

Report tecnico

Dinamica dall'urto alla quiete

Dai conteggi è emerso che al momento dell'urto, il veicolo Alfa Romeo Giulietta, condotto da Neri, procedeva alla velocità di circa 20 km/h. Il veicolo Ford Transit, condotto da Rossi, marciava invece a circa 65 km/h. A seguito della collisione il veicolo Alfa Romeo Giulietta deviava significativamente a sinistra (di circa 68°), raggiungendo poi la quiete dopo aver percorso una distanza di circa 10 metri.

Invece, il veicolo Ford Transit proseguiva sostanzialmente lungo la propria direzione di marcia (deviazione di circa 1°), raggiungendo la posizione di quiete dopo aver percorso circa 22 metri di distanza dal punto d'urto. NOTA: Le deviazioni post-urto dei veicoli prima indicate, si riferiscono alle direzioni di spostamento dei centri di massa fra la posizione d'urto e la quiete.

Inserisci qui un commento aggiuntivo o cancella questo testo se non vuoi aggiungerlo. La dimensione della cella si adeguerà automaticamente alla lunghezza del commento inserito.

Metodologia di risoluzione

Il sinistro è stato ricostruito tramite simulazione numerica in avanti (forward) con il software PC-Crash, in cui le traiettorie post-urto dei veicoli sono calcolate in base alle forze agenti sul veicolo. La collisione è calcolata con un modello impulsivo in avanti a 6 gradi di libertà (modello di collisione di Kudlick Slibar). Nella ricostruzione in avanti le velocità pre-urto vengono determinate con un approccio iterativo, il cui obiettivo è determinare per quali velocità e per quali parametri del modello di collisione, gli spostamenti post-urto dei veicoli nella simulazione e le loro posizioni di quiete coincidono con quelli effettivamente tenuti nella realtà.

Parametri del modello di collisione di Kudlick-Slibar

Parametro	Descrizione	Simbolo	Valore
Coefficiente di restituzione	Rapporto fra il modulo dell'impulso di restituzione e l'impulso di compressione. E' indicativo dell'elasticità dell'urto.	k	0,05
Velocità di separazione (km/h)	Rappresenta la velocità relativa con cui i punti di impatto sui due veicoli si separano dopo l'urto	vsep	3,11
Direzione del piano di contatto lungo l'asse x-y (°)	Il piano di contatto è una superficie ideale che approssima il profilo delle deformazioni dei veicoli nella zona d'urto.	phi	-128,67
Attrito nel piano di contatto	Nel caso di urto pieno, rappresenta il limite massimo del valore che può assumere l'impulso di collisione tangente al piano di contatto. Nel caso di urto di slittamento è il rapporto fra la componente tangente (T) e quella normale (N) dell'impulso di collisione	μ	0,60
Altezza del punto di impatto (POI) rispetto al suolo (cm)	Rappresenta l'altezza del suolo del punto di applicazione dell'impulso di collisione		49

