alla moto durante le fasi di carico degli elastici e percorrenza della slitta in accelerazione, quando è raggiunto l'istante desiderato il carrello è bloccato istantaneamente da un fermo e la corda inizialmente si sfilava dal freno imprimendo al manubrio una forza di sterzata fluida, ed una volta giunti al termine della corda un nodo ne impedisce la fuoriuscita e quindi un brusco incremento della forza.



*Figura 0-30 Assieme attrezzaggio low side*

Il fondo scivoloso scelto per far perdere aderenza alla moto durante la sterzata è realizzato con l'utilizzo di un telo in pvc da 200 micron di dimensioni 4 m x 6 m cosparso di acqua e sapone qualche istante prima del lancio in modo da non far asciugare la zona per naturale evaporazione. Il telo è fissato al terreno con l'impiego di tasselli in plastica, viti e un nastro forato come rinforzo.



*Figura 0-31 Materiale fondo scivoloso*

## Attrezzaggio prove High Side

### Descrizione High Side



*Figura 0-32 High side stradale*

Un high side, è un tipo di incidente motociclistico caratterizzato da una rotazione improvvisa e violenta della moto attorno al proprio asse lungo. Ciò accade generalmente quando la ruota posteriore perde trazione, slitta e poi riacquista improvvisamente trazione, creando una coppia elevata che fa ribaltare la testa del pilota prima dal lato della motocicletta o sopra il manubrio.

Le forze che si verificano tra la motocicletta e la strada (come quelle che provocano l'accelerazione, la decelerazione e la svolta) si verificano nella zona di contatto attraverso l'attrito e le forze normali. C'è una quantità limitata di forza tangenziale alla strada che la zona di contatto può trasmettere prima che lo pneumatico inizi a perdere aderenza, e quindi a scivolare o sbandare.

Quando si percorre una curva su una motocicletta, la forza centripeta (aggiunta alle altre forze laterali come l'accelerazione o la decelerazione) viene trasferita dalla strada alla motocicletta attraverso la zona di contatto ed è diretta ad angolo retto rispetto al percorso di marcia. Se la forza netta è maggiore del coefficiente di attrito statico dello pneumatico moltiplicato per la forza normale della motocicletta, lo pneumatico slitterà verso l'esterno rispetto alla direzione della curva.

Una volta che uno pneumatico scivola in curva, si sposterà verso l'esterno sotto la motocicletta. Quello che succede da lì dipende da quanto bene il ciclista è in grado di ripristinare l'equilibrio e il controllo. Se lo pneumatico riprende trazione dopo che il motociclista inizia a sbandare mentre la motocicletta si muove lateralmente, lo pneumatico interromperà il suo movimento laterale causando uno scatto improvviso della motocicletta in posizione verticale (e oltre). Questo movimento può facilmente far cadere il pilota.



*Figura 0-33High side off road*

## **Attrezzaggio High Side**

Questo tipo di caduta è molto difficile da replicare, quindi anche l'attrezzaggio scelto va a semplificare qualche particolare di una caduta normale. Infatti si è scelto di procedere realizzando il lancio di una moto già inclinata e obliqua tramite l'uso di un carrello come sostegno alla gomma posteriore, inoltre in questa semplificazione siamo andati ad annullare l'effetto giroscopico generato dallo pneumatico posteriore in quanto viene fissato al carrello.



*Figura 0-34Attrezzaggio High Side*

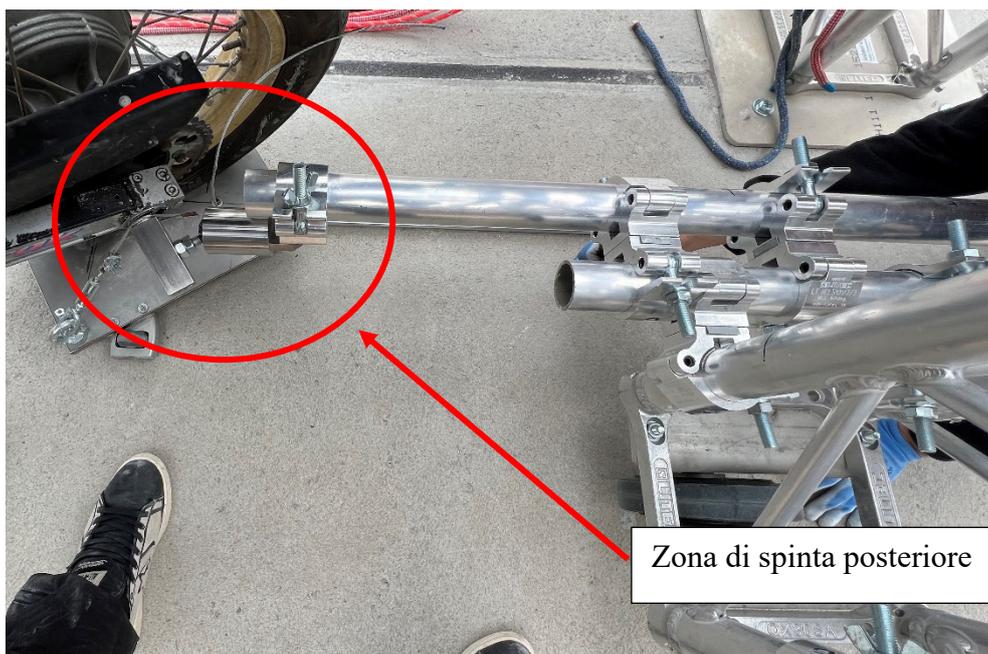
Per lanciare la moto già inclinata si è utilizzato un carrello realizzato tramite l'utilizzo di una piastra in acciaio inox e 2 carrelli adatti a scorrere nelle rotaie Harken già installate per l'attrezzaggio low side. Al di sotto della piastra sono stati fissati i 2 carrelli posizionati in modo da avere la piastra ben allineata alla moto nella posizione di massima inclinazione disponibile all'interno dei tralicci sulla slitta. La piastra presenta ai suoi angoli 4 fori a cui sono stati imbullonati dei golfari, utilizzati durante le prove per fissare la moto al carrellino, sono state provate 2 attrezzature:

- 4 Tiranti con uncino di grosse dimensioni, uno per angolo, fissando in modo permanente il carrellino alla ruota anche durante l'impatto e caduta.
- 2 Tiranti di dimensioni inferiori accoppiati a dei cordini d'acciaio di 4 mm di diametro, che bloccano la ruota utilizzando il golfare in prossimità dell'asse ruota come carrucola e quindi avere una risultante delle tensioni dei cordini verso il basso. Questo tipo di collegamento risulta essere più debole e nell'impatto si rompe liberando la moto dal carrellino.



*Figura 0-35 Carrellino ruota posteriore*

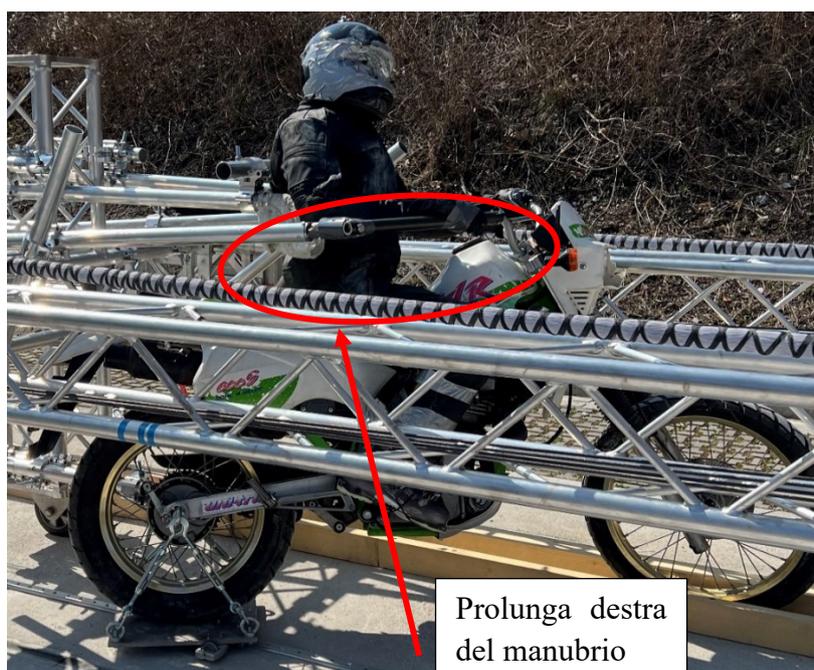
Si sono realizzati dei punti di ancoraggio sull'asse della ruota posteriore, inserendovi all'interno una barra filettata M16 e ai suoi capi, svolgendo la funzione di dado, un golfare M16 e un blocchetto in acciaio filettato. Il lato destro risulta essere completo così, il sinistro invece deve svolgere anche ulteriori funzioni, cioè adibire un punto solido da cui imprimere la forza di spinta in quanto la moto non risulta essere più allineata con la slitta. Per fare ciò al parallelepipedo in acciaio si è fissata una sfera anch'essa nello stesso materiale e posizionata in modo tale da poter essere spinta dalla torretta inferiore del carrellino centrale di spinta. È scelto lo stesso sistema di spinta utilizzato sul manubrio negli altri lanci in quanto risulta essere molto affidabile e non creare disturbi in uscita. Per arrivare in prossimità del traliccio del carrello si sono utilizzati i classici tubi in alluminio da 50 mm prodotti da Litec.



*Figura 0-36 Zona di spinta posteriore*

Una volta sostenuta e spinta la moto dall'asse posteriore, non ci rimane che far restare ben allineato il manubrio e il manichino.

- Dal lato sinistro del manubrio si utilizza lo stesso sistema impiegato in tutti i lanci, quindi una piccola prolunga in acciaio fissata mediante 8 brugole, e alla sua estremità una sfera che si accoppia ad un bicchiere per la spinta (stesso attrezzaggio descritto nei lanci frontali).
- Lato destro invece, a causa dello spazio occupato dal manichino, si è realizzato una prolunga di lunghezza 50 cm dove alla sua estremità vi è sempre una sfera. Il metodo resta sempre lo stesso, ma da questo lato è solamente di lunghezza maggiore.



*Figura 0-37 Prolunga manubrio*

- Il manichino viene sostenuto sempre allo stesso modo, cioè mediante un supporto di sostegno fissato al traliccio di spinta posteriore ad esso, dove in questo caso viene solamente allargato in quanto il manichino inclinato risulta avere una larghezza maggiore.

Un ultimo particolare da accennare è l'impiego di travetti da 10 cm x 10 cm per una lunghezza totale di 16 m e fissati a terra con viti e tasselli da cemento, utilizzati durante questo tipo di lancio per guidare in modo rettilineo la ruota anteriore, poiché se non lo facesse si avrebbe una caduta della moto ancora in fase di lancio. Sono posizionati sul lato sinistro della slitta, praticamente specchiati alla rotaia Harken. Al murale posizionato interno è realizzato con una sezione trapezoidale, con un lato inclinato di 30 ° in modo da permettervi un perfetto scorrimento della ruota anche in presenza di tasselli.



*Figura 0-38 Guide in legno per direzionamento ruota anteriore*

A questo punto la moto è in grado di essere posizionata e lanciata, resta solamente che farvi avvenire la caduta controllata. Si è scelto di installare a terra un fermo costituito da una trave in alluminio sollevata dal suolo mediante staffe in acciaio, questa struttura è fissata 50 cm dopo l'uscita del carrellino dalla sua rotaia in modo tale da liberare quel vincolo che ne impedirebbe la caduta. Il fermo è fissato ad un'altezza da terra tale da risultare ben allineato con al piastra del carello posizionato al di sotto della ruota posteriore.



*Figura 0-39 Blocco carellino posteriore*

## Strumenti di misurazione

Durante tutte le prove, attualmente svolte, le uniche analisi che sono state effettuate sono riguardanti la velocità d'uscita in modo da capire le prestazioni della macchina allo stato attuale. Attualmente si è misurata la velocità in due modi:

- Fotocellule Microgate Polifemo
- Analisi video ricavata da Go Pro 8
- Hybrid III sensorizzato

### Fotocellule Microgate Polifemo

Questo sistema di misurazione è già stato spiegato nei dettagli nei capitoli precedenti, l'unica modifica apportata consiste nel far lavorare le fotocellule in modalità meccanica, cioè utilizzare le fotocellule solamente per riconoscere l'istante di apertura di due circuiti elettrici e conoscendo la loro distanza ricavarne una velocità di percorrenza media.

Si è riscontrato un problema nel normale utilizzo forse dettato dal passaggio nella zona di lettura di una figura con molte zone vuote che vanno a far leggere alla fotocellula molti impulsi consecutivi e disturbandone il normale funzionamento.

Per ovviare a questo mal funzionamento si è deciso di realizzare due cancelletti consecutivi, come quelli utilizzati alla partenza delle gare di sci, formati da 2 travetti in legno di 20 cm di altezza e ben bloccati a terra. Alla loro sommità viene posta una barra in acciaio di piccolo diametro e lunghezza un metro che le collega, ed una volta rilasciate, mediante il loro peso vanno a chiudere il circuito elettrico di una singola fotocellula. Posti in serie due di questi sistemi si riesce ad avere un sistema di lettura molto affidabile e veloce da allestire, infatti una volta che la ruota vi passa sopra apre i circuiti in due istanti successivi e ricavato questo intervallo si trova la velocità di attraversamento.



