

DOCUMENTAZIONE TECNICA

**Barriere Bordo Ponte**  
Azioni sulle fondazioni

ON  
THE  
ROAD



MARGARITELLI  
**ROAD  
SAFETY**



## Introduzione

Lo scopo del presente documento è quello di riportare i risultati ottenuti nel corso dell'attività numerica svolta sui montanti a C caratteristici delle barriere di sicurezza stradale di Margaritelli Ferroviaria SpA.

L'attività ha riguardato la verifica, tramite analisi FEM, del comportamento flessionale dei pali a C 100x85x5 mm e 100x70x5 mm montati su una piastra di dimensioni 265x250x12 mm.

Mediante una spinta orizzontale sulla superficie frontale del montante, per entrambe le configurazioni palo/piastra sono state valutate le seguenti grandezze:

- Curva forza-spostamento della flessione
- Carichi nei tirafondi (azione assiale e taglio)
- Stato di sforzo nel montante
- Pressione sulla superficie rappresentativa del cordolo

Il metodo utilizzato è conforme a quanto indicato al punto 5.1.3.10 delle NTC 2018: Azioni sui parapetti e urto di veicolo in svio: q8 - sistema di forze orizzontali.

Nel presente documento sono inoltre riportate, in appendice, alcune valutazioni ulteriori relative ai sistemi di ritenuta su piastra di Margaritelli Ferroviaria SpA.

### Allegato

Report Crashtech

RPT\_190712\_029\_0111 Revisione D del 09/02/2024

Valutazione delle prestazioni di montanti a C 100x85x5 mm e 100x70x5 mm su piastra 265x250x12 mm

emessa da:

**Ufficio Tecnico**

Ing. Filippo Leone

verificata e approvata da:

**Amministratore Delegato**

Dott. Stefano Lucarini

Titolo Title	<b>Valutazione delle prestazioni di montanti a C 100x85x5 mm e 100x70x5 mm su piastra 265x250x12 mm</b>
-----------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Compilato da Compiled by	Sergio Marco Bassi Davide Benetton Matteo Bernardini
-----------------------------	------------------------------------------------------------

Approvato da Approved by	Marco Anghileri
-----------------------------	-----------------

Riferimento Reference	RPT_190712_029_0111				
Revisione Revision	<b>D</b>	Data Date	09/02/2024	Pagine Pages	29

Società esecutrice dell'attività Company performing the activity	CrashTech S.R.L.
Ricevente/Cliente Recipient/Client	Margaritelli Ferroviaria S.p.A.

## INDICE DELLE REVISIONI

REV	DESCRIZIONE DELLA MODIFICA	DATA
<b>C</b>	Valutazioni coppia di serraggio ridotta dei tirafondi in appendice	30/04/2021
<b>D</b>	Introduzione ulteriori considerazioni posizioni pneumatici	09/02/2024

## INDICE

<b>INDICE .....</b>	<b>2</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE.....</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>2 MODELLO GEOMETRICO .....</b>	<b>5</b>
<b>3 MODELLO AD ELEMENTI FINITI .....</b>	<b>7</b>
<b>4 ANALISI RISULTATI .....</b>	<b>9</b>
4.1 MONTANTE C 100X70X5 MM .....	9
4.2 MONTANTE C 100X85X5 MM .....	15
<b>5 CONCLUSIONI .....</b>	<b>20</b>
<b>6 APPENDICE .....</b>	<b>21</b>
6.1 VALUTAZIONE CARICHI NEI TIRAFONDI CON COPPIA DI SERRAGGIO RIDOTTA.....	21
6.2 VALUTAZIONI ANALITICHE .....	21
6.3 CONSIDERAZIONI SULLA BASE DELLA NTC 2018.....	22
6.4 POSIZIONI LATERALI DEGLI PNEUMATICI DEI VEICOLI E CONSIDERAZIONI.....	23
6.4.1 .H2BP02.....	23
6.4.2 .N2BP01 .....	23
6.4.3 .H2BP01 .....	25
6.4.4 .H2BP03.....	27
<b>7 DICHIARAZIONI .....</b>	<b>29</b>

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Disegni del montante 100x85x5 su piastra 265x250x12.....	5
Figura 2 – Modello 3D del montante 100x85x5 mm .....	6
Figura 3 – Modellazione FE di dettaglio .....	7
Figura 4 – Prova di flessione del montante .....	7
Figura 5 – 100x70x5 mm – Deformata finale della simulazione di flessione .....	9
Figura 6 – 100x70x5 mm – Curva forza-spostamento dello spingitore .....	10
Figura 7 – 100x70x5 mm – Stato di sforzo all'interno di piastra e montante .....	10
Figura 8 – 100x70x5 mm – Stato di deformazione all'interno di piastra e montante .....	11
Figura 9 – 100x70x5 mm – Forze assiali nei tirafondi .....	12
Figura 10 – 100x70x5 mm – Forze di taglio nei tirafondi .....	12
Figura 11 – 100x70x5 mm – Pressione sulla superficie del cordolo .....	13
Figura 12 – 100x70x5 mm – Sistema di riferimento per il grafico delle pressioni.....	13
Figura 13 – 100x85x5 mm – Deformata finale della simulazione di flessione .....	15
Figura 14 – 100x85x5 mm – Curva forza-spostamento dello spingitore .....	15
Figura 15 – 100x85x5 mm – Stato di sforzo all'interno di piastra e montante .....	16
Figura 16 – 100x85x5 mm – Stato di deformazione all'interno di piastra e montante .....	16
Figura 17 – 100x85x5 mm – Forze assiali nei tirafondi .....	17
Figura 18 – 100x85x5 mm – Forze di taglio nei tirafondi .....	17
Figura 19 – 100x85x5 mm – Pressione sulla superficie del cordolo .....	18
Figura 20 – 100x85x5 mm – Sistema di riferimento per il grafico delle pressioni.....	19
Figura 21 – Traiettorie del veicolo nel test TB32 della barriera N2BP01.....	24
Figura 22 – N2BP01 – Posizionamento su cordolo .....	25
Figura 23 – Traiettorie ascendente del veicolo nel test TB51 della barriera H2BP01 .....	26
Figura 24 – H2BP01 – Posizionamento su cordolo .....	26
Figura 25 – H2BP03 - test TB51 – posizione laterale massima ruota anteriore.....	27
Figura 26 – H2BP03 - test TB51 – posizione laterale massima ruote posteriori .....	27

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Altezze di spinta considerate per le analisi numeriche .....	8
Tabella 2 – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati.....	8
Tabella 3 – 100x70x5 mm – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati.....	10
Tabella 4 – 100x70x5 mm – Caratteristiche di resistenza dei tirafondi .....	11
Tabella 5 – 100x70x5 mm – Riassunto risultati .....	14
Tabella 6 – 100x85x5 mm – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati.....	16
Tabella 7 – 100x85x5 mm – Caratteristiche di resistenza dei tirafondi .....	17
Tabella 8 – 100x85x5 mm – Riassunto risultati .....	19
Tabella 9 – Riassunto risultati per entrambi i montanti .....	20
Tabella 10 – Riassunto risultati con coppia di serraggio di 100 Nm.....	21
Tabella 11 – Modulo flessionale e momenti flettenti analitici .....	21
Tabella 12 – Posizioni laterali estreme degli pneumatici dei veicoli nelle simulazioni dei test di contenimento .....	23
Tabella 13 – Dimensioni trasversali minime dei cordoli .....	28

## 1 INTRODUZIONE

Lo scopo del presente documento è quello di riportare i risultati ottenuti nel corso dell'attività numerica svolta sui montanti a C caratteristici delle barriere di sicurezza stradale di Margaritelli Ferroviaria SpA. L'attività ha riguardato la verifica, tramite analisi FEM, del comportamento flessionale dei pali a C 100x85x5 mm e 100x70x5 mm montati su una piastra di dimensioni 265x250x12 mm.

Mediante una spinta orizzontale sulla superficie frontale del montante, per entrambe le configurazioni palo/piastra sono state valutate le seguenti grandezze:

- Curva forza-spostamento della flessione
- Carichi nei tirafondi (azione assiale e taglio)
- Stato di sforzo nel montante
- Pressione sulla superficie rappresentativa del cordolo

Nel presente documento sono inoltre riportate, in appendice, alcune valutazioni ulteriori relative ai sistemi di ritenuta su piastra di Margaritelli Ferroviaria SpA.

## 2 MODELLO GEOMETRICO

Per poter realizzare i modelli ad elementi finiti di dettaglio dei montanti su piastra oggetto dell'attività, si è partiti dai disegni 2D disponibili, allegati ai report di prova delle barriere. Sono stati considerati due montanti con geometria differente:

- Palo 100x70x5 mm delle barriere N2BP01 e H2BP01
- Palo 100x85x5 mm delle barriere H2BP02 e H2BP03

Per quanto riguarda la piastra alla base dei pali, si è considerata una sola geometria, con dimensioni 265x250x12 mm.

A partire dai disegni sono stati realizzati i modelli tridimensionali dei pali, predisponendoli per la successiva fase di realizzazione della mesh. In Figura 1 sono riportate alcune immagini dei disegni considerati per la realizzazione del modello 3D.