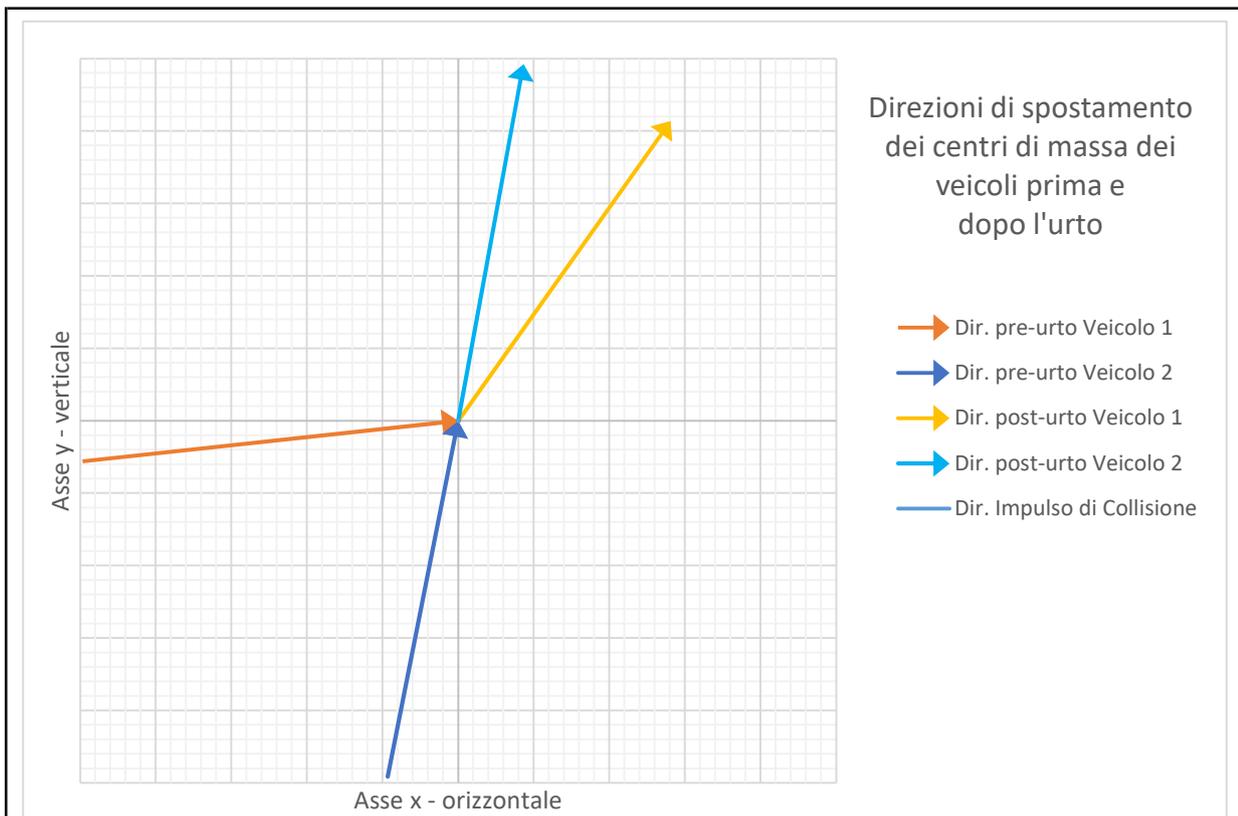
Note

Tipologia di collisione

Urto pieno ($k \geq 0$ e $T < \mu * N$)

Velocità di separazione	La velocità di separazione rientra nei valori usuali (<9 km/h)	
Coordinate del punto di impatto (POI) rispetto al centro di massa dei veicoli		
	Veicolo 1	Veicolo 2
	Alfa Romeo Giulietta	Ford Transit
x (cm)	175	121
y (cm)	-42	86
<p>Per la coordinate x e y, il valore positivo indica che il punto di impatto (POI) è a sinistra del centro di massa, mentre il valore negativo indica che il punto di impatto si trova a destra. Per la coordinata z, un valore positivo pone il POI sopra il centro di massa. Un valore negativo pone il POI sotto.</p>		

Dati dei conteggi			
Descrizione	[U.M.]	Veicolo 1	Veicolo 2
Modello		Alfa Romeo Giulietta	Ford Transit
Massa	[kg]	1720	2234
Velocità pre-urto	[km/h]	20,00	65,00
Direzione della velocità pre-urto	[°]	6,42	79,26
Velocità post-urto	[km/h]	22,53	54,19
Direzione della velocità post-urto	[°]	55,83	70,99
Direzione di spostamento del centro di massa dall'urto alla quiete	[°]	74,40	80,05
Distanza percorsa dopo l'urto	[m]	9,62	21,53
Decelerazione media nella fase post-urto	[m]	2,04	5,26
Coeff. di decel. medio nel post-urto		0,21	0,54
Velocità al termine della fase post-urto	[km/h]	0,00	0,00
EES	[km/h]	26,24	15,82
Δv longitudinale	[km/h]	-5,34	-11,37
Δv laterale	[km/h]	17,11	-7,81
Angolo di heading pre-urto	[°]	6,40	79,30
Angolo di heading in quiete	[°]	113,50	95,10
Nota			
<p>Nelle simulazioni numeriche in avanti (forward), le direzioni delle velocità post-urto dei veicoli non coincidono quasi mai con le direzioni di spostamento dei centri di massa dall'urto alla quiete. Ciò perché le roto-traslazioni dei veicoli nella fase post-urto determinano sui centri di massa delle forze non nulle, che ne modificano le traiettorie.</p>			