*Figura 0-40Strumentazione Microgate in versione meccanica*

## Analisi video

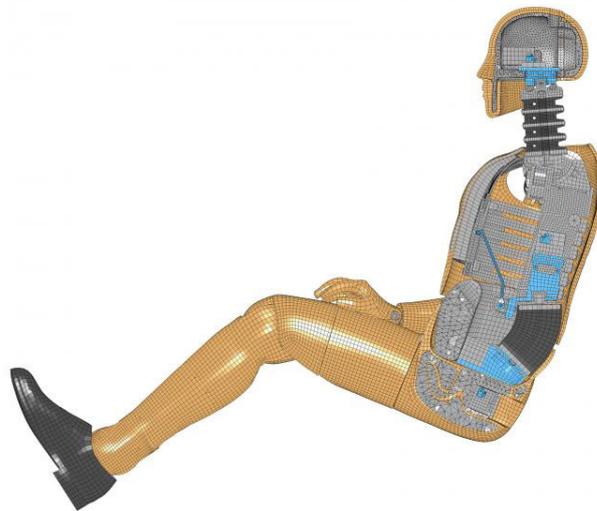


*Figura 0-41Go Pro 8*

L'analisi video resta sempre il metodo più affidabile, in quanto ogni prova veniva ripresa almeno da 3 sistemi con diverse angolazioni, e posti sempre due segni alla distanza di 2 metri si riesce a ricavarne la velocità conoscendo la frequenza di acquisizione della videocamera.

Durante le prove finali il tutto sarà ripreso da fotocamere ad alta velocità, andando a ridurre ancor di più l'errore che si ha attualmente in lettura.

## Hybrid III sensorizzato



*Figura 0-42Hybrid III sensorizzato*

Durante le sessioni di test eseguiti, sia che fossero prove pilota oppure in vista di prove con il cliente finale al fine di certificare gli air-bag, è stato utilizzato un manichino antropomorfo 50° percentile di uomo adulto di massa 78 kg (Hybrid III).

Questo è stato utilizzato privo di sensoristica durante le prove pilota, in quanto lo scopo era capire il buon funzionamento dell'attrezzatura di lancio e la capacità di preparazione e svolgimento della prova in sicurezza.

In previsione delle prove finali si è predisposto il manichino ad accogliere al suo interno un acquirente di piccole dimensioni in grado registrare molti dati richiesti dalle prove finalizzate alla certificazione. All'interno di una nicchia posta nella zona della colonna vertebrale è stato inserito un Data Logger DTS (descritto nei particolari nel capitolo 1), insieme ad esso si sono posizionati i seguenti sensori:

Canale di acquisizione	Sensore	Unità di misura
1	6DX PRO	m/s <sup>2</sup>
2	6DX PRO	m/s <sup>2</sup>
3	6DX PRO	m/s <sup>2</sup>
4	6DX PRO	deg/s
5	6DX PRO	deg/s
6	6DX PRO	deg/s
7	Potenziometro sternale	mV/V
8	Centralina Alpinestars	V
9	Accelerometro ruota	m/s <sup>2</sup>
10	Ponte estensimetrico	mV/V

### Accelerometro 6DX PRO

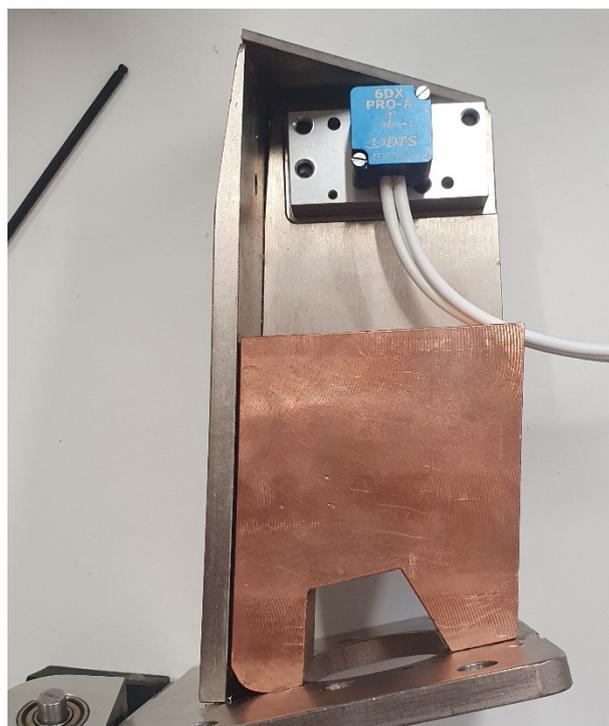


Figura 0-43 Alloggiamento 6DX PRO all'interno del manichino

Accelerometro e girometro triassiale 6DX PRO, fissato anch'esso all'interno della colonna vertebrale e collegato ad i primi 6 canali di acquisizione del DTS.

## Potenzimetro sternale

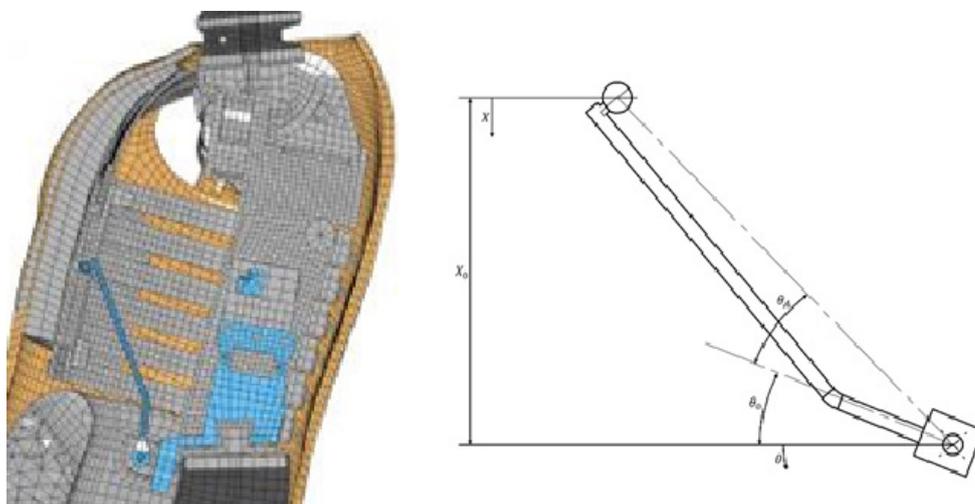


Figura 0-44Potenziometro sternale

Il potenziometro sternale è composto da una piccola asta, una guida lineare sotto lo sterno e un potenziometro rotativo per misure angolari. Un'estremità dell'asta è attaccata alla guida dell'asta e l'altra ai potenziometri. Nel momento in cui il torace viene compresso l'estremità sullo sterno si sposta lungo la guida e i potenziometri ruotano. Come connessione cerniera-carrello. Una relazione lineare può essere derivata tra la compressione sternale e il segnale del potenziometro. Questo sistema viene fornito con il manichino, ma non è calibrato. Questa calibrazione è stata fatta dal dottorando Giuseppe Zullo, determinando una costante di calibrazione  $K=0,015299 \text{ V/}^\circ$  ( $R^2=0,999$ ).

Angolo ( $^\circ$ )	Tensione (V)
0	-0.00037
45	0.630032
90	1.38557
135	2.08263
180	2.75264
135	2.06951
90	1.37861
45	0.666734
0	0.019997

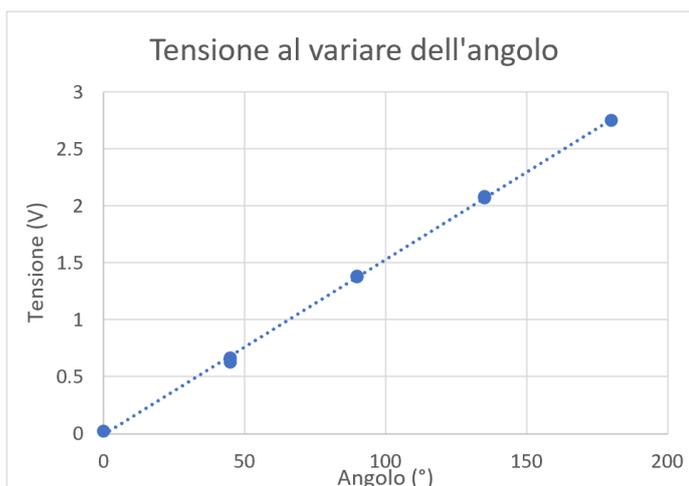


Figura 0-45Grafico calibrazione potenziometro

## Centralina Alpinestars

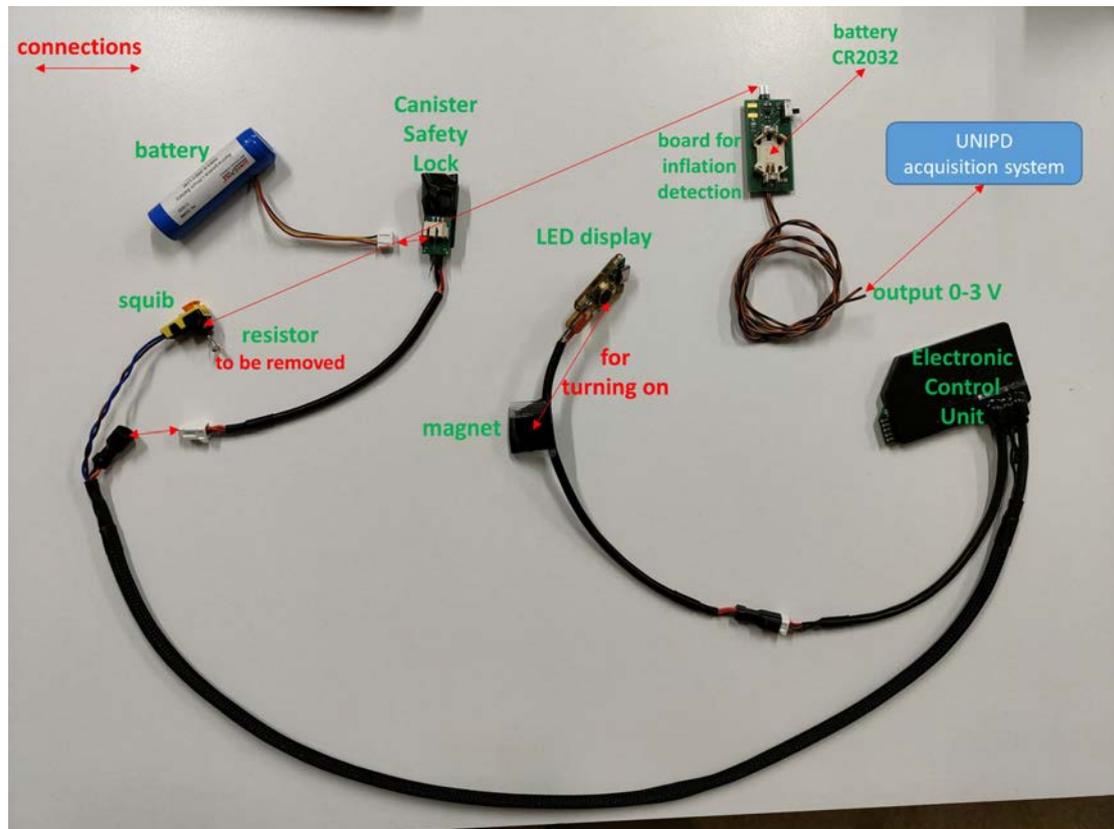


Figura 0-46 Centralina Alpinestars

Il cliente Alpinestars ha modificato un prototipo di centralina, simile alla versione che finirà in vendita insieme all'indumento, in modo tale da alimentare per 5 secondi un circuito a 3 V una volta rilevate le condizioni di innesco. Collegando i cavi 0-3 V al nostro acquirente si riesce a notare nei grafici acquisiti un ingresso a scalino di tensione e quindi trovare l'istante di attivazione dell'air-bag.

Il canale adibito al segnale Alpinestars ed il canale di registrazione della compressione toracica verranno collegati alla stessa presa DB\_15, rispettivamente ai canali 7 ed 8 dell'acquirente.

## Accelerometro Ruota Anteriore



Figura 0-47 Disposizione accelerometro anteriore

Si è deciso inoltre di sensorizzare la ruota anteriore di ogni moto lanciata per effettuare il crash, fissando in fondo alla forcella anteriore, in prossimità dell'asse ruota, un accelerometro monoassiale in modo da riuscire a capire l'istante di impatto della ruota con l'ostacolo, trovando nella storia della prova un picco di accelerazione che si differisce dal normale rumore che si forma durante la fase di spinta. Questo va ad occupare il canale 9 di acquisizione.

## Ponte estensimetrico



Figura 0-48 Disposizione ponte estensimetrico

Al fine di avere un sistema ridondante di lettura dell'istante di impatto si è provveduto a realizzare un supporto in acciaio per il fissaggio di un ponte di Wheatstone, ricavato dall'incollaggio di estensimetri. Il supporto è realizzato mediante la piega di una piccola lamiera, in modo tale da flettersi e successivamente rompersi una volta avvenuto l'impatto. Gli estensimetri vanno a leggere questa deformazione del materiale e quindi analizzando i dati ricavare il momento di inizio dell'evento. Questo circuito occupa il canale 10 di acquisizione.



# Risultati Catapulta 3.0

## Analisi prove effettuate

Durante questo periodo di prova e collaudo del sistema sono state svolte 7 sessioni di test, andando ad effettuare lanci di una stessa moto con l'uso dei diversi attrezzaggi in modo tale da analizzare i pro e i contro dei diversi settaggi.

### Sessione 1

Data esecuzione: 20 Dicembre 2022

#### Prova 1

Questa è stata la prima giornata di prove, qua si è cercato di testare le potenzialità della slitta con gli stessi elastici ed una lunghezza di 12 metri di tralicci in alluminio. D'ora in avanti sarà sempre utilizzata questa configurazione cambiando solamente l'attrezzaggio per il fissaggio della moto.