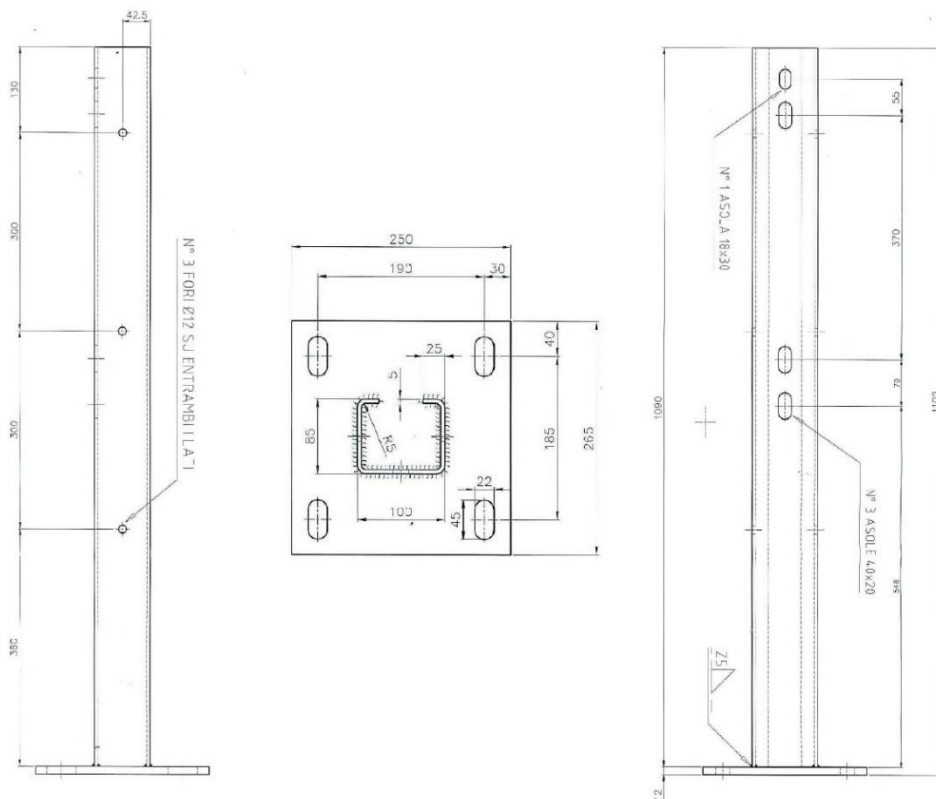
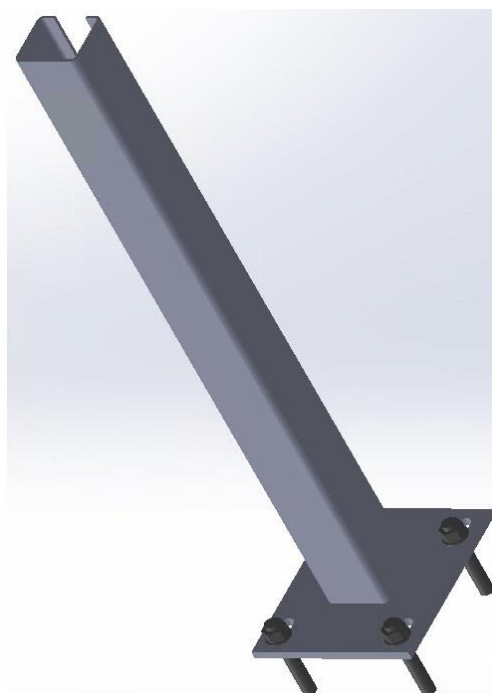


Figura 1 – Disegni del montante 100x85x5 su piastra 265x250x12

In Figura 2 è mostrato, a titolo esemplificativo, il modello 3D sviluppato del montante 100x85x5 mm su piastra 265x250x12 mm.



**Figura 2 – Modello 3D del montante 100x85x5 mm**



### 3 MODELLO AD ELEMENTI FINITI

I due montanti considerati sono costituiti da travi a C, 100x70x5 mm e 100x85x5 mm, saldate su una piastra con dimensioni 265x250x12 mm fissata a terra tramite n.4 tirafondi M20 classe 6.8.

Per verificare il comportamento dell'insieme saldato piastra-montante si è realizzato un modello FE di dettaglio della struttura e si è simulata una prova di flessione. La prova risulta significativa in quanto è in grado di rappresentare in maniera efficace il meccanismo di deformazione del montante, riproducendo i carichi derivanti dalla flessione dello stesso. I materiali utilizzati nell'analisi ad elementi finiti sono modellati tramite leggi costitutive elastoplastiche che consentono di riprodurre correttamente anche il campo plastico del materiale.

Anche gli elementi di ancoraggio sono modellati in dettaglio. La mutua interazione tra montante e relativi ancoranti è riprodotta introducendo un algoritmo di contatto tra le parti.

In Figura 3 viene rappresentato un dettaglio della modellazione ad elementi solidi di tutti i componenti.

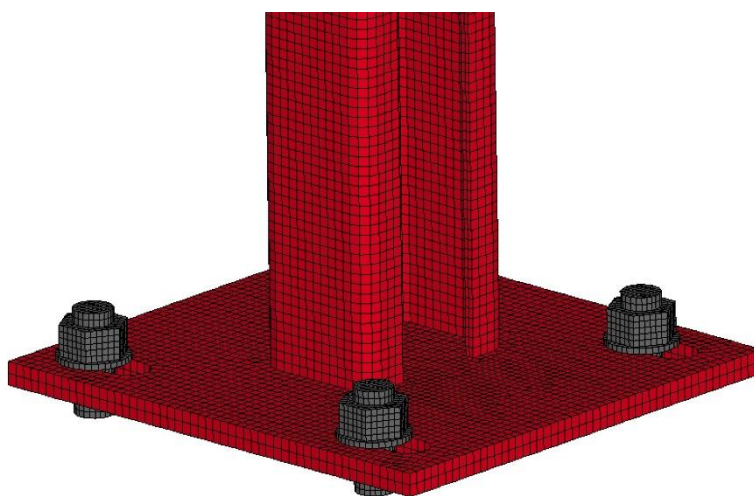


Figura 3 – Modellazione FE di dettaglio

La flessione del montante viene riprodotta applicando ad uno spingitore rigido di forma cilindrica una traslazione imposta, come mostrato in Figura 4.

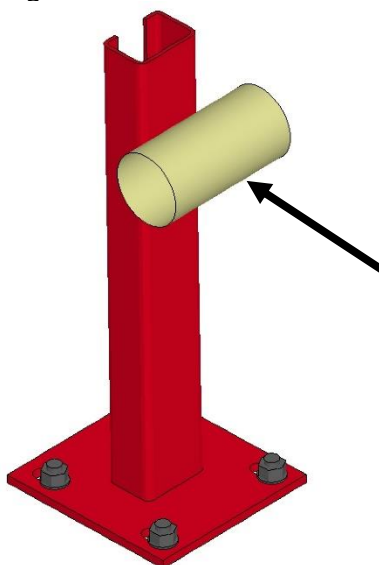


Figura 4 – Prova di flessione del montante

Le quote di spinta sui montanti oggetto di analisi, rispetto alla base della piastra, sono riportate in Tabella 1.

Altezza di spinta	
Montante 100x70x5	0,415 m
Montante 100x85x5	0,54 m

Tabella 1 – Altezze di spinta considerate per le analisi numeriche

Nei modelli numerici sono stati considerati i materiali con le prestazioni meccaniche massime riscontrate nei test sperimentali, in termini di sforzi di snervamento e di rottura. In Tabella 2 sono riportate le caratteristiche meccaniche considerate per le simulazioni svolte.

	Modulo elastico, [MPa]	Densità, [kg/m <sup>3</sup> ]	Coeff. di Poisson, [-]	Sforzo di snervamento [MPa]	Sforzo di rottura [Mpa]
Montante 100x70x5	210000	7800	0,3	415	509
Piastra montante 100x70x5	210000	7800	0,3	452	580
Montante 100x85x5	210000	7800	0,3	375	506
Piastra montante 100x85x5	210000	7800	0,3	386	512

Tabella 2 – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati

## 4 ANALISI RISULTATI

Nel presente capitolo si riporta il confronto tra gli output delle prove di flessione ottenuti per le due diverse configurazioni analizzate:

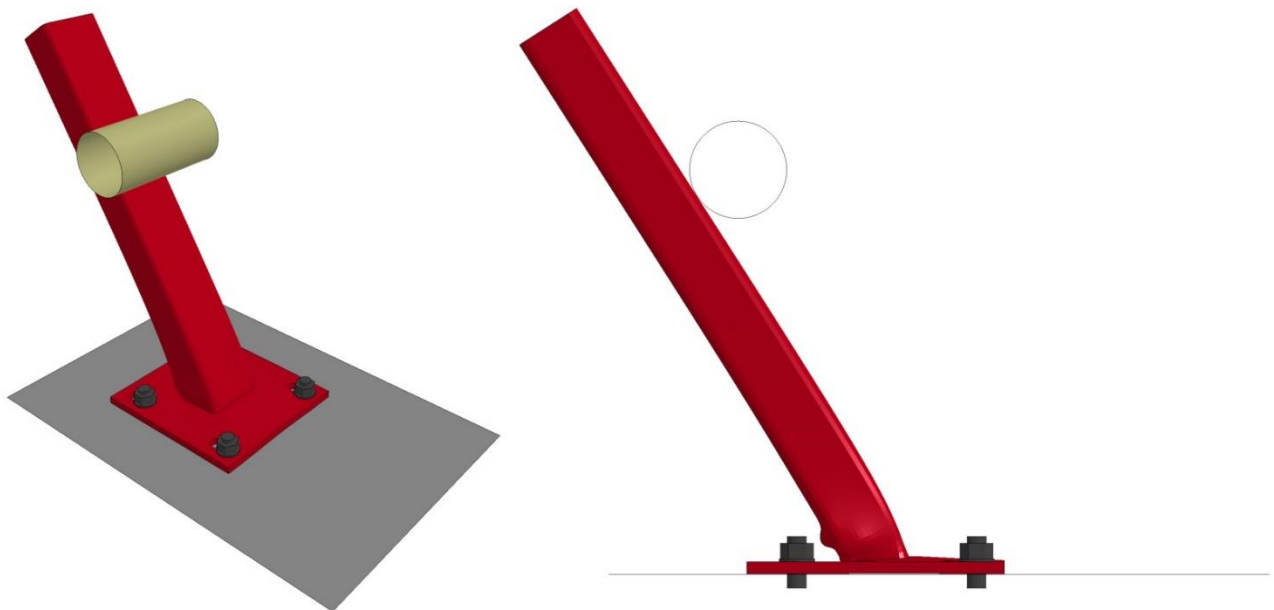
- Montante a C 100x70x5 mm, piastra 265x250x12 mm
- Montante a C 100x85x5 mm, piastra 265x250x12 mm

Per ogni simulazione sono analizzati i seguenti aspetti:

- Diagramma forza-spostamento dei carichi scambiati tra spingitore e montante
- Sforzi e deformazioni nei componenti
- Carichi nei tirafondi
- Pressione sulla superficie rappresentativa del cordolo