Visualizzazione -->	Inversa	Mostra impulso -->	No
Per le direzioni post-urto mostra:		Spostamento dei centri di massa	

Tradurre la simulazione nei classici conteggi a due gradi di libertà

I risultati della simulazione possono essere tradotti nei classici conteggi a due gradi di libertà espressi dalle formule seguenti.

Conservazione della quantità di moto

$$m_1 \cdot v_1 \cdot \cos(\alpha_1) + m_2 \cdot v_2 \cdot \cos(\alpha_2) = m_1 \cdot v'_1 \cdot \cos(\alpha'_1) + m_2 \cdot v'_2 \cdot \cos(\alpha'_2)$$

$$m_1 \cdot v_1 \cdot \sin(\alpha_1) + m_2 \cdot v_2 \cdot \sin(\alpha_2) = m_1 \cdot v'_1 \cdot \sin(\alpha'_1) + m_2 \cdot v'_2 \cdot \sin(\alpha'_2)$$

Conservazione dell'energia

$$\frac{1}{2} m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v_2^2 + E_{Rot} = \frac{1}{2} m_1 \cdot v'^2_1 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v'^2_2 + E'_{Rot} + E_{Def}$$

Dove E_{Rot} e E'_{Rot} rappresentano rispettivamente le energie rotazionali pre e post urto mentre E_{Def} è l'energia di deformazione:

$$E_{Rot} = \frac{1}{2} (I_{z1} \omega_1^2 + I_{z2} \omega_2^2) \quad E'_{Rot} = \frac{1}{2} (I_{z1} \omega'^2_1 + I_{z2} \omega'^2_2) \quad E_{Def} = \frac{1}{2} m_1 \cdot EES_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot EES_2^2$$

Di seguito il significato dei simboli riportati nelle formule

m1	massa del veicolo 1		m2	massa del veicolo2
v1	velocità pre-urto del veicolo 1		v2	velocità pre-urto del veicolo 2
v'1	velocità post-urto del veicolo 1		v'2	velocità post-urto del veicolo 2
α_1	direzione vel. pre-urto del veicolo 1		α_2	direzione vel. pre-urto del veicolo 2
α'_1	direzione vel. post-urto del veicolo 1		α'_2	direzione vel. post-urto del veicolo 2
EES1	valore di EES per i danni del veicolo 1		EES2	valore di EES per i danni del veicolo 2
Iz1	momento d'inerzia asse-z del veic. 1		Iz2	momento d'inerzia asse-z del veic. 2
ω_1	vel. angol. asse z pre-urto del veic. 1		ω_2	vel. angol. asse z pre-urto del veic. 2
ω'_1	vel. angol. asse z post-urto del veic. 1		ω'_2	vel. angol. asse z post-urto del veic. 2

Nel caso in cui siano note la distanza post-urto e la decelerazione post-urto, le velocità post-urto sono calcolate con le seguenti relazioni:

$$v'_1 = \sqrt{2 \cdot f_1 \cdot g \cdot S_1 + v_{fin1}^2} \qquad v'_2 = \sqrt{2 \cdot f_2 \cdot g \cdot S_2 + v_{fin2}^2}$$

v'1	velocità post-urto del veicolo 1		v'2	velocità post-urto del veicolo 2
f1	coef. decel. medio post-urto veic. 1		f2	coef. decel. medio post-urto veic. 2
S1	distanza post-urto veicolo 1		S2	distanza post-urto veicolo 2
vfin1	velocità a fine fase post-urto veic. 1		vfin2	velocità a fine fase post-urto veic. 2