*Figura 0-1 Carrello di massa 200kg*

La prova consisteva nel lancio di un carrello di 200 kg per testare le potenzialità del sistema, provare il buon funzionamento di tutta l'attrezzatura. Durante la prova si è notato che gli attriti in gioco erano molto elevati e causati solamente dalla bassa qualità del carrello, comunque si evince che è possibile far percorrere l'intera corsa di 12 m senza intoppi ed in moto rettilineo.

## Sessione 2

Data esecuzione: 22 Dicembre 2022

### Prova 1

In questa giornata c'è stata la realizzazione del primo attrezzaggio per il lancio della moto dritta con in sella il manichino seduto.

Il lancio è avvenuto con le seguenti regolazioni:

- 500 kg per ramo
- Arresto: tramite 3 corde di lunghezza 9 m, formate da metà corda statica e metà dinamica
- Velocità rilevata: 38 Km/h
- Allungamento: 21m (311%)

Commenti: Sistema di rilevamento velocità tramite sistema Polifemo in versione meccanica, sono stati tesi 2 fili che aprono il contatto. Il sistema ha rilevato la velocità in modo errato, è stata ricavata infatti dall'analisi video.



*Figura 0-2 Lancio frontale*

Soluzioni adottate:

- Lubrificato elastico con vasellina
- Lubrificato struttura con gasolio
- Lubrificato punti di collegamento con la moto (asse posteriore e sfere sul manubrio)
- Cambiato le ruote sottoposte a maggior carico (frontali superiori e posteriori inferiori) dei carrelli laterali, con ruote piene in alluminio
- Arresto: sistema formato da: 2 corde di lunghezza 10m (metà statica e metà dinamica); 1 corda da 10.5 m (metà e metà); 1 corda statica da 10.5m
- Sistema di rilevazione velocità formato da 2 barre filettate che aprono i circuiti delle Polifemo

## Sessione 3

Data esecuzione: 11 Gennaio 2023

### Prova 1

Prova effettuata come alla sessione precedente con le seguenti regolazioni:

- Lancio moto e manichino seduto
- 510 kg per ramo
- Arresto:  $\approx 10\text{m}$
- Velocità rilevata: 38 Km/h
- Allungamento: 21m (311%)

Commenti: Struttura durante la frenata ha rovinato i tralicci, causa ruote in alluminio e poca zona di appoggio. Moto uscita leggermente piegata verso destra. Non si è notato un incremento della velocità con le soluzioni applicate.



*Figura 0-3 Attrezzatura lancio frontale*

### Prova 2

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio moto e manichino in piedi
- 400 kg per ramo
- Arresto:  $\approx 10\text{m}$
- Velocità rilevata: 38 Km/h
- Allungamento: 20m (300%)

Commenti: Moto uscita leggermente piegata verso destra. Sistema di velocità Polifemo non ha rilevato causa batterie scariche.



*Figura 0-4 Configurazione lancio in piedi*

Analisi problematiche

Possibili cause della bassa velocità:

- Comportamento elastici insolito dovuto alla bassa temperatura di lavoro, come anche affermato dal produttore.
- Alti attriti della struttura che causano un basso rendimento generale.

Per analizzare l'influenza della temperatura sugli elastici è stata fatta una prova dinamica interna, ma una volta analizzati dati non si nota una variazione di prestazioni durante le varie prove, forse causata anche dal poco allungamento applicato (100%). Si nota solamente un leggero incremento della frequenza di oscillazione negli elastici condizionati a freddo. (Prove descritte in "Sistema di accelerazione")

## **Sessione 4**

Data esecuzione: 20 Gennaio 2023

Si è pensato di effettuare 3 prove di lancio variando la deformazione dell'elastico ed analizzando l'influenza della deformazione sull'efficienza del sistema. Si sono effettuate prove con una deformazione di 290 %, 230 % e 100 %.

## Prova 1

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio di sola moto
- 450 Kg per ramo
- Carrello lanciato dalla base (sganciato dai magneti)
- Elastico con deformazione del 290 % (5,4 m dalla base)
- Velocità rilevata da Polifemo = 45 Km/h
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)
- Impatto su torrette finali

Commenti: La moto esce leggermente verso destra perché il carrello è frenato leggermente prima dalle corde del carrello destro



*Figura 0-5 Lancio frontale*

## Prova 2

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio sola moto
- 220 Kg per ramo (dubbio su lettura misura)
- Carrello lanciato dalla base (sganciato dai magneti)
- Elastico con deformazione del 230 % (8,8 m dalla base)
- Velocità rilevata da Polifemo = 40 Km/h
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)
- Impatto su torrette finali

Commenti: Lato sinistro si notano 2 corde detensionate.

### Prova 3

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio sola moto
- 110 Kg per ramo (dubbio su lettura misura)
- Carrello lanciato a 6,8 m dalla base (sganciato con il telecomando)
- Elastico con deformazione del 100 % (8,8 m dalla base)
- Velocità rilevata da Polifemo = 20 Km/h
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)

### Sessione 5

Data esecuzione: 13 Marzo 2023

#### Prova 1

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio moto in versione low side
- Moto perpendicolare al terreno
- Massimo carico elastici
- Carrello lanciato dalla base (sganciato dai magneti)
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)
- Uso carrellino su rotaia Harken per far ruotare il manubrio, navetta bloccata istantaneamente e utilizzato freno su corda dinamica con nodo finale
- Fondo scivoloso con telo e sapone

Commenti:

- Moto uscita leggermente verso sinistra;
- Caduta avvenuta a sinistra e una volta giunta in tensione la corda, questo blocco improvvisato ne fa sollevare leggermente la ruota anteriore da terra;
- Sterzata iniziata sul fondo scivoloso;



Figura 0-6Prova S5\_P1

## Sessione 6

Data esecuzione: 20 Marzo 2023

### Prova 1

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio moto in versione High side
- Moto inclinata su carrellino, con uso di cordini acciaio fini
- Ruota non bloccata
- Massimo carico elastici
- Carrello lanciato dalla base (sganciato dai magneti)
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)
- Moto + carrello fatti uscire dalla rotaia e poi bloccato da trave fissata a terra
- Guide in legno a sinistra per far restare allineata la ruota anteriore

Commenti:

- Rottura cordini e quindi perdita della piastra
- Caduta avvenuta a sinistra;



*Figura 0-7Prova S6\_P1*

## Sessione 7

Data esecuzione: 22 Marzo 2023

### Prova 1

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio moto in versione High side
- Moto inclinata su carrellino, con uso di grossi tiranti
- Ruota non bloccata
- Massimo carico elastici
- Carrello lanciato dalla base (sganciato dai magneti)
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)
- Moto + carrello fatti uscire dalla rotaia e poi bloccato da trave fissata a terra

Commenti:

- Piastra resta fissata alla moto e ruota con essa dando impulso finale causato dalla sua inerzia
- Caduta avvenuta a sinistra;

## Prova 2

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio moto in versione High side
- Moto inclinata su carrellino, con uso di grossi tiranti
- Ruota bloccata con tirante tra corona e telaio
- Massimo carico elastici
- Carrello lanciato dalla base (sganciato dai magneti)
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)
- Moto + carrello fatti uscire dalla rotaia e poi bloccato da trave fissata a terra

Commenti:

- Piastra resta fissata alla moto e ruota con essa dando impulso finale causato dalla sua inerzia
- Caduta avvenuta a sinistra;
- Tirante posizionato per il fermo della ruota rotto dall'impatto, quindi la ruota resta libera di ruotare, sempre con il carrello fissato ad essa



Figura 0-8Prova S7\_P2

### Prova 3

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio moto in versione Low side
- Moto perpendicolare al terreno
- Massimo carico elastici
- Carrello lanciato dalla base (sganciato dai magneti)
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)
- Telo del fondo scivoloso posizionato più avanti per lasciare sterzare sull'asciutto
- Uso carrellino su rotaia Harken per far ruotare il manubrio, navetta bloccata istantaneamente e utilizzato freno su corda dinamica libera di uscire

Commenti:

- Moto uscita leggermente inclinata a sinistra
- Caduta a sinistra



*Figura 0-9Prova S7\_P3*

### Prova 4

Prova effettuata con le seguenti regolazioni:

- Lancio moto in versione Low side
- Moto pre-inclinata a destra
- Massimo carico elastici
- Carrello lanciato dalla base (sganciato dai magneti)
- Arresto: 3 dinamiche + statiche (10 m); 1 statica (10,5 m)
- Telo del fondo scivoloso posizionato come in prova P3
- Uso carrellino su rotaia Harken per far ruotare il manubrio, navetta bloccata istantaneamente e utilizzato freno su corda dinamica libera di uscire
- Anticipato il blocco della navetta di qualche metro (tolto ultima rotaia)

Commenti:

- Moto uscita leggermente inclinata a destra
- Caduta a sinistra
- Moto sterza sull'asciutto e ruota riesce a scivolare



*Figura 0-10 Prova S7\_P4*

## Conclusioni

In quest'ultimo capitolo viene descritto nei minimi dettagli l'incremento di prestazioni effettuato sulla catapulta 3.0 partendo dalla versione precedente di base, sono sottoposti ad incremento di prestazioni tutti i sotto sistemi che vanno a far funzionare la slitta, il tutto partendo dal solo incremento di dimensioni degli elastici in quanto le nuove prove da svolgere (richieste da Alpinestars) implicano energie in gioco molto elevate e distanti dalla precedente versione. Come primo effetto direttamente collegato agli elastici vi è il sistema di carica che è stato quasi triplicato di prestazioni, utilizzando nuovi argani di grosse dimensioni, successivamente si è analizzato il sistema di sgancio che in questo momento ha potenzialità doppie. Vi sono effettuate migliorie in molti particolari della slitta al fine di ridurre gli attriti di scorrimento prodotti dall'uso fuori dagli schemi dei componenti di questa struttura, normalmente fatta lavorare in ambienti statici come palchi e concerti. L'intero sovradimensionamento della struttura, ora in grado di sopportare le nuove forze in gioco è interamente progettato in modo tale da avere un coefficiente di sicurezza sempre maggiore ad 1.5 come richiesto in ambito strutturale.

Una volta ridisegnata la catapulta ed assicurati di aver eseguito un ottimo incremento di prestazioni, si è passati ad eseguire delle prove pilota in modo tale da migliorare l'attrezzatura di lancio sviluppata per soddisfare le richieste del cliente. Il sistema di lancio risulta essere molto affidabile ed in grado di eseguire più prove successive con caratteristiche molto ripetibili e quindi adatto alle richieste in gioco e disponendo una buona base di partenza per sviluppi di nuove versioni in grado di svolgere diversi impieghi.

# Conclusioni

Questo lavoro si è focalizzato sullo studio ed utilizzo di sistemi di lancio finalizzati a prove di crash per il collaudo e successiva certificazione di barriere protettive ed air-bag motociclistici ad attivazione elettronica. A questo scopo si sono realizzati due modelli di catapulta con la stessa idea di base, ma capaci di gestire energie in gioco molto diverse, l'uso di elastici in lattice è risultato molto efficace ed in grado di resistere a sollecitazioni di lavoro anche assai stressanti.

A proposito della Catapulta 1.0 in tutte le sue versioni possiamo affermare di averla portata ad un suo limite superiore di potenzialità, oltre a queste energie di lavoro probabilmente è meglio non spingersi, le accelerazioni al momento arrivano quasi a 12 g e quindi generare forze di reazione sul carrello di spinta molto elevate tali da portare la struttura in alluminio al suo limite strutturale. Altre limitazioni sono dettate dal verricello che attualmente è arrivato a lavorare in 5° tiro per poter affrontare l'allungamento di 10 elastici in parallelo, inoltre, forse il più importante, è la modalità di frenata questa ha una corsa a sua disposizione di 15 cm e quindi il dovere di dissipare un'elevata energia in poco tempo. È un sistema nato e progettato per essere facilmente trasportabile ed assemblabile, quindi si porta appresso delle limitazioni dettate da questi vincoli iniziali, ma ad ogni modo si ha in mano una struttura semplice e capace di effettuare semplici prove di crash a 45 km/h.

Parallelamente, si può applicare quanto appena descritto, anche alla versione maggiorata della catapulta presente a Longarone, infatti anche questa dopo gli ultimi mesi di lavoro svolti per il potenziamento della versione precedente ha raggiunto un livello di prestazioni tale da poterlo definire un suo massimo. L'analisi svolta alla struttura, anche grazie alla collaborazione con Litec, si attesta essere arrivata al suo limite strutturale, oltre a questo non si può garantire un coefficiente di sicurezza superiore ad 1.5. La fase di frenata anche in questo caso è molto delicata, e l'uso delle corde dinamiche non garantisce uno spazio di frenata della stessa lunghezza in prove successive, quindi causare potenziali rotture dettate dallo scontro del carrello sulle torrette finali. Questo avviene principalmente perché si vuole sfruttare la corsa più lunga possibile per poter convertire la maggior parte di energia potenziale in cinetica, ma in questo modo perdere l'intero controllo sul sistema. Anche tutto il sistema di carico e rilascio, oltre a questo livello, dovrebbe essere riprogettato da cima a fondo per gestire energie di un altro ordine di grandezza.

Sempre lo stesso sistema di lancio ha svolto svariate sessioni di prova per la realizzazione di cadute sia a high side che low side, andando incontro a problematiche dettate dall'alta inerzia del manichino e del poco spazio disponibile all'interno della catapulta. Il manichino antropomorfo è molto difficile da stabilizzare in sella alla moto e l'unico modo risulta essere irrigidire tutti gli arti, ma questa soluzione ci genera problemi in fase di caduta in quanto la sua inerzia genera rotazioni della moto quasi opposte alle desiderate. Attualmente si stanno svolgendo ulteriori prove pilota in modo da studiare nei minimi dettagli un attrezzaggio adatto alla realizzazione di cadute ripetitive con le stesse dinamiche, ma per questo ci vorranno ancora diverse sessioni di test.



