

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_260616_027_0111 Revisione A del 23/06/2026

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 | Valutazione delle prestazioni dei montanti a C 100x85x5 mm e 100x70x5 mm su piastra 265x250x12 mm, considerando caratteristiche dei materiali specifiche |
|-----------------|---|

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

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

| | | | | | |
|--------------------------|---------------------|--------------|------------|-----------------|----|
| Riferimento Reference | RPT_260616_027_0111 | | | | |
| Revisione Revision | B | Data Date | 23/06/2026 | 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

| REVISIONE | DESCRIZIONE DELLA MODIFICA | DATA |
|-----------|---|------------|
| A | Prima emissione. | 16/06/2026 |
| B | Introduzione di considerazioni aggiuntive in appendice. | 23/06/2026 |
| | | |

INDICE

| | |
|---|-----------|
| INDICE | 3 |
| INDICE DELLE FIGURE | 4 |
| INDICE DELLE TABELLE | 5 |
| 1 SOCIETÀ ESECUTRICE DELL'ATTIVITÀ | 6 |
| 2 CLIENTE | 6 |
| 3 SOFTWARE | 7 |
| 4 INTRODUZIONE | 7 |
| 5 MODELLO GEOMETRICO | 8 |
| 6 MODELLO AD ELEMENTI FINITI | 10 |
| 7 ANALISI RISULTATI | 12 |
| 7.1 MONTANTE C 100X70X5 MM | 12 |
| 7.2 MONTANTE C 100X85X5 MM | 16 |
| 8 CONCLUSIONI | 21 |
| 9 APPENDICE | 22 |
| 9.1 VALUTAZIONI ANALITICHE | 22 |
| 9.2 CONSIDERAZIONI SULLA BASE DELLA NTC 2018..... | 22 |
| 9.3 POSIZIONI LATERALI DEGLI PNEUMATICI DEI VEICOLI E CONSIDERAZIONI..... | 23 |
| 9.3.1 H2BP02..... | 24 |
| 9.3.2 N2BP01..... | 24 |
| 9.3.3 H2BP01..... | 26 |
| 9.3.4 H2BP03..... | 28 |
| 9.4 DICHIARAZIONI..... | 29 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Disegni del montante 100x85x5 su piastra 265x250x12..... | 8 |
| Figura 2 – Modello 3D del montante 100x85x5 mm | 9 |
| Figura 3 – Modellazione FE di dettaglio | 10 |
| Figura 4 – Prova di flessione del montante | 10 |
| Figura 5 – 100x70x5 mm – Deformata finale della simulazione di flessione | 12 |
| Figura 6 – 100x70x5 mm – Curva forza-spostamento dello spingitore | 13 |
| Figura 7 – 100x70x5 mm – Stato di sforzo all'interno di piastra e montante | 13 |
| Figura 8 – 100x70x5 mm – Stato di deformazione all'interno di piastra e montante | 14 |
| Figura 9 – 100x70x5 mm – Forze assiali nei tirafondi | 15 |
| Figura 10 – 100x70x5 mm – Forze di taglio nei tirafondi | 15 |
| Figura 11 – 100x85x5 mm – Deformata finale della simulazione di flessione | 16 |
| Figura 12 – 100x85x5 mm – Curva forza-spostamento dello spingitore | 17 |
| Figura 13 – 100x85x5 mm – Stato di sforzo all'interno di piastra e montante | 17 |
| Figura 14 – 100x85x5 mm – Stato di deformazione all'interno di piastra e montante | 18 |
| Figura 15 – 100x85x5 mm – Forze assiali nei tirafondi | 19 |
| Figura 16 – 100x85x5 mm – Forze di taglio nei tirafondi | 19 |
| Figura 17 – Traiettoria del veicolo nel test TB32 della barriera N2BP01..... | 25 |
| Figura 18 – N2BP01 – Posizionamento su cordolo | 26 |
| Figura 19 – Traiettoria ascendente del veicolo nel test TB51 della barriera H2BP01 | 27 |
| Figura 20 – H2BP01 – Posizionamento su cordolo | 27 |
| Figura 21 – H2BP03 - test TB51 – posizione laterale massima ruota anteriore | 28 |
| Figura 22 – H2BP03 - test TB51 – posizione laterale massima ruote posteriori | 28 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tabella 1 – CrashTech S.R.L. informazioni di contatto..... | 6 |
| Tabella 2 – Margaritelli Ferroviaria S.p.A. informazioni di contatto | 6 |
| Tabella 3 – Altezze di spinta considerate per le analisi numeriche | 11 |
| Tabella 4 – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati..... | 11 |
| Tabella 5 – 100x70x5 mm – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati..... | 13 |
| Tabella 6 – 100x70x5 mm – Caratteristiche di resistenza dei tirafondi | 14 |
| Tabella 7 – 100x70x5 mm – Riassunto risultati | 16 |
| Tabella 8 – 100x85x5 mm – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati..... | 17 |
| Tabella 9 – 100x85x5 mm – Caratteristiche di resistenza dei tirafondi | 18 |
| Tabella 10 – 100x85x5 mm – Riassunto risultati | 20 |
| Tabella 11 – Riassunto risultati per entrambi i montanti | 21 |
| Tabella 12 – Modulo flessionale e momenti flettenti analitici | 22 |
| Tabella 13 – Posizioni laterali estreme degli pneumatici dei veicoli nelle simulazioni dei test di contenimento | 23 |
| Tabella 14 – Dimensioni trasversali minime dei cordoli | 29 |

1 SOCIETÀ ESECUTRICE DELL'ATTIVITÀ

La società esecutrice delle simulazioni numeriche è CrashTech S.R.L.. Di seguito si riportano le informazioni di contatto.

| Informazioni di contatto | |
|--------------------------|--|
| Ragione sociale | CrashTech S.R.L. |
| Indirizzo | Via Vittorio Emanuele II, 120, 28040, Borgo Ticino (NO), Italia |
| Website | www.crashtech.it |
| E-mail | info@crashtech.it |

Tabella 1 – CrashTech S.R.L. informazioni di contatto

La società CrashTech S.R.L. è attiva in differenti campi dell'ingegneria, dalle simulazioni numeriche ai test sperimentali. La società si occupa di sviluppare modelli ad elementi finiti (FEM) per analisi statiche e dinamiche, di progettare e svolgere test sperimentali e di dare assistenza nell'applicazione delle richieste normative. L'esperienza di CrashTech S.R.L. si basa su anni di attività svolte lavorando con società nazionali, internazionali ed università, gestendo e lavorando sullo sviluppo di nuovi prodotti ed attività di ricerca. La società è inoltre direttamente coinvolta nelle attività del Comitato Europeo di Normazione (CEN) e nei rispettivi gruppi nazionali (UNI) per lo sviluppo delle normative europee e nazionali nell'ambito della sicurezza dei trasporti. Il personale di CrashTech S.R.L. è anche coinvolto in attività in ambito normativo fuori Europa, nello specifico negli Stati Uniti (Transportation Research Board – TRB). L'uso delle simulazioni numeriche ad elementi finiti è una delle competenze principali della società grazie al background nell'ingegneria e ad anni di esperienza nel campo.