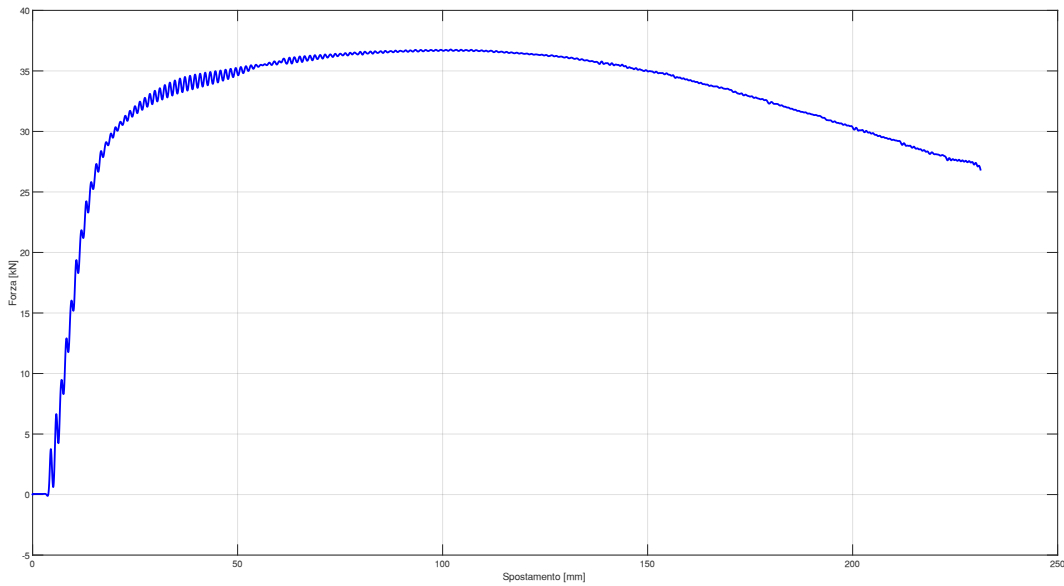
### 4.1 MONTANTE C 100X70X5 MM

In Figura 5 è riportata la deformata finale ottenuta per il montante oggetto di analisi.



**Figura 5 – 100x70x5 mm – Deformata finale della simulazione di flessione**

In Figura 6 si mostra la forza scambiata tra spingitore e montante, durante la prova di flessione, in funzione dello spostamento dello spingitore stesso. Il picco di forza raggiunto nel corso della prova è pari a 36,77 kN. L'altezza di spinta è di 0,415 m.

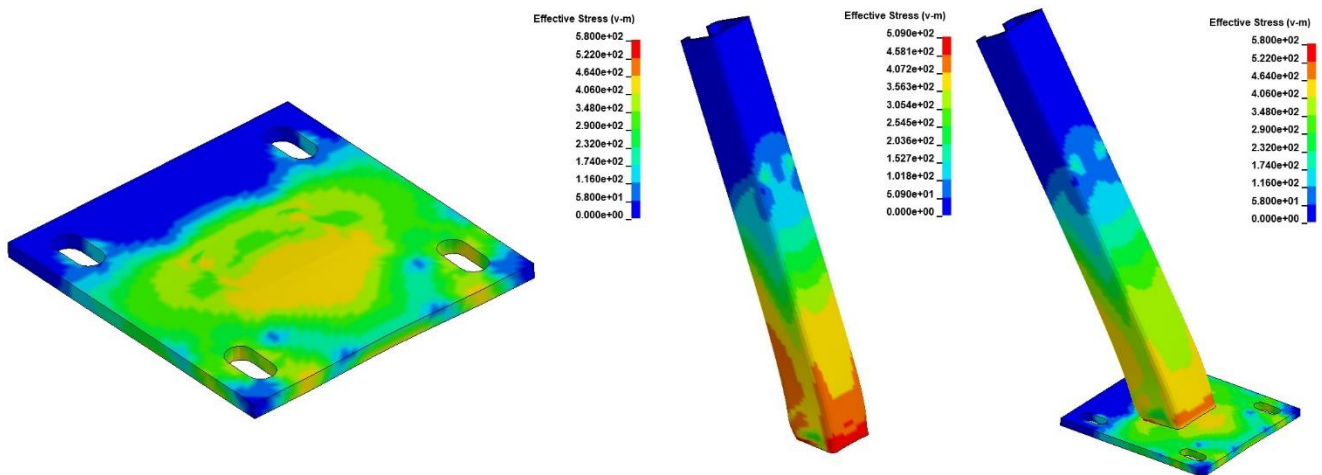


**Figura 6 – 100x70x5 mm – Curva forza-spostamento dello spingitore**

In Figura 7 è possibile osservare lo stato di sforzo all'interno di piastra e montante, durante la prova di flessione. Gli sforzi possono essere analizzati confrontandoli con quelli caratteristici del materiale di interesse.

	<b>Sforzo di snervamento [MPa]</b>	<b>Sforzo di rottura [MPa]</b>
<b>Montante 100x70x5</b>	415	509
<b>Piastra montante 100x70x5</b>	452	580

**Tabella 3 – 100x70x5 mm – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati**



**Figura 7 – 100x70x5 mm – Stato di sforzo all'interno di piastra e montante**

Allo stesso modo, per valutare l'entità della deformazione di piastra e montante, in Figura 8 si riporta l'andamento delle deformazioni plastiche al termine della simulazione.

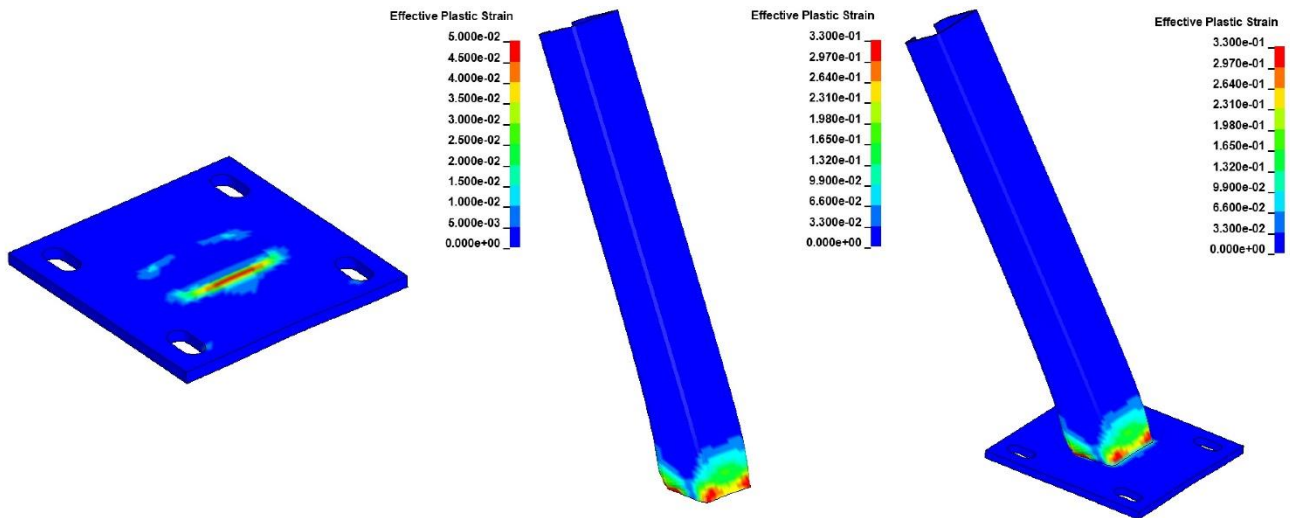
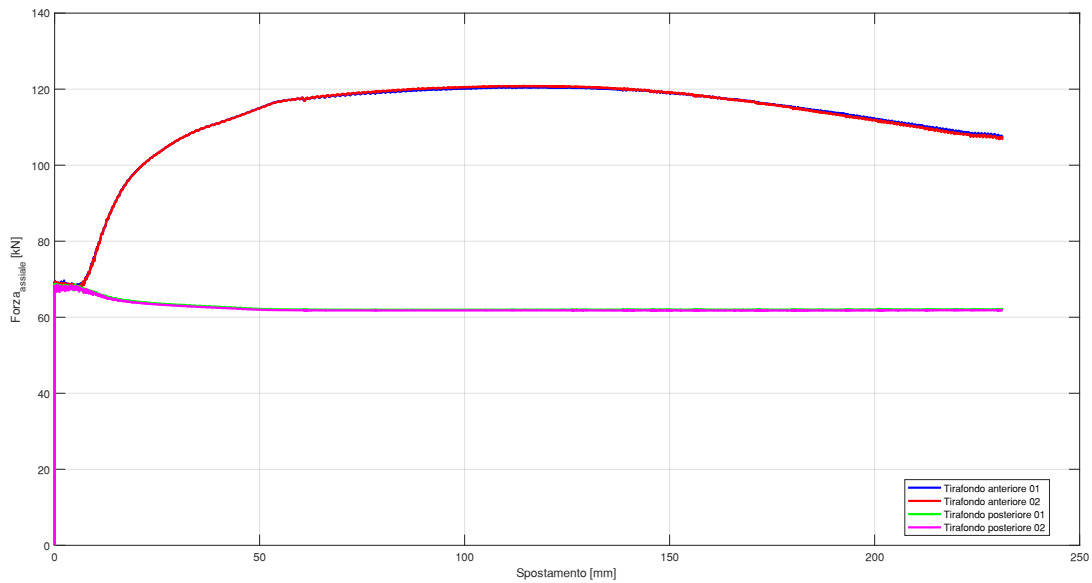


Figura 8 – 100x70x5 mm – Stato di deformazione all'interno di piastra e montante

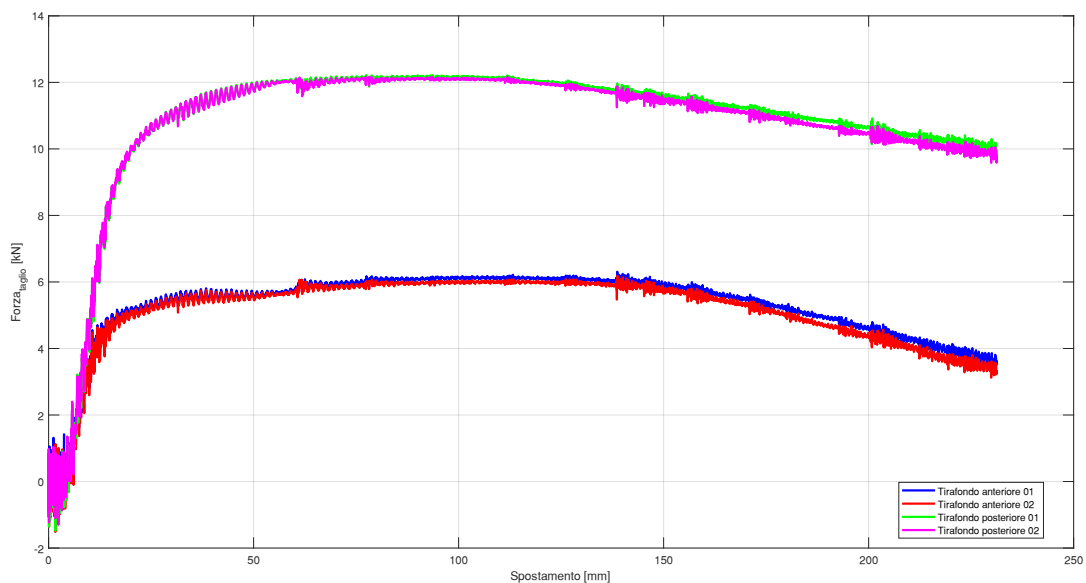
In Figura 9 e Figura 10 sono riportati i grafici relativi alle forze trasmesse all'impalcato attraverso gli elementi di ancoraggio. In particolare, i due grafici sono relativi alle forze assiali e alle forze di taglio nei tirafondi. Per entrambi i casi in esame, sono stati considerati tirafondi M20, classe 6.8, le cui caratteristiche di resistenza sono riportate in Tabella 4. Nei tirafondi è applicato un precarico, rappresentante il serraggio, di circa 68 kN, del medesimo ordine di grandezza dei valori caratteristici per i tirafondi in oggetto.