# Appendice

Di seguito si riportano i documenti e le messe in tavola dei nuovi componenti:

## QX30SA

Anti-torsion



Square section aluminium truss twist-resistant version with 29 cm long sides. It substitutes the model QX30S, from which it keeps the excellent size, weight, cost and performance characteristics. It is made of 6082 alloy extruded components, with high load-bearing and twisting strength. It is a constitutive element of Unitower, Towerlift 3, and Flyintower 6-300 and Flyintower 7.5-500.



**Chords A**  
Extruded tube  $\varnothing$  50 x 2 mm  
EN AW – 6082 T6

**Diagonals B**  
Extruded tube  $\varnothing$  18 x 2 mm  
EN AW – 6082 T6

**Ends C**  
Aluminium casting plate  
EN AC – 42200 T6

**Connection systems**  
QXFC: quick-fit kit  
QXSM10: bolt connection kit

### Linear elements

code	cm	kg
QU30ADP010M5	29 x 29 x 10.5	2.9
QU30ADP019M5	29 x 29 x 19.5	3.6
QU30ADP021	29 x 29 x 21	3.4
QX30SA025	29 x 29 x 25	3.6
QX30SA029	29 x 29 x 29	3.8
QX30SA050	29 x 29 x 50	4.8
QX30SA100	29 x 29 x 100	7.1
QX30SA150	29 x 29 x 150	9.5
QX30SA200	29 x 29 x 200	11.8
QX30SA250	29 x 29 x 250	14.1
QX30SA300	29 x 29 x 300	16.5
QX30SA350	29 x 40 x 350	18.8
QX30SA400	29 x 40 x 400	21.2

### Corners and fittings

code	cm	kg
FX30C4	29 x 29 x 5	3.3
QX30C8	29 x 29 x 29	9.0
FU30K4	29 x 29 x 5	3.7
QU30K8	29 x 29 x 29	9.5
QX30SAL2045	100 x 100 x 29	8.5
QX30SAL2060	100 x 100 x 29	9.2
QX30SAL2090	50 x 50 x 29	5.9
QX30SAL2120	50 x 50 x 29	6.9
QX30SAL2135	50 x 50 x 29	6.3
QX30SAL3	50 x 50 x 50	8.2
QX30SAT3	50 x 50 x 29	7.3
QX30SAT4	50 x 50 x 50	9.7
QX30SAX4	50 x 50 x 29	8.2
QX30SAX5	50 x 50 x 50	9.9
QX30SAX6	50 x 50 x 50	11.2
QX30SAACL	29 x 21 x 29	4.5
QX30SAACS	29 x 10.5 x 29	4.2
QX30SAACSC	29 x 12.4 x 29	5.2



**LITEC<sup>4</sup>**



**Load table / Spigot connection**

SPAN	Unif. distributed load			Centre point load			Third point load			Quarter point load			Fifth point load		
	Point load	Full load	Central deflection	Point load	Full load	Central deflection	Point load	Full load	Central deflection	Point load	Full load	Central deflection	Point load	Full load	Central deflection
m	kg/m	kg	mm	kg	kg	mm	kg	kg	mm	kg	kg	mm	kg	kg	mm
1	2484	2484	0.3	2484	2484	0.4	1242	2484	0.4	828	2484	0.3	621	2484	0.3
2	1239	2478	2	1981	1981	3	1239	2478	3	826	2478	3	620	2478	3
3	824	2473	7	1386	1386	6	988	1976	8	720	2161	8	586	2344	8
4	550	2200	15	1057	1057	12	768	1536	14	542	1625	14	445	1779	15
5	350	1750	24	850	850	18	624	1248	23	433	1298	22	357	1427	23
6	241	1448	34	708	708	27	523	1046	33	359	1077	32	297	1187	34
7	176	1231	46	605	605	37	449	898	46	306	917	44	253	1013	46
8	133	1067	60	526	526	48	392	783	60	265	796	57	220	880	60
9	104	939	76	463	463	61	346	692	77	233	700	72	194	776	76
10	83	834	94	413	413	76	309	618	95	208	623	89	173	691	94
11	68	748	114	371	371	92	278	556	115	186	559	108	155	621	114
12	56	676	135	335	335	110	252	504	138	168	505	129	140	561	136
13	47	613	159	304	304	130	230	459	162	153	458	151	127	510	160
14	40	559	184	278	278	151	210	420	188	139	418	176	116	465	185
15	34	511	212	254	254	174	193	386	217	127	382	202	107	426	213
16	29	469	241	233	233	199	177	355	247	117	351	230	98	392	243
17	25	431	272	214	214	226	164	327	280	107	322	260	90	360	274
18	22	396	305	197	197	255	151	302	314	99	297	292	83	332	308

**Cantilever load table / Spigot connection**

SPAN	Unif. distributed load			Centre point load	
	kg/m	kg	mm	kg	mm
1	1239	1239	1	990	3
2	491	982	8	528	12
3	227	681	19	354	26
4	128	512	35	262	47
5	81	405	55	208	73
6	55	330	79	167	105

**Axial load table**

SPAN	kg
3	6367
6	3215
9	1502
12	862

Load table has been prepared in accordance with UNI ENV 1999-1-1 (Eurocode 9). When calculating the allowable loads it is assumed that the load is suspended from the bottom chord and the truss is supported from the top chord at each end. The values shown in the table are the allowable static loads that can be applied to the truss. This is the live load or the payload.

The self weight of the truss has been taken into account when calculating the values in the table. It should be noted that this are idealised loading conditions and the User shall re-analyze the truss for the loading conditions which prevail for the application being considered.

# QX30SA

System

To further enhance the standard products, LITEC offers a wide range of corners, connections and accessories useful for many different applications and needs. "Quick connect" or "nult & bolt connect". End-plated trusses allow to use two different systems of connection. The quick-fit system is certainly the most wide-spread and mainly used when the structure is frequently assembled and dismantled. In case of permanent installations, on the other hand, a more economical bolt connection system may be used. Our plate is made in such a way that bolts may be completely inserted so that there are no edges or external protuberances which could damage canvases or other fabrics or which might simply be unaesthetic on certain structures.

## Connections



## Accessories





**TZ30K01**  
Assembly tool for half-spigot in 25&29cm side trusses with Heavy Duty Dado



**TZ30C01**  
Assembly tool for half-spigot in 25&29cm side trusses with Light Dado



**CS029-40**  
Ceiling support for 30-40 truss series - silver



**QU30TR**  
Lighting support



**QU30TRC**  
Lighting support - diameter 100 cm



**QU3040H050**  
30-40 Special Truss L-050 with hoist support



**XT-290-PC**  
Clip for cladding trusses with felt or other lightweight materials



**CO30WB**  
29 cm wall bracket W/half couplers



**CL2D50**  
Transport clip. Plastic casting for truss stacking. Fits 48 - 51 mm tube

## Dados, Corners & fittings



**QX30SAL2045**  
ST 29 cm. square 2 way 45° corner



**QX30SAL2060**  
ST 29 cm. square 2 way 60° corner



**QX30SAL2090**  
ST 29 cm. square 2 way 90° corner



**QX30SAL2120**  
ST 29 cm. square 2 ways 120° corner, ext. vertex



**QX30SAL2135**  
ST 29 cm. square 2 way 135° corner, int. vertex



**QX30SAL3**  
ST 29 cm. square 3 way corner



**QX30SAT3**  
ST 29 cm. square 3 way toe



**QX30SAT4**  
ST 29 cm. square 4 way toe



**QX30SAX4**  
ST 29 cm. square 4 way cross



**QX30SAX5**  
ST 29 cm. square 5 way cross



**QX30SAX6**  
ST 29 cm. square 6 way cross



**QX30SAX8**  
ST 29 cm. square 8 way horizontal cross



**Q30SL2ADJ**  
Adjustable 2 way corner



**QU30BHH**  
Truss Hinge 29 cm square

## Light duty Dado



**FX30C4**  
DADO 6 way flat corner (4 nodules) C4 is the DADO version for square and flat section structures



**QX30C8**  
DADO 6 way box corner (8 nodules) C8 is the DADO version for square section structures



**QU30C8-ADP001**  
Adapter for Dado QU30K8



**FU30K4**  
DADO 6 way flat corner (4 nodules) K4 is the HD DADO version for square and flat section structures



**QU30K8**  
Dado 6 way box corner (8 nodules) K8 is the DADO version for square section structures



**QU30K8-ADP001**  
Adapter for Dado QU30K8

## Heavy duty Dado

Data Sheet: TS.116.R8

www.aep.it

# TS - TSA

Cella di carico  
Load cell

## Accessori Accessories

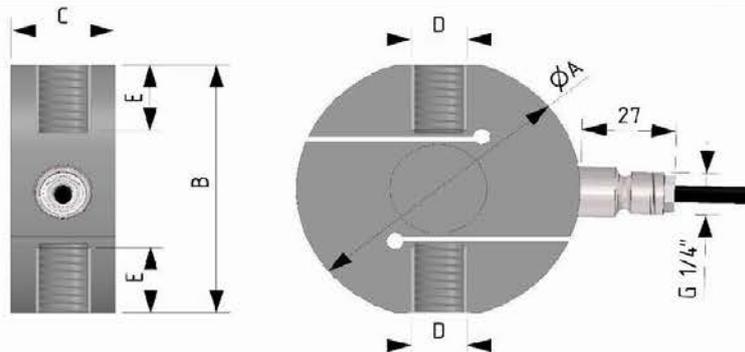
Teste a snodo sferico  
Knuckle joints

**A**

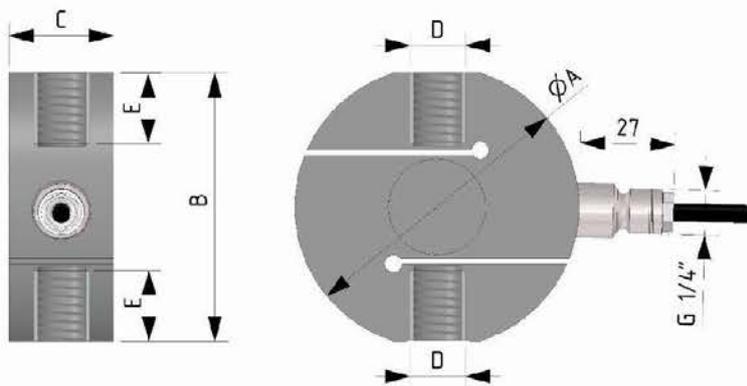


## Dimensioni Dimensions

[mm]



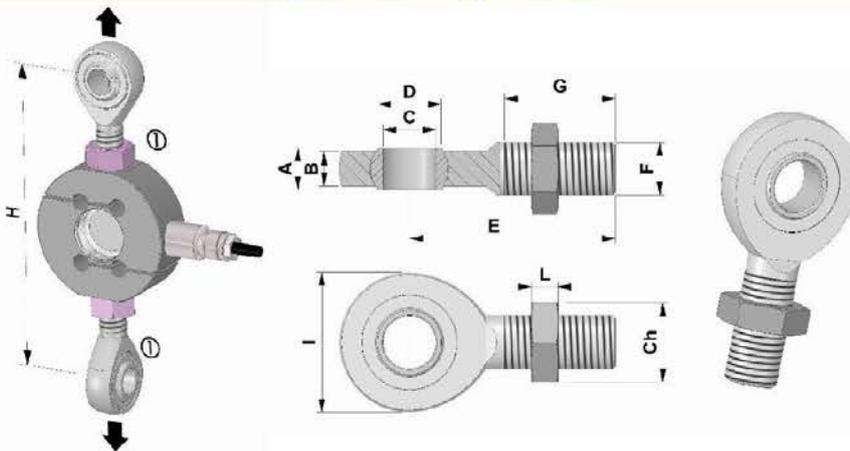
TS IN ACCORDANCE	CODE (C2)	CODE (C3)	LOAD	ØA	B	C	D	E	Frequenza naturale Natural frequency
	CTS6310KC25	CTS6310KC35	10 kg	63.5	59.5	22	M12X1.75	12	~ 0.35 kHz
	CTS6325KC25	CTS6325KC35	25 kg						~ 0.65 kHz
	CTS6350KC25	CTS6350KC35	50 kg						~ 1.05 kHz
	CTS63100KC25	CTS63100KC35	100 kg						~ 1.25 kHz
	CTS63200KC25	CTS63200KC35	200 kg						~ 1.75 kHz
	CTS63300KC25	CTS63300KC35	300 kg	102	90	45	M24X2	21.5	~ 1.75 kHz
	CTS63500KC25	CTS63500KC35	500 kg						~ 1.80 kHz
	CTS82500KC25	CTS82500KC35	500 kg						~ 2.20 kHz
	CTS821TC25	CTS821TC35	1 t	82	78	30	M16X2	20	~ 2.50 kHz
	CTS822TC25	CTS822TC35	2 t	82	78	30	M20X1.5	20	~ 2.50 kHz
	CTS822T5C25	CTS822T5C35	2.5t						~ 3.25 kHz
	CTS1025TC25	CTS1025TC35	5 t						~ 3.20 kHz
CTS1027T5C25	CTS1027T5C35	7.5t	127	120	50	M30x2	29	~ 3.00 kHz	
CTS12710TC25	CTS12710TC35	10 t						~ 3.25 kHz	



