

III Congresso Nazionale ANFeA Roma 27 – 28 Novembre 2015

“ Possibili ambiti di intervento e relative competenze per i fisici che operano nell'ambito forense ”

Introduzione

Il rapporto generale tra scienza e discipline giuridiche ha assunto negli anni recenti una connotazione sempre più stretta e sinergica e, per certi aspetti, indispensabile specie in presenza di tesi contrastanti rispetto alla ricostruzione di un evento accaduto.

Ricordiamo, a tal proposito, che sotto questo profilo, ovvero della cogente necessità di una spiegazione cosiddetta “*scientifica*” dei fatti che rientrano nel *corpus* probatorio di un processo, anche la Cassazione si è espressa con la nota “*Sentenza Cozzini*” di cui riporta un breve stralcio:

“ Gli esperti dovranno essere chiamati non solo ad esprimere il loro personale seppur qualificato giudizio, ma anche a delineare lo scenario degli studi ed a fornire elementi che consentano al giudice di comprendere se, ponderate le diverse rappresentazioni scientifiche del problema, possa pervenirsi ad una “metateoria” in grado di fondare affidabilmente la ricostruzione. Di tale complessa indagine il giudice è infine chiamato a dar conto in motivazione, esplicitando le informazioni scientifiche disponibili e fornendo razionale spiegazione, in modo completo e comprensibile a tutti, dell’apprezzamento compiuto”¹

¹ Cass.Pen. Sez. IV, 13/12/2010, n.43786 Cass.Pen. Sez. IV, 13/12/2010, n.43786.

Per tale motivo, la legislazione italiana ha elaborato l'istituto del consulente tecnico del Giudice (CTU – Consulente tecnico d'Ufficio), del consulente tecnico del Pubblico Ministero (CT del Pubblico Ministero) e del consulente tecnico di parte (CTP).

Sopraesedendo in questa sede ad esplorare la copiosa giurisprudenza che caratterizza l'attività e i limiti del consulente tecnico, qualora ci riferissimo, ad esempio, al solo ambito del processo civile se ne desume che

“... il consulente tecnico è quel soggetto, fornito di specifiche conoscenze tecniche, scientifiche o umanistiche in campo del sapere umano diverso da quello giuridico che, in virtù di tale preparazione specifica, viene chiamato ad integrare le conoscenze del giudice allorché per la risoluzione della causa siano necessarie cognizioni in specifiche materie che il giudice non conosce né è tenuto a conoscere”²

Per quanto concerne i fisici che operano nel generale ambito delle consulenze tecniche in ambito giuridico, occorre rilevare la presenza di ampi margini di intervento in settori tra loro spesso molto diversi che richiedono, da un lato, solide e avanzate cognizioni scientifiche e abilità operative in termini di esecuzione e interpretazione di misure fisiche, e dall'altro una struttura metodologica raffinata che permetta di ricostruire un evento in tutta la sua complessità e problematicità utilizzando le informazioni a disposizione.

Come si accennava sopra, gli ambiti di intervento possono essere molteplici; si cercherà in questa sede di citare alcuni esempi facendo riferimento alle specifiche competenze richieste.

² Cfr. artt. 61, 62, 191 c.p.c.

- **L'ambito “*incidentologico e forense*”:
il caso degli incidenti stradali**

L'area inserita nella norma UNI per la professione del fisico, e che concerne l'ambito *incidentologico e forense*, può essere definita come quella branca del sapere che indaga, mediante tecniche e metodi propri delle scienze e dell'ingegneria, la ricostruzione storica di un evento a partire da fatti secondari noti fino a risalire a quelli primari ignoti.

Si pensi, ad esempio, alla risoluzione di un caso di omicidio avvenuto mediante l'utilizzo di arma da fuoco. In tal caso, i fatti secondari saranno costituiti dalle tracce di polvere da sparo da analizzare, dalla posizione del cadavere, dalla presenza di fori nelle pareti, dalle dichiarazioni di eventuali testimoni, dai dati di tipo telematico disponibili etc.; va da se, allora, che i dati primari sono quelli riferentesi alle modalità di esecuzione dell'omicidio, come il tipo di pistola usata, la posizione dell'omicida nell'atto dello sparo, la posizione del bersaglio, etc.

Ciò detto, l'ambito che qui presenteremo si riferisce alla ricostruzione di incidenti stradali complessi, con esito mortale

- **Competenze:** meccanica applicata alle macchine, bio-meccanica, topografia e annessi rilievi, fotometria e angoli di visuale, deformazione strutturali e annessa fotogrammetria, metodi agli elementi finiti e *software* applicativi, elementi di progettazione di strade e autostrade, uso del CAD, moto di frammenti in aria, teoria dei giochi applicata alle dichiarazioni, norme sulla sicurezza sul lavoro per cantieri mobili, elaborazione di dati GPS, astronomia di base e annessi fenomeni di abbagliamento, estimo, elaborazione delle immagini, raccolta ed elaborazione di dati meteo-climatici, competenze gestionali e di coordinamento tra diversi enti, abilità di elaborazione delle informazioni raccolte e ricostruzione dell'evento incidente, Codice della Strada, etc.

- **Esempi di quesito** posto dal Giudice, dal Pubblico Ministero o da un Legale:
 - A. “ *Dica il CTU all’esito degli accertamenti effettuati, la compatibilità dei danni riportati dall’autovettura con lo stato dei luoghi indicato e con la dinamica rappresentata da parte attrice.*” (quesito posto dal Giudice in sede civile);
 - B. “ *Dica il consulente tecnico, presa visione degli atti ritenuti utili e previo esame dei veicoli coinvolti nel sinistro, se esso sia stato causato dall’imprudente negligente o imperita condotta di guida dei soggetti coinvolti, indicando altresì, se ve ne sono, le norme regolatrici della circolazione stradale che si assumono violate. Indichi inoltre se, alla causazione dell’evento lesivo, secondo la ricostruenda dinamica, abbia concorso la condotta della vittima o di soggetti terzi rispetto a quelli coinvolti. Quant’altro utile ai fini di giustizia ”* (quesito posto dal Pubblico Ministero);
 - C. “ *Stante quanto depositato in Atti, rilevabile sul luogo del sinistro, è possibile stabilire sul piano fisico una compatibilità o meno tra la dinamica occorsa di trascinamento del sistema auto-corpo e le dichiarazioni dell’A.S.?* ” (quesito posto dal Legale).

Verranno espone nel paragrafo seguente alcune applicazioni a reali casi di studio affrontati in procedimenti civili e penali, unitamente alle competenze richieste.

- **Aspetti metodologici e tecnici tratti da reali casi di studio**

1. Competenze gestionali e di coordinamento tra diversi Enti: acquisizione delle informazioni

Accade sovente che, nel caso degli incidenti stradali con esito mortale, sia necessario operare in maniera sistematica e organica, valorizzando anche quegli aspetti che, in un primo momento, possono apparire irrilevanti e fuorvianti rispetto alla finalità che si prefigge.

Pertanto, ove sarà necessario, è opportuno *in primis* eseguire una ricognizione di tutto il materiale documentario e di dati potenzialmente a disposizione, per poi acquisire mediante accesso agli Atti (autorizzato dal giudice o magistrato generalmente già in sede di conferimento incarico: “ *si concede al CTU di acquisire Atti o documenti ovunque essi si trovano, presso enti pubblici o privati* ”) .

Si citano alcuni enti da interessare nelle indagini:

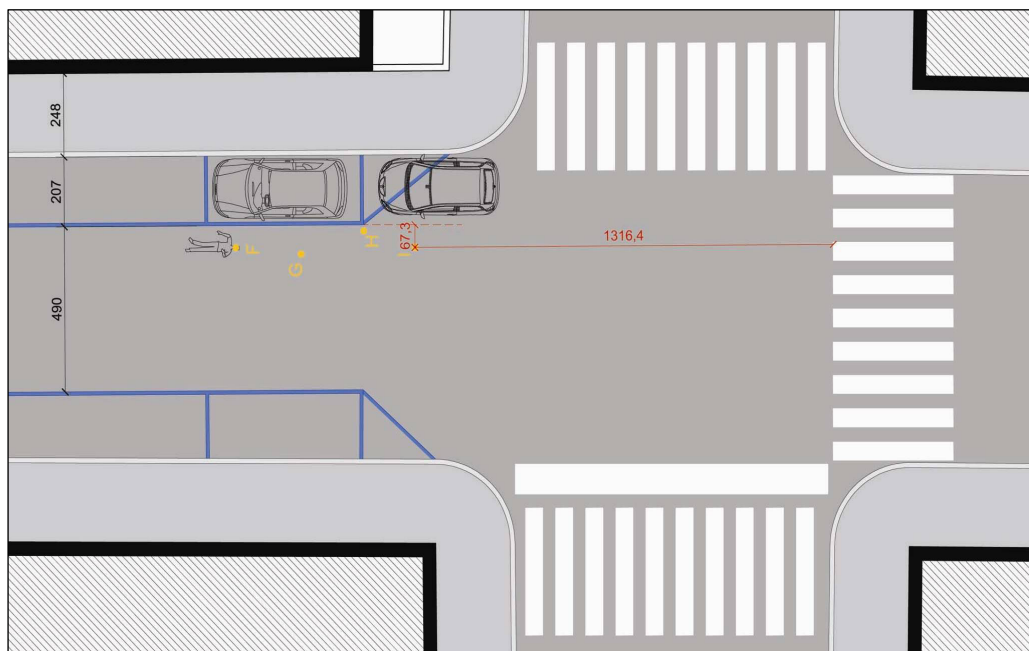
- a. Organi di polizia; in tal caso si acquisisce il rapporto degli intervenuti, incluse tutte le foto scattate nell'immediatezza del fatto, anche quelle non contenute nel rapporto ma depositate presso gli archivi di competenza; lo schizzo da campo eseguito poi rielaborato con CAD dagli stessi, al fine di evidenziare eventuali incongruenze, tenuto conto dei rilievi indipendenti sullo stato dei luoghi eseguiti dal consulente nominato; eventuali dichiarazioni già in Atti, o possibili testimoni del fatto da interrogare dello stesso consulente (questo può avvenire solo nel caso dei procedimenti penali, alla presenza di un agente di polizia giudiziaria e su mandato del PM);
- b. Enti di custodia e gestione di banche-dati satellitari; è il caso delle auto dotate di sistema di rilevazione satellitare; l'accesso agli Atti permette di acquisire le coordinate GPS del mezzo durante il suo percorso (WGS 84), oltre ai dati accelerometrici e di velocità;

