



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
SPIN-OFF APPROVATO

## CRASH TEST

## Veicoli

### Veicolo A:



**Ford Mondeo 1,8 16V Ghia 2000-2002**

**Massa (kg): 1360,00**

**Momento Inerzia (kg\*m<sup>2</sup>): 2244,89**

**Lunghezza Veicolo (m): 4,73**

**Larghezza Veicolo (m): 1,81**

**Passo Veicolo (m): 2,75**

**Sbalzo Anteriore Veicolo (m): 0,94**

**Distanza Baricentro-asse anteriore Veicolo (m): 1,13**

### Veicolo B:



**Opel Vectra A 1.6i 1989-1995**

**Massa (kg): 1080,00**

**Momento Inerzia (kg\*m<sup>2</sup>): 1578,57**

**Lunghezza Veicolo (m): 4,43**

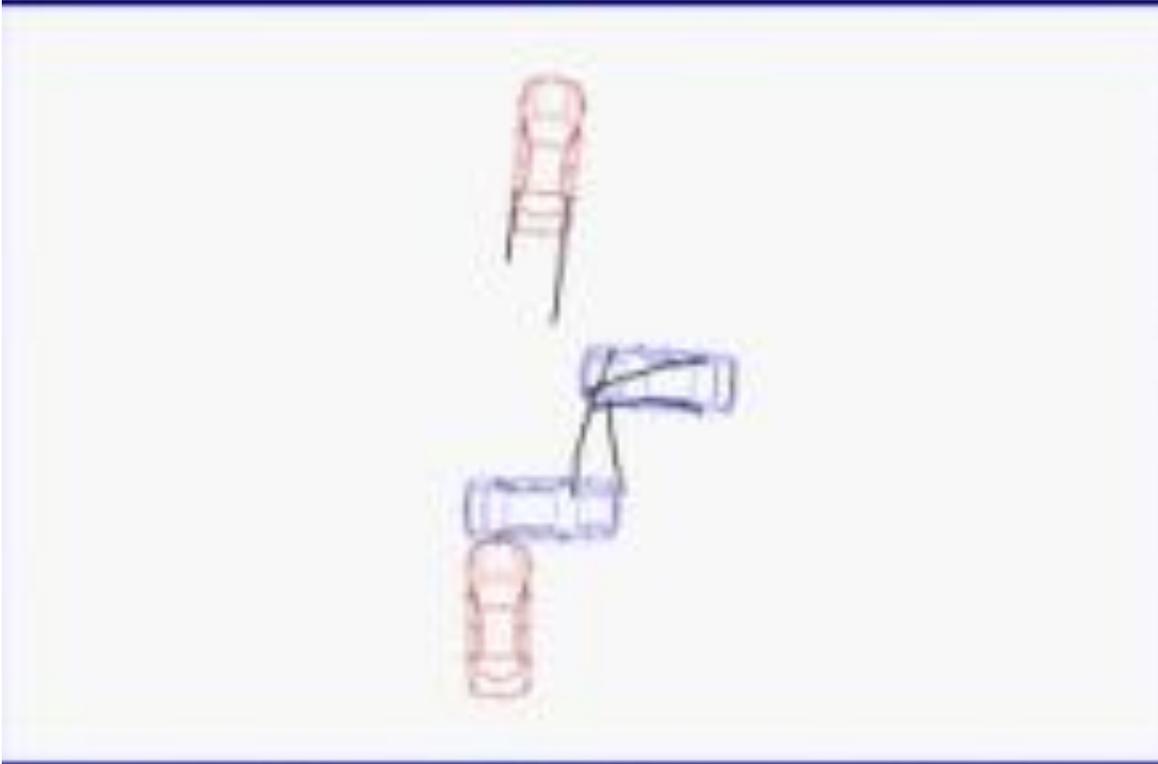
**Larghezza Veicolo (m): 1,70**

**Passo Veicolo (m): 2,60**

**Sbalzo Anteriore Veicolo (m): 0,85**

**Distanza Baricentro-asse anteriore Veicolo (m): 1,14**

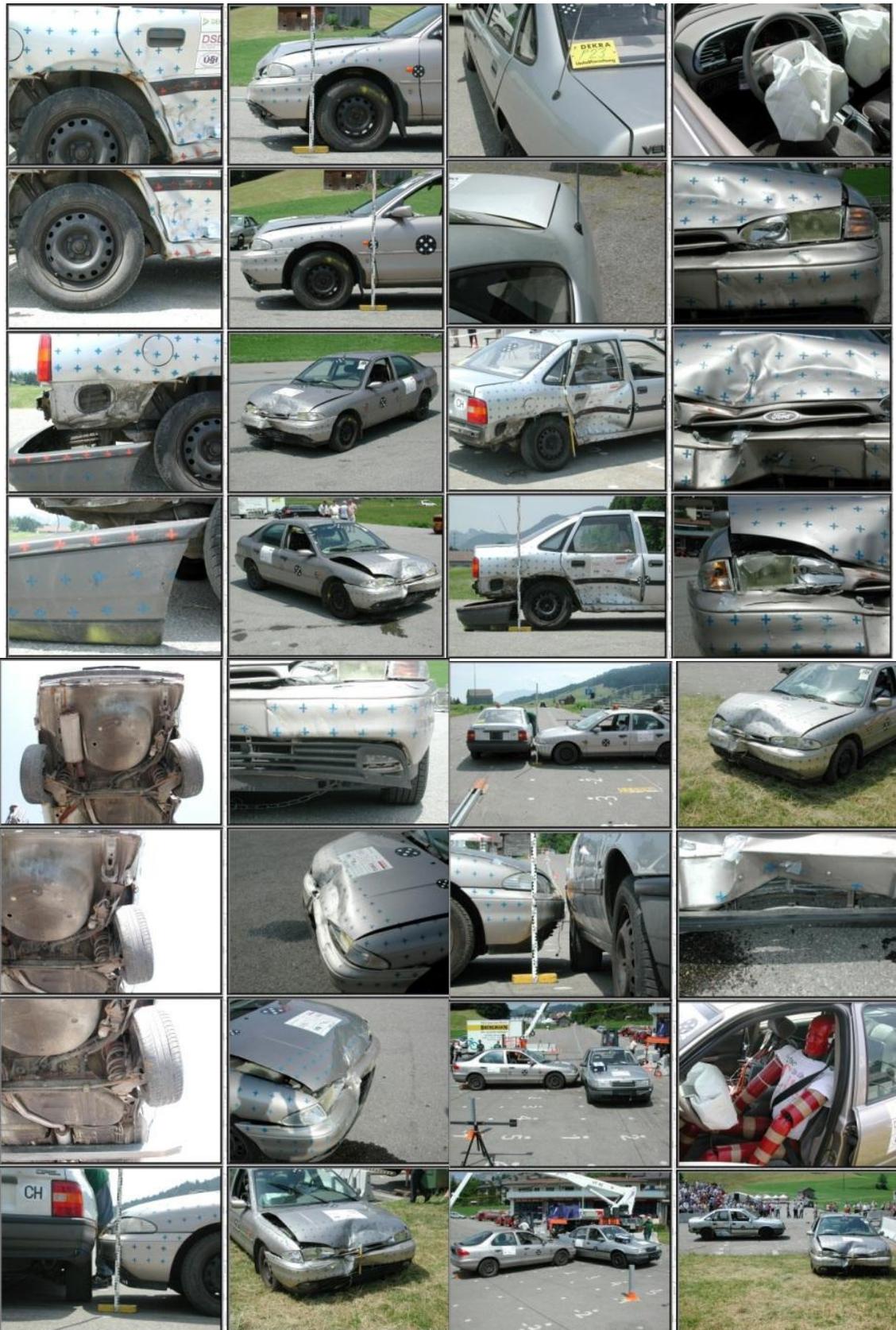
## Planimetria



### Velocità:

- Veicolo A 47 km/h
- Veicolo B: 20 km/h

## Deformazioni



## Ricostruzione Pro Impact 6.0 Urto -Modello BEM

### Analisi della fase di Urto

Il modello prevede la schematizzazione del veicolo come un corpo caratterizzato da una massa, concentrata nel centro di massa e da 50 nodi disposti sulla sagoma del veicolo a intervalli uguali; I nodi sono collegati tra loro mediante aste, di lunghezza costante con funzione di vincolo relativo tra i nodi adiacenti e una molla che caratterizza il comportamento a deformazione della struttura; tale molla ha rigidità costante. Per garantire un comportamento a deformazione diverso nelle varie zone periferiche, le costanti elastiche di tali molle sono differenziate tra parte anteriore, laterale e posteriore.

Le forze che si scambiano i punti delle due vetture a contatto sono scomposte nelle componenti perpendicolare e tangenziale alla superficie ; in direzione normale agisce la forza di deformazione, in direzione tangenziale, invece, si produce la forza d'attrito. Il coefficiente d'attrito  $\mu$  della superficie d'impatto rappresenta il coefficiente di attrito equivalente, che tiene conto sia della forza d'attrito di strisciamento, sia della forza di deformazione della superficie d'impatto nella direzione tangenziale; una volta valutate le forze di contatto, è necessario calcolare anche i momenti che vengono da esse generate e inserirli nelle equazioni del moto.

Utilizzando i parametri di velocità di traslazione e rotazione pre urto inseriti per entrambi i veicoli si ottengono le seguenti velocità post urto per i due veicoli:

#### **Veicolo A:**

Velocità di traslazione post urto:32 km/h

Velocità di rotazione post urto:-1 rad/s

#### **Veicolo B:**

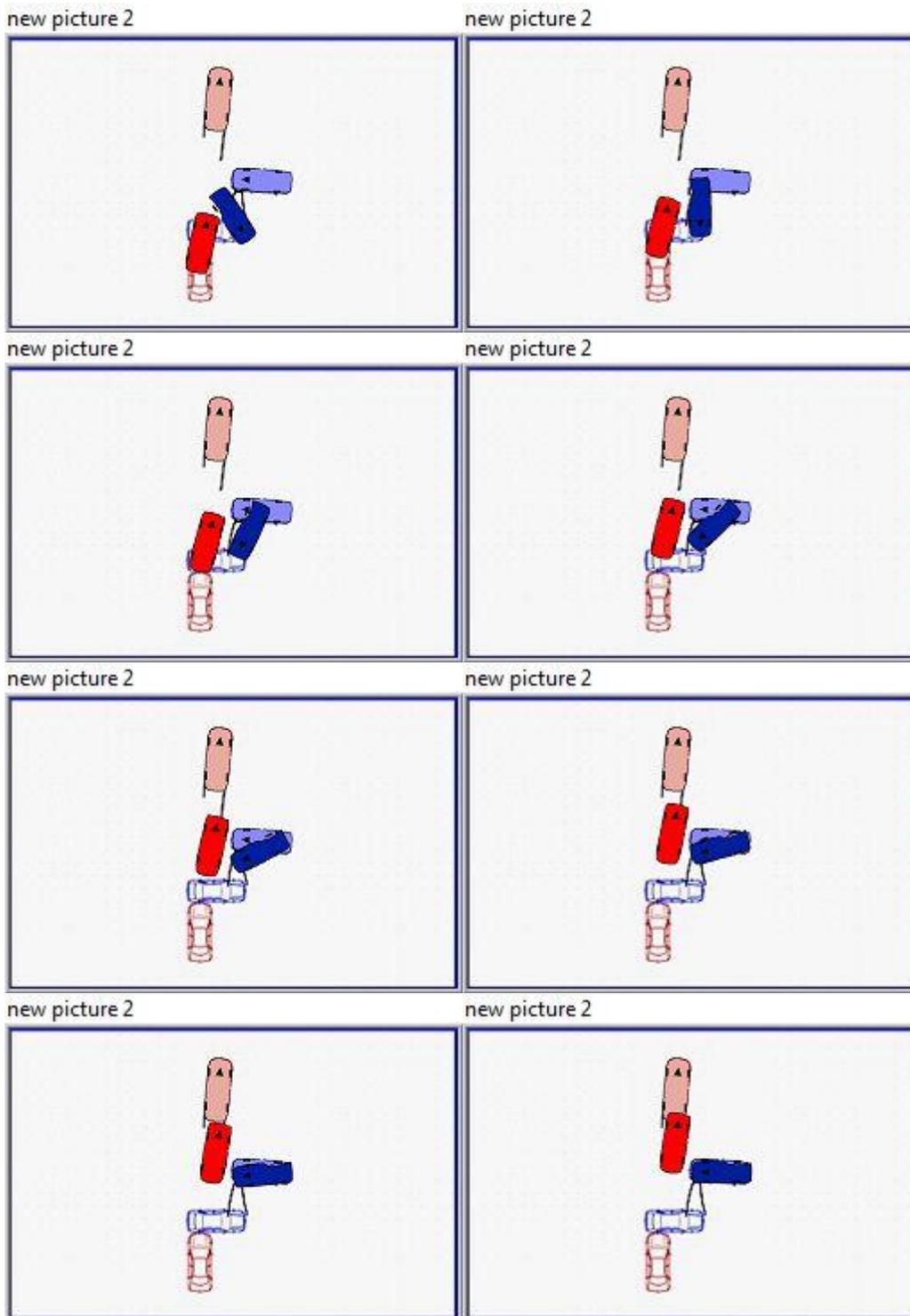
Velocità di traslazione post urto:24 km/h

Velocità di rotazione post urto:-5 rad/s

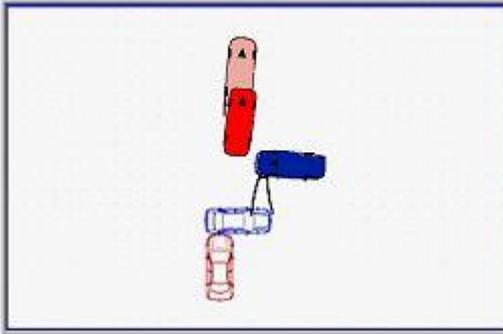
### Analisi della fase di post urto

Partendo dai valori di velocità post urto calcolati il software calcola la traiettoria seguita dai veicoli dopo l'impatto determinando la posizione di quiete così come riportata in figura.

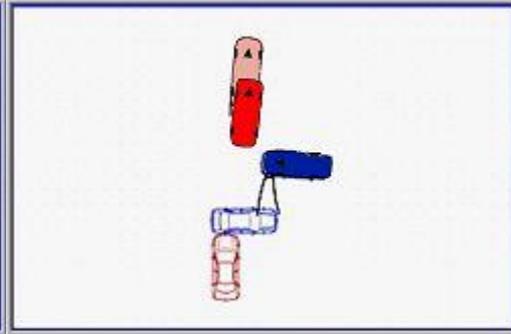
Tale posizione è quella che meglio approssima la posizione di quiete indicata quale quella che hanno raggiunto i veicoli