2 CLIENTE

La società committente l'attività di analisi numerica è Margaritelli Ferroviaria S.p.A.. Di seguito si riportano le informazioni di contatto.

| Informazioni di contatto | |
|--------------------------|--|
| Ragione sociale | Margaritelli Ferroviaria S.p.A. |
| Indirizzo | Via Adriatica, 109, 06135, Ponte San Giovanni (PG), Italy |
| Website | www.margaritelli-rs.com |
| Referente | Ing. Filippo Leone |
| E-mail | filippo.leone@margaritelli.com |

Tabella 2 – Margaritelli Ferroviaria S.p.A. informazioni di contatto

3 SOFTWARE

Il software utilizzato per l'esecuzione delle analisi FE è Ansys LS-DYNA, solutore MPP 9.3.1.
Il software utilizzato per le fasi di pre-processing e post-processing è LS-PrePost, versione 4.8.
Per la valutazione dei risultati quantitativi ottenuti nel corso dell'attività si utilizzano software dedicati, appositamente sviluppati allo scopo.

4 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 S.p.A.. 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

L'attività di analisi numerica è stata svolta considerando, come punto di partenza, i modelli e le simulazioni di una precedente attività, oggetto del documento RPT_190712_029_0111.

Come richiesto dalla Committenza, i modelli ad elementi finiti disponibili dei montanti sono stati modificati per riprodurre numericamente un materiale acciaio con caratteristiche specifiche.

5 MODELLO GEOMETRICO

I modelli ad elementi finiti di dettaglio dei montanti su piastra di Margaritelli Ferroviaria S.p.A. sono stati sviluppati nel corso di una precedente attività (rif. RPT_190712_029_0111), partendo 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.

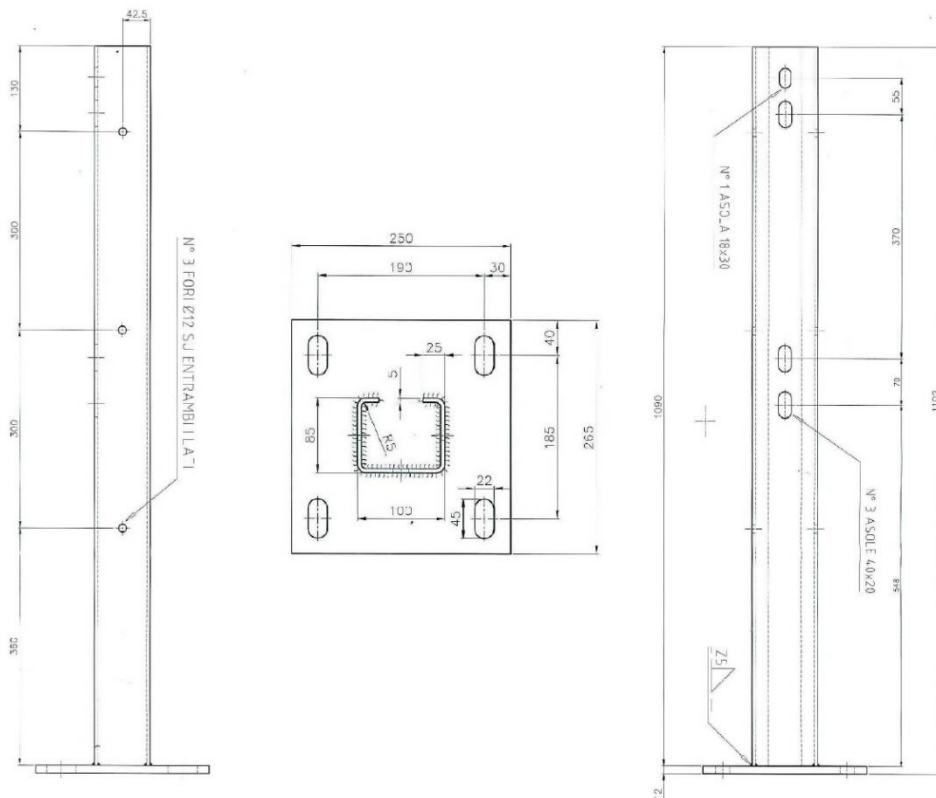


Figura 1 – Disegni del montante 100x85x5 su piastra 265x250x12

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

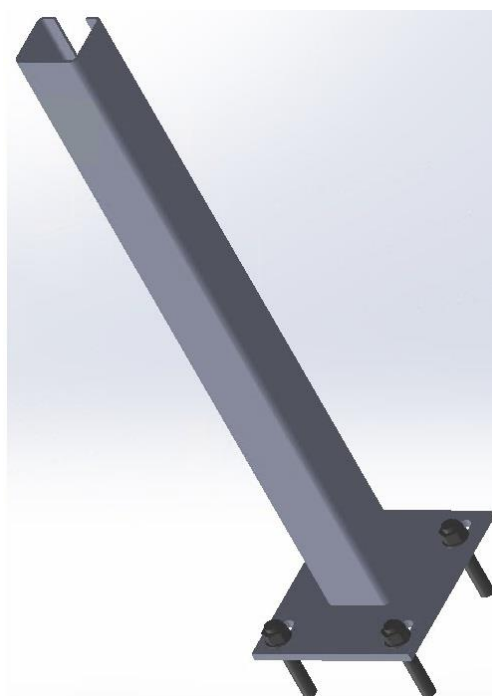


Figura 2 – Modello 3D del montante 100x85x5 mm

6 MODELLO AD ELEMENTI FINITI

Come già riportato in precedenza, i modelli ad elementi finiti di dettaglio dei montanti su piastra di Margaritelli Ferroviaria S.p.A. sono i medesimi sviluppati ed utilizzati in una precedente attività (rif. RPT_190712_029_0111), ottenuti dai disegni 2D disponibili.

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.

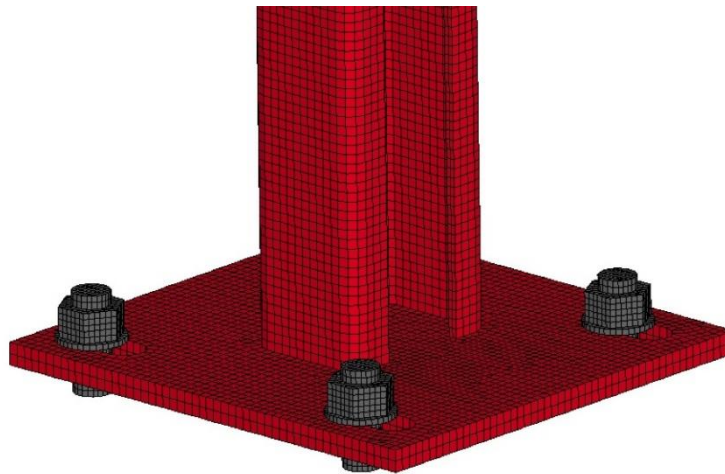


Figura 3 – Modellazione FE di dettaglio

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

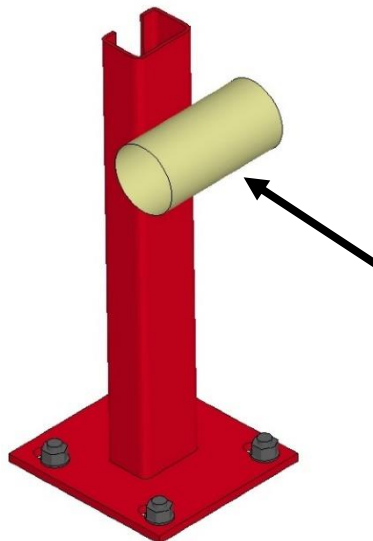


Figura 4 – Prova di flessione del montante

Le quote di spinta sui montanti oggetto di analisi, rispetto alla base della piastra, sono riportate in Tabella 3. Per ogni tipologia di palo, la quota indicata corrisponde al minimo, tra tutte le barriere con tale montante di Margaritelli Ferroviaria S.p.A., dell'altezza della mezzera della trave in legno inferiore rispetto alla superficie inferiore della piastra di base.