Tirafondi M20 6.8	
Carico di rottura per trazione	147 kN
Sforzo di snervamento	480 MPa

Tabella 4 – 100x70x5 mm – Caratteristiche di resistenza dei tirafondi



**Figura 9 – 100x70x5 mm – Forze assiali nei tirafondi**



**Figura 10 – 100x70x5 mm – Forze di taglio nei tirafondi**

L'analisi effettuata evidenzia come gli elementi di ancoraggio siano in grado di trasmettere i carichi derivanti dalla flessione del montante senza superare i propri limiti di cedimento.

Nella valutazione dei carichi individuati dalle simulazioni si deve tenere in considerazione che una parte del carico di taglio potrebbe scaricarsi, nel caso reale, come forza di attrito tra la piastra del montante e la superficie del cordolo; la quota parte di carico trasferita alla sottostruttura in questo modo, scaricando i tirafondi, dipende da caratteristiche locali del fenomeno (complanarità tra piastra e cordolo, coefficiente di attrito, ...), difficilmente generalizzabili; nelle simulazioni svolte è stato considerato un attrito nullo tra piastra e superficie di riferimento della sottostruttura. Allo stesso modo, il carico potrebbe scaricarsi maggiormente su alcuni tirafondi in dipendenza della posizione relativa tra ciascuno di loro ed i bordi delle asole sulla piastra in cui sono installati.

Tramite la simulazione numerica è stato possibile ottenere l'andamento qualitativo della pressione esercitata dalla piastra alla base del montante sulla superficie di interfaccia con la sottostruttura. I valori ottenuti sono rappresentativi dello stato di sforzo presente e forniscono una stima indicativa della distribuzione della pressione; i valori al vero sono fortemente dipendenti dal materiale e dalle caratteristiche geometriche della sottostruttura. In Figura 11 è mostrato l'andamento delle pressioni, in Figura 12 è riportata un'immagine del montante con indicato il sistema di riferimento utilizzato per il grafico delle pressioni.

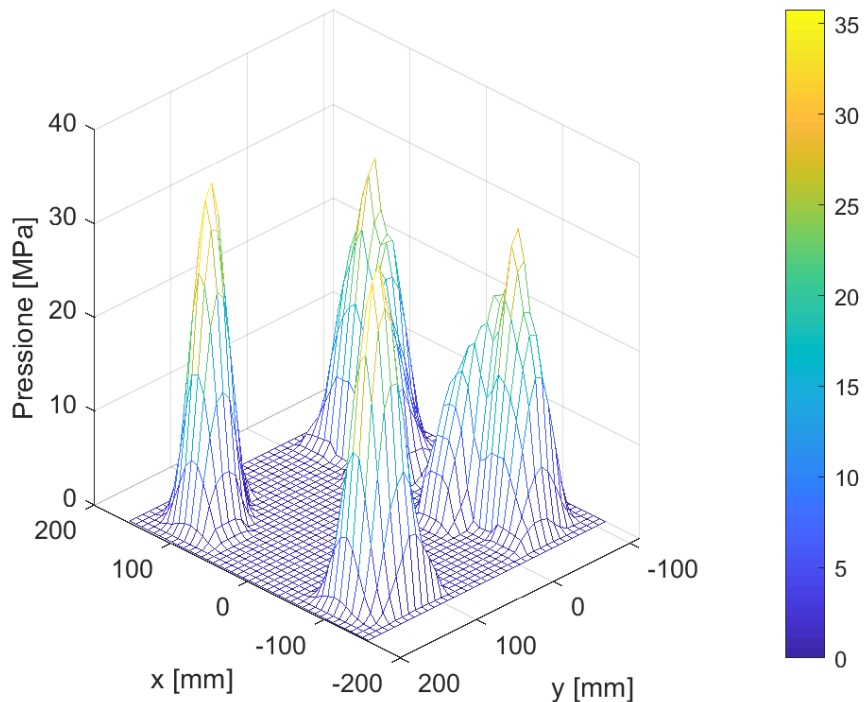


Figura 11 – 100x70x5 mm – Pressione sulla superficie del cordolo

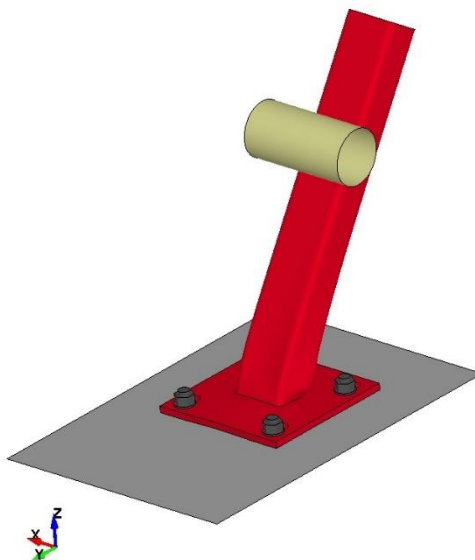


Figura 12 – 100x70x5 mm – Sistema di riferimento per il grafico delle pressioni

In Tabella 5 sono riassunti i principali risultati ottenuti nella simulazione numerica svolta.

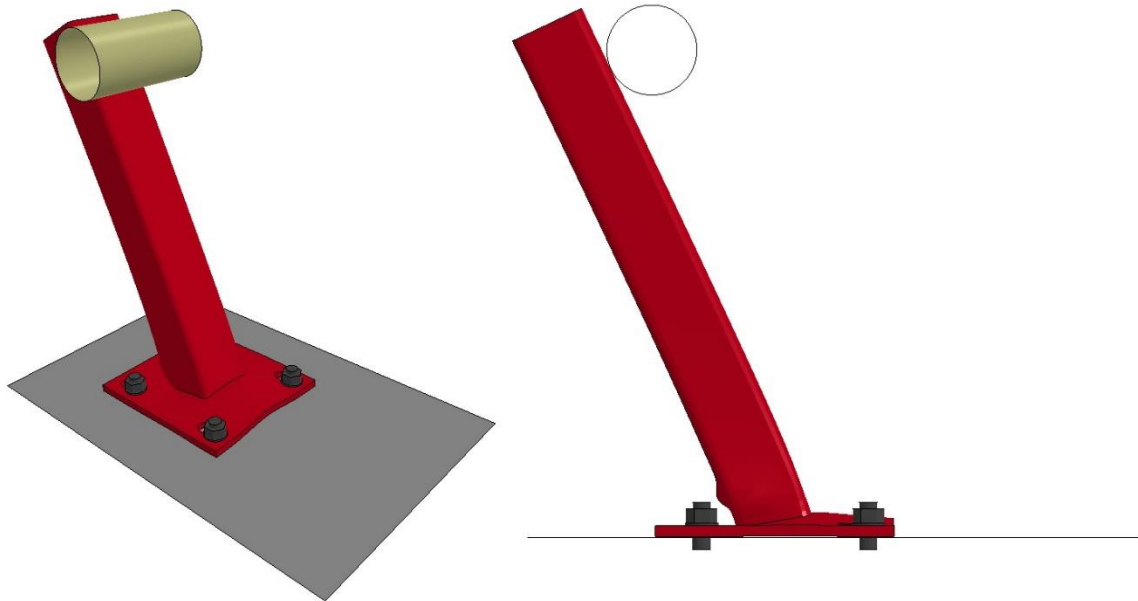
<b>Montante su piastra – 100x70x5 mm</b>	
<b>Forza trasversale massima spingitore</b>	36,77 kN
<b>Momento flettente caratteristico</b>	15,26 kNm
<b>Forza assiale massima tirafondi</b>	120,89 kN
<b>Forza taglio massima tirafondi</b>	12,23 kN

**Tabella 5 – 100x70x5 mm – Riassunto risultati**



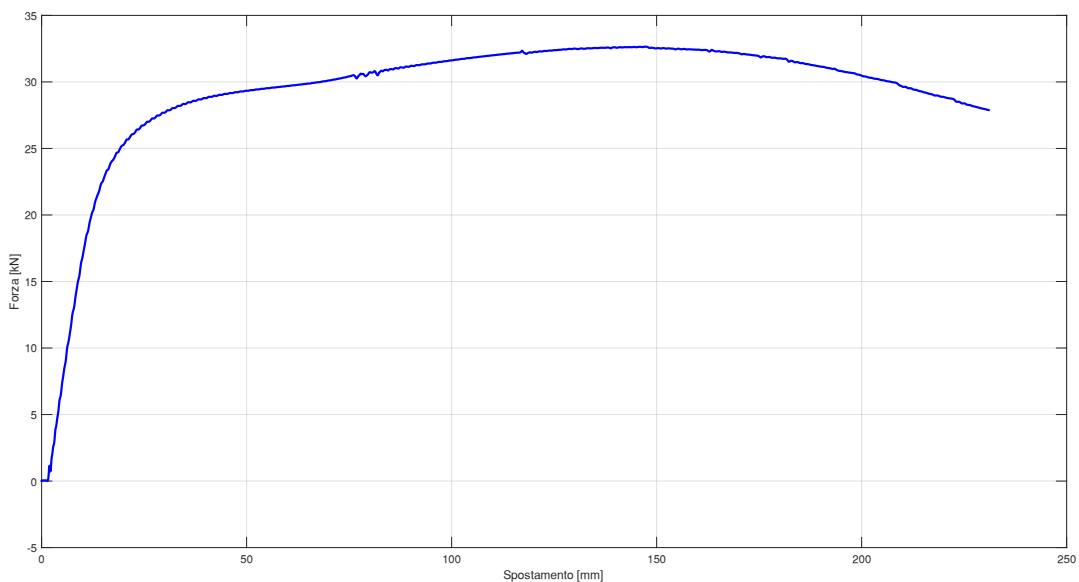
**4.2 MONTANTE C 100X85X5 MM**

In Figura 13 è riportata la deformata finale ottenuta per il montante oggetto di analisi.