- c. Aziende Sanitarie Locali (118) e Vigili del fuoco intervenuti, istituti di medicina legale.; gli atti acquisiti permettono di analizzare in tal caso la traumatologia verificatasi, al fine di porla in correlazione con il moto degli occupanti e la conseguente bio-meccanica, con l'efficienza di funzionamento e/o l'utilizzo dei sistemi di ritenuta passivi (cinture di sicurezza e airbag ad esempio) e attivi (sistema di controllo della stabilità denominato *ESP – Electronic Stability Control*);
- d. Uffici tecnici di Enti Locali o di gestione di strade/autostrade, Enti di gestione dei dati territoriali civili o militari: è il caso in cui sia necessario acquisire stralci di progetti di tronchi stradali, incroci o rotatorie, progetti di cicli semaforici o dati da rilevamenti del traffico in generale mediante sistemi elettronici; il caso di specie può presentarsi con una certa problematicità nel caso in cui l'accesso a detti dati potrebbe comportare la manipolazione di parti elettroniche degli apparecchi ispezionati, rientrando questo nei casi di accertamenti non ripetibili disposti dal PM (art. 360 c.p.p.); nell'ambito trattato rientra altresì l'accesso ai dati offerti dai diversi *SIT* (Sistemi Informativi Territoriali) la cui componente informatica è costituita dal *GIS* (*Geographical Information System*) , oppure dall' *IGM* (Istituto Geografico Militare)
- e. Stazioni meto-climatiche gestite da Enti civili o militari: è il caso della verifica delle condizioni climatiche in cui un incidente può essersi verificato, specie in presenza di dichiarazioni contrastanti; ciò ha una significativa importanza nell'assunzione dei valori di attrito assunti alla base dei calcoli dinamici eseguiti dal consulente, e quindi sulla valutazione delle velocità dei mezzi in gioco e sul loro effetto all'urto sugli occupanti;

2. L'indagine sullo stato dei luoghi: dallo schizzo da campo al rilievo

Come, si è accennato sopra, gli organi intervenuti sul posto in genere eseguono i primi rilievi del caso elaborando sul posto uno “schizzo da campo” che, nella maggior parte dei casi non è riprodotto successivamente in CAD; e comunque qualora lo fosse, è buona prassi re-inserire le misure annotate dagli intervenuti all'interno di un elaborato CAD dove preliminarmente è stato rilevato lo stato dei luoghi nella sua completezza (strade, incroci, rotatorie, etc.), e ciò al fine di valutare eventuali e non rari errori riportati dagli intervenuti proprio durante le fasi del rilievo dell'incidente.

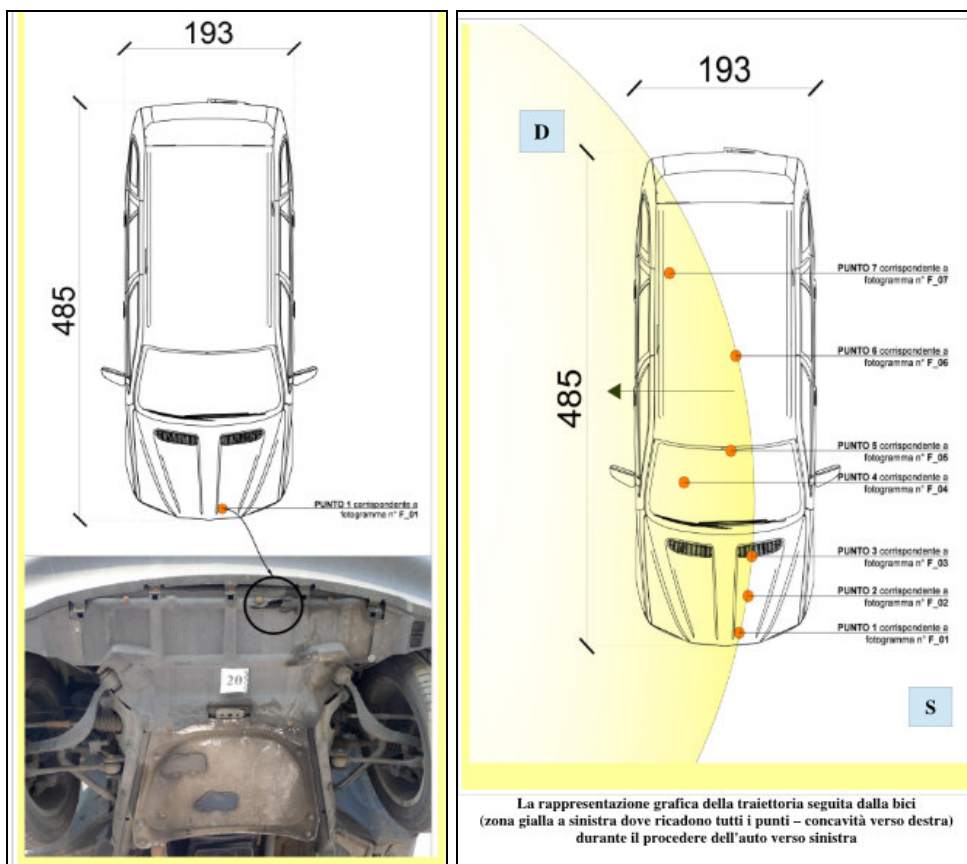
Il rilievo degli intervenuti, e la sua rappresentazione in forma di schizzo da campo, costituisce comunque la prima informazione da porre al vaglio, giacché in esso sono presenti i primi e significativi elementi che costituiscono il “tracciato radar” delle masse in movimento (posizione di stasi dei corpi, manufatti divelti, tracce di frenata, scarrocciamento, incisioni sull'asfalto etc.).

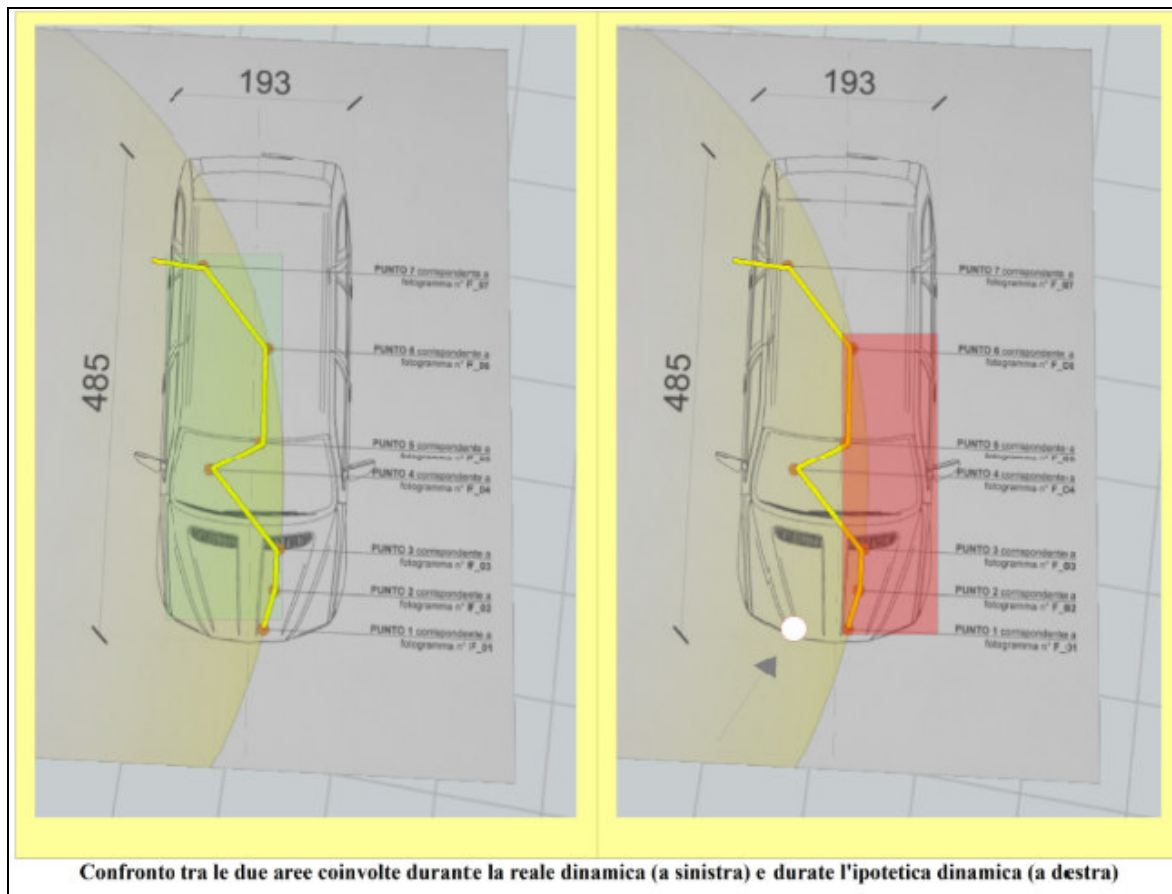


Rielaborazione grafica del rilievo eseguito dagli intervenuti, nel caso di una collisione violenta tra un autobus e un pedone che attraversava sulle strisce pedonali.