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

Tabella 3 – Altezze di spinta considerate per le analisi numeriche

Per entrambi i modelli numerici dei montanti con piastra è stato considerato lo stesso materiale acciaio, mantenendo dunque le medesime caratteristiche meccaniche per entrambe le analisi svolte. In particolare, in accordo con la Committenza, sono stati implementati i seguenti sforzi di snervamento e rottura, considerati rappresentativi di un valore medio per un acciaio S355J0WP.

- Sforzo di snervamento medio = 424,9 Mpa¹
- Sforzo di rottura medio = 550 Mpa²

In Tabella 4 sono riportate, in dettaglio, le caratteristiche meccaniche considerate per le simulazioni svolte.

| | Modulo elastico, [MPa] | Densità, [kg/m ³] | Coeff. di Poisson, [-] | Sforzo di snervamento [MPa] | Sforzo di rottura [Mpa] |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Montante 100x70x5 | 210000 | 7800 | 0,3 | 424,9 | 550 |
| Piastra montante 100x70x5 | 210000 | 7800 | 0,3 | 424,9 | 550 |
| Montante 100x85x5 | 210000 | 7800 | 0,3 | 424,9 | 550 |
| Piastra montante 100x85x5 | 210000 | 7800 | 0,3 | 424,9 | 550 |

Tabella 4 – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati

Le simulazioni di flessione dei montanti su piastra sono state eseguite considerando una coppia di serraggio dei tirafondi pari a 100 Nm. Tale coppia di serraggio, considerando un coefficiente d'attrito di 0,15, comporta un pretensionamento assiale dei tirafondi di circa 27 kN.

¹ Rif. Ing. Mario Chinni, presentazione *LA GEOTECNICA APPLICATA ALLE BARRIERE STRADALI BORDO RILEVATO*.

² Valore intermedio tra i limiti inferiore e superiore dello sforzo a rottura secondo EN 10025.

7 ANALISI RISULTATI

Nel presente capitolo si riporta il confronto tra i risultati 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

7.1 MONTANTE C 100X70X5 MM

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

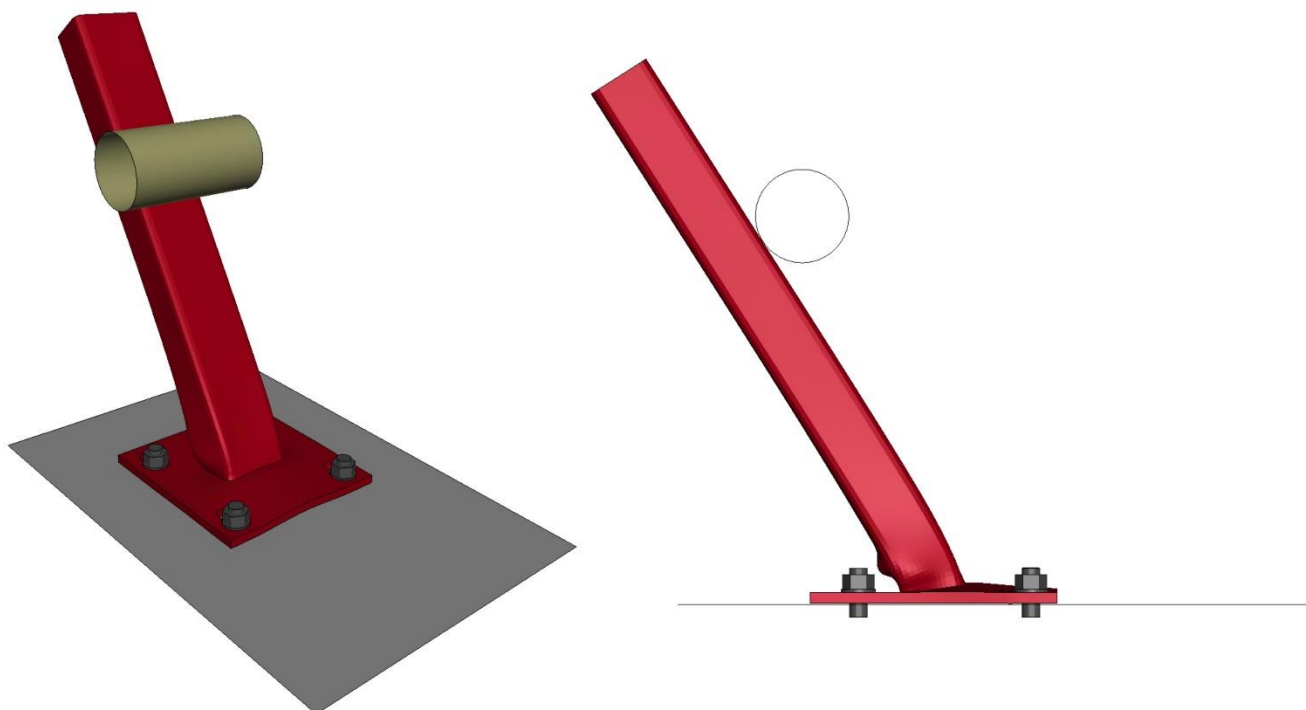


Figura 5 – 100x70x5 mm – Deformata finale della simulazione di flessione

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 37,90 kN. L'altezza di spinta è di 0,415 m.

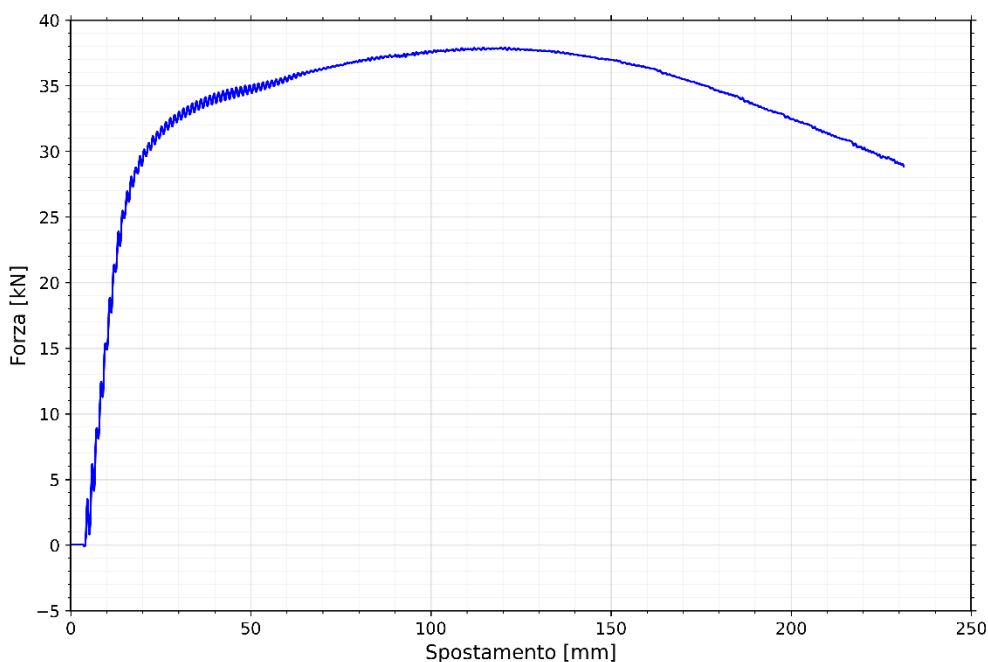


Figura 6 – 100x70x5 mm – Curva forza-spostamento dello spingitore

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.