**Figura 13 – 100x85x5 mm – Deformata finale della simulazione di flessione**

In Figura 14 si mostra la forza scambiata tra spingitore e montante, durante la prova di flessione, in funzione dello spostamento dello spingitore stesso. Il picco di forza raggiunto nel corso della prova è pari a 32,66 kN. L'altezza di spinta è di 0,54 m.



**Figura 14 – 100x85x5 mm – Curva forza-spostamento dello spingitore**

In Figura 15 è possibile osservare lo stato di sforzo all'interno di piastra e montante, durante la prova di flessione. Gli sforzi possono essere analizzati confrontandoli con quelli caratteristici del materiale di interesse.

	Sforzo di snervamento [MPa]	Sforzo di rottura [Mpa]
Montante 100x85x5	375	506
Piastra montante 100x85x5	386	512

Tabella 6 – 100x85x5 mm – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati

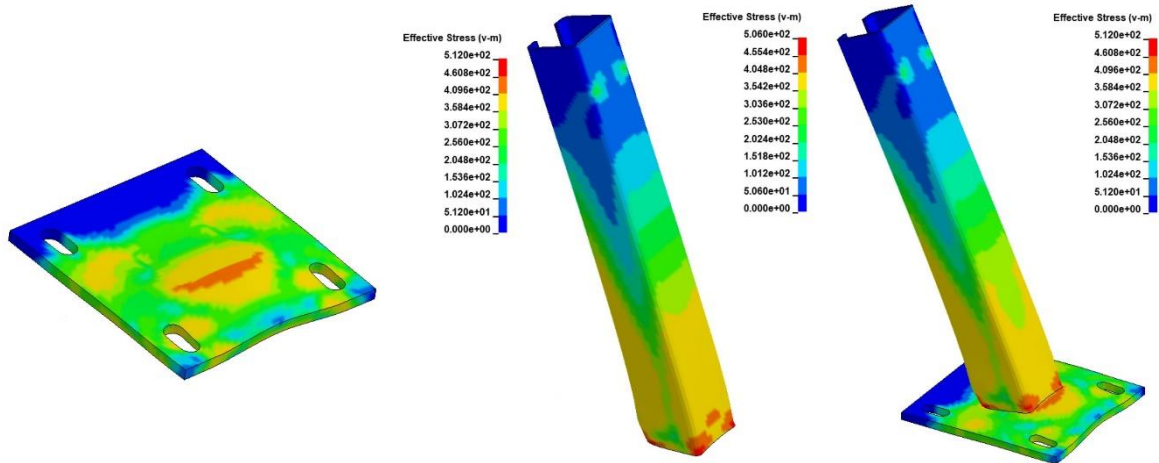


Figura 15 – 100x85x5 mm – Stato di sforzo all’interno di piastra e montante

Allo stesso modo, per valutare l’entità della deformazione di piastra e montante, in Figura 16 si riporta l’andamento delle deformazioni plastiche al termine della simulazione.

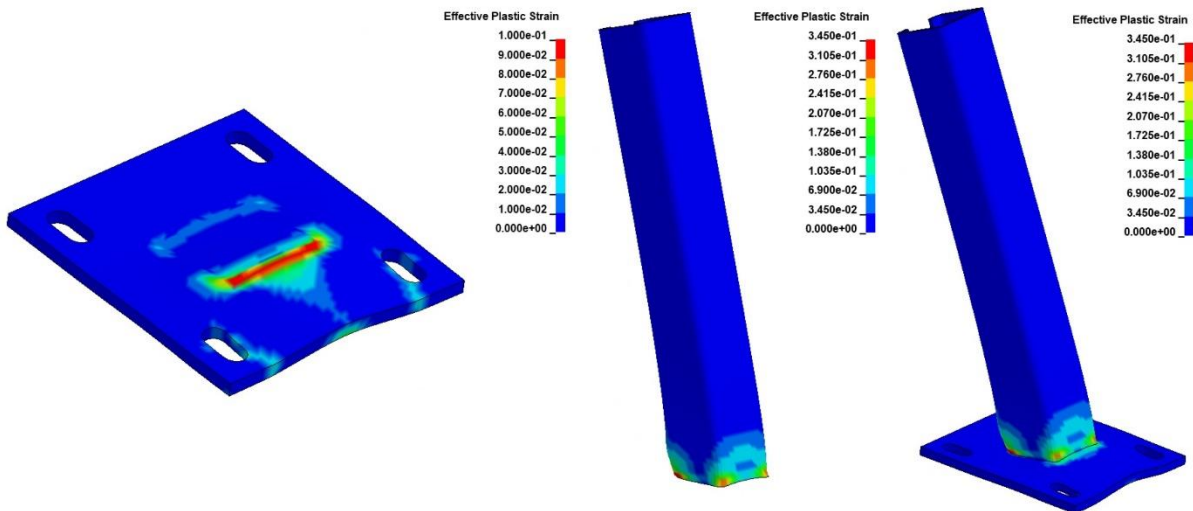


Figura 16 – 100x85x5 mm – Stato di deformazione all’interno di piastra e montante

In Figura 17 e Figura 18 sono riportati i grafici relativi alle forze trasmesse all’impalcato attraverso gli elementi di ancoraggio. In particolare, i due grafici sono relativi alle forze assiali e alle forze di taglio nei tirafondi. Per entrambi i casi in esame, sono stati considerati tirafondi M20, classe 6.8, le cui caratteristiche di resistenza sono riportate in Tabella 7. Nei tirafondi è applicato un precarico, rappresentante il serraggio, di circa 68 kN, del medesimo ordine di grandezza dei valori caratteristici per i tirafondi in oggetto.

Tirafondi M20 6.8	
Carico di rottura per trazione	147 kN
Sforzo di snervamento	480 MPa

Tabella 7 – 100x85x5 mm – Caratteristiche di resistenza dei tirafondi

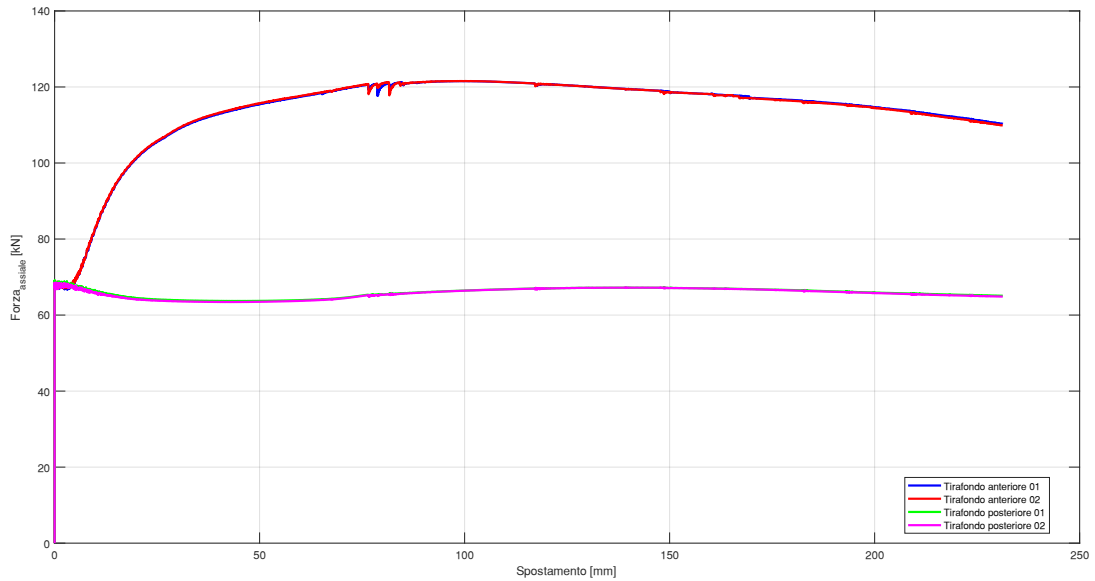


Figura 17 – 100x85x5 mm – Forze assiali nei tirafondi

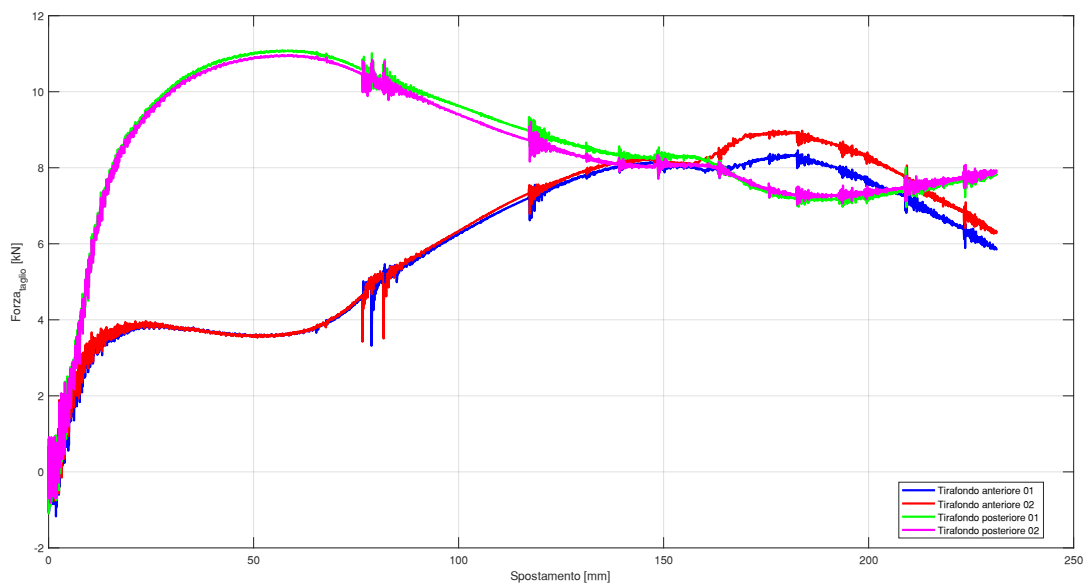


Figura 18 – 100x85x5 mm – Forze di taglio nei tirafondi

L'analisi effettuata evidenzia come gli elementi di ancoraggio siano in grado di trasmettere i carichi derivanti dalla flessione del montante senza superare i propri limiti di cedimento.