3. Mappatura delle tracce di incisione su un mezzo e studio delle strutture deformate da collisione, mediante fotogrammetria, modelli meccanici analitici, dati tratti dai crash test, rappresentazione in 3D:

A. Mappatura delle tracce di incisione su un mezzo: la mappatura delle tracce di incisione sul sottoscocca di un mezzo, ad esempio, venutesi a produrre a causa del trascinarsi di un corpo di un motociclista munito di casco, oppure di un mezzo quale può essere una bicicletta, permette una valutazione della traiettoria del corpo sottostante (compreso per l'appunto tra platea stradale e sottoscocca) durante il moto di trascinarsi contribuendo, all'interno di una ricostruzione sistemica dell'evento, a risalire alle modalità dell'urto ovvero a prendere in esame uno scenario e ad escluderne altri; una tale procedura richiede, naturalmente, il sollevamento del mezzo, come rappresentato nel caso di specie:



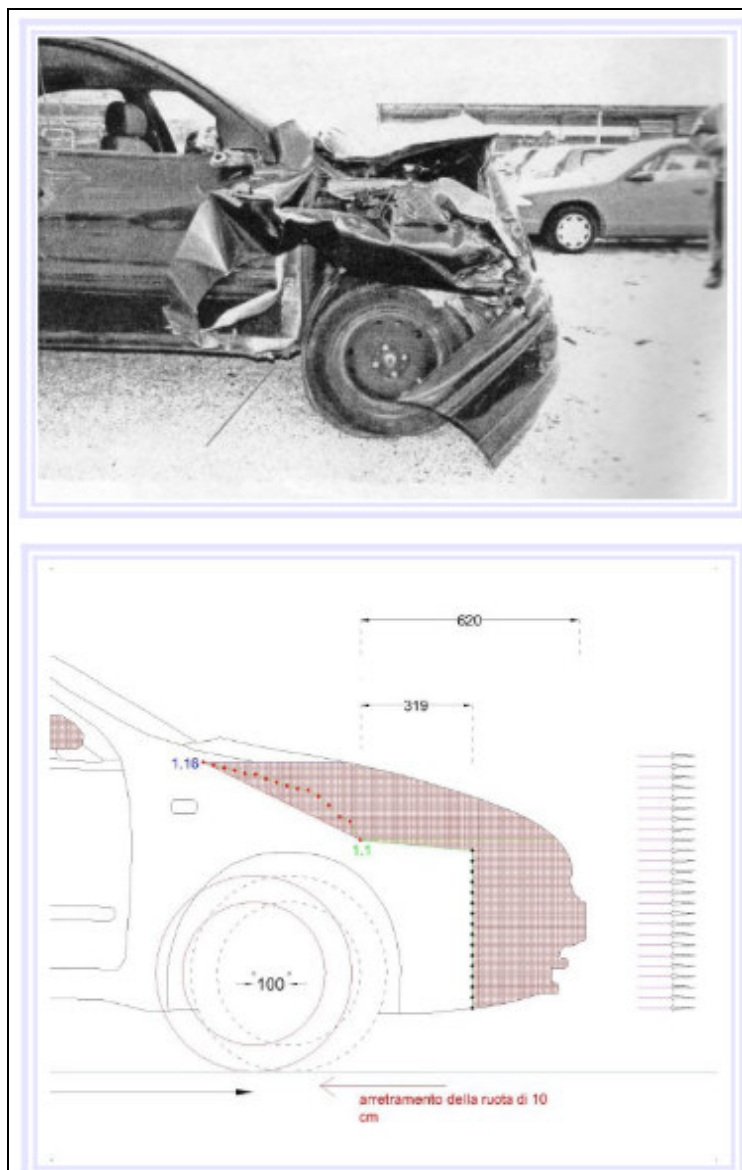


B. Fotogrammetria: tale tecnica di analisi permette stimare l'angolo di collisione o l'energia di deformazione mediante comparazione tra il profilo deformato residuo di un mezzo e quello in deformato, utilizzando la sovrapposizione tra i punti omologhi; ciò dopo aver apposto come riferimento di calibrazione una serie di marker sui due profili e una dima al suolo in dotazione all'intero apparato (macchina digitale modificata e calibrata, dima e *software* per l'analisi dei dati); il processo di calibrazione della fotocamera garantisce un'accuratezza della collimazione con un errore dell'ordine di 1cm;

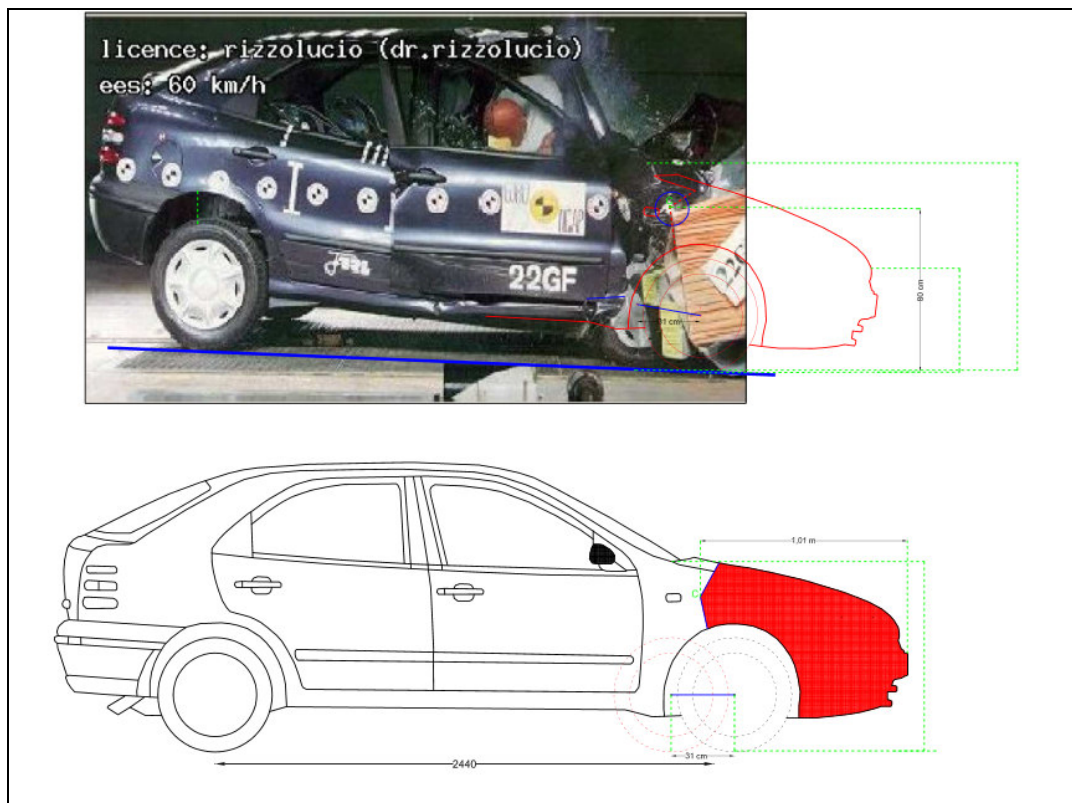


Comparazione tra i profili di due mezzi dello stesso modello

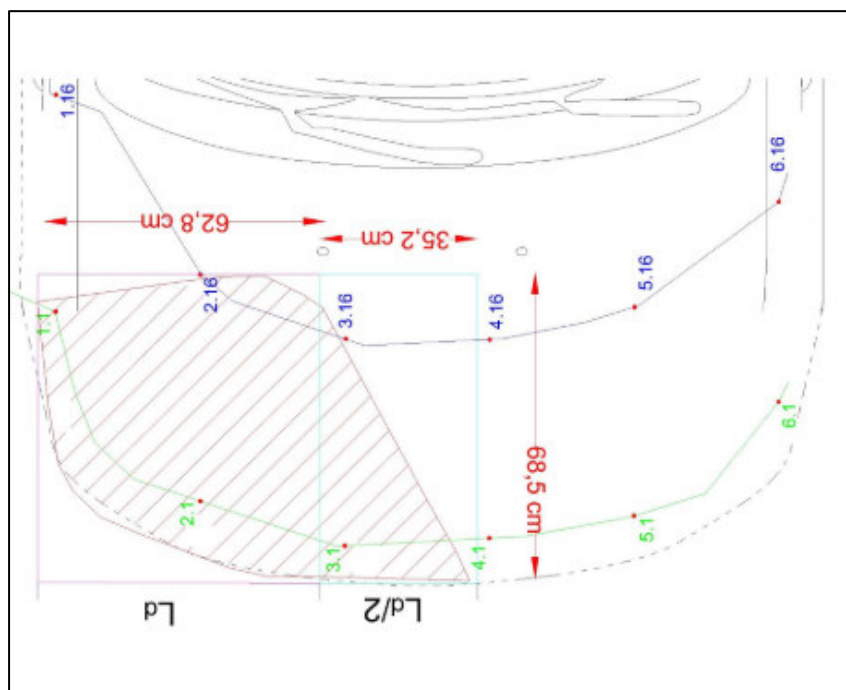
C. Utilizzo di banche dati di crash test (*euro ncap*) per la stima dell'EES (*Energy Equivalent Speed*): negli incidenti stradali è sovente risalire ad un parametro noto come EES, ovvero alla velocità del mezzo che, impattando contro un ostacolo fisso, determina le deformazioni osservate nel caso in esame; a tal proposito va rilevato che, mediante, opportuna analisi comparata tra il caso in esame e il caso tratto dalla banca dati, è possibile risalire alla EES del mezzo incidentato, utilizzando opportuni algoritmi di calcolo che tengono conto dei parametri geometrici delle zone interessate dalle deformazioni (*Metodo del Triangolo*);



Elaborazione grafica delle deformazioni strutturali per il caso di interesse

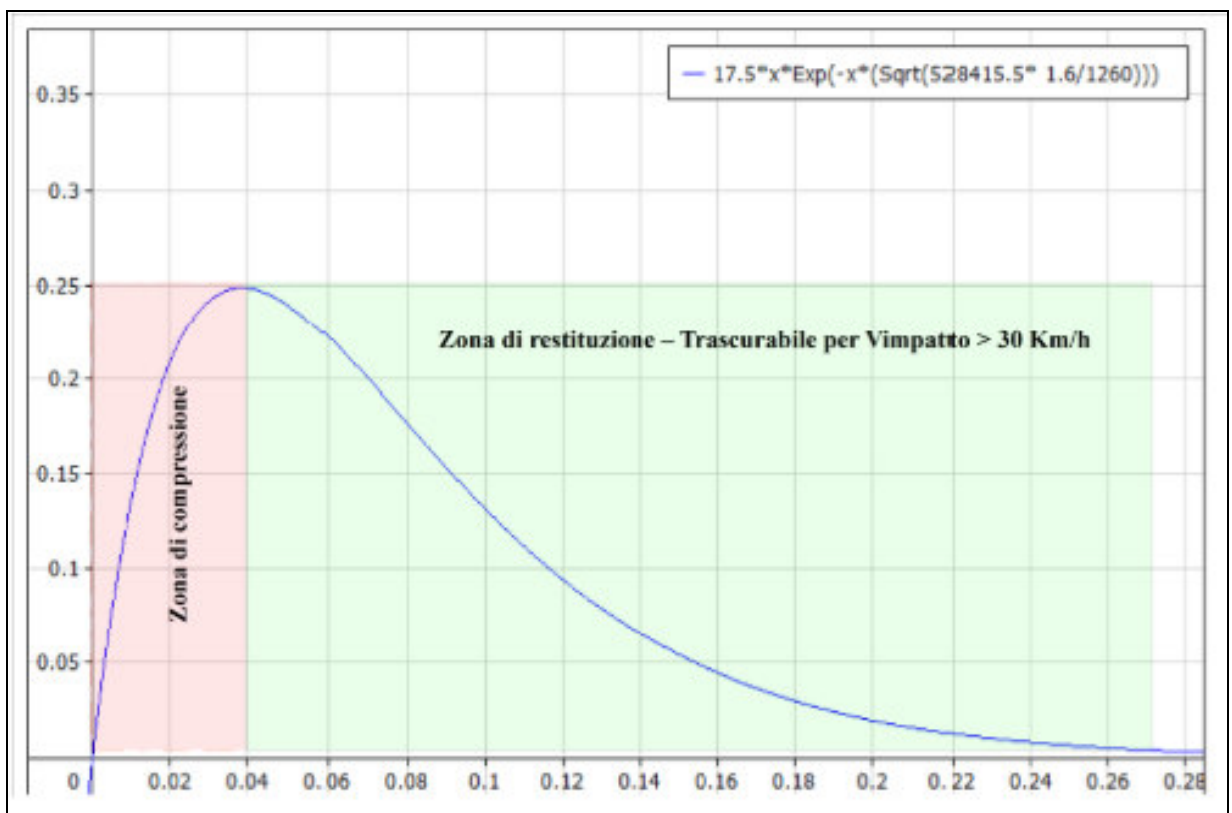


Sopra: valore dell'EES tratto dalla banca dati *euro ncap*, con overlap del 40% tra il frontale e il corpo impattante; sotto: riproduzione in scala del mezzo con la parte deformata in rosso, con vista laterale.