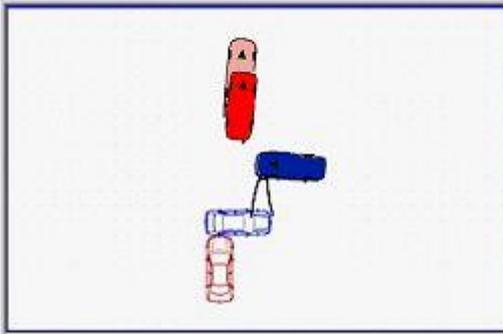
new picture 2



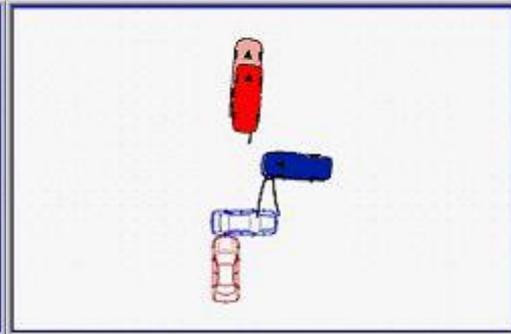
new picture 2



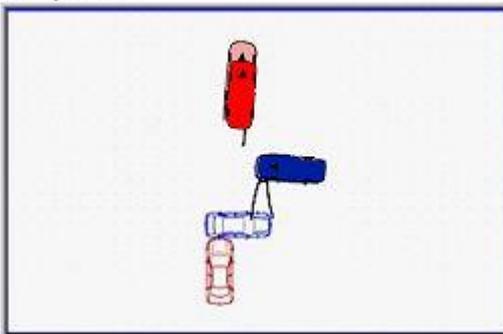
new picture 2



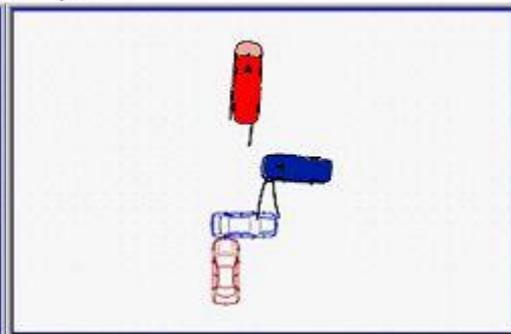
new picture 2

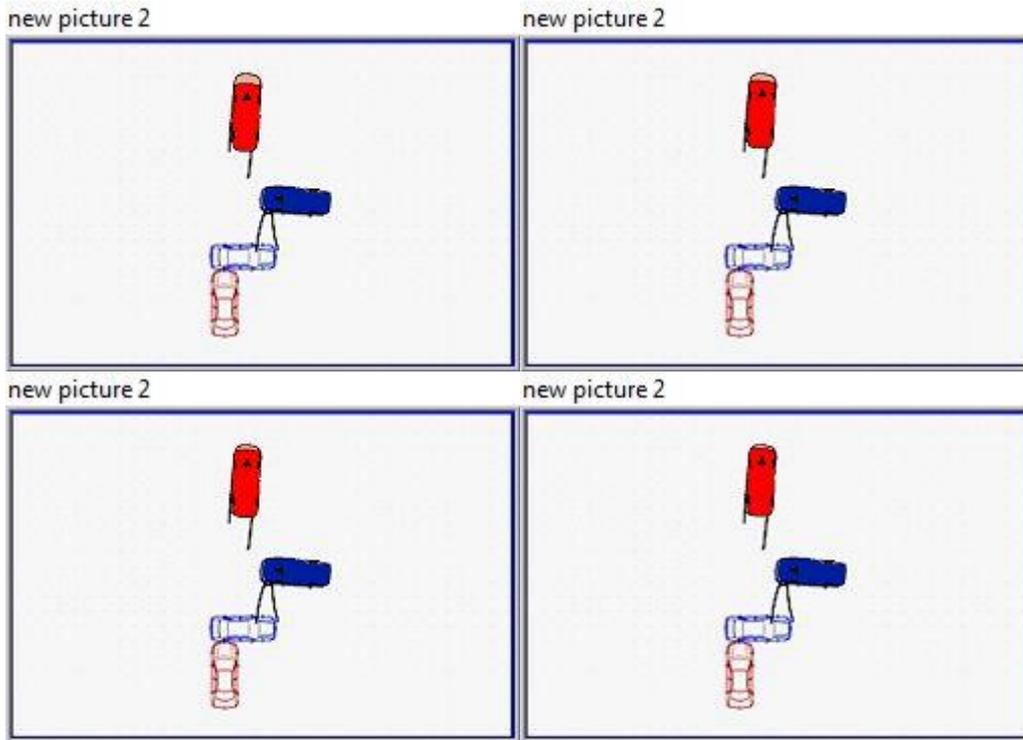


new picture 2



new picture 2





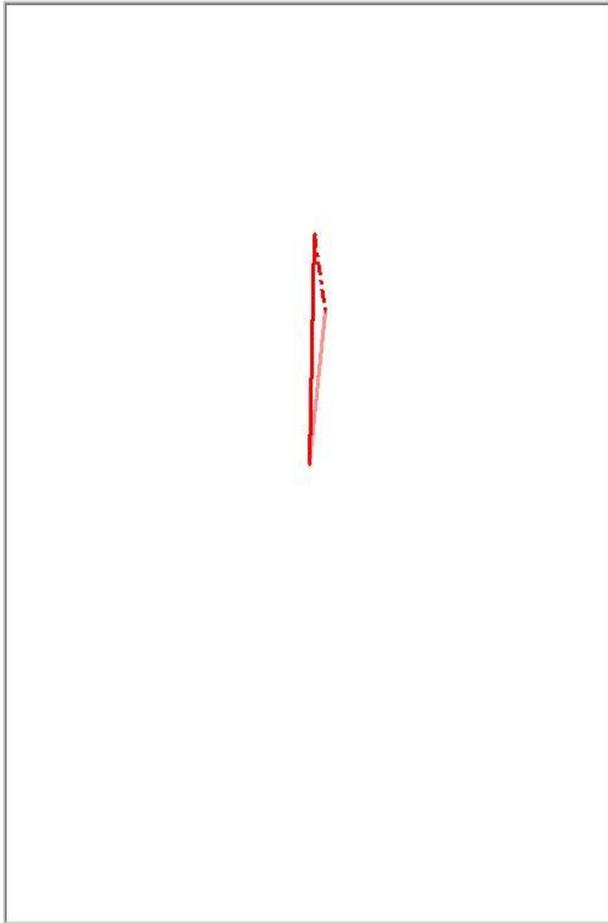
### Report Delta V Veicoli

A partire dai valori di velocità iniziali di entrambi i veicoli precedentemente utilizzati e da quelli di velocità post urto calcolati è possibile determinare i triangoli di velocità per il veicolo A ed il veicolo B