Nella valutazione dei carichi individuati dalle simulazioni si deve tenere in considerazione che una parte del carico di taglio potrebbe scaricarsi, nel caso reale, come forza di attrito tra la piastra del montante e la superficie del cordolo; la quota parte di carico trasferita alla sottostruttura in questo modo, scaricando i tirafondi, dipende da caratteristiche locali del fenomeno (complanarità tra piastra e cordolo, coefficiente di attrito, ...), difficilmente generalizzabili; nelle simulazioni svolte è stato considerato un attrito nullo tra piastra e superficie di riferimento della sottostruttura. Allo stesso modo, il carico potrebbe scaricarsi maggiormente su alcuni tirafondi in dipendenza della posizione relativa tra ciascuno di loro ed i bordi delle asole sulla piastra in cui sono installati.

Tramite la simulazione numerica è stato possibile ottenere l'andamento qualitativo della pressione esercitata dalla piastra alla base del montante sulla superficie di interfaccia con la sottostruttura. I valori ottenuti sono rappresentativi dello stato di sforzo presente e forniscono una stima indicativa della distribuzione della pressione; i valori al vero sono fortemente dipendenti dal materiale e dalle caratteristiche geometriche della sottostruttura. In Figura 19 è mostrato l'andamento delle pressioni, in Figura 20 è riportata un'immagine del montante con indicato il sistema di riferimento utilizzato per il grafico delle pressioni.

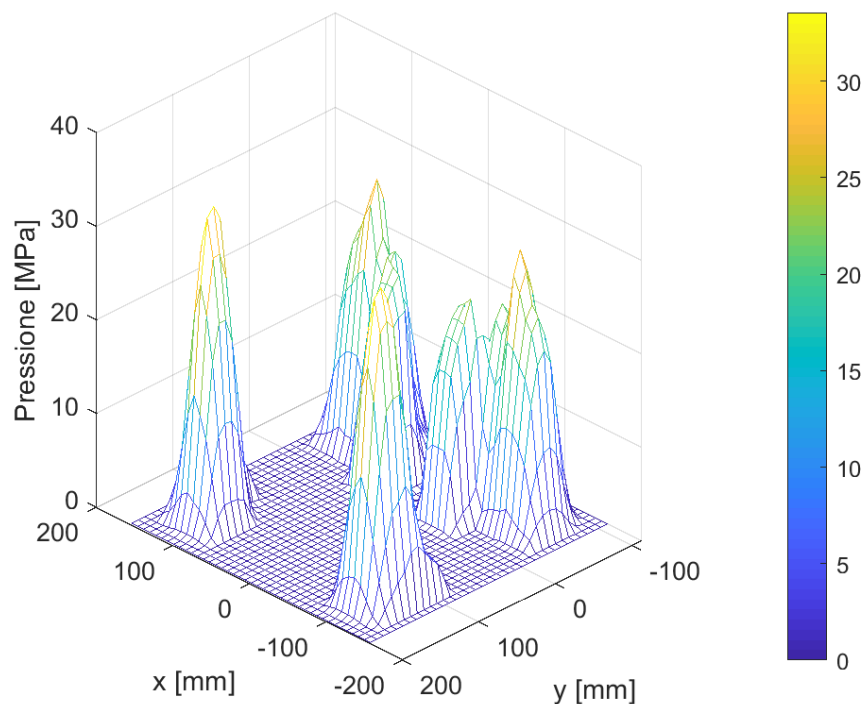
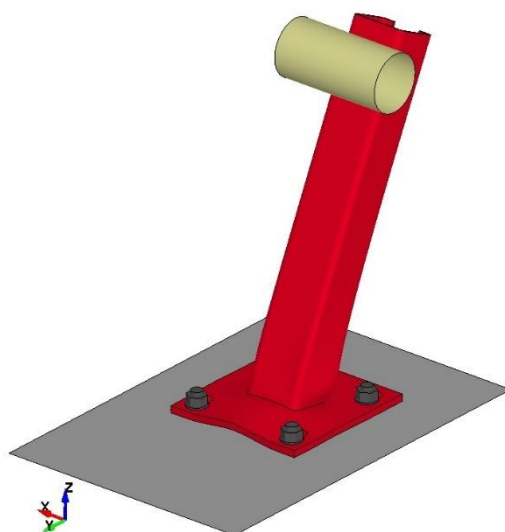


Figura 19 – 100x85x5 mm – Pressione sulla superficie del cordolo



**Figura 20 – 100x85x5 mm – Sistema di riferimento per il grafico delle pressioni**

In Tabella 8 sono riassunti i principali risultati ottenuti nella simulazione numerica svolta.

<b>Montante su piastra – 100x85x5 mm</b>	
<b>Forza trasversale massima spingitore</b>	32,66 kN
<b>Momento flettente caratteristico</b>	17,64 kNm
<b>Forza assiale massima tirafondi</b>	121,57 kN
<b>Forza taglio massima tirafondi</b>	11,10 kN

**Tabella 8 – 100x85x5 mm – Riassunto risultati**

## 5 CONCLUSIONI

L'attività di simulazione descritta nel presente documento ha permesso di valutare le sollecitazioni caratteristiche associate ai due montanti utilizzati sulle barriere di sicurezza stradale di Margaritelli Ferroviaria SpA. In particolare, l'attività ha riguardato la verifica, tramite analisi FEM, del comportamento flessionale dei pali a C 100x85x5 mm e 100x70x5 mm montati su una piastra di dimensioni 265x250x12 mm.

Tramite simulazioni numeriche di flessione, attraverso una spingitore, sono stati valutati la curva forza-spostamento della prova, i carichi nei tirafondi, lo stato di sforzo e deformazione nel montante e la pressione sulla superficie rappresentativa del cordolo, per entrambe le configurazioni di palo oggetto della presente attività. I principali risultati sono riassunti nella seguente Tabella.

	Montante su piastra – 100x70x5 mm	Montante su piastra – 100x85x5 mm
<b>Forza trasversale massima spingitore</b>	36,77 kN	32,66 kN
<b>Momento flettente caratteristico</b>	15,26 kNm	17,64 kNm
<b>Forza assiale massima tirafondi</b>	120,89 kN	121,57 kN
<b>Forza taglio massima tirafondi</b>	12,23 kN	11,10 kN

**Tabella 9 – Riassunto risultati per entrambi i montanti**

Dalle simulazioni svolte è risultato evidente che la forza trasversale necessaria per la flessione del montante è proporzionale all'altezza di spinta. Il momento flettente caratteristico, come atteso, è risultato maggiore per il palo con dimensioni superiori, i carichi sui tirafondi sono risultati simili per entrambi i casi, nelle condizioni di prova e con i materiali considerati. Il carico sui tirafondi, la forza di taglio in particolare, risulta fortemente dipendente dalla forza che si scarica per attrito tra piastra e superficie della sottostruttura.

## 6 APPENDICE

### 6.1 VALUTAZIONE CARICHI NEI TIRAFONDI CON COPPIA DI SERRAGGIO RIDOTTA

Le medesime valutazioni fatte per la coppia di serraggio nominale dei tirafondi sono state effettuate anche considerando una coppia di serraggio ridotta a 100 Nm. Tale coppia di serraggio, considerando un attrito vite-madrevite di 0,15, genera un pretensionamento assiale dei tirafondi di circa 27 kN. Si riportano nella tabella seguente i carichi massimi calcolati nella prova di abbattimento del montante in questa condizione.

	Montante su piastra – 100x70x5 mm	Montante su piastra – 100x85x5 mm
<b>Forza trasversale massima spingitore</b>	36,7 kN	32,6 kN
<b>Forza assiale massima tirafondi</b>	106,9 kN	112,1 kN
<b>Forza taglio massima tirafondi</b>	13,4 kN	15,7 kN

Tabella 10 – Riassunto risultati con coppia di serraggio di 100 Nm

### 6.2 VALUTAZIONI ANALITICHE

Tramite un metodo analitico è possibile avere una stima preliminare del modulo flessionale e del momento flettente caratteristico dei montanti delle barriere.

Per i pali oggetto del presente studio, modulo flessionale e momenti flettenti analitici sono riportati in Tabella 11. Il momento flettente nominale è calcolato con la media aritmetica tra i valori di sforzo di snervamento e ultimo minimi garantiti, il momento flettente attuale è calcolato con la media aritmetica tra i valori di sforzo di snervamento e ultimo usati nelle simulazioni riportate nel presente documento.

Montante su piastra – 100x70x5 mm	
<b>Modulo flessionale</b>	20519 mm <sup>3</sup>
<b>Momento flettente caratteristico nominale</b>	8,46 kNm
<b>Momento flettente caratteristico attuale</b>	9,48 kNm
Montante su piastra – 100x85x5 mm	
<b>Modulo flessionale</b>	27748 mm <sup>3</sup>
<b>Momento flettente caratteristico nominale</b>	11,45 kNm
<b>Momento flettente caratteristico attuale</b>	12,22 kNm

Tabella 11 – Modulo flessionale e momenti flettenti analitici

### 6.3 CONSIDERAZIONI SULLA BASE DELLA NTC 2018

Si riporta di seguito un estratto del capitolo 5.1.3.10 della NTC 2018, "AZIONI SUI PARAPETTI E URTO DI VEICOLO IN SVIO: q8".