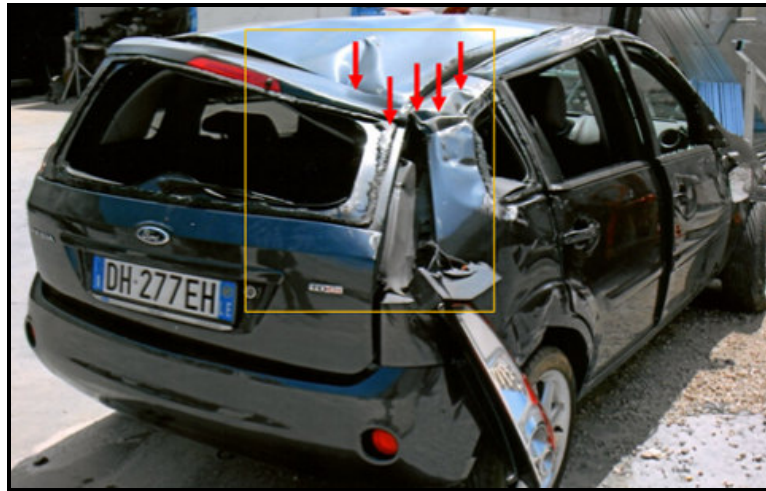
Vista in pianta delle sagome deformate e loro comparazione (caso di interesse e caso tratto da crash test)

D. Stima della EES mediante modelli massa-smorzatore: una valutazione comparata dei i parametri d'urto, come l'EES impone che, ai fini della determinazione dell'energia dissipata, si prendano in considerazione i risultati a partire da modelli meccanici teorici del tipo massa smorzatore; si fornisce di seguito una rappresentazione grafica dell'andamento lineare della deformazione nel tempo della struttura descritta da $x(t) = v_i \exp(-\omega_n t)$; pertanto, la velocità di impatto v_i (in questo caso EES) sarà accettabile se la deformazione della struttura derivante dal modello (in zona di massima compressione) sarà comparabile con la deformazione misurata/stimata dall'analisi sul mezzo, o mediante misure dirette o mediante analisi delle immagini utilizzando *software* dedicati.

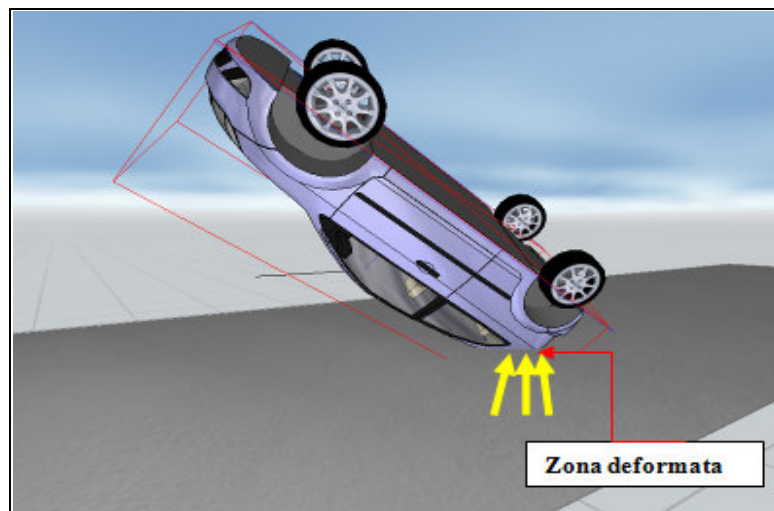


Rappresentazione della deformazione del tempo della deformazione lineare $x(t)$

F. Rappresentazione in 3D delle tracce di deformazione del mezzo sua correlazione eventuale con la dinamica occorsa ::



Il fotogramma rappresenta la prima area di contatto tra auto e manto stradale dopo la fase di volo e di rotazione antioraria attorno al proprio asse longitudinale, con danni da schiacciamento sullo spigolo destro del retrotreno.



Riproduzione in 3D dell'atterramento dell'auto dopo la fase di volo e rotazione del mezzo rispetto al proprio asse longitudinale dell'ordine di 210 °.

4. Ricostruzione di un sinistro mediante *software* di simulazione agli elementi finiti: un caso di studio

Al termine delle complesse indagini che possono riguardare un sinistro, e al termine di una valutazione sia analitica che strumentale dei parametri d'urto (EES, energia dissipata, coefficiente di restituzione, deformazione della struttura, etc.), e dopo aver eseguito una comparazione dei rilievi eseguiti dagli agenti con un rilievo puntuale dello stato dei luoghi anche mediante GPS, si può avanzare una ricostruzione del sinistro, dapprima in termini analitici, utilizzando le nozioni note della Meccanica Applicata, e poi eseguendo una verifica mediante *software* dedicati agli elementi finiti *FEM*; questi ultimi, in particolare, permettono una restituzione in 3D dinamica del sinistro, oltre agli andamenti nel tempo dei parametri in gioco salienti, naturalmente assegnati i dati di *input* preliminarmente stimati.

Vogliamo offrire in questa sede alcuni frame estrapolati da una simulazione di un caso reale.

Si tratta di un'auto che, causa l'alta velocità durante un tratto in curva, dell'ordine dei 105 Km/h, sbanda e collide violentemente contro un albero, determinando il coma del passeggero e ulteriori gravi lesioni per gli altri occupanti, tutti senza cintura di sicurezza. Com'è noto, la velocità massima di percorrenza in curva è data dall'espressione semplificata seguente

$$V_{cr} = \sqrt{Rg} \cdot \sqrt{f_s}$$

V_{cr} : massima velocità di percorrenza della curva

R : raggio di curvatura = 140 m

f_s : fattore di slittamento (o *drag factor*)

Ora, nel caso di specie, la combinazione delle due relazioni e l'attribuzione a f_s il valore per asfalto asciutto di 0.7, otteniamo il seguente valore di velocità:

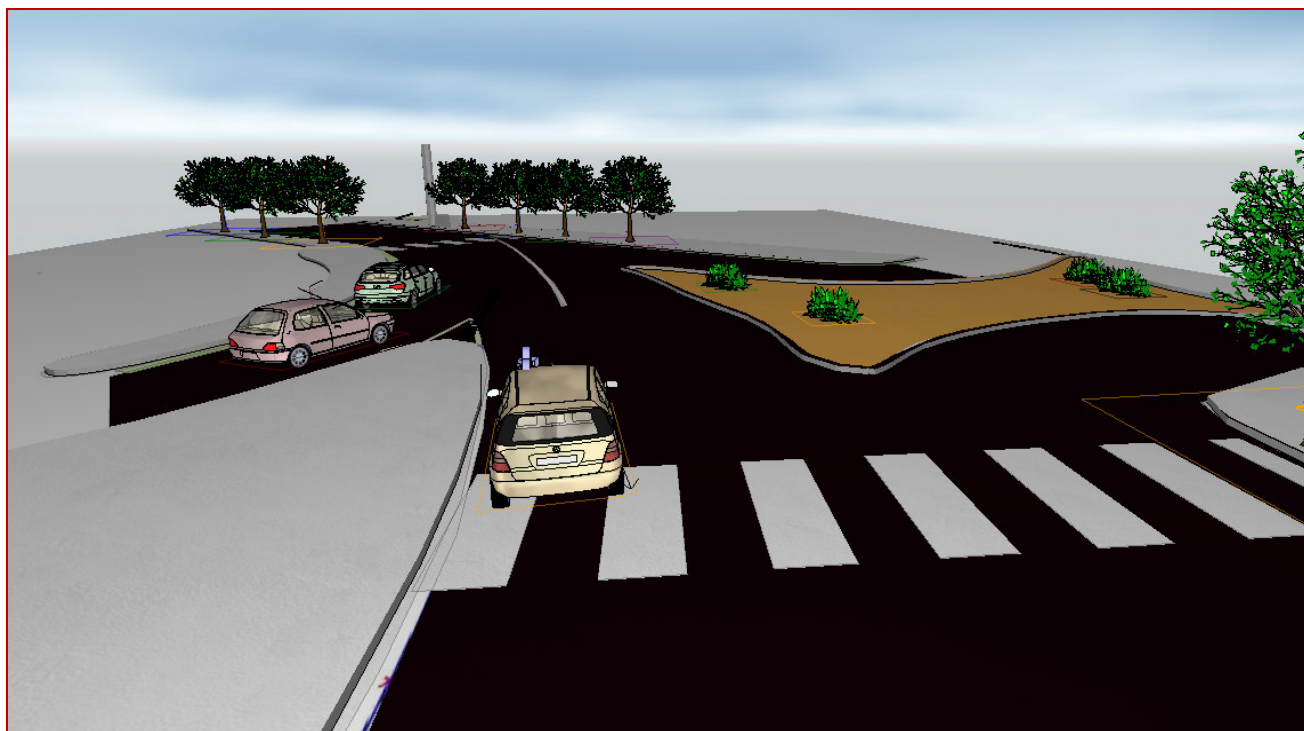
$$V_{cr} = 110 \text{ Km/h}$$

Come si può osservare il valore stimato dipende da f_s ; per valutare l'attendibilità della scelta del valore 0.7, faremo riferimento ai vincoli di input del sistema dinamico applicando la simulazione al calcolatore.

I vincoli del sistema sono:

1. La traccia di derapata;
2. La collisione della ruota posteriore destra contro il marciapiede;
3. Collisione dell'avantreno contro il tronco dell'albero e rotazione oraria del mezzo;
4. Compatibilità tra la posizione di stasi rilevata e quella simulata.