| | Sforzo di snervamento [MPa] | Sforzo di rottura [Mpa] |
|---------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Montante 100x70x5 | 424,9 | 550 |
| Piastra montante 100x70x5 | 424,9 | 550 |

Tabella 5 – 100x70x5 mm – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati

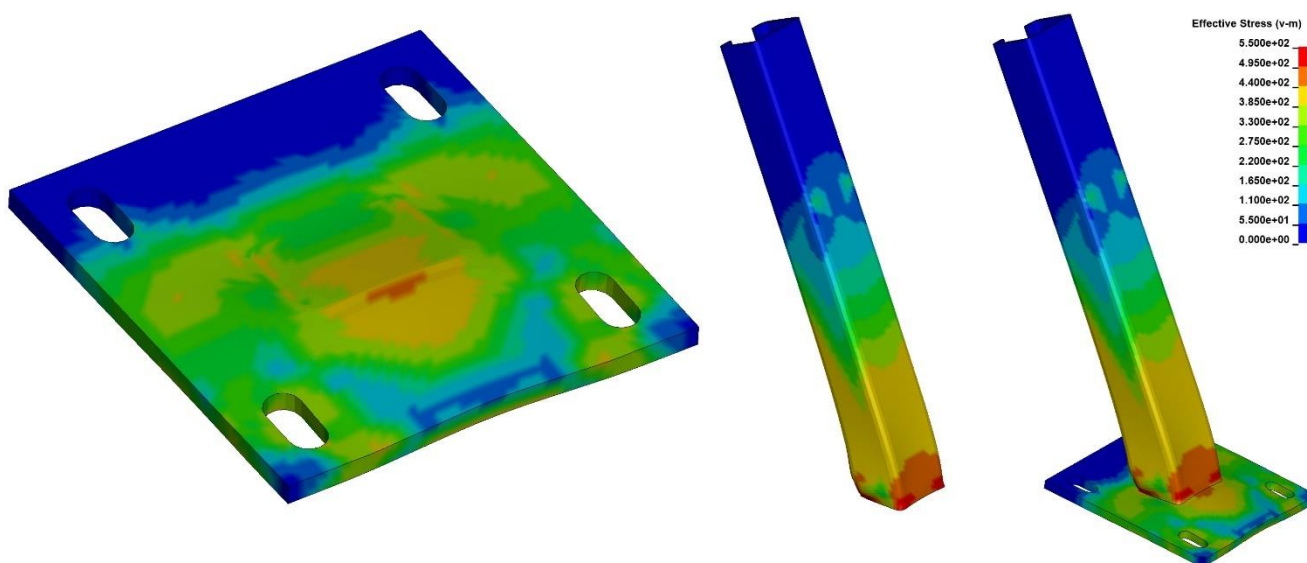


Figura 7 – 100x70x5 mm – Stato di sforzo all'interno di piastra e montante

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.

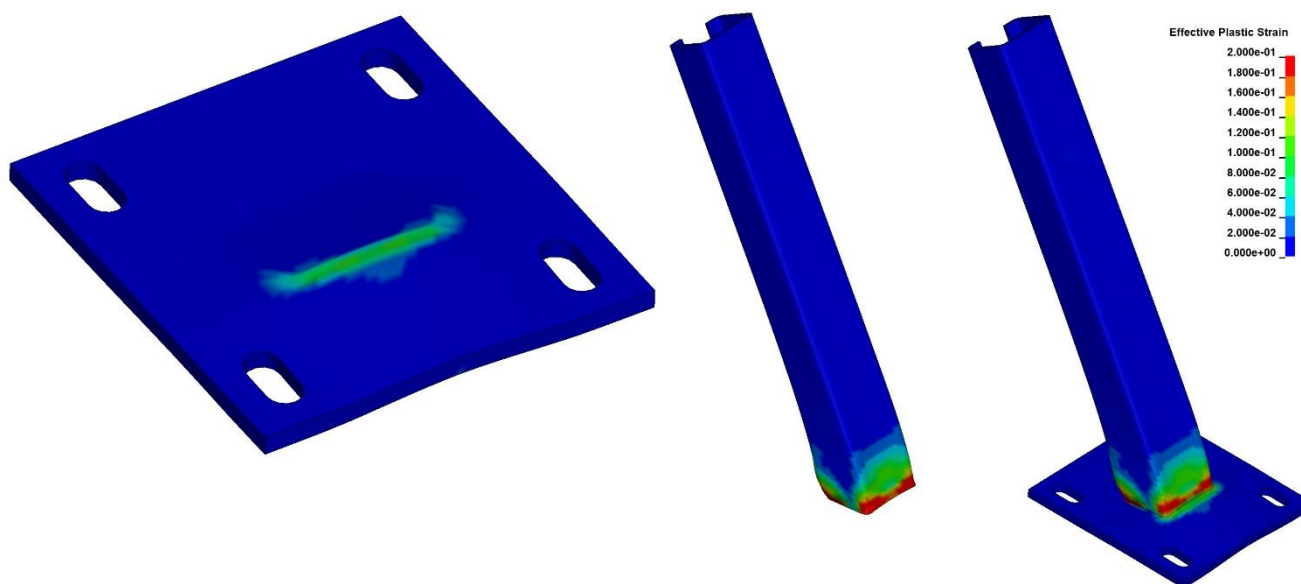


Figura 8 – 100x70x5 mm – Stato di deformazione all'interno di piastra e montante

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 6. Nei tirafondi è applicato un precarico di circa 27 kN, corrispondente ad una coppia di serraggio pari a 100 Nm.