*"Nel progetto dell'impalcato deve essere considerata una combinazione di carico nella quale al sistema di forze orizzontali, equivalenti all'effetto dell'azione d'urto sulla barriera di sicurezza stradale, si associa un carico verticale isolato sulla sede stradale costituito dallo Schema di Carico 2, posizionato in adiacenza alla barriera stessa e disposto nella posizione più gravosa.*

*Tale sistema di forze orizzontali potrà essere valutato dal progettista, alternativamente, sulla base:*

- *delle risultanze sperimentali ottenute nel corso di prove d'urto al vero, su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, mediante l'utilizzo di strumentazione idonea a registrare l'evoluzione degli effetti dinamici;*
- *del riconoscimento di equivalenza tra il sistema di forze e le azioni trasmesse alla struttura, a causa di urti su barriere della stessa tipologia e della classe di contenimento previste in progetto, laddove tale equivalenza risulti da valutazioni teoriche e/o modellazioni numerico-sperimentali;*

*In assenza delle suddette valutazioni, il sistema di forze orizzontali può essere determinato con riferimento alla resistenza caratteristica degli elementi strutturali principali coinvolti nel meccanismo d'insieme della barriera e deve essere applicato ad una quota  $h$ , misurata dal piano viario, pari alla minore delle dimensioni  $h_1$  e  $h_2$ , dove  $h_1 = (\text{altezza della barriera} - 0,10\text{m})$  e  $h_2 = 1,00\text{ m}$ . Nel dimensionamento degli elementi strutturali ai quali è collegata la barriera si deve tener conto della eventuale sovrapposizione delle zone di diffusione di tale sistema di forze, in funzione della geometria della barriera e delle sue condizioni di vincolo. Per il dimensionamento dell'impalcato, le forze orizzontali così determinate devono essere amplificate di un fattore pari a 1,50."*

L'attività di simulazione numerica svolta nel corso della presente attività ha permesso di individuare le grandezze caratteristiche di sollecitazione (la forza di spinta orizzontale massima, il momento flettente caratteristico, i carichi su tirafondi e la compressione sul cordolo) ottenibili durante una prova di flessione dei montanti delle barriere bordo ponte di Margaritelli Ferroviaria SpA, nelle condizioni di prova e con le caratteristiche dei materiali indicate nel presente documento. I valori individuati sono quelli caratteristici dell'elemento della barriera collegato all'impalcato, deputato quindi a trasferire alla sottostruttura i carichi sostenuti dalla barriera durante l'urto. Le simulazioni hanno quindi permesso di valutare il carico dovuto alla flessione di un montante della barriera quando deformato con una modalità simile, sebbene semplificata (non è modellata l'eventuale ulteriore interazione del veicolo coi montanti), a quella con cui è sollecitato durante un urto.

I valori individuati potrebbero quindi essere interpretati come quelli indicati nel secondo punto della NTC 2018, "...risulti da valutazioni teoriche e/o modellazioni numerico-sperimentali", sebbene la valutazione sia stata svolta in modo semplificato, senza la riproduzione di un urto full scale, valutando invece mediante modellazione numerica la capacità di trasmissione del carico di un singolo montante. Da quanto riportato sulla NTC 2018, il sistema di forze orizzontali così individuato non dovrebbe richiedere l'applicazione di un coefficiente di sicurezza.

Considerando invece i valori di resistenza caratteristica dei montanti calcolati analiticamente, attraverso il modulo flessionale, dovrebbe essere necessaria l'applicazione di un coefficiente di sicurezza pari a 1.5.

Per la chiarificazione di questo aspetto potrebbe risultare utile un passaggio formale di valutazione da parte di un Organismo Notificato.



## 6.4 POSIZIONI LATERALI DEGLI PNEUMATICI DEI VEICOLI E CONSIDERAZIONI

In questo capitolo sono riportate le posizioni laterali estreme degli pneumatici dei veicoli utilizzati nei test di contenimento delle barriere bordo ponte di Margaritelli Ferroviaria SpA.

Per individuare la massima coordinata laterale raggiunta dagli pneumatici dei veicoli dei test di contenimento di ciascuna barriera (considerando la superficie frontale della barriera, rivolta verso la carreggiata, con coordinata trasversale =0), sono stati utilizzati i risultati delle simulazioni ad elementi finiti considerate correlate con i test sperimentali di certificazione delle barriere. I valori indicati sono dunque una stima numerica ottenuta sulla base di una procedura di confronto con il test sperimentale. Di seguito sono riportati i valori individuati.

Posizioni laterali pneumatici veicoli			
Barriera	Palo	Veicolo	Posizione
N2BP01	100x70x5 mm	TB32	0,75 m <sup>1</sup>
H2BP01	100x70x5 mm	TB51	0,73 m
H2BP02	100x85x5 mm	TB51	1,19 m
H2BP03	100x85x5 mm	TB51	0,70 m <sup>2</sup>

**Tabella 12 – Posizioni laterali estreme degli pneumatici dei veicoli nelle simulazioni dei test di contenimento**

### 6.4.1 H2BP02

Per la barriera H2BP02 la prova sperimentale di contenimento, test TB51, è stata eseguita installando i montanti della barriera centrati su un cordolo di larghezza 0.4 m. Poiché la larghezza della piastra alla base del palo è di 265 mm, significa che tra gli estremi della piastra e la fine del cordolo erano presenti 67.5 mm. La prova di certificazione ha avuto esito positivo, non sono stati inoltre riportati cedimenti nella zona di vincolo tra piastre dei montanti e cordolo, dunque il cordolo della dimensione sopracitata, realizzato con materiali e armatura come specificati nel test report di prova, è risultato in grado di sostenere i carichi derivanti dalla barriera senza influire negativamente sull'esito del test.

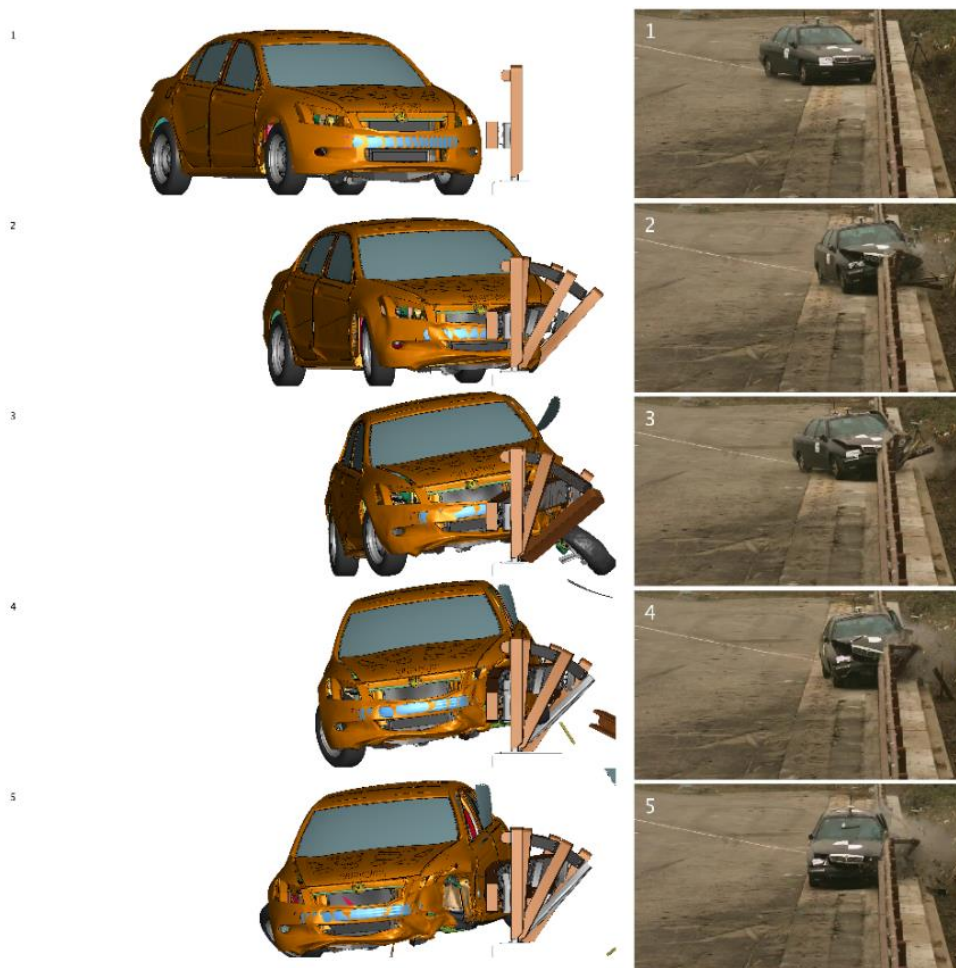
### 6.4.2 N2BP01

Il test di contenimento della barriera N2BP01 (TB32) è stato svolto installando i montanti su un cordolo con una dimensione trasversale stimata di circa 0.8 m (la misura non è riportata sui report di certificazione); i pali erano installati in prossimità della parte frontale del cordolo. Nella prova di certificazione è stata utilizzata una piastra alla base dei montanti di dimensione trasversale 250 mm, nella presente attività numerica è stata invece considerata una sola piastra alla base dei pali di tutte le barriere, con dimensione trasversale di 265 mm. Nella presente attività numerica sono stati inoltre valutati i carichi trasferiti dal montante di questa barriera, 100x70x5 mm, alla sottostruttura; tali valori, in termini di momento flettente caratteristico, azione assiale e taglio sui tirafondi, sono risultati prossimi ai valori ottenuti con il montante 100x85x5 mm della barriera H2BP02. Poiché tali carichi, nella prova di certificazione della barriera H2BP02, non hanno causato cedimenti nel cordolo e nella zona di vincolo tra le piastre dei montanti e il cordolo, con un cordolo di larghezza 0.4 m, si stima che un cordolo realizzato allo stesso modo e con le stesse caratteristiche meccaniche non dovrebbe subire danneggiamenti nemmeno quando utilizzato come base per l'installazione della barriera N2BP01. Per quanto riguarda l'interazione tra veicolo e cordolo, nel test sperimentale TB32 e nella corrispondente simulazione, questa risulta avvenire in particolare all'inizio del fenomeno di crash, quando il veicolo incontra il gradino di 125 mm poiché, probabilmente proprio per la presenza del

<sup>1</sup> La coordinata trasversale è stimata poiché la ruota anteriore sinistra si stacca durante il crash.