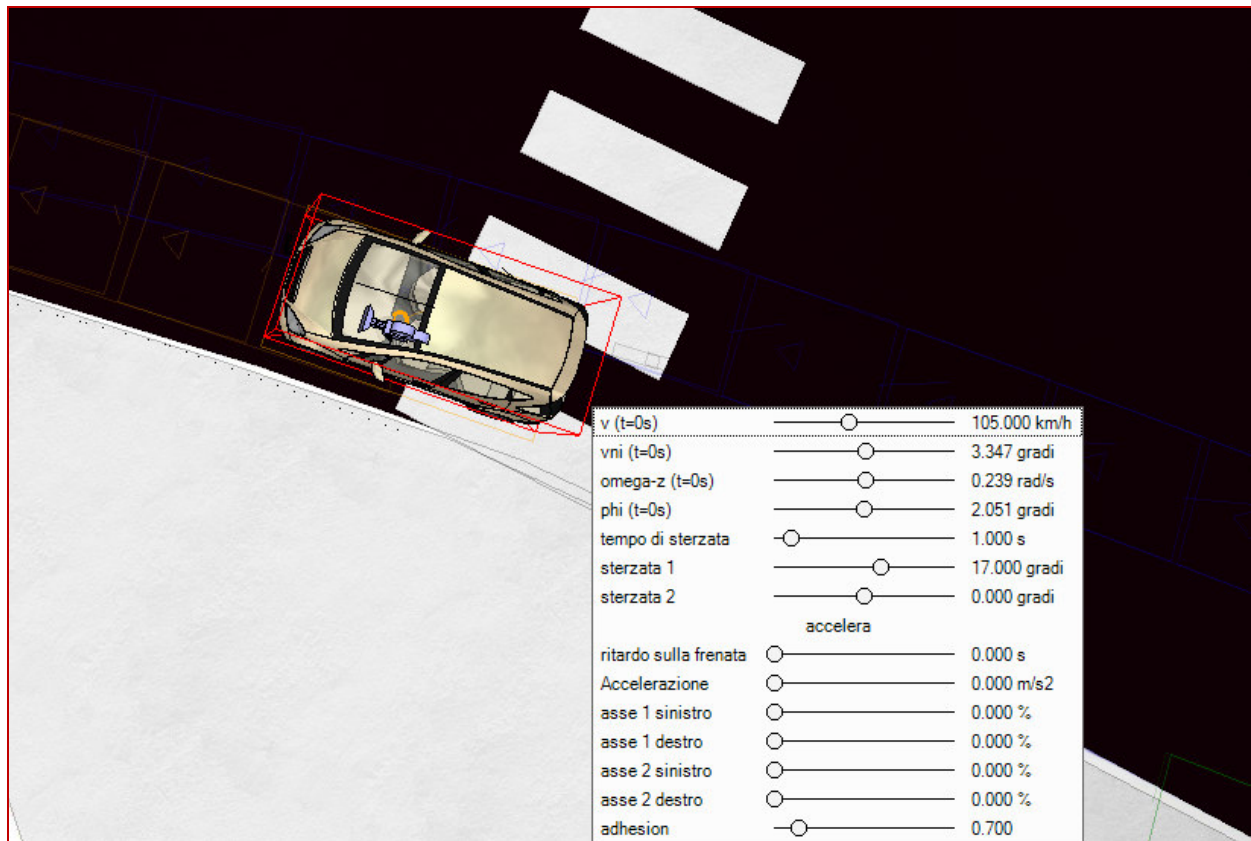
Per la nostra analisi partiamo dalla ricostruzione in 3D della scena del sinistro, utilizzando i rilievi eseguiti dell'area (marciapiedi, aiuole, abitato, etc.) e delle tracce di pneumatico impresse al suolo.



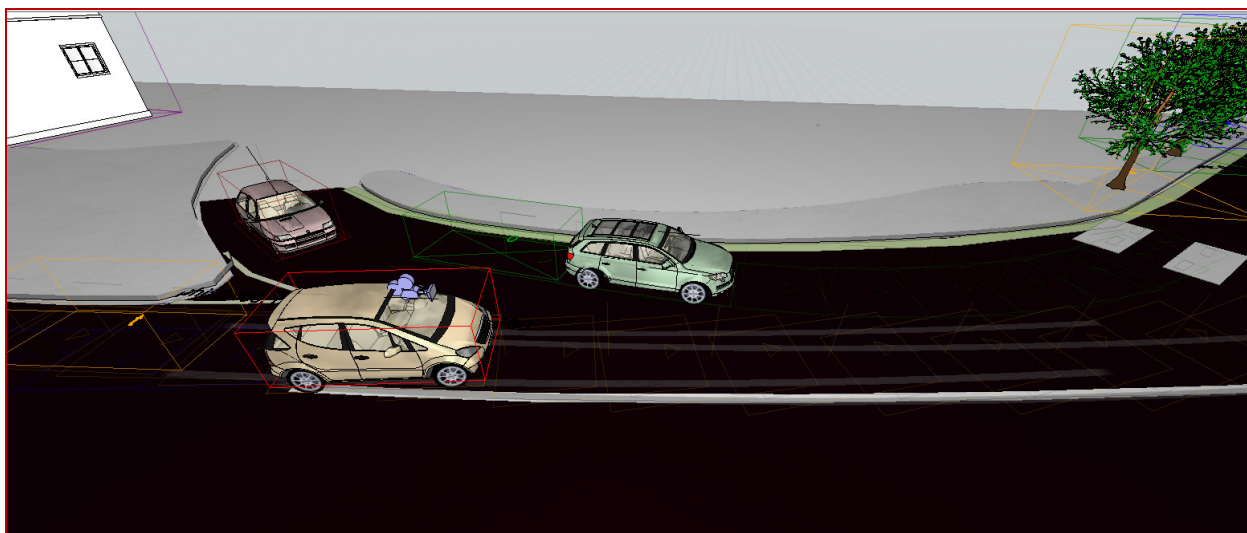
I due fotogrammi evidenziano la ricostruzione del sinistro in 3D così come realizzata mediante software licenziato *V-Crash*, sulla base del rilievo dei luoghi e delle misure eseguite relative alle tracce gommose impresse al suolo

- **Traccia di derapata**

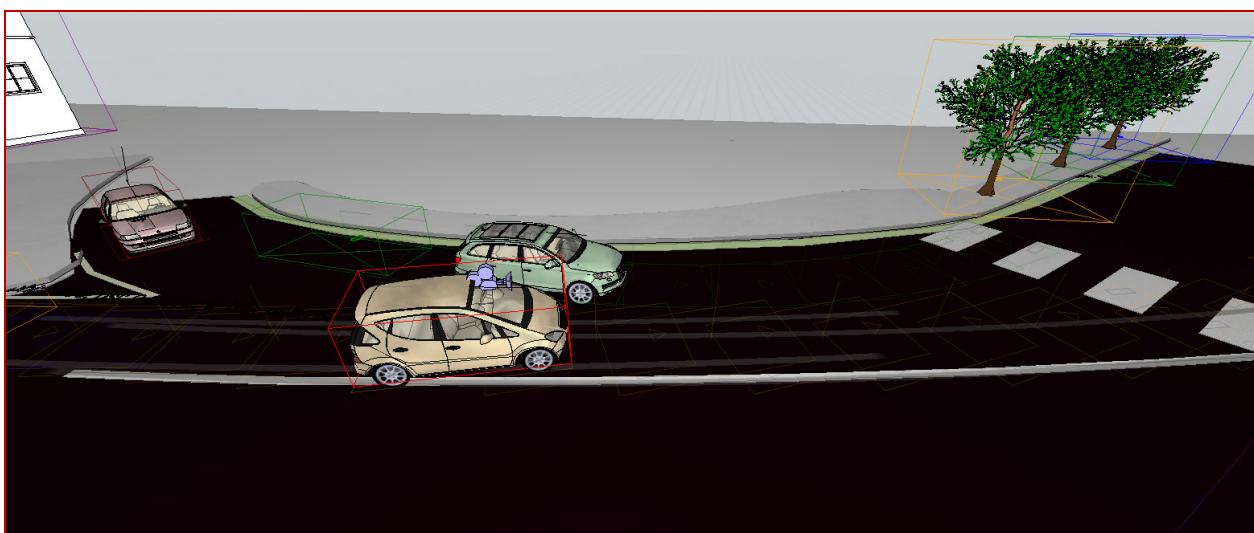
Il processo di ricostruzione dinamica è stato inizialmente impostato con una velocità di prova 110 Km/h, ma si è successivamente riscontrata una maggiore attendibilità a 105 Km/h in termini di sovrapposizione tra le tracce di *output* prodotte nel processo simulativo e le tracce reali riportate in rilievo e nella ricostruzione 3D; in questo caso l'angolo di sterzata a sinistra si è attestato a 17°.



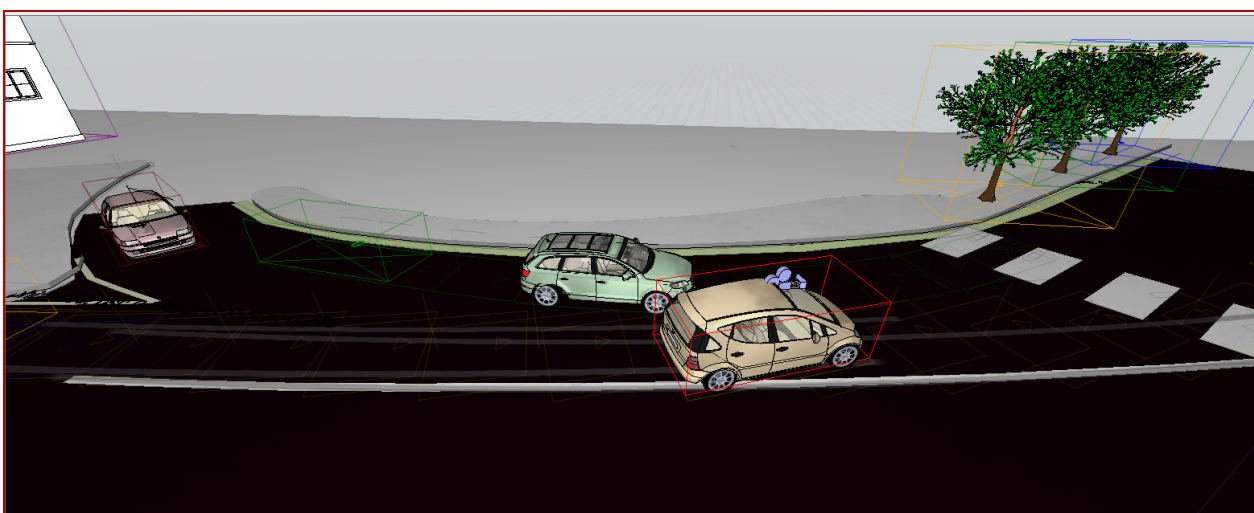
Dati in input del processo simulativo



Frame a $t = 0.5$ s dall'inizio della simulazione: il frame evidenzia la compatibilità tra il contatto della ruota posteriore e la linea bianca, che rappresenta la traccia gommosa rilevata dagli intervenuti