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

Tabella 6 – 100x70x5 mm – Caratteristiche di resistenza dei tirafondi

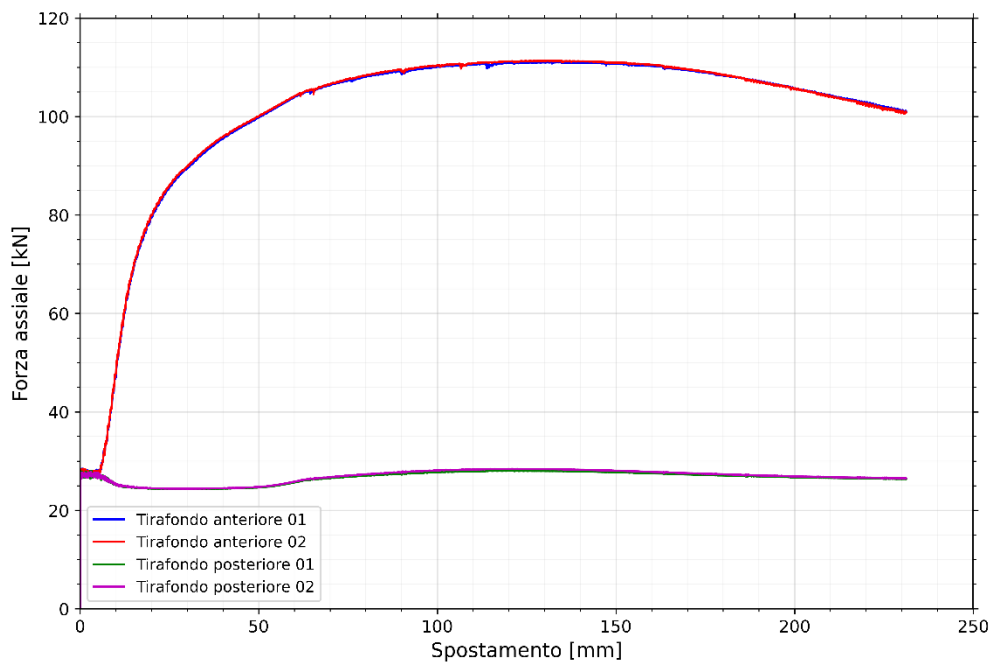


Figura 9 – 100x70x5 mm – Forze assiali nei tirafondi

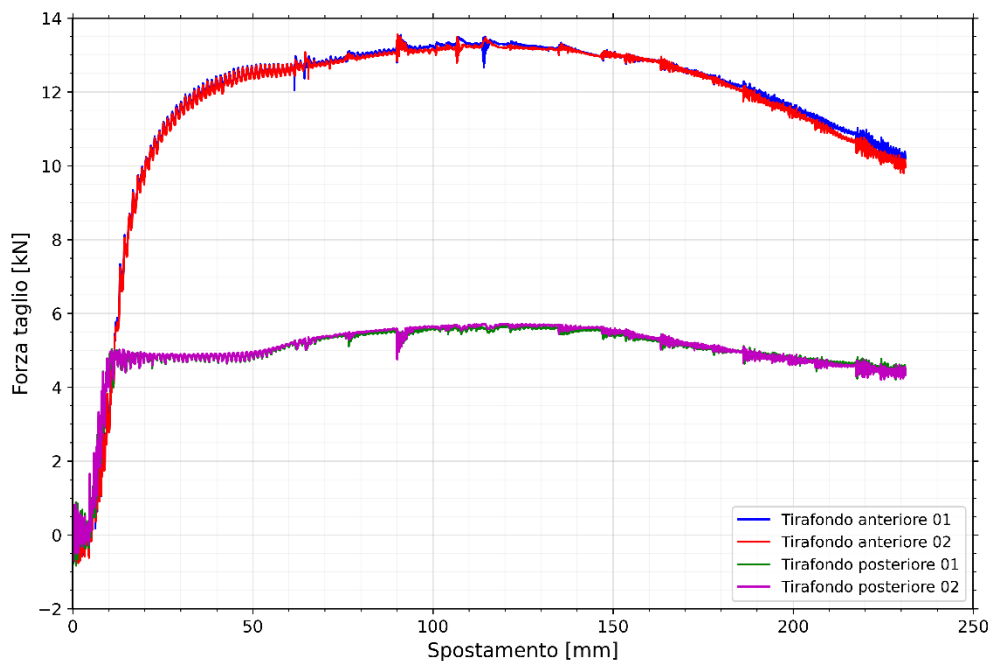


Figura 10 – 100x70x5 mm – Forze di taglio nei tirafondi

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.

In Tabella 7 sono riassunti i principali risultati ottenuti nella simulazione numerica svolta.

| Montante su piastra – 100x70x5 mm | |
|---|-----------|
| Forza trasversale massima spingitore | 37,90 kN |
| Momento flettente caratteristico | 15,73 kNm |
| Forza assiale massima tirafondi | 111,35 kN |
| Forza taglio massima tirafondi | 13,56 kN |

Tabella 7 – 100x70x5 mm – Riassunto risultati

7.2 MONTANTE C 100X85X5 MM

In Figura 11 è riportata la deformata finale ottenuta per il montante oggetto di analisi.

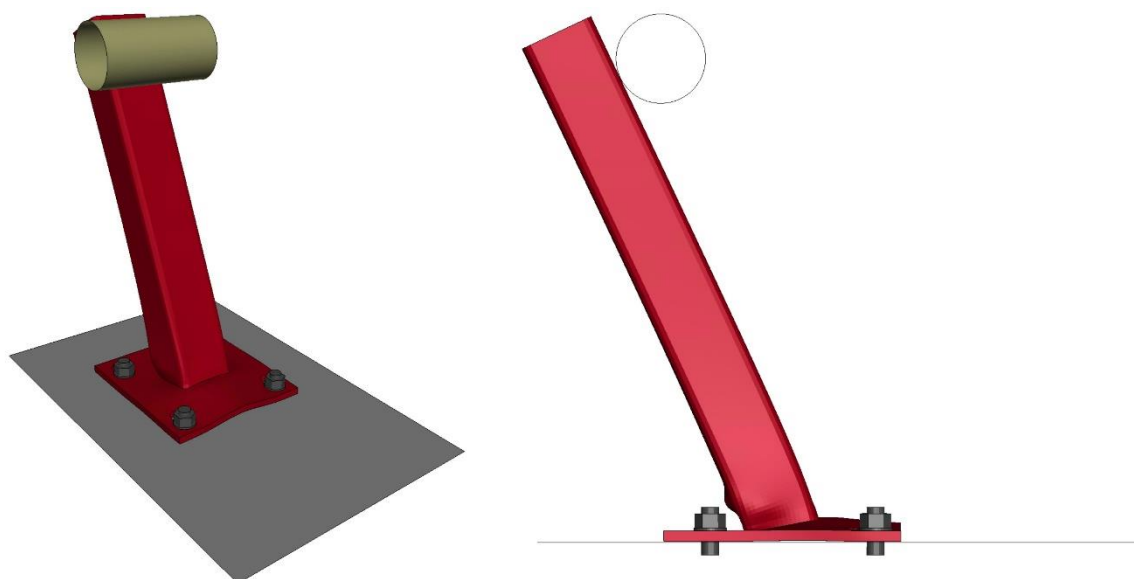


Figura 11 – 100x85x5 mm – Deformata finale della simulazione di flessione

In Figura 12 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 36,82 kN. L'altezza di spinta è di 0,54 m.

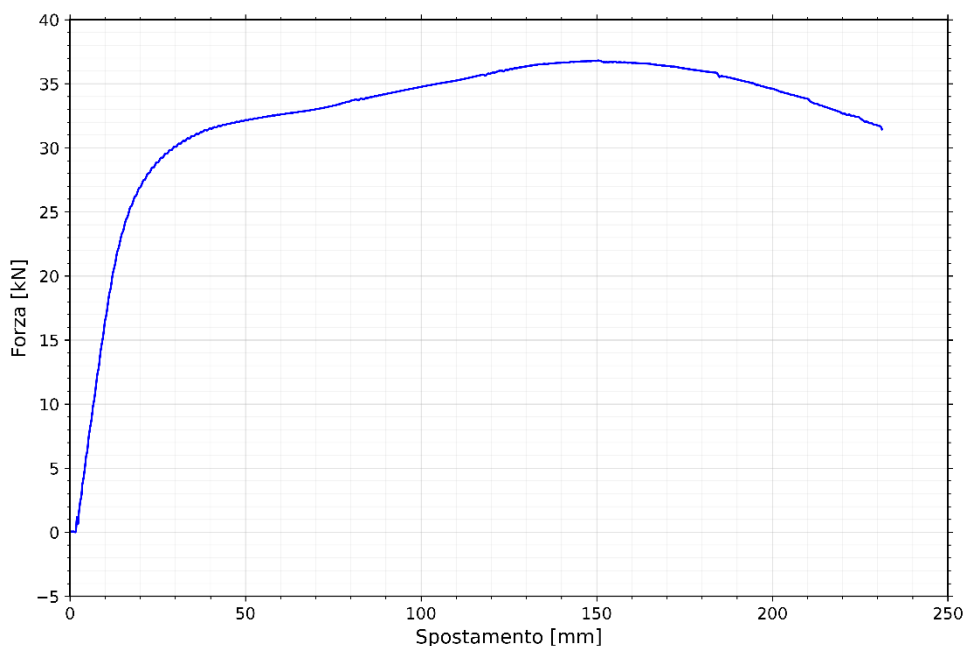


Figura 12 – 100x85x5 mm – Curva forza-spostamento dello spingitore

In Figura 13 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 | 424,9 | 550 |
| Piastra montante 100x85x5 | 424,9 | 550 |