I conteggi relativi alla conservazione delle quantità di moto possono essere verificati sostituendo nelle equazioni i seguenti valori:

m1	1720	[kg]	m2	2234
v1	5,56	[m/s]	v2	18,06
α1	0,11	[rad]	α2	1,38
v'1	6,26	[m/s]	v'2	15,05
α'1	0,97	[rad]	α'2	1,24
f1	0,21		f2	0,54
S1	9,62	[m]	S2	21,53
vfin1	0,00	[m/s]	vfin2	0,00

Sviluppo dei conteggi - Calcolo delle velocità pre-urto a partire dalle velocità post-urto, utilizzando l'approccio delle direzioni conosciute a ritroso (2gdl)

Calcolo delle velocità post-urto dei veicoli

$$v'_1 = \sqrt{2 \cdot 0,21 \cdot 9,81 \cdot 9,62} = 6,26 \text{ [m/s]}$$

$$v'_2 = \sqrt{2 \cdot 0,54 \cdot 9,81 \cdot 21,53} = 15,05 \text{ [m/s]}$$

Equazioni di bilancio della quantità di moto

$$\text{Asse x} \quad 1720 \cdot v_1 \cdot \cos(0,11) + 2234 \cdot v_2 \cdot \cos(1,38) = 1720 \cdot 6,26 \cdot \cos(0,97) + 2234 \cdot 15,05 \cdot \cos(1,24)$$

$$\text{Asse y} \quad 1720 \cdot v_1 \cdot \sin(0,11) + 2234 \cdot v_2 \cdot \sin(1,38) = 1720 \cdot 6,26 \cdot \sin(0,97) + 2234 \cdot 15,05 \cdot \sin(1,24)$$

Riscrivendo il sistema delle due equazioni lineari

Sistema	1720*cos(0,11)	2234*cos(1,38)	*	v1	=	17000,73
matriciale	1720*sen(0,11)	2234*sen(1,38)		v2		40702,18

Il sistema può essere risolto facilmente usando il metodo di Kramer

$$v_1 = \frac{\det \begin{vmatrix} 17000,73 & 2234 \cdot \cos(1,38) \\ 40702,18 & 2234 \cdot \sin(1,38) \end{vmatrix}}{\det \begin{vmatrix} 1720 \cdot \cos(0,11) & 2234 \cdot \cos(1,38) \\ 1720 \cdot \sin(0,11) & 2234 \cdot \sin(1,38) \end{vmatrix}} = \frac{20365573,31}{3671417,90}$$

da cui $v_1 = 5,55 \text{ [m/s]} \quad \rightarrow \quad v_1 = 19,97 \text{ [km/h]}$

$$v_2 = \frac{\det \begin{vmatrix} 1720 \cdot \cos(0,11) & 17000,73 \\ 1720 \cdot \sin(0,11) & 40702,18 \end{vmatrix}}{\det \begin{vmatrix} 1720 \cdot \cos(0,11) & 2234 \cdot \cos(1,38) \\ 1720 \cdot \sin(0,11) & 2234 \cdot \sin(1,38) \end{vmatrix}} = \frac{66300211,14}{3671417,90}$$

da cui $v_2 = 18,06 \text{ [m/s]} \quad \rightarrow \quad v_2 = 65,01 \text{ [km/h]}$

Una volta calcolate le velocità pre-urto possiamo calcolare l'energia di deformazione applicando:

$$E_{Def} = \frac{1}{2}m_1 \cdot EES_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot EES_2^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot (v_1^2 - v_1'^2) + \frac{1}{2}m_2 \cdot (v_2^2 - v_2'^2) + E_{Rot} - E'_{Rot}$$

si presti attenzione che mentre l'energia di rotazione pre-urto è quasi sempre trascurabile (a meno di casi eccezionali), l'energia di rotazione post-urto può essere significativa. Pertanto, se non si procede alla stima dell'energia di rotazione post-urto (considerandola quindi pari a 0 nei conteggi), applicando la relazione sopra riportata si otterrà una energia di deformazione maggiore di quella reale.