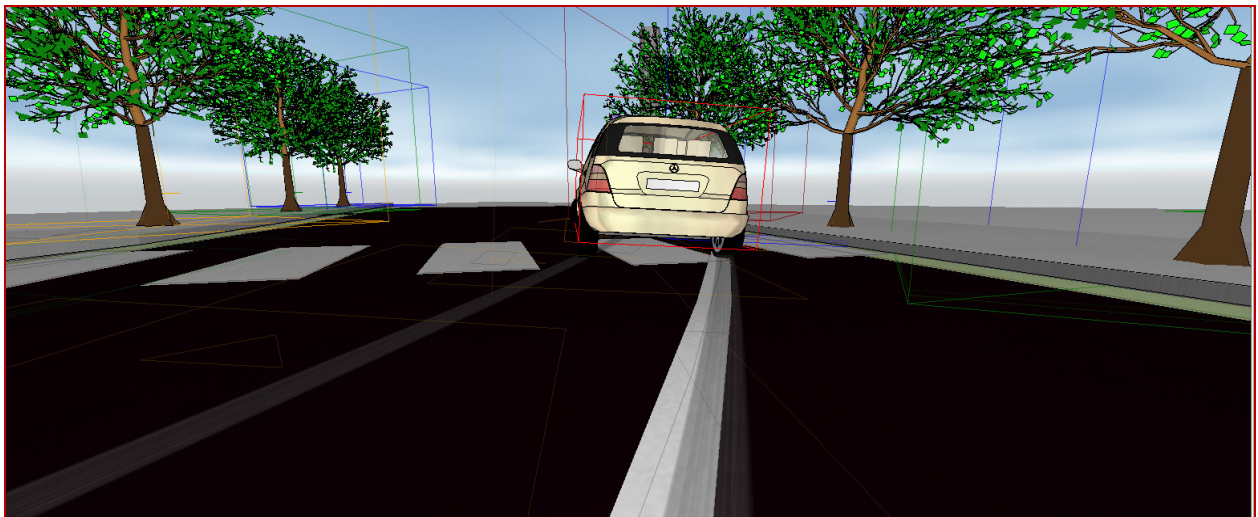
Frame a $t = 0.7$ s



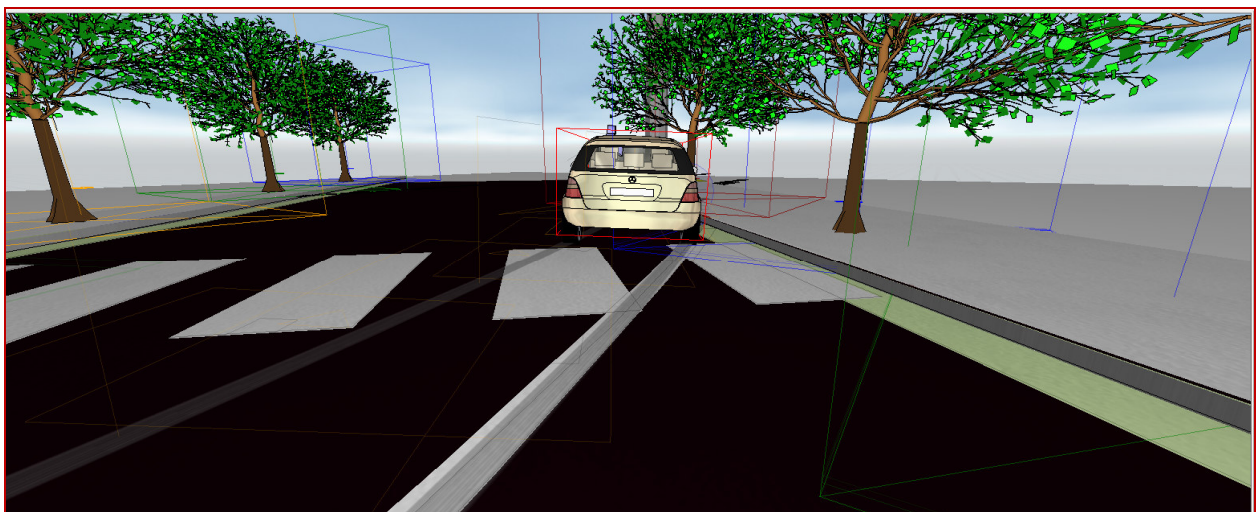
Frame a $t = 0.9$ s



Frame a $t = 1.1$ s

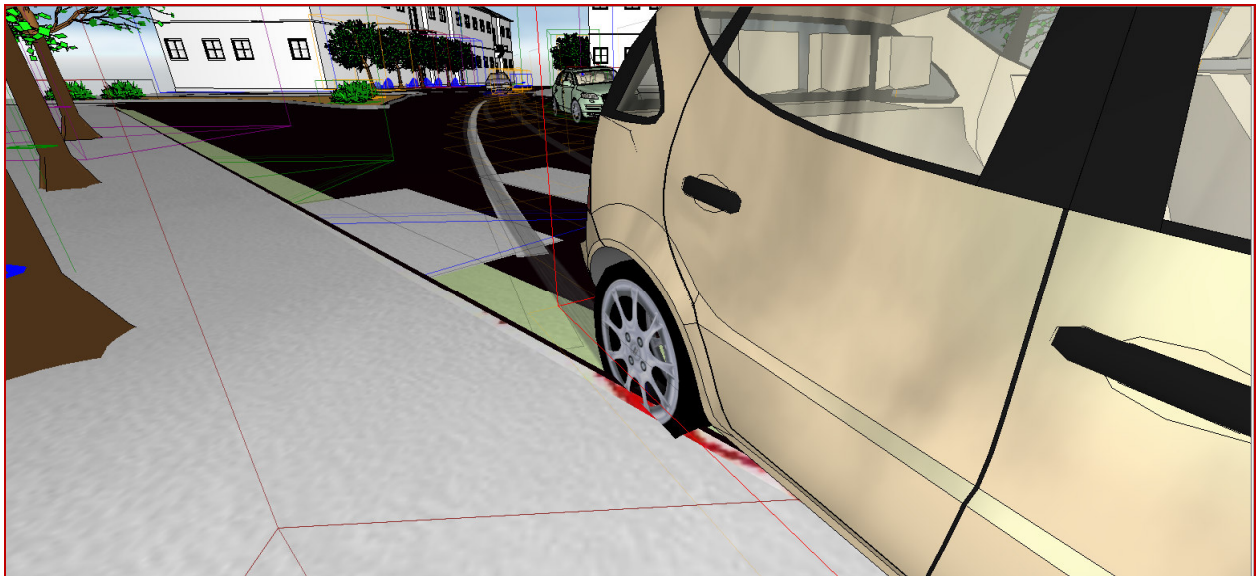


Frame a $t = 1.3$ s



Frame a $t = 1.4$ s

- **Collisione della ruota posteriore destra contro il marciapiede**



Frame a $t = 1.48$ s : evidenzia il contatto tra la ruota posteriore destra e il marciapiede durante la collisione



Il fotogramma evidenzia la deformazione del cerchio - ruota a seguito della collisione contro il basolato