<b>TSA</b> <b>APPROVED</b>	CODE (C2)	CODE (C3)	CODE (C4)	LOAD	ØA	B	C	D	E
	CTSA63100KC25	CTSA63100KC35	/	100 kg	63.5	59.5	22	M12X1.75	12
	CTSA63200KC25	CTSA63200KC35	/	200 kg					
	CTSA63300KC25	CTSA63300KC35	/	300 kg					
	CTSA63500KC25	CTSA63500KC35	/	500 kg					
	CTSA82500KC25	CTSA82500KC35	CTSA82500KC45	500 kg	82	78	30	M16X2	20
	CTSA821TC25	CTSA821TC35	CTSA821TC45	1 t					
	CTSA822TC25	CTSA822TC35	CTSA822TC45	2 t					
	CTSA822T5C25	CTSA822T5C35	CTSA822T5C45	2.5t					
	CTSA1025TC25	CTSA1025TC35	/	5 t	102	90	45	M24X2	21.5
CTSA1027T5C25	CTSA1027T5C35	/	7.5t						

Versione omologata solo per applicazioni in trazione / Approved version only for tension applications

### Applicazioni Applications



① Teste a snodo sferico / Knuckle joints

Code:	A	B	C	D	E	F	G	I	L	Ch	H
CACCEM12	10	8	12	14.9	54	M12	28	34	7	19	~134
CACCEM16	14	11	17	20.7	69	M16	36	46	8	24	~170
CACCEM20	16	13	20	24.1	78	M20x1.5	43	53	9	30	~102
CACCEM25	20	17	25	29.3	94	M24x2	53	64	10	36	~235
CACCEM30	22	19	30	34.5	110	M30x2	65	73	12	46	~280

Dimensioni in accordo con ISO 12240-4 Serie E  
Dimensions according to ISO 12240-4 series E

**Dati Tecnici**
**Technical Data**

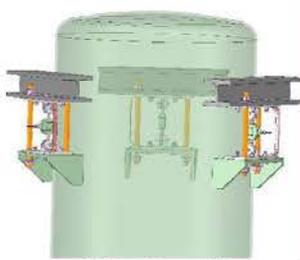

CLASSE DI PRECISIONE: OIML R60	ACCURACY CLASS: OIML R60	C2	C3	C4
DIVISIONI LEGALI	LEGAL DIVISIONS	2000	3000	4000
CARICO NOMINALE ( $E_{max}$ )	NOMINAL LOAD ( $E_{max}$ )	10 <sup>(1)</sup> - 25 <sup>(1)</sup> - 50 <sup>(1)</sup> kg 100 - 200 - 300 - 500 kg 1 - 2 - 2.5 - 5 t 7.5 - 10 <sup>(1)</sup> t		500 kg 1-2-2.5 t
INTERVALLO MIN. DI VERIFICA ( $V_{min}$ )	MIN. VERIFICATION INTERVAL ( $V_{min}$ )	$E_{max} / 10000$		$E_{max} / 15000$
ERRORE COMBINATO	COMBINED ERROR	≤ ±0.023%	≤ ±0.018%	≤ ±0.015%
NON RIPETIBILITA'	NON-REPEATABILITY	≤ ±0.015%	≤ ±0.010%	≤ ±0.010%
RITORNO A ZERO dopo 30 min.	ZERO RETURN over 30 min.	≤ ±0.025%	≤ ±0.015%	≤ ±0.010%
CREEP al carico nominale:	CREEP at nominal load:			
a) dopo 30 min.	a) over 30 min.	≤ ±0.025%	≤ ±0.015%	≤ ±0.015%
b) dopo 20 e 30 min.	b) over 20 and 30 min.	≤ ±0.005%	≤ ±0.005%	≤ ±0.003%
EFFETTO DELLA TEMP. (10 °C)	TEMPERATURE EFFECT (10 °C)			
a) sullo zero	a) on zero	≤ ±0.028%	≤ ±0.010%	≤ ±0.008%
b) sulla sensibilità	b) on sensitivity	≤ ±0.012%	≤ ±0.010%	≤ ±0.008%
SENSIBILITA' NOMINALE	NOMINAL SENSITIVITY	2 mV/V		
TOLLERANZA DI CALIBRAZIONE	SENSIVITY TOLERANCE	≤ ± 0.1 %		
RESISTENZA DI INGRESSO	INPUT RESISTANCE	420 ± 20Ω		
RESISTENZA DI USCITA	OUTPUT RESISTANCE	350 ± 2Ω		
RESISTENZA DI ISOLAMENTO	INSULATION RESISTANCE	> 5 GΩ		
BILANCIAMENTO DI ZERO	ZERO BALANCE	≤ ±1 %		
ALIMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	RECOMENDED SUPPLY VOLTAGE	10 V		
ALIMENTAZIONE NOMINALE	NOMINAL SUPPLY VOLTAGE	1-15 V		
ALIMENTAZIONE MAX.	MAXIMUM SUPPLY VOLTAGE	18 V		
VALORI MECCANICI LIMITE riferiti al carico nominale:	MECHANICAL LIMIT values referred to nominal load:			
a) carico minimo	a) minimum load	0 %		
b) carico di servizio	b) service load	120 %		
c) carico limite	c) max permissible load	150 %		
d) carico di rottura	d) breaking load	>300 %		
e) massimo carico trasversale	e) max transverse load	100 %		
f) carico dinamico limite	f) max permissible dynamic load	50 %		
FRECCIA MAX. AL CARICO NOMINALE	DISPLACEMENT AT NOMINAL LOAD	~ 0.2 mm		
TEMPERATURA DI RIFERIMENTO	REFERENCE TEMPERATURE	+23 °C		
CAMPO NOMINALE DI TEMP.	TEMPERATURE NOMINAL RANGE	-10/+40 °C		
TEMPERATURA DI ESERCIZIO	SERVICE TEMPERATURE	-20/+70 °C		
TEMPERATURA DI STOCCAGGIO	STORAGE TEMPERATURE	-20/+80 °C		
PESO Ø63.5 mm	WEIGHT Ø63.5 mm	~ 0.6 kg		
PESO Ø82 mm	WEIGHT Ø82 mm	~ 1.2 kg		
PESO Ø102 mm	WEIGHT Ø102 mm	~ 2.6 kg		
PESO Ø127 mm	WEIGHT Ø127 mm	~ 4.4 kg		
CLASSE DI PROTEZIONE (EN 60529)	PROTECTION CLASS (EN 60529)	IP68 (100h at 1m water column) IP65 (10, 25, 50 kg silicon cover)		
MATERIALE DELLA CELLA	EXECUTION MATERIAL	Acciaio Inox / Stainless Steel		
LUNGHEZZA CAVO	CABLE LENGTH	5 m (on request 10 m)		

 Accelerazione di gravità  $g=9.80434 \text{ m/s}^2$  / Acceleration of gravity  $g=9.80434 \text{ m/s}^2$ 

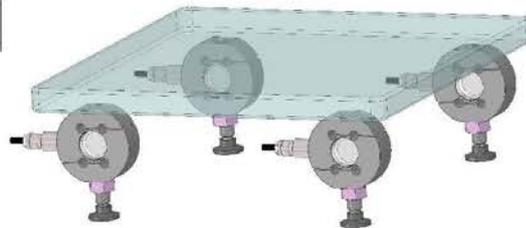
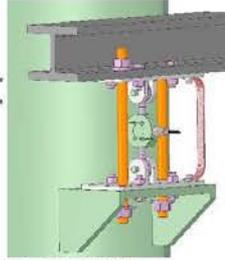
<sup>(1)</sup> Opzione ATEX NON disponibile / ATEX option NOT available.

**Esempi d'installazione**

**Examples of installation**



Silos a 3 punti di appoggio in TRAZIONE  
Silo with 3 TENSION supporting points.



Piattaforma a 4 punti di appoggio con piedi snodati.  
Platform with 4 supporting points with jointed feet.

**OPZIONI**

Da acquistare separatamente

**OPTIONS**

To be purchased separately

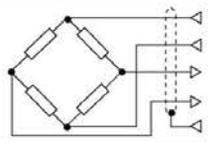
	CODE	<sup>(2)</sup> OPZIONE	<sup>(2)</sup> OPTION
	<b>CONNM12MF</b>	Uscita diretta connettore M12	Direct output connector M12
	<b>CONNM12FV5</b>	CONNETTORE M12x1 femmina 5 poli dritto completo di CAVO PVC costampato schermato lunghezza 3 m.	Female 5 poles straight M12x1 CONNECTOR complete PVC molded CABLE, shielded, length 3 m.
	<b>CRT</b>	Rapporto di taratura. Compressione o Trazione.	Calibration Report. Compression or TENSION



<sup>(2)</sup> Opzione **NON** disponibile nelle versioni ATEX e OMOLOGATE.  
Option **NOT** available in ATEX and APPROVED versions.

**Collegamenti Elettrici Electrical Connections**

**USCITA STANDARD:** cavo schermato PVC 105°C, Ø 5.2 mm a 4x Ø 0.35mm<sup>2</sup> conduttori stagnati.  
**STANDARD OUTPUT:** PVC 105°C shielded cable, Ø 5.2mm with 4x Ø 0.35mm<sup>2</sup> tinned conductors.

Load cell	OUTPUT	CABLE	CAVO	M12 <sup>(2)</sup> (optional)
	EXCITATION +	Red	Rosso	1
	EXCITATION -	Black	Nero	3
	OUTPUT +	White	Bianco	2
	OUTPUT -	Yellow	Giallo	4
	-----	Shield	Schermo	5

Schermo collegato al corpo del trasduttore.  
Shield connected to the body of the transducer.



41126 Cognento (MODENA) Italy Via Bottego 33/A Tel: +39-(0)59-346441 Fax: +39-(0)59-346437 E-mail: aep@aep.it

Al fine di migliorare le prestazioni tecniche del prodotto, la società si riserva di apportare variazioni senza preavviso.  
In order to improve the technical performances of the product, the company reserves the right to make any change without notice.

## 6306-2RS1

### Cuscinetto radiale a sfere con tenute o schermi



I cuscinetti radiali a una corona di sfere con tenute o schermi sono particolarmente versatili, assicurano basso attrito ed essendo ottimizzati per ridurre i livelli di rumorosità e vibrazioni consentono velocità di rotazione elevate. Possono sopportare carichi assiali e radiali in ambo le direzioni, sono semplici da montare e richiedono meno attività di manutenzione rispetto a molti altri tipi di cuscinetti. Le tenute integrate possono prolungare considerevolmente la durata di esercizio dei cuscinetti, poiché realizzano la ritenzione del lubrificante e l'esclusione degli agenti contaminanti.

- La tenuta integrata consente di prolungare la di esercizio durata del cuscinetto, design semplice, versatile e robusto, basso attrito, per alta velocità, capacità di sopportare carichi assiali e radiali in entrambe le direzioni, richiede poca manutenzione

## Overview

### Dimensioni

Diametro esterno	72 mm
Diametro foro	30 mm
Larghezza	19 mm

### Prestazioni

Classe di prestazioni SKF	SKF Explorer
Coefficiente di carico dinamico	29.6 kN
Coefficiente di carico statico di base	16 kN
Velocità limite	6 300 r/min

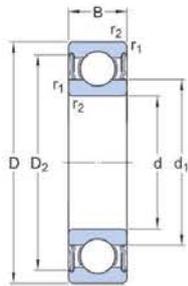
### Proprietà

Caratteristica di vincolo, anello esterno cuscinetto	Nessuno
Disposizione appaiata	No
Gabbia	Lamiera
Gioco radiale interno	CN
Lubrificante	Grasso
Materiale, cuscinetto	Acciaio per cuscinetti
Numero di corone	1
Predisposizione per la rilubrificazione	Senza
Rivestimento	Senza
Sistema di tenuta	Tenuta su ambo i lati
Tagli sfera	Senza
Tipo di foro	Cilindrico
Tipo di tenuta	Strisciante

## Specifiche tecniche

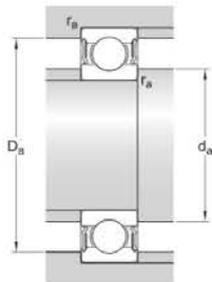
Classe di prestazioni SKF

SKF Explorer



### Dimensioni

d	30 mm	Diametro foro
D	72 mm	Diametro esterno
B	19 mm	Larghezza
$d_1$	$\approx 44.6$ mm	Diametro spallamento
$D_2$	$\approx 61.88$ mm	Diametro dell'incavo
$r_{1,2}$	min. 1.1 mm	Dimensioni del raccordo