Tabella 8 – 100x85x5 mm – Caratteristiche meccaniche dei materiali metallici considerati

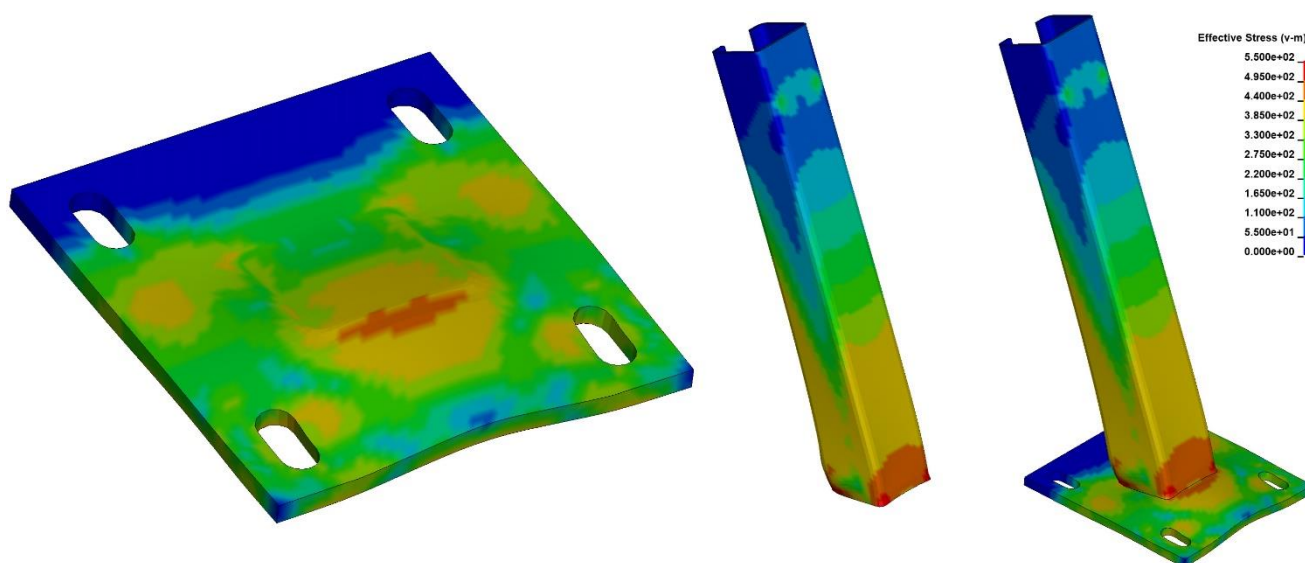


Figura 13 – 100x85x5 mm – Stato di sforzo all'interno di piastra e montante

Allo stesso modo, per valutare l'entità della deformazione di piastra e montante, in Figura 14 si riporta l'andamento delle deformazioni plastiche al termine della simulazione.

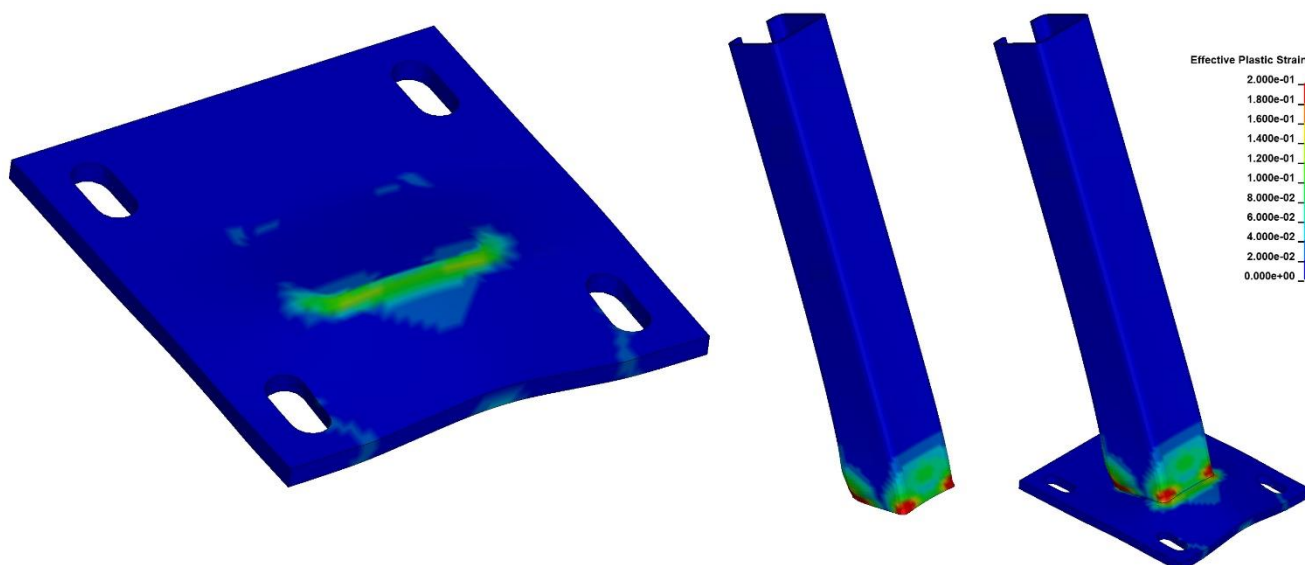


Figura 14 – 100x85x5 mm – Stato di deformazione all'interno di piastra e montante

In Figura 15 e Figura 16 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 9. Nei tirafondi è applicato un precarico di circa 27 kN, corrispondente ad una coppia di serraggio pari a 100 Nm.