<sup>2</sup> La mezzeria dei singoli gruppi ruote rimane all'interno dell'ingombro di 60 cm.

gradino, nell'evoluzione del fenomeno di impatto il veicolo acquista una traiettoria verso l'alto, limitando dunque la propria interazione con la sottostruttura. L'utilizzo di un cordolo con dimensione trasversale inferiore rispetto a quella presente durante il test sperimentale non dovrebbe dunque influire sui risultati nemmeno per quanto riguarda questo aspetto. In Figura 21 è riportata una sequenza di immagini che mostra la traiettoria del veicolo numerica e sperimentale, nella prima fase del fenomeno di crash.



**Figura 21 – Traiettoria del veicolo nel test TB32 della barriera N2BP01**

Nella prova di certificazione, la barriera N2BP01 è stata installata lasciando 75 mm tra l'inizio del gradino e le piastre alla base dei pali. Considerando la piastra con dimensione trasversale di 265 mm, l'installazione del montante della barriera comporterebbe uno spazio di 67.5 mm tra l'inizio del gradino e le piastre alla base dei pali (mantenendo inalterata la posizione relativa tra travi longitudinali del sistema di ritenuta e gradino), situazione corrispondente a quella della barriera H2BP02. Lasciando anche posteriormente alla piastra 67.5 mm, si ottiene una condizione equivalente a quella già verificata per la barriera H2BP02, con cordolo con larghezza minima di 0.4 m.

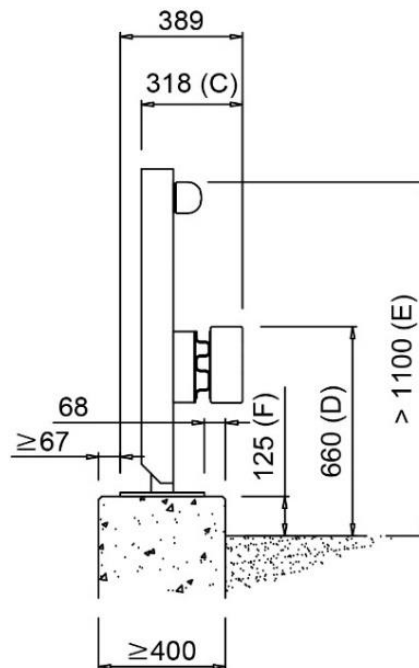


Figura 22 – N2BP01 – Posizionamento su cordolo

### 6.4.3 H2BP01

Il test di contenimento della barriera H2BP01 (TB51) è stato svolto installando i montanti su un cordolo con una dimensione trasversale di 1 m; i pali erano installati in modo da avere le travi in legno a filo con l'inizio del cordolo. Nella prova di certificazione è stata utilizzata una piastra alla base dei montanti di dimensione trasversale 250 mm, nella presente attività numerica è stata invece considerata una sola piastra alla base dei pali di tutte le barriere, con dimensione trasversale di 265 mm. Nella presente attività numerica sono stati inoltre valutati i carichi trasferiti dal montante di questa barriera, 100x70x5 mm, alla sottostruttura; tali valori, in termini di momento flettente caratteristico, azione assiale e taglio sui tirafondi, sono risultati prossimi ai valori ottenuti con il montante 100x85x5 mm della barriera H2BP02. Poiché tali carichi, nella prova di certificazione della barriera H2BP02, non hanno causato cedimenti nel cordolo e nella zona di vincolo tra le piastre dei montanti e il cordolo, con un cordolo di larghezza 0.4 m, si stima che un cordolo realizzato allo stesso modo e con le stesse caratteristiche meccaniche non dovrebbe subire danneggiamenti nemmeno quando utilizzato come base per l'installazione della barriera H2BP01. Risulta tuttavia necessario tenere in considerazione l'ingombro trasversale di questa barriera, come discuteremo nel seguito.

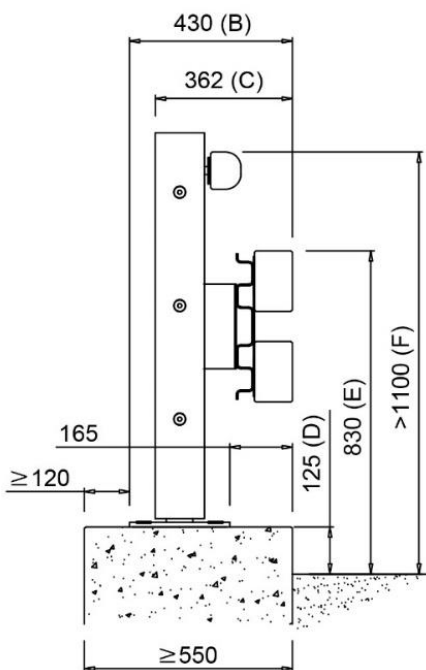
Per quanto riguarda l'interazione con il cordolo, vista l'attitudine del veicolo del test TB51 ad assumere una traiettoria ascendente, mostrata nel test sperimentale e nella simulazione numerica, risulterebbe possibile allo stesso modo ridurre la larghezza del cordolo senza influire sugli aspetti qualitativi del fenomeno di crash.

In Figura 23 è riportata un'immagine che mostra la traiettoria ascendente del veicolo numerico e sperimentale.



**Figura 23 – Traiettoria ascendente del veicolo nel test TB51 della barriera H2BP01**

Nella prova di certificazione, la barriera H2BP01 è stata installata lasciando circa 173 mm tra l'inizio del gradino e le piastre alla base dei pali. Considerando la larghezza della piastra di 265 mm, lo spazio di 173 mm tra inizio del gradino a piastra, considerando inoltre di lasciare posteriormente alla piastra almeno altri 67.5 mm (pari alla misura della H2BP02), si ottiene una larghezza minima del cordolo di 0.506 m. In via conservativa, dovrebbe quindi risultare adeguato un cordolo di dimensione trasversale di 0.55 m.



**Figura 24 – H2BP01 – Posizionamento su cordolo**

#### 6.4.4 H2BP03

Il test di contenimento della barriera H2BP03 (TB51) è stato svolto installando i montanti su un cordolo con una dimensione trasversale di 0.8 m, costituito da due blocchi di 0.4 m; i pali erano installati centrati sul modulo anteriore di larghezza 0.4 m. Nella presente attività numerica sono stati valutati i carichi trasferiti dal montante di questa barriera, 100x85x5 mm, alla sottostruttura; tali valori corrispondono a quelli identificati per la barriera H2BP02, poiché i sistemi hanno stessi montanti e stesse piastre. Poiché tali carichi, nella prova di certificazione della barriera H2BP02, non hanno causato cedimenti nel cordolo e nella zona di vincolo tra le piastre dei montanti e il cordolo, con un cordolo di larghezza 0.4 m, si stima che un cordolo realizzato allo stesso modo e con le stesse caratteristiche meccaniche non dovrebbe subire danneggiamenti nemmeno quando utilizzato come base per l'installazione della barriera H2BP03.

In considerazione della dinamica del veicolo, evidenziata dalle simulazioni del test di impatto TB51 con lunghezza di installazione indefinita, è possibile osservare come le ruote rimangano a contatto con il cordolo anche oltre i 40 cm, si consiglia quindi di utilizzare, come scelta conservativa, un cordolo di larghezza di 70cm. Volendo invece considerare che la mezzera delle ruote esterne rimanga a contatto con il cordolo tale quota potrebbe essere ridotta a 60 cm come mostrato nelle immagini seguenti.

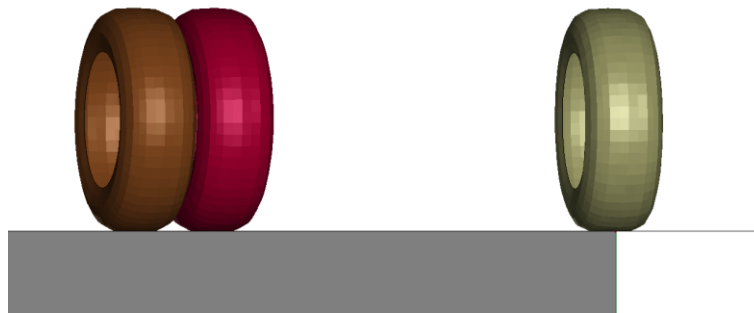


Figura 25 – H2BP03 - test TB51 – posizione laterale massima ruota anteriore

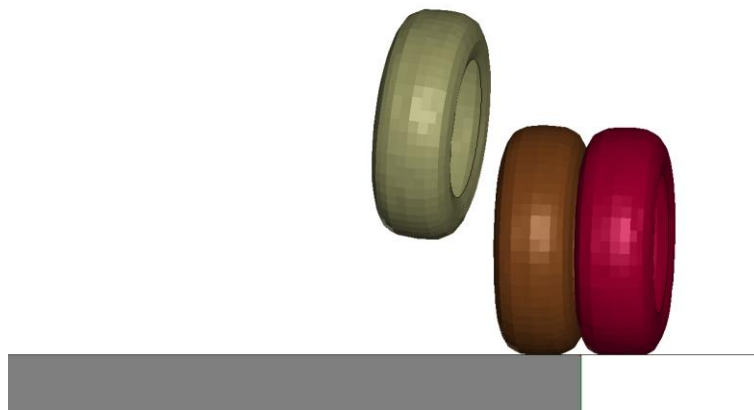


Figura 26 – H2BP03 - test TB51 – posizione laterale massima ruote posteriori

Si ricorda infine che tutte le considerazioni fatte sono puramente qualitative, basate su ragionamento, sui risultati dei test sperimentali di certificazione e sugli esiti delle simulazioni numeriche di flessione svolte, non sono stati considerati casi particolari di sollecitazione dovuti a interazioni specifiche e locali dei veicoli con i sistemi di ritenuta.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle dimensioni trasversali minime considerabili per i cordoli.

Dimensioni trasversali minime dei cordoli		
Barriera	Palo	Dimensione [m]
N2BP01	100x70x5 mm	0,40
H2BP01	100x70x5 mm	0,55
H2BP02	100x85x5 mm	0,40
H2BP03	100x85x5 mm	0,70 (0,6 <sup>3</sup> )

**Tabella 13 – Dimensioni trasversali minime dei cordoli**

<sup>3</sup> Misura del cordolo considerando la posizione laterale massima della mezzeria dei gruppi ruote.

## 7 DICHIARAZIONI

- Il presente documento si riferisce esclusivamente ai modelli sviluppati ed ai casi e condizioni citati.
- Il presente rapporto tecnico può essere riprodotto solo integralmente dietro l'approvazione scritta di CrashTech S.r.l.. Ogni riproduzione parziale è vietata.