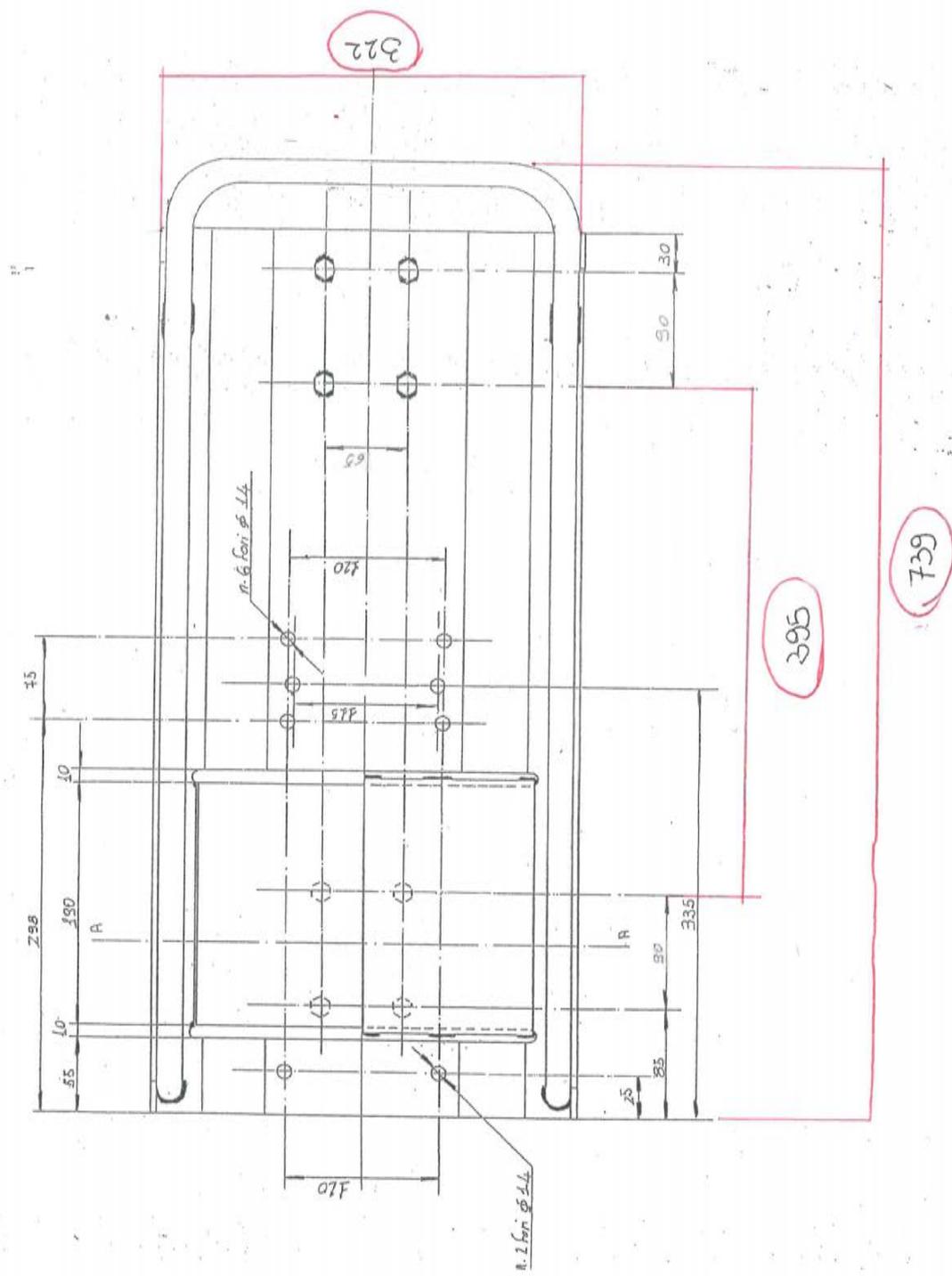


### Dimensioni dello spallamento

$d_a$ min.	37 mm	Diametro spallamento albero
$d_a$ max.	44.5 mm	Diametro spallamento albero
$D_i$ max.	65 mm	Diametro spallamento alloggiamento
$r_a$ max.	1 mm	Raggio albero o raccordo alloggiamento

### Dati di calcolo

Coefficiente di carico dinamico	C	29.6 kN
Coefficiente di carico statico di base	$C_0$	16 kN
Carico limite di fatica	$P_u$	0.67 kN
Velocità limite		6 300 r/min



414  
D1800/E



ENGLISH

Datasheet

## RS Pro Black Rubber Tyred Wheel ART116A 200MM, 400kg

RS Stock No: **621-9569**



### Product Details

RS Pro rubber castor wheel ART116A in black colour, has diameter of 200 mm and load capacity of 400 kg. It features elastic rubber tyre for non-marking floor surface.

### Features and Benefits

- Solid black rubber tyre, hardness shore 68A
- Excellent smooth and noiseless running
- High resistance to abrasion
- Temperature range: -20 to +70°C

RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.



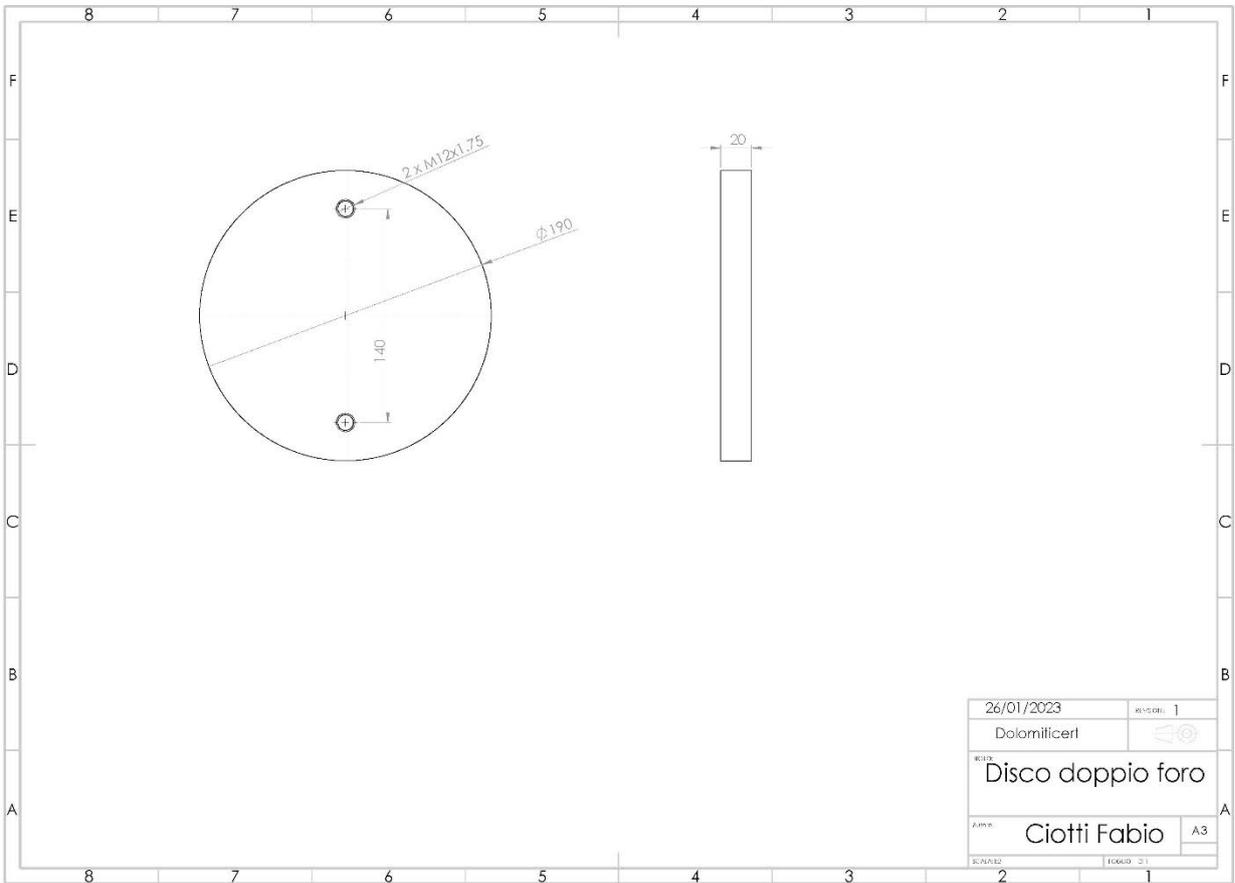
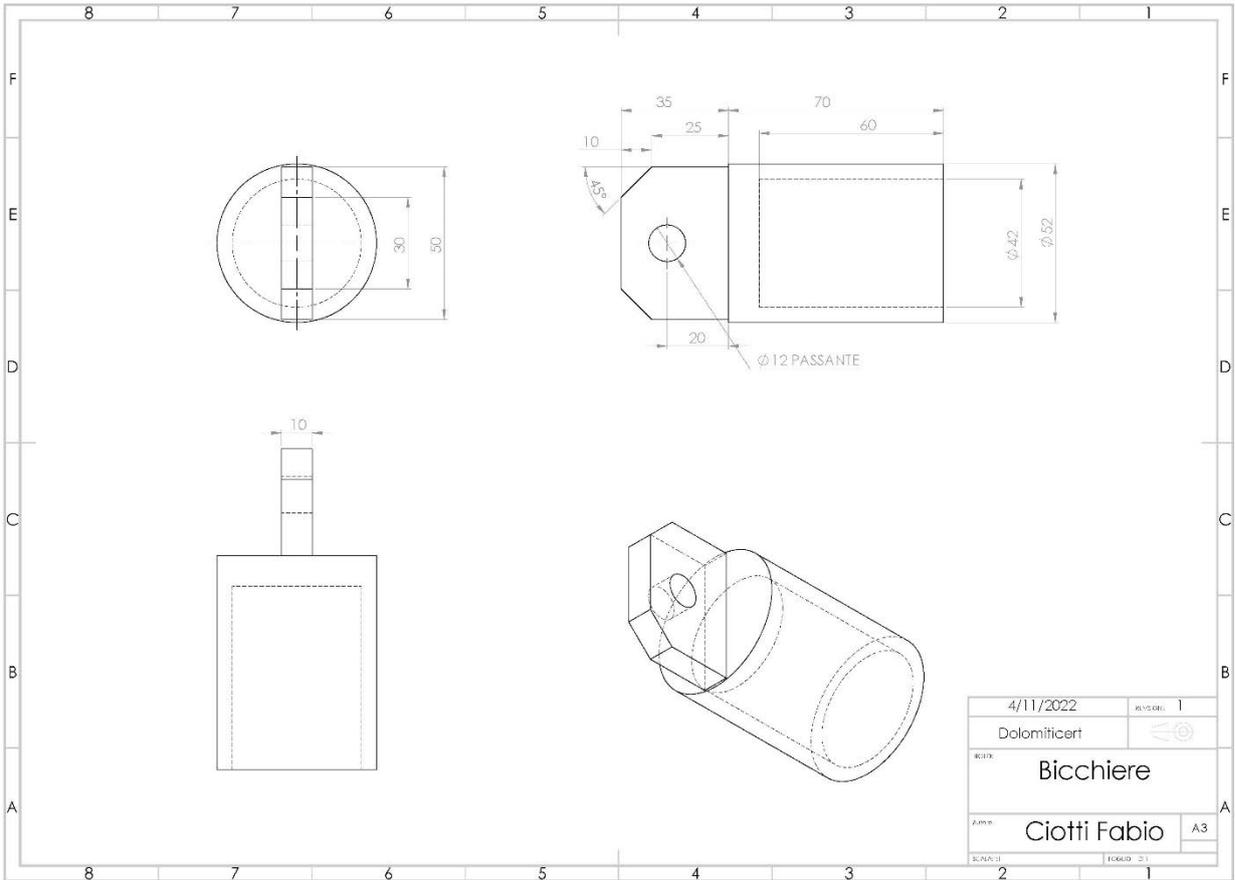
ENGLISH