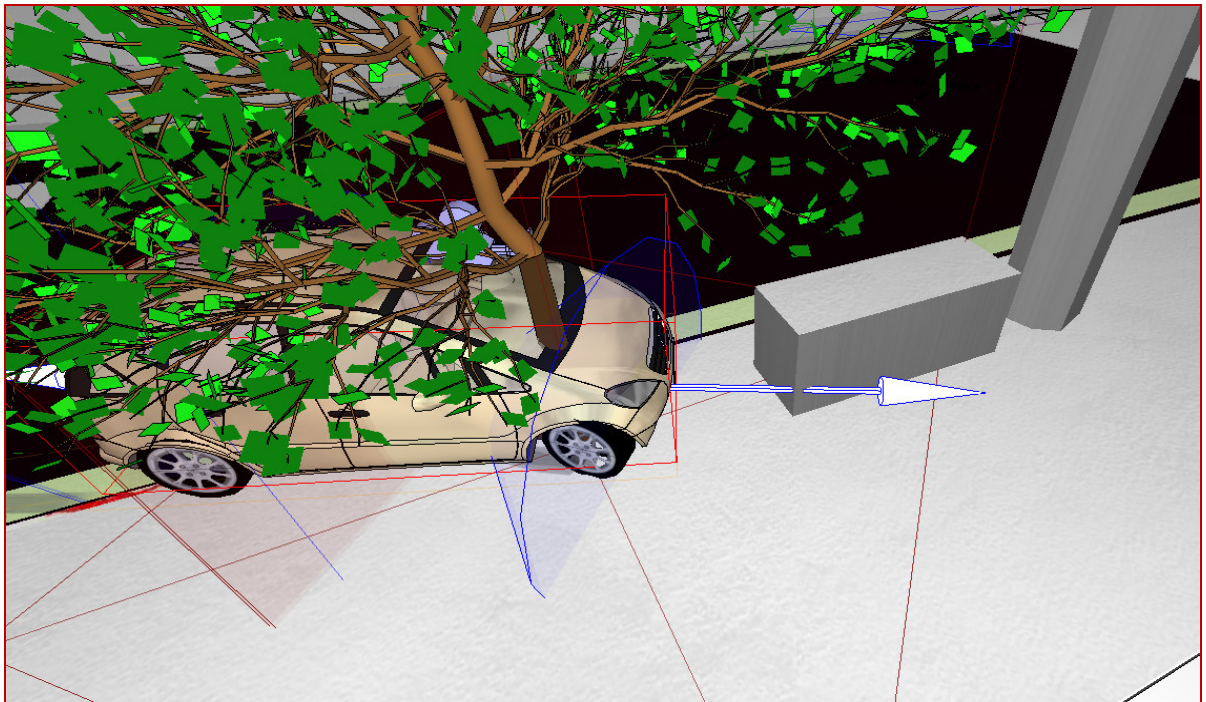


Il fotogramma evidenzia il contatto tra cerchio - ruota posteriore e basolato

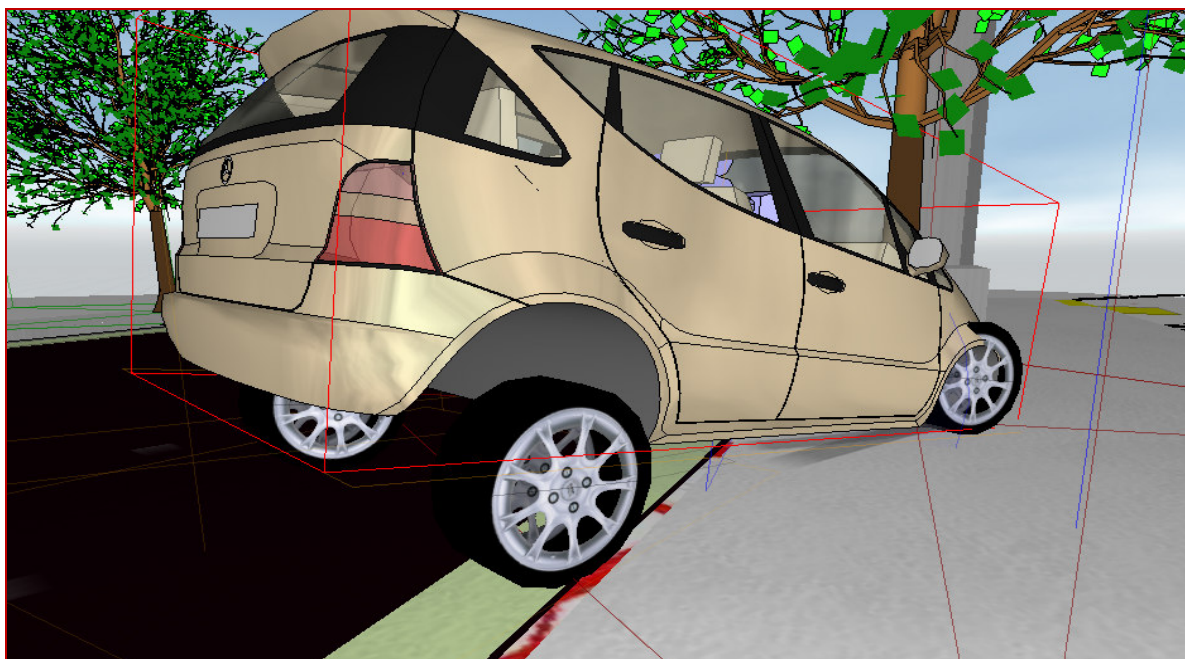
- **Collisione dell'avantreno contro il tronco dell'albero e rotazioni del mezzo**



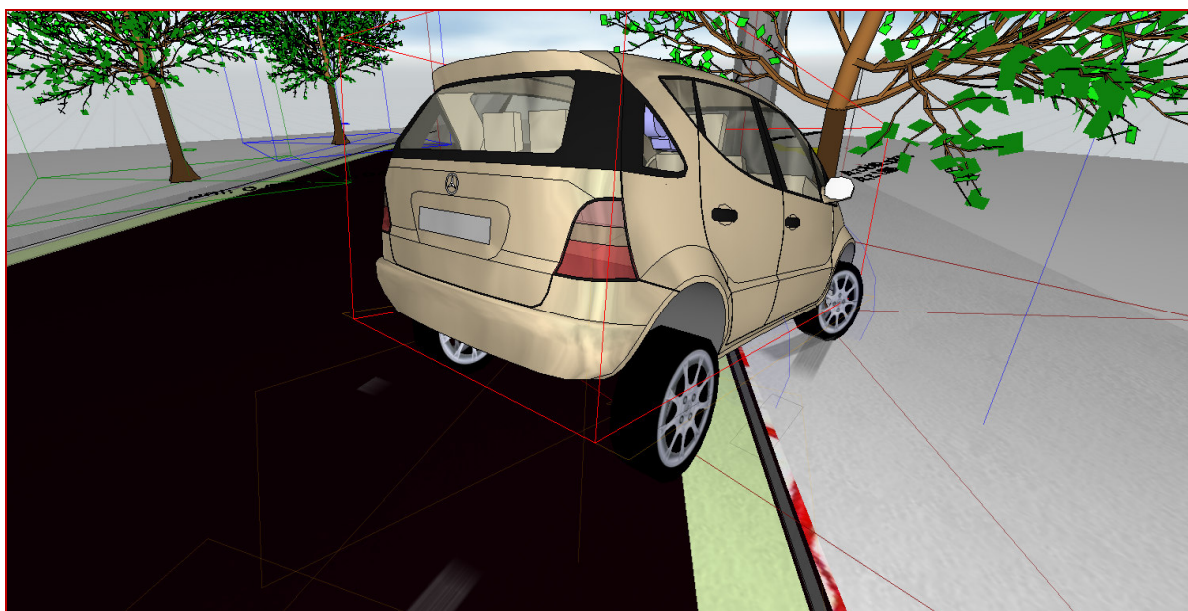
Frame a $t = 1.49s$: evidenza da altra prospettiva l'inizio della fase di contatto tra marciapiede e ruota posteriore destra e tra il tronco dell'albero e l'avantreno, in corrispondenza del posto del passeggero



Frame a $t = 1.52 s$: evidenza la compenetrazione tra il tronco dell'albero e l'avantreno; viene evidenziata la direzione dell'impulso I .



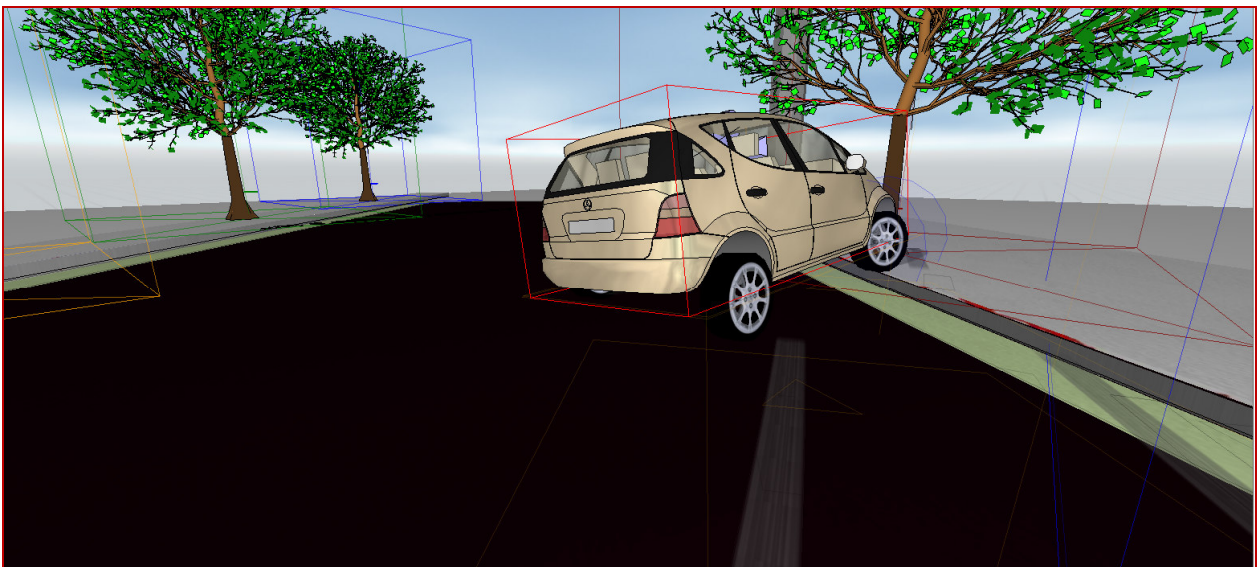
Frame a $t = 1.60$ s: evidenzia il punto di massima compenetrazione tra le masse costituite rispettivamente dal tronco e dall'avantreno, e il conseguente inizio della fase di rotazione antioraria del mezzo con sollevamento contemporaneo dal suolo; in sostanza l'area di contatto tra avantreno e tronco funge da asse di rotazione dell'auto in senso orario e orizzontale, dotata così di momento meccanico τ , mentre il mezzo è dotato altresì di beccheggio a causa del "puntamento" dell'avantreno nella zona di contatto tra i due corpi; in quest'ultimo caso si tratta di una rotazione del mezzo nel piano normale alla platea e con asse di rotazione orizzontale passante per la zona di contatto suddetto.