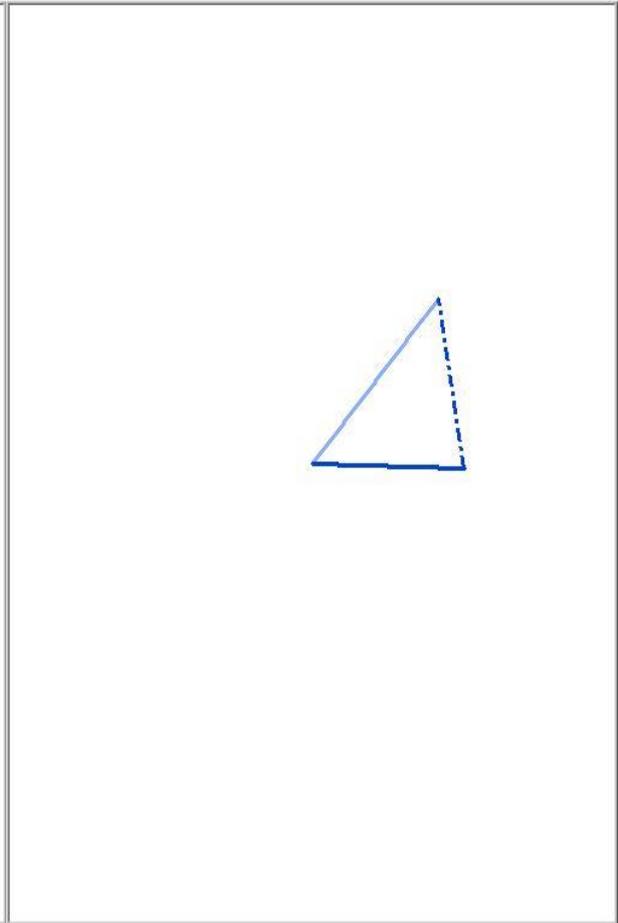
Con il colore rosso scuro si riporta il vettore velocità iniziale del veicolo A, con il colore rosso chiaro il vettore velocità post urto del veicolo A e con tratto discontinuo il vettore della variazione di velocità dello stesso veicolo.

Con il colore Blu scuro si riporta il vettore velocità iniziale del veicolo B, con il colore blu chiaro il vettore velocità post urto del veicolo B e con tratto discontinuo il vettore della variazione di velocità dello stesso veicolo.

triangolo velocità veicolo A



triangolo velocità veicolo B



Dai calcoli effettuati si determinano i seguenti valori:

**Variatione di velocità Veicolo A:** 16,0 Km/h

**Variatione di velocità Veicolo B:** 18,1 Km/h

**Angolo Delta V veicolo A:** -79,5 °

**Angolo Delta V veicolo B:** 101,1 °

### Report Energia di Deformazione

Partendo dai valori di velocità pre urto utilizzate per la simulazione ed utilizzando i valori di velocità di traslazione e rotazione post urto ottenute mediante il calcolo si ottengono i seguenti valori di energie:

**Veicolo A:**

Energia cinetica pre urto 117886J

Energia cinetica post urto 55042J

**Veicolo B:**

Energia cinetica pre urto 18210J

Energia cinetica post urto 49669J

Il valore di energia di deformazione è stato calcolato come differenza tra i valori di energia cinetica pre urto e post urto del sistema ( per sistema si intende l'insieme del veicolo A e del veicolo B).

La ripartizione del valore di energia complessivamente dissipata in deformazioni tra i due veicoli è stata effettuata considerando le rigidzze delle rispettive zone dei veicoli che sono entrare in contatto; tale valutazione ha consentito di determinare i seguenti valori:

**EES Veicolo A:**15km/h

**Energia Veicolo A:** 9274 J

**EES Veicolo B:** 22km/h

**Energia Veicolo B:**22111J

## Report deformazioni

La simulazione eseguita, considerando i parametri di rigidezza delle zone dei veicoli entrate in contatto, ha permesso di ricavare i profili di danno quali quelli riportati nelle figure seguenti:

Figura def veicolo A

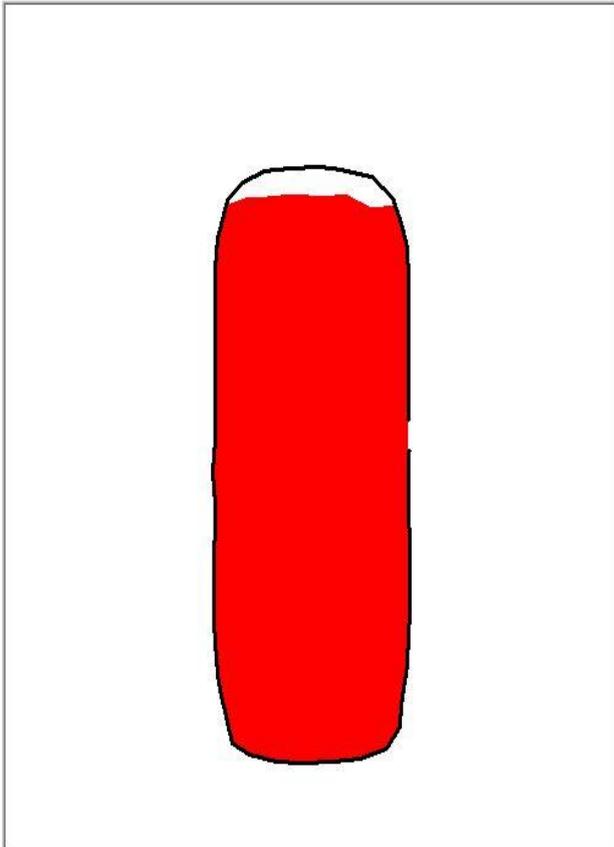
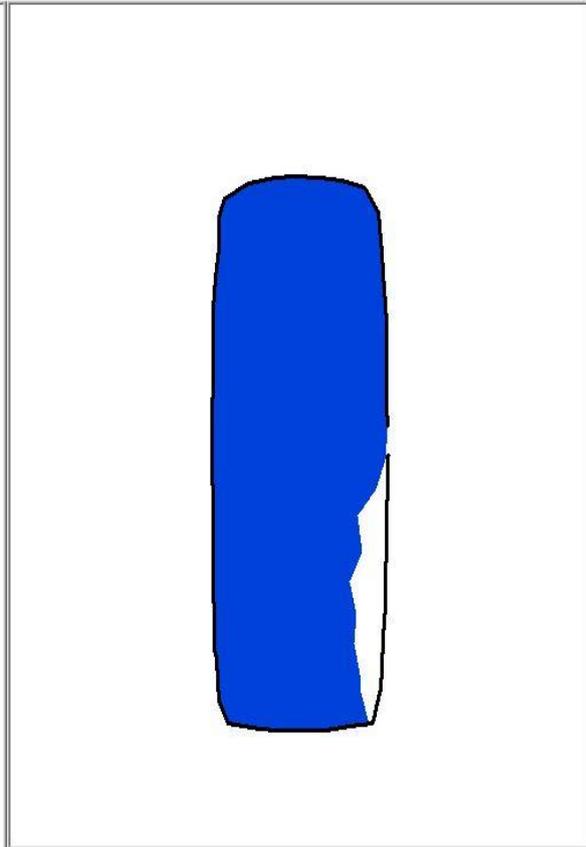