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

Tabella 9 – 100x85x5 mm – Caratteristiche di resistenza dei tirafondi

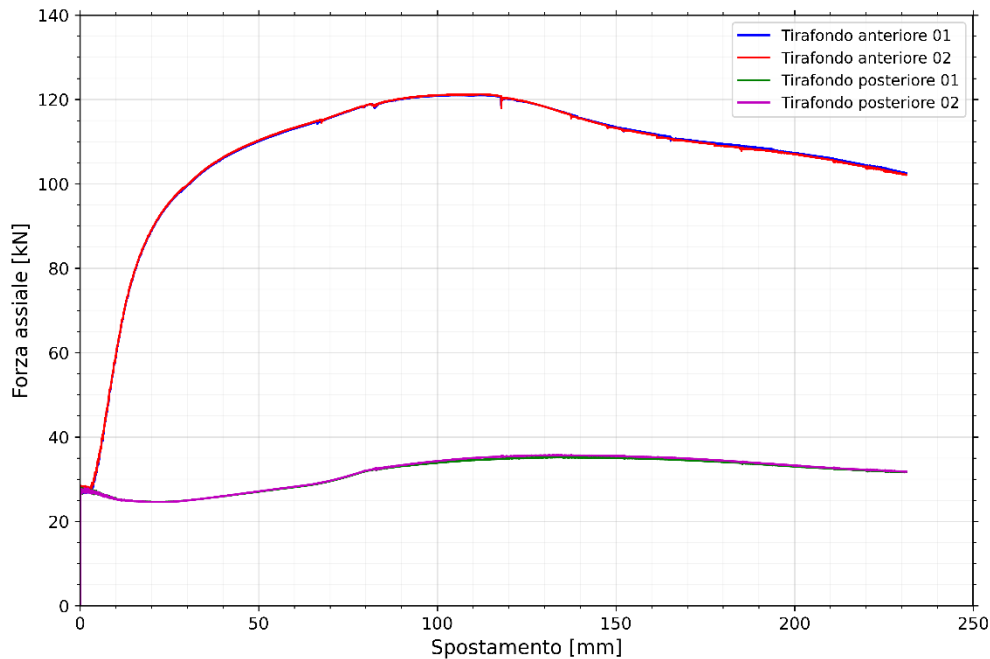


Figura 15 – 100x85x5 mm – Forze assiali nei tirafondi

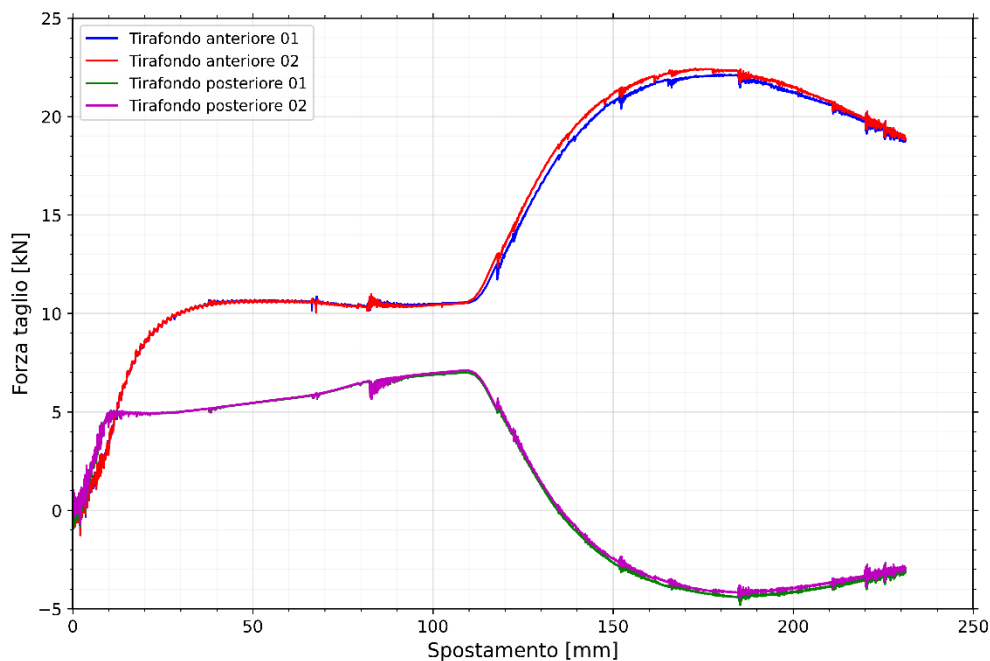


Figura 16 – 100x85x5 mm – Forze di taglio nei tirafondi

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.

In Tabella 10 sono riassunti i principali risultati ottenuti nella simulazione numerica svolta.

| Montante su piastra – 100x85x5 mm | |
|---|-----------|
| Forza trasversale massima spingitore | 36,82 kN |
| Momento flettente caratteristico | 19,88 kNm |
| Forza assiale massima tirafondi | 121,22 kN |
| Forza taglio massima tirafondi | 22,43 kN |

Tabella 10 – 100x85x5 mm – Riassunto risultati

8 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 S.p.A.. 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 e lo stato di sforzo e deformazione nel montante, 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 |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Forza trasversale massima spingitore | 37,90 kN | 36,82 kN |
| Momento flettente caratteristico | 15,73 kNm | 19,88 kNm |
| Forza assiale massima tirafondi | 111,35 kN | 121,22 kN |
| Forza taglio massima tirafondi | 13,56 kN | 22,43 kN |

Tabella 11 – Riassunto risultati per entrambi i montanti

Dall'analisi dei risultati ottenuti, nelle condizioni di prova e con lo specifico materiale acciaio considerato, uguale per entrambi i montanti e per entrambe le piastre, è stato possibile trarre le seguenti conclusioni. La forza trasversale necessaria per la flessione del montante è inversamente proporzionale all'altezza di spinta, che è maggiore per il palo da 85 mm. Il momento flettente caratteristico, come atteso, è risultato maggiore per il palo con dimensioni superiori. I carichi sui tirafondi sono dello stesso ordine di grandezza per entrambi i casi, superiori per la configurazione con montante da 85 mm, come atteso. 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.

9 APPENDICE

9.1 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 12. 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 | |
|---|-----------------------|
| Modulo flessionale | 20519 mm ³ |
| Momento flettente caratteristico nominale | 8,46 kNm |
| Momento flettente caratteristico attuale | 10,00 kNm |
| Montante su piastra – 100x85x5 mm | |
| Modulo flessionale | 27748 mm ³ |
| Momento flettente caratteristico nominale | 11,45 kNm |
| Momento flettente caratteristico attuale | 13,53 kNm |

Tabella 12 – Modulo flessionale e momenti flettenti analitici

9.2 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 e i carichi su tirafondi) ottenibili durante una prova di flessione dei montanti delle barriere bordo ponte di Margaritelli Ferroviaria S.p.A., 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, "...risultati 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.

9.3 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 S.p.A..

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 (si considerano quelli già riportati nel precedente documento RPT_190712_029_0111_D) 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 ³ |
| H2BP01 | 100x70x5 mm | TB51 | 0,73 m |
| H2BP02 | 100x85x5 mm | TB51 | 1,19 m |
| H2BP03 | 100x85x5 mm | TB51 | 0,70 m ⁴ |

Tabella 13 – Posizioni laterali estreme degli pneumatici dei veicoli nelle simulazioni dei test di contenimento

³ La coordinata trasversale è stimata poichè la ruota anteriore sinistra si stacca durante il crash.

⁴ La mezzeria dei singoli gruppi ruote rimane all'interno dell'ingombro di 60 cm.

9.3.1 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.

9.3.2 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 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 17 è riportata una sequenza di immagini che mostra la traiettoria del veicolo numerica e sperimentale, nella prima fase del fenomeno di crash.