Frame a $t = 1.785$: evidenzia l'evoluzione della rotazione

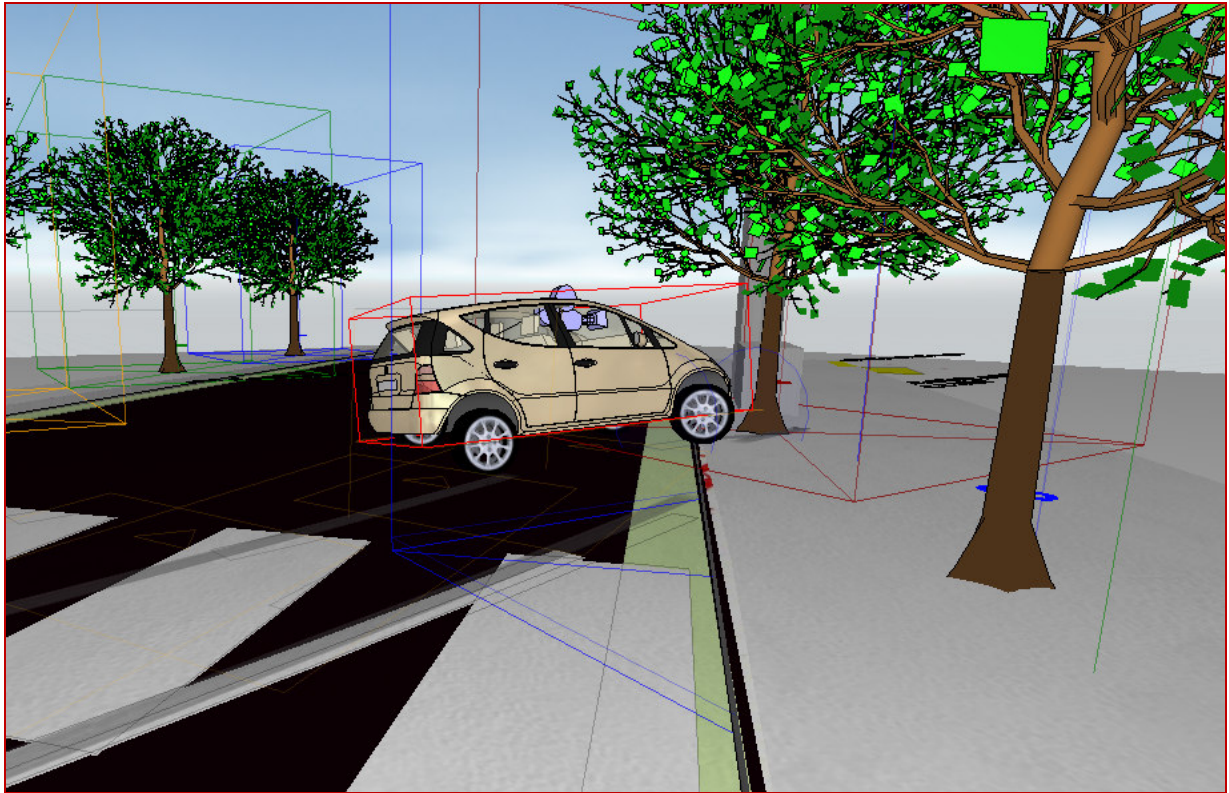


Frame a $t = 1.955$: evoluzione della rotazione

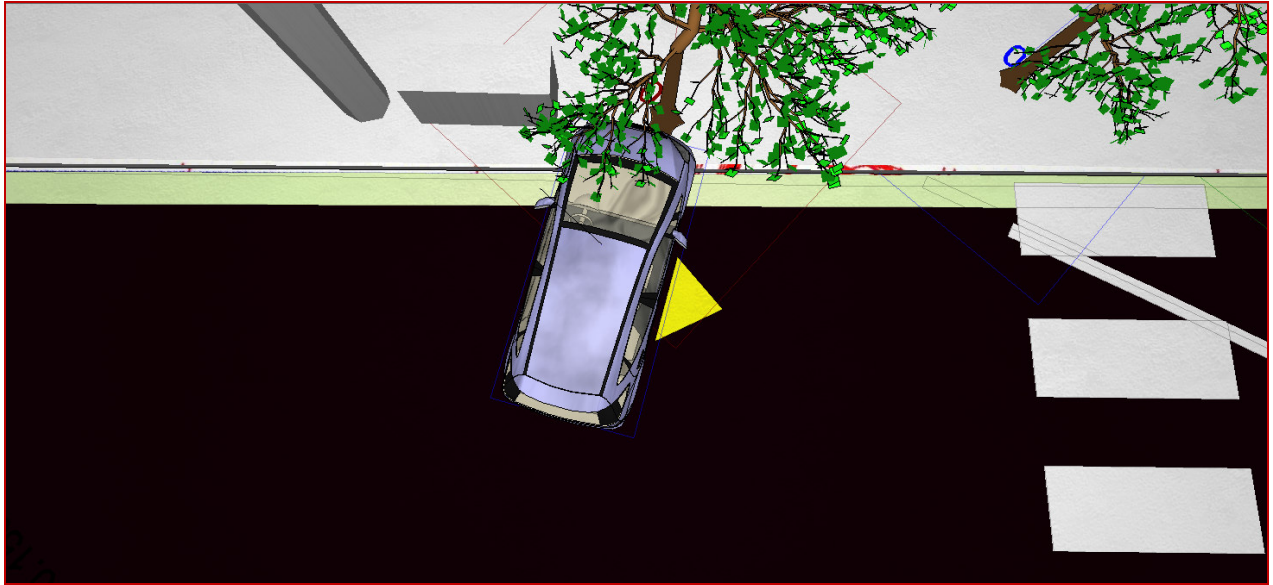


Frame a $t = 2.2$ s : posizione di stasi

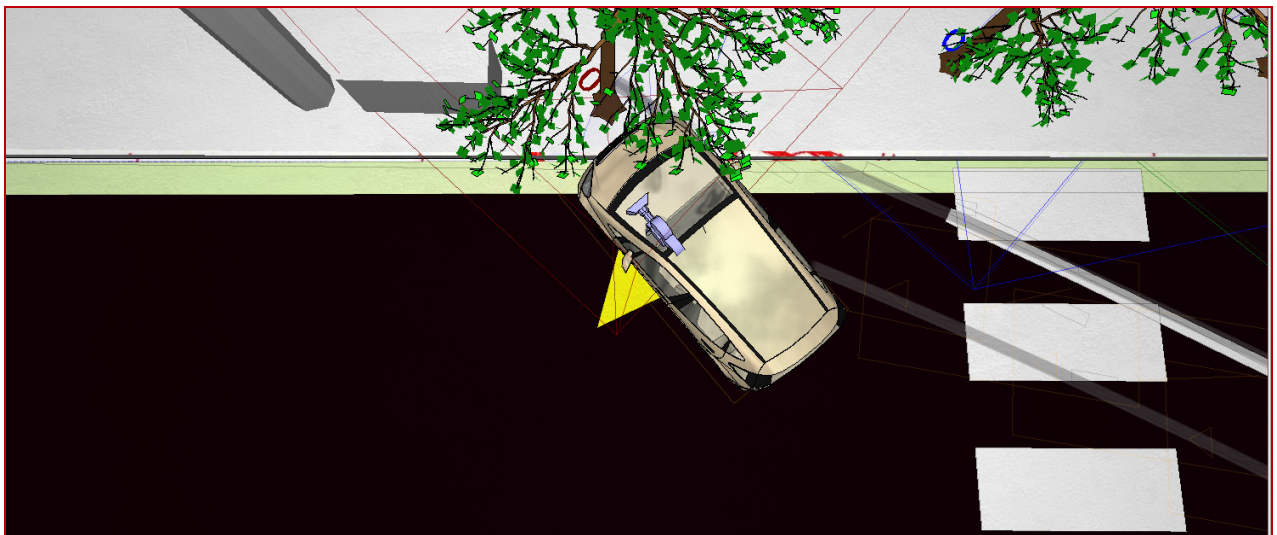
- **Compatibilità tra la posizione di stasi rilevata e simulata**



Confronto tra la posizione di stasi derivante dal processo simulativo e quella rilevata sul luogo del sinistro.



Il fotogramma evidenzia la posizione di stasi così come da rilievi eseguiti dagli intervenuti

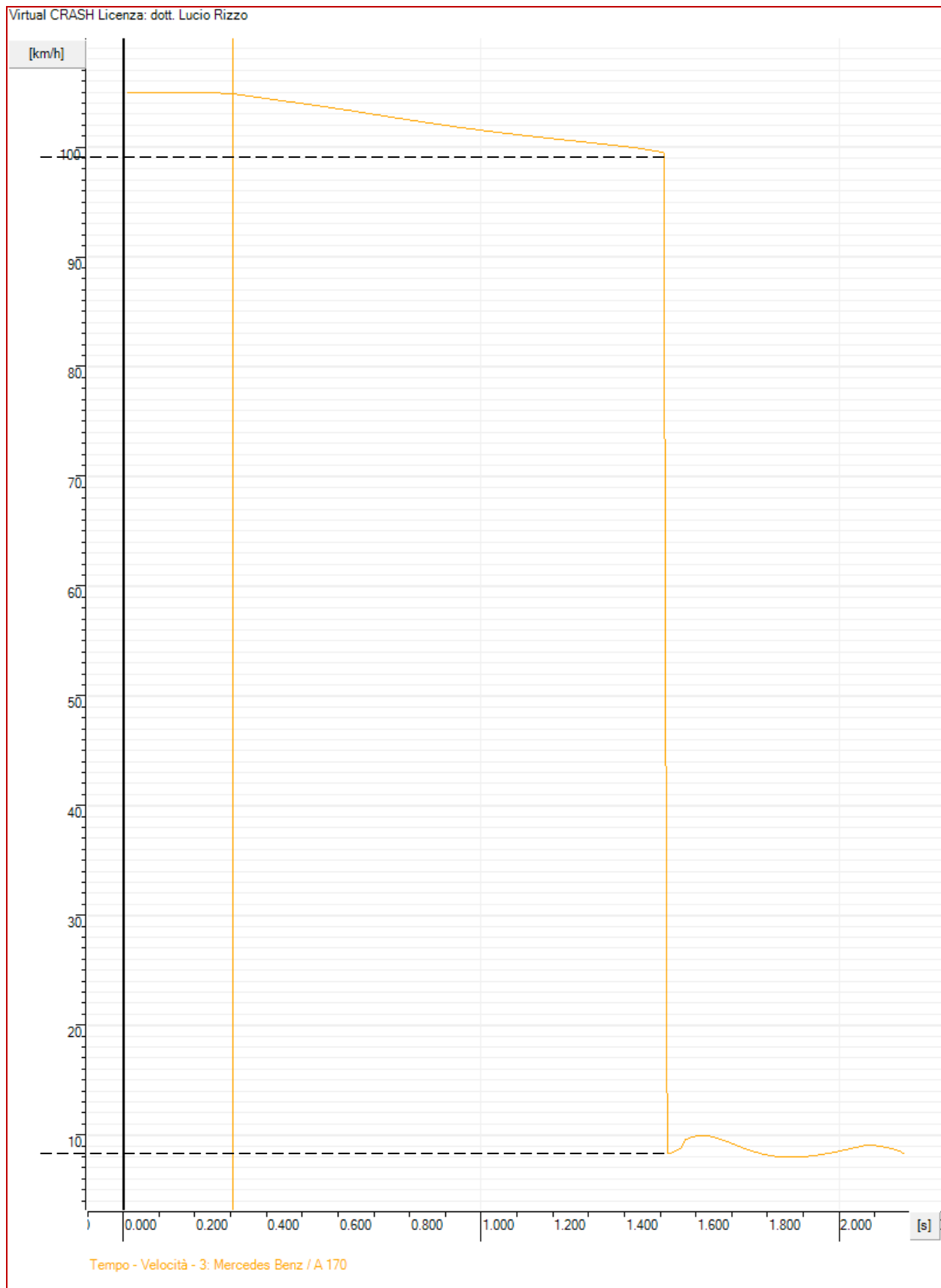


Il fotogramma rappresenta la posizione di stasi dell'auto come output della simulazione; si può osservare come il triangolo di colore giallo evidenzia lo scarto tra la posizione di stasi rilevata e quella simulata; tale angolo si attesta attorno ai 50°; da questo punto di vista, la compatibilità va considerata a meno di una rotazione non completa dell'auto posta in simulazione rispetto a quella rilevata; ciò ad evidenza del fatto che la simulazione non è un processo di sovrapposizione pedissequa tra dati e realtà bensì un processo che può condurre ad una valutazione dell'attendibilità della ricostruzione esibita in termini di verosimiglianza.