Figura def veicolo B

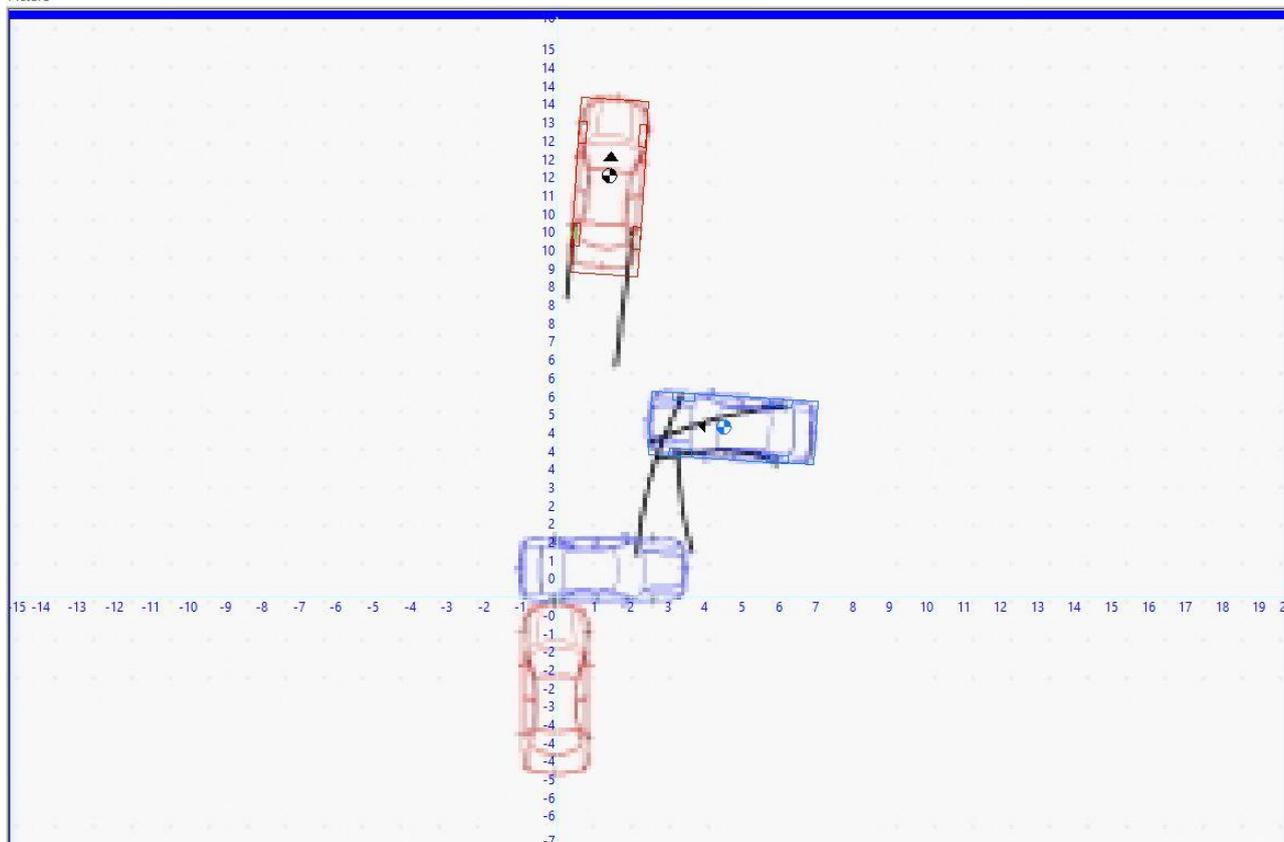


## Ricostruzione Pro Impact 6.0 Urto -Modello impulsivo

### Posizione dei veicoli

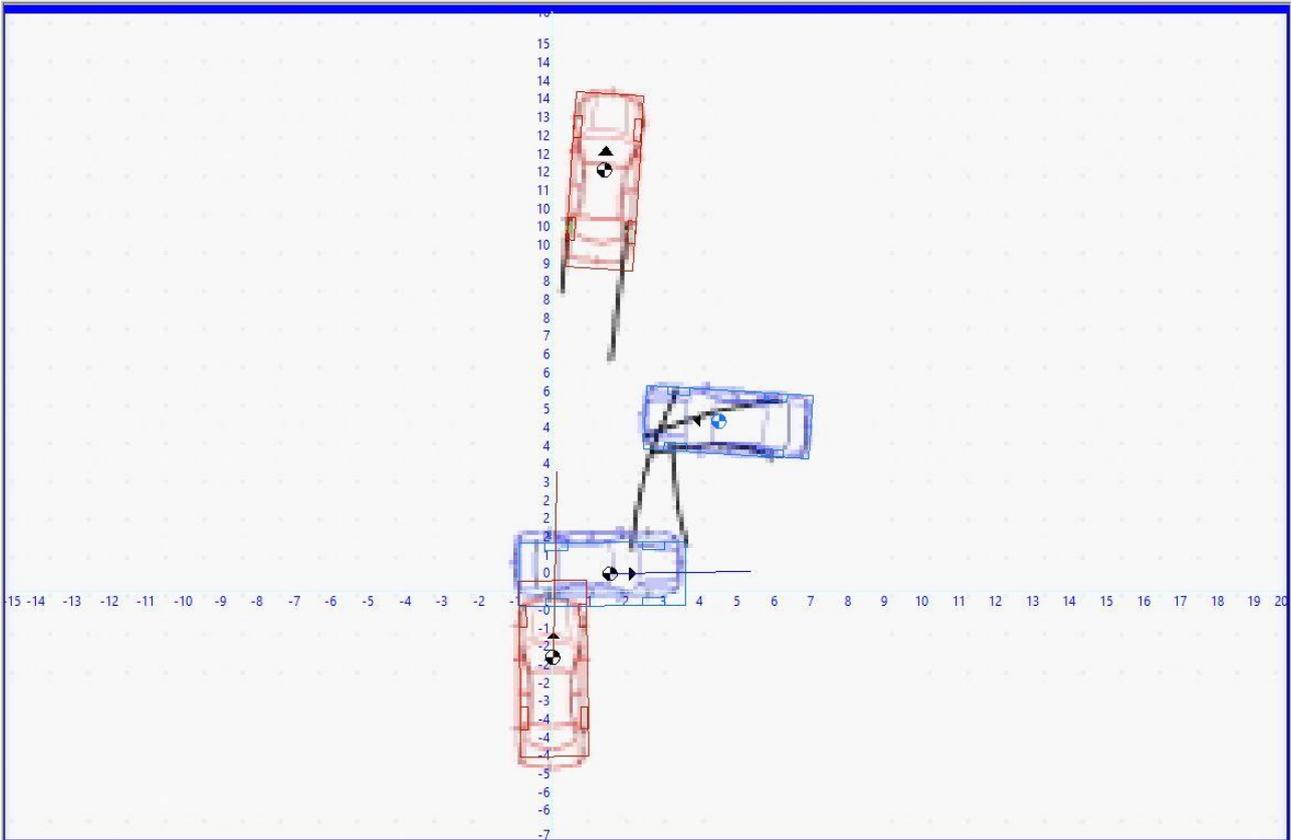
La posizione relativa dei veicoli al momento dell'urto e quella di quiete sono rappresentate nella figura seguente:

Picture



### Direzione di arrivo e uscita dall'urto dei veicoli:

Rispetto al sistema di riferimento indicato con la croce nella figura precedente, le direzioni di arrivo e uscita dall'urto dei veicoli sono quelle riportate nella tabella seguente.

**Veicolo A:**Angolo Pre Urto  $91^\circ$ Angolo Post urto  $84^\circ$ **Veicolo B:**Angolo Pre Urto  $1^\circ$ Angolo Post urto  $55^\circ$ **Analisi della fase di post urto**

La stima della velocità post-urto dei veicoli è stata effettuata a partire dalla distanza percorsa e dalle rotazioni effettuate dai veicoli nella fase successiva all'urto, ricavate dalla posizione di quiete e del punto d'urto, come riportate nella tabella seguente:

**Veicolo A:**

Distanza Percorsa:13,19 m

Rotazione -4 °

**Veicolo B:**

Distanza Percorsa:5,03 m

Rotazione -184 °

I veicoli sono stati schematizzati come sistemi rigidi a tre gradi di libertà, sottoposti a forze frenanti e alle relative coppie. Per determinare le velocità di traslazione e rotazione post urto è stata effettuata una integrazione passo-passo delle leggi del moto roto-traslatorio, per veicoli frenati:

$$\begin{cases} m \frac{dv}{dt} = F_f \\ I_z \frac{d\omega}{dt} = C_f \end{cases}$$

dove m è la massa del veicolo,  $I_z$  è il momento di inerzia rispetto all'asse ortogonale al piano della sede stradale,  $F_f$  e  $C_f$  sono rispettivamente la forza e la coppia frenante (N·m) applicate al veicolo, v sono invece la velocità di traslazione e la velocità angolare del veicolo (rispettivamente in m/s e rad/s), t il tempo in secondi.