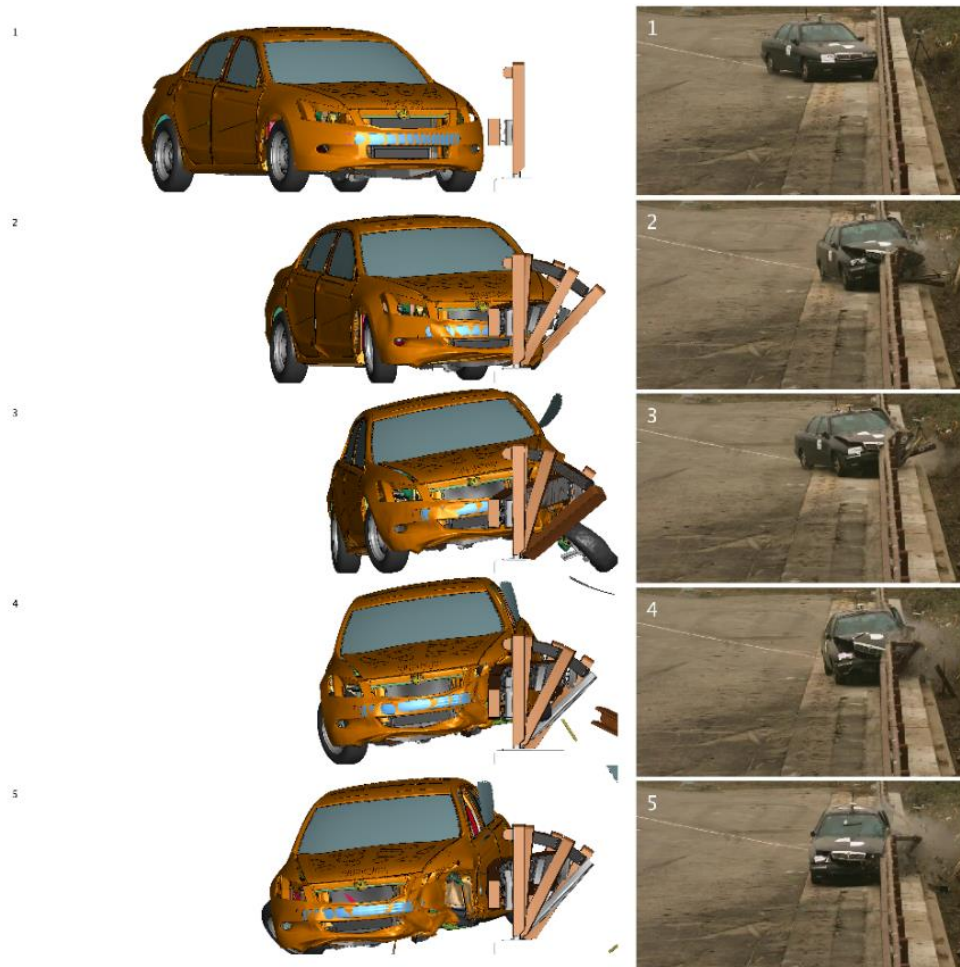


Figura 17 – Traiettoria del veicolo nel test TB32 della barriera N2BP01

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.

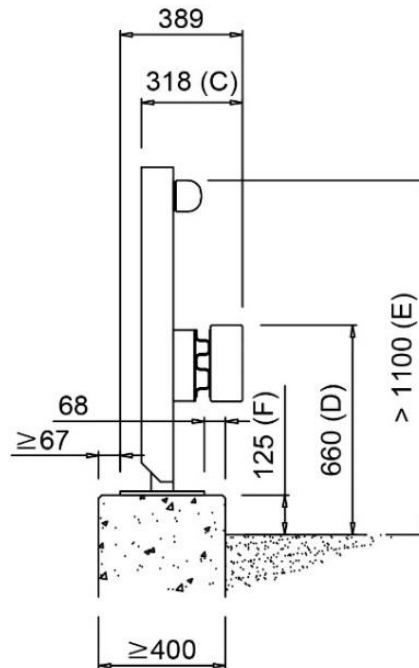


Figura 18 – N2BP01 – Posizionamento su cordolo

9.3.3 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 19 è riportata un'immagine che mostra la traiettoria ascendente del veicolo numerico e sperimentale.



Figura 19 – 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.

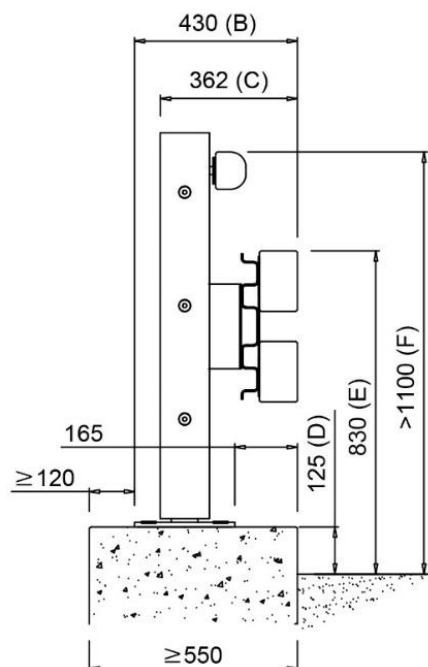


Figura 20 – H2BP01 – Posizionamento su cordolo

9.3.4 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 mezzeria delle ruote esterne rimanga a contatto con il cordolo tale quota potrebbe essere ridotta a 60 cm come mostrato nelle immagini seguenti.

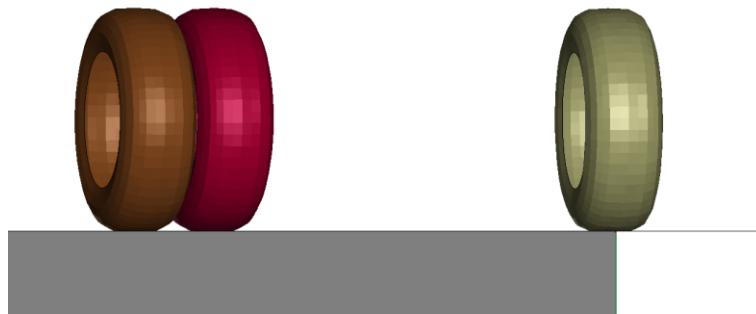


Figura 21 – H2BP03 - test TB51 – posizione laterale massima ruota anteriore

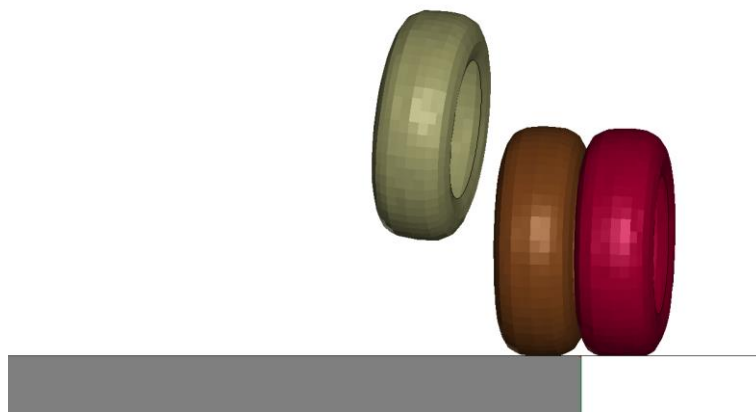


Figura 22 – H2BP03 - test TB51 – posizione laterale massima ruote posteriori

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 ⁵) |

Tabella 14 – Dimensioni trasversali minime dei cordoli

9.4 DICHIARAZIONI

Il presente documento si riferisce esclusivamente ai modelli sviluppati ed alle simulazioni svolte riportati e citati.

Le analisi sono state eseguite nelle condizioni indicate e sulla base della documentazione e delle assunzioni dichiarate e citate.

Il presente rapporto tecnico può essere riprodotto solo integralmente dietro l'approvazione scritta di CrashTech S.R.L.. Ogni riproduzione parziale è vietata.

⁵ Misura del cordolo considerando la posizione laterale massima della mezzeria dei gruppi ruote.