### Specifications:

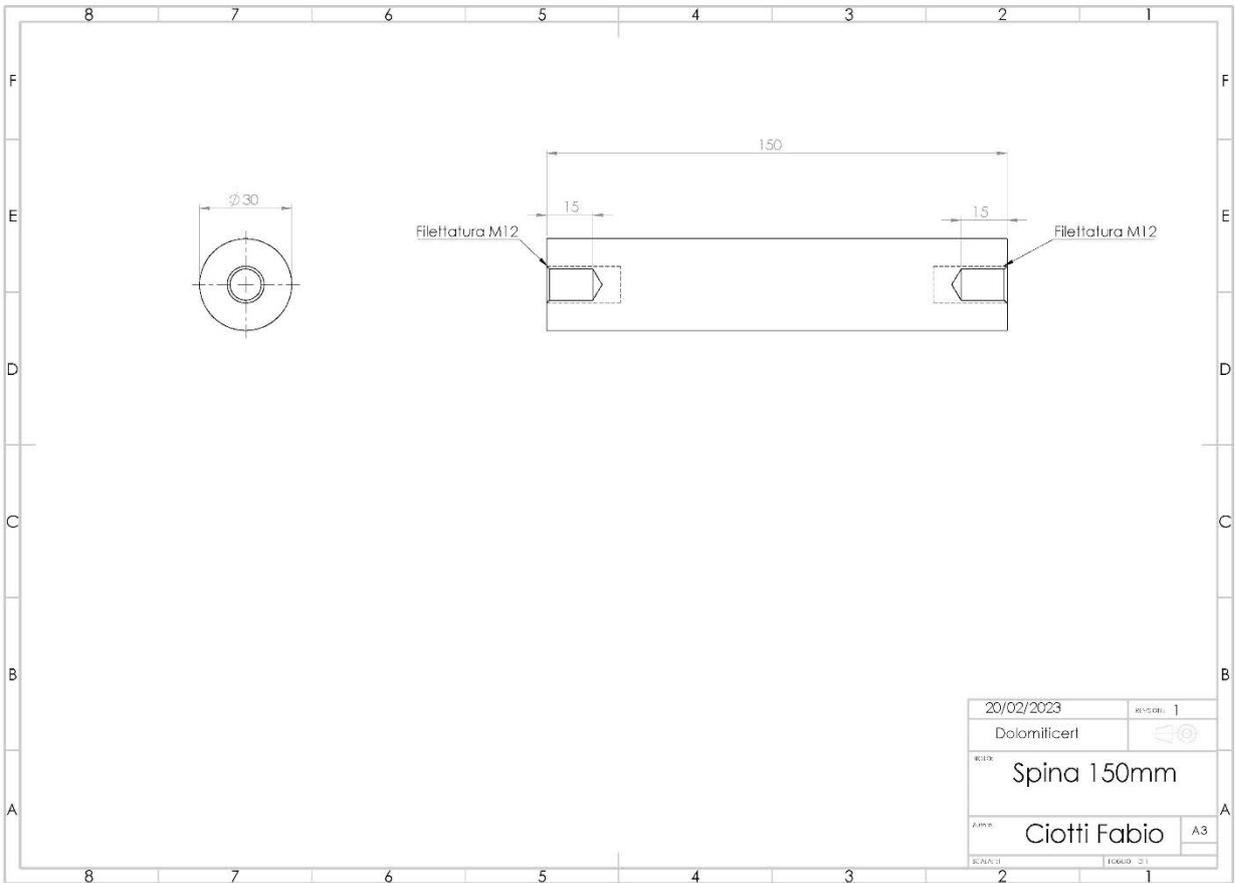
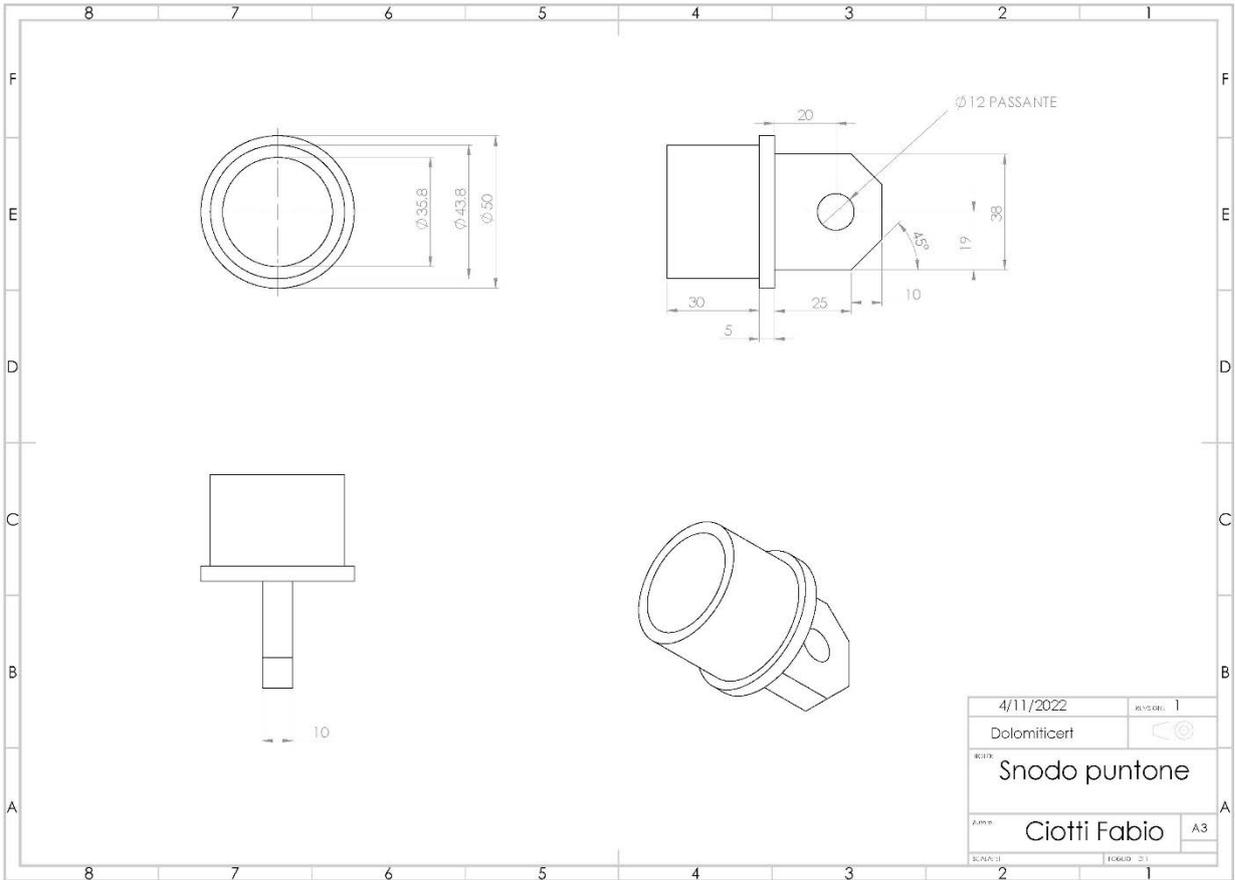
Bore Diameter	20 mm
Bore Length	60 mm
Colour	Black
Features	Abrasion Resistant, Quiet Operation
Hub Bearing Type	Ball Bearing
Hub Diameter	60 mm
Hub Material	Aluminium
Load Capacity	400 kg
Tyre Material	Rubber
Tyre Type	Solid
Wheel Diameter	200 mm
Wheel Width	50 mm

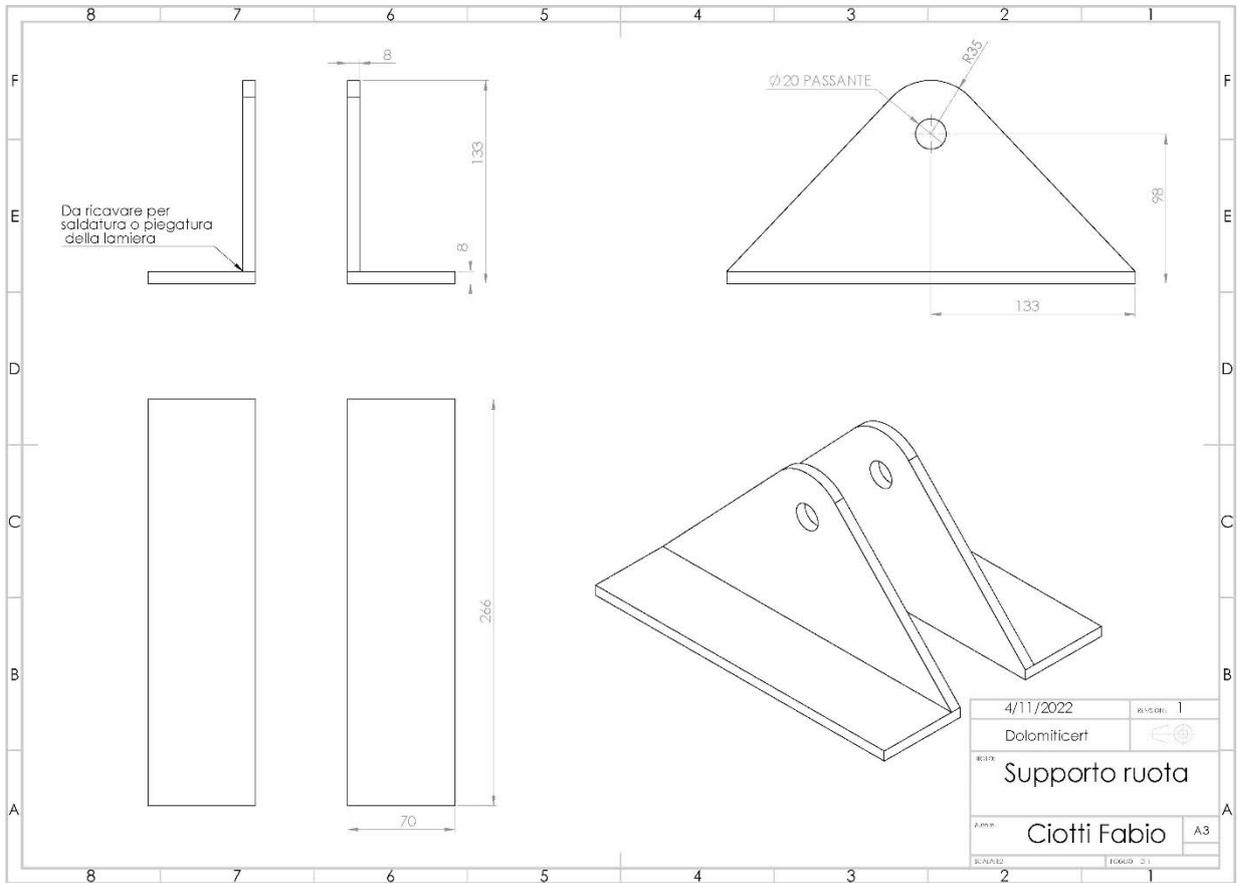
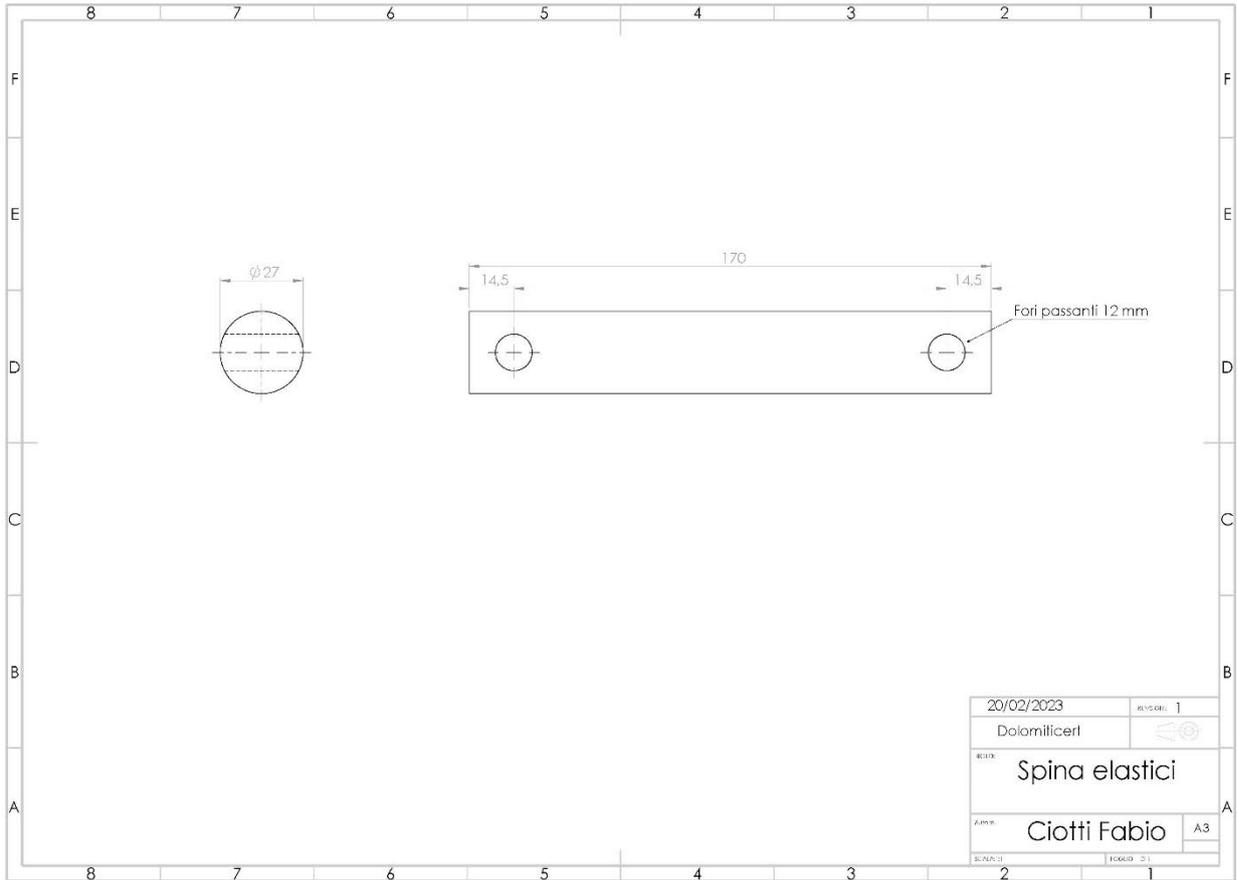
RS, Professionally Approved Products, gives you professional quality parts across all products categories. Our range has been testified by engineers as giving comparable quality to that of the leading brands without paying a premium price.