Nella tabella seguente si riportano i valori di forza frenante assunti e i valori di velocità lineare e angolare calcolati:

**Veicolo A:**

Coefficiente di attrito 0,4

Velocità di Traslazione (km/h): 37

Velocità di Rotazione ( rad/s): -0

**Veicolo B:**

Coefficiente di attrito: 0,6

Velocità di Traslazione (km/h): 24

Velocità di Rotazione ( rad/s): -4

## Analisi della fase d'urto

Le relazioni tra velocità finali ed iniziali sono stati ottenuti applicando la conservazione della quantità di moto con i veicoli schematizzati come corpi rigidi a 3 gradi di libertà, secondo le equazioni seguenti:

$$m_1 \bar{V}_{1x} + m_2 \bar{V}_{2x} = m_1 V_{1x} + m_2 V_{2x}$$

$$m_1 \bar{V}_{1y} + m_2 \bar{V}_{2y} = m_1 V_{1y} + m_2 V_{2y}$$

$$m_1 y_1 \bar{V}_{1x} - m_1 y_1 V_{1x} - m_1 x_1 \bar{V}_{1y} + m_1 x_1 V_{1y} = J_1 (\bar{\omega}_1 - \omega_1)$$

$$m_2 y_2 \bar{V}_{2x} - m_2 y_2 V_{2x} - m_2 x_2 \bar{V}_{2y} + m_2 x_2 V_{2y} = J_2 (\bar{\omega}_2 - \omega_2)$$

$$V_{1y} = \operatorname{tg}(\theta_1) V_{1x}$$

$$V_{2y} = \operatorname{tg}(\theta_2) V_{2x}$$

$$\bar{V}_{1y} = \operatorname{tg}(\bar{\theta}_1) \bar{V}_{1x}$$

$$\bar{V}_{2y} = \operatorname{tg}(\bar{\theta}_2) \bar{V}_{2x}$$

Per tenere conto dell'incertezza sulle velocità di uscita dei veicoli e sui parametri fisici quali angoli di arrivo ed uscita dall'urto dei veicoli, masse, ecc., è stata effettuata una simulazione del sinistro con il metodo MonteCarlo. Il metodo consiste nel simulare un numero "n" di volte ("n"=100.000 in questo caso) l'urto, utilizzando in ogni simulazione valori dei parametri ricavati statisticamente, all'interno del loro intervallo plausibile di variazione. Tra le "n" soluzioni trovate vengono quindi ritenute solo quelle che soddisfano, entro certe tolleranze, alcuni vincoli imposti. Nel caso in questione sono stati assunti come vincoli le velocità post-urto dei veicoli, la direzione del PDOF (risultante delle forze di contatto fra i veicoli) e l'energia cinetica dissipata in deformazione.

Nella tabella seguente si riportano i valori assunti per la simulazione ed il loro intervallo plausibile di variazione. I valori sono riferiti al sistema di riferimento indicato nelle figure precedenti, con l'origine degli assi centrata nel punto d'urto.

**Veicolo A:**

Angolo Pre Urto  $91^\circ$  variazione  $\pm 3^\circ$

Angolo Post urto  $84^\circ$  variazione  $\pm 3^\circ$

Velocità di Lineare km/h: 37 variazione  $\pm 5$ km/h

**Veicolo B:**

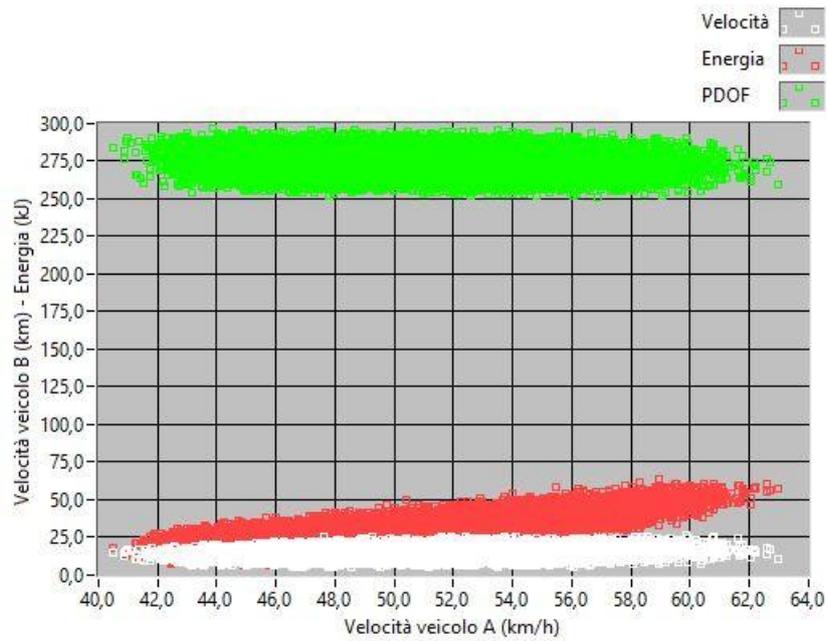
Angolo Pre Urto  $1^\circ$  variazione  $\pm 3^\circ$

Angolo Post urto  $55^\circ$  variazione  $\pm 3^\circ$

Velocità di Lineare km/h: 24 variazione  $\pm 5$ km/h

Risolviendo le equazioni sono state ottenute, come riportato nel diagramma seguente, tutte le combinazioni delle velocità dei due veicoli al momento dell'urto che soddisfano la conservazione della quantità di moto ed i vincoli imposti.

Sull'asse delle ascisse sono riportati i valori delle velocità del veicolo A e i corrispondenti valori delle velocità del veicolo B (in bianco), in ordinate il corrispondente valore dell'energia di deformazione assorbita dai veicoli (in rosso) e il corrispondente valore del PDOF (in verde) calcolato rispetto all'asse longitudinale del veicolo A.



Tenendo conto del valore di energia cinetica dissipata precedentemente valutato, dal grafico precedente si determinano i seguenti valori di velocità pre urto dei veicoli:

**Velocità Veicolo A (km/h): 50,0**

**Velocità Veicolo B (km/h): 16,0**