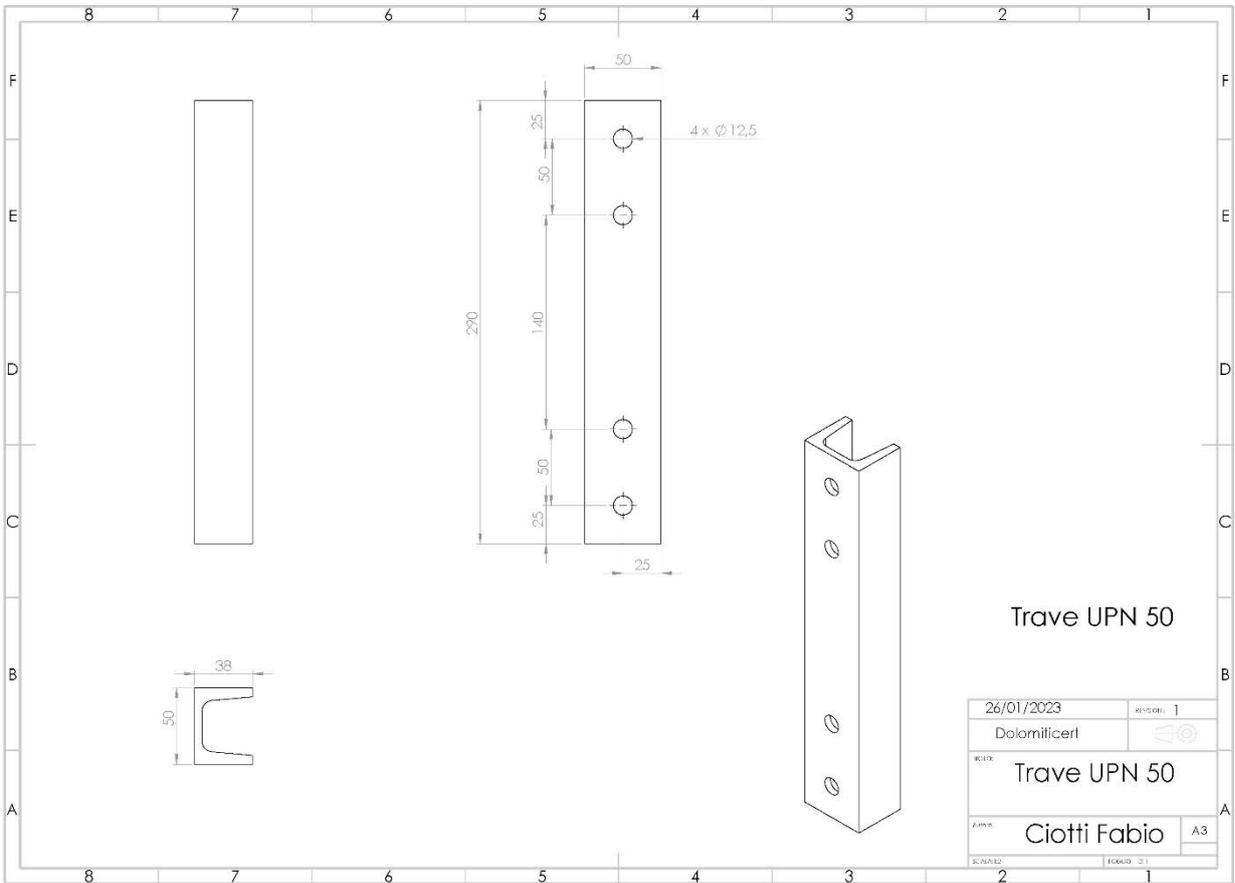
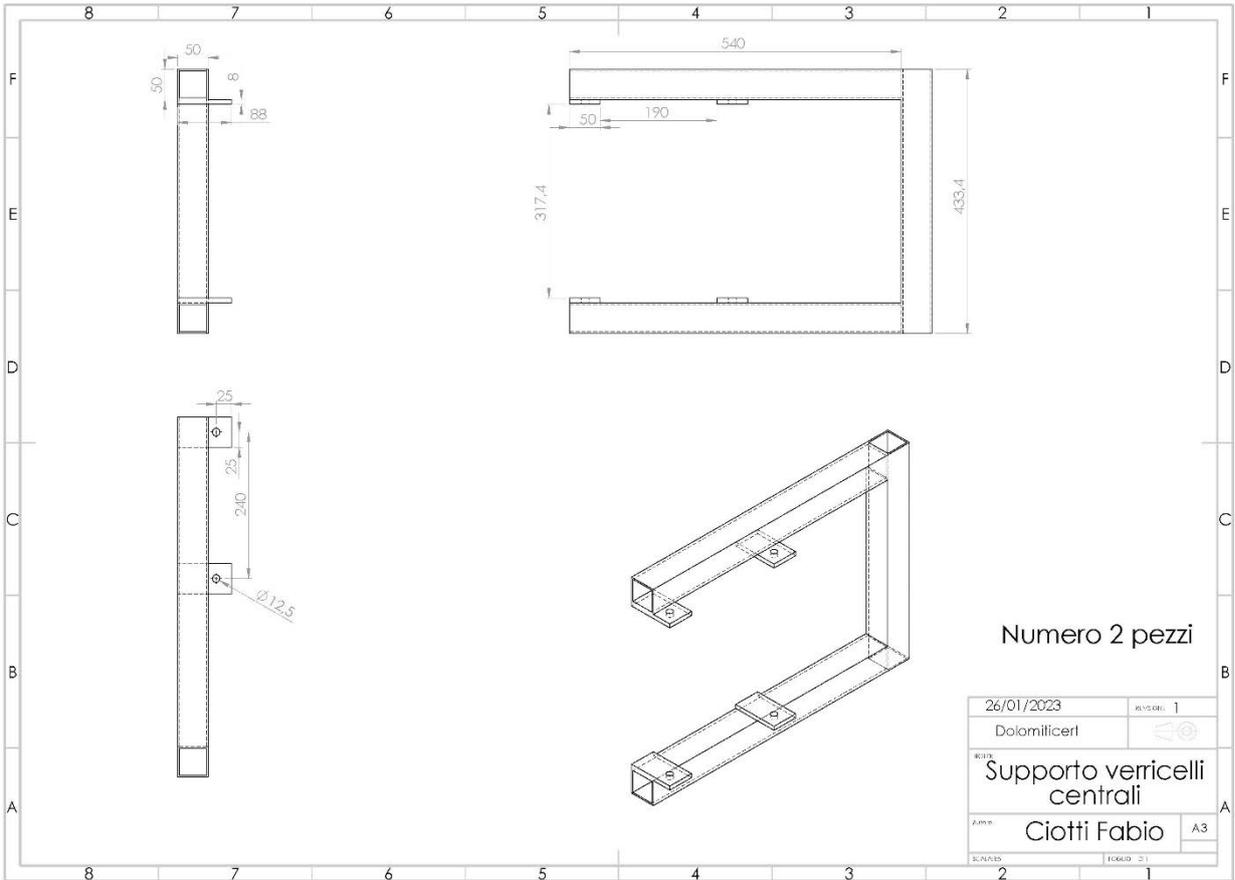


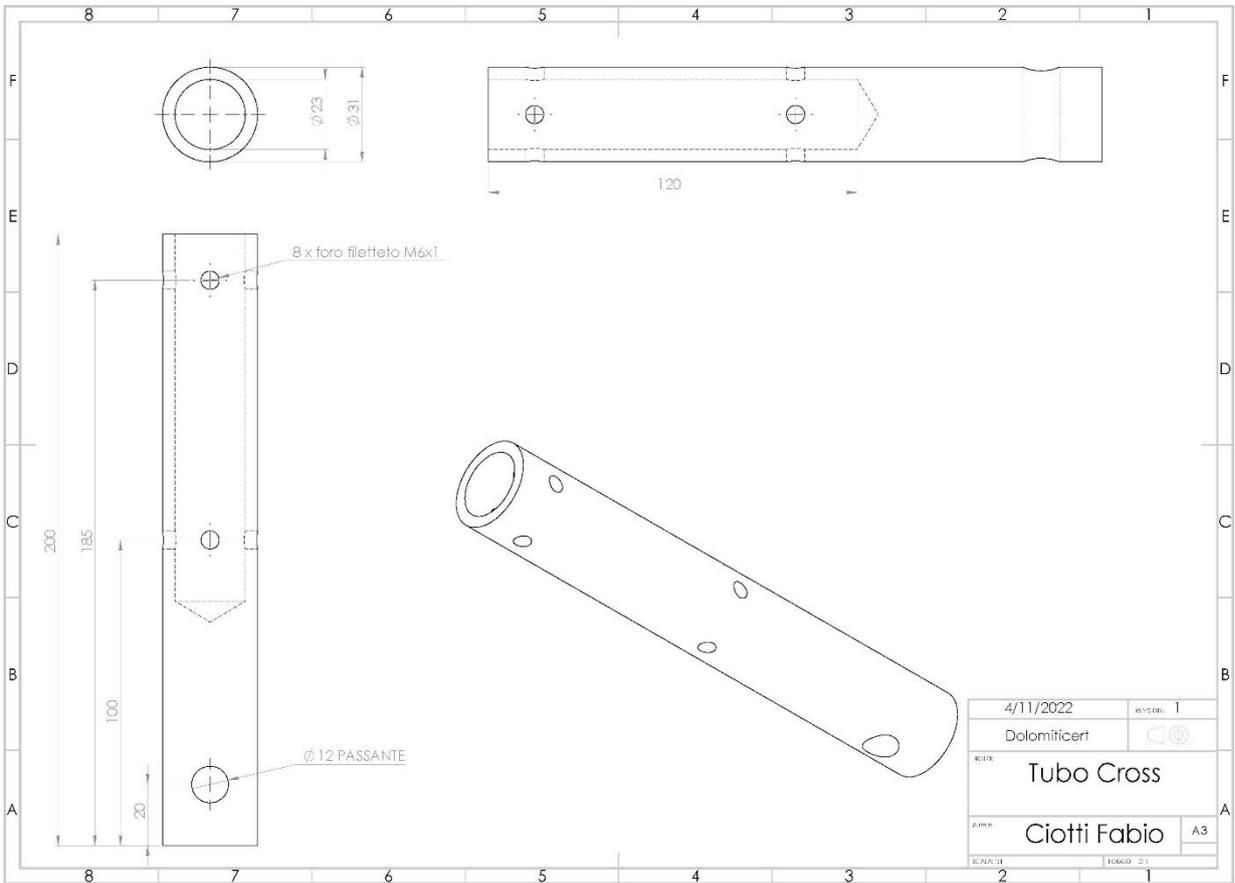
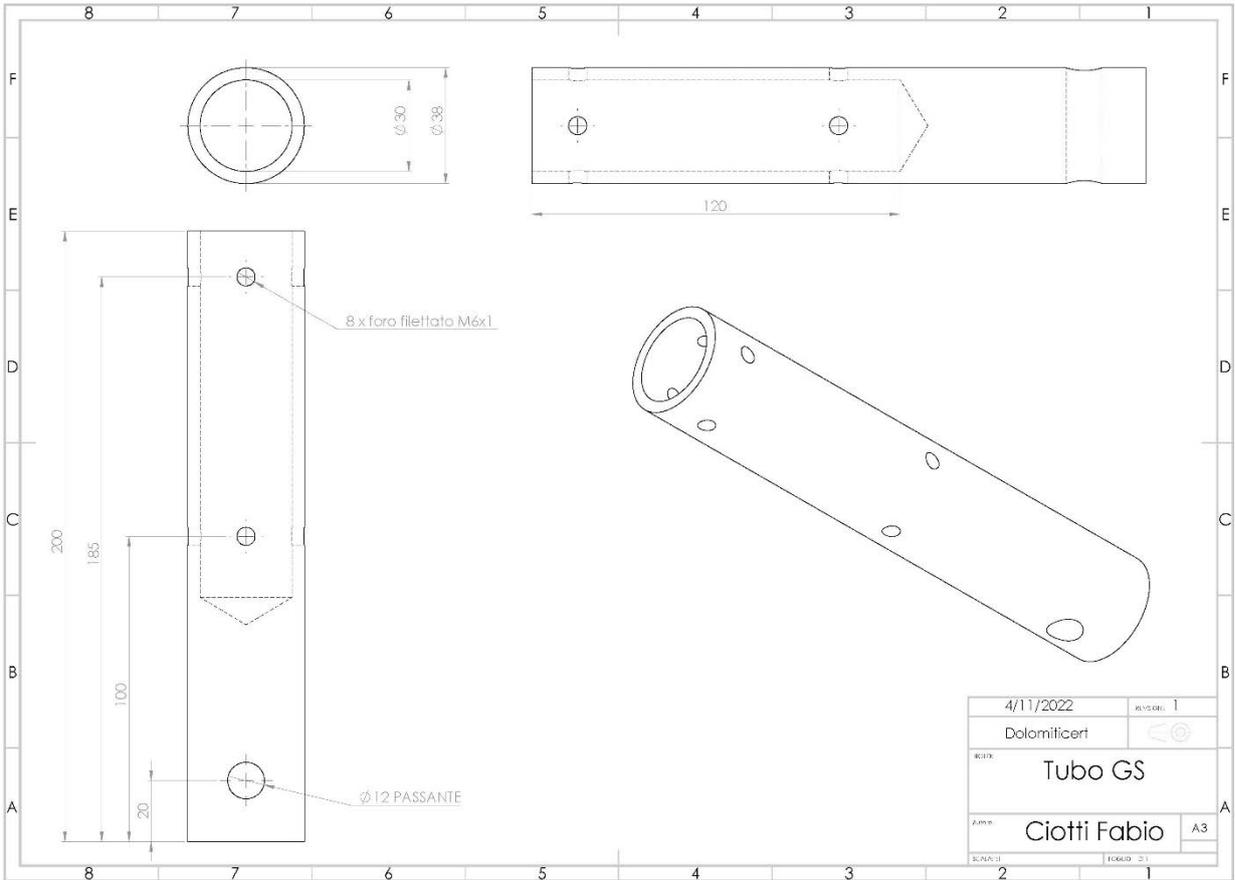












# Bibliografia

1. Aldrighetti Damiano, Development and testing of launching sleds for ski barriers and wearable motorcycle protectors full scale testing. <https://hdl.handle.net/20.500.12608/36767>
2. Crosetta Lorenzo, Design and Construction of Launching Catapults for Full Scale Crash Testing of Protective Devices
3. Decathlon. [Online] [Riportato: 20 04 2020.] [https://www.decathlon.it/p/elastico-training-band-60-kg/\\_/R-p-187036?mc=8484823&c=NERO](https://www.decathlon.it/p/elastico-training-band-60-kg/_/R-p-187036?mc=8484823&c=NERO).
4. Polifemo. <https://timing.microgate.it/it/prodotti/rilevazione-velocita>
5. Matlab. [Online] <https://www.mathworks.com/help/signal/ug/using-signal-analyzer-app.html>.
6. Manual, HBM SoMat eDAQlite® User.
7. humotions. [Online] <https://humotion.net/en/products/datalogger/>.
8. Hic [Online]. <https://www.biomeccanicaforense.com/i-criteri-lesivi-negli-incidenti-stradali.html>
9. BrIC [Online]. Development of Brain Injury Criteria (BrIC). Erik G. Takhounts, Matthew J. Craig, Kevin Moorhouse, Joe McFadden
10. Martini Giorgio, Validation of a bicycle/dummy launching catapult and analysis of first full scale crash test. <https://hdl.handle.net/20.500.12608/4612>
11. Tralicci Litec. <https://www.litectruss.it/products/trussing/end-plated-trusses/qx30sa-excellent-size,-weight-performances>
12. Cella di carico TS. <https://www.aep.it/en/product/load-cells/ts/>
13. EuroCodice 9. [aut. libro] CNR-DT 208/2011.
14. SKF. [Online]. <https://www.skf.com/it/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-6306-2RS1>
15. Dolomitcert. Technical disciplinary for inflatable protectors with electronic activation
16. [Online] <https://www.plastotecnicaemiliana.it/index.php/nylon-pa>
17. Bungee\_engineering. [Online] <https://www.bungee.it/bungee-engineering/>.
18. <https://www.silvanovidori.it/>
19. <https://www.kinovea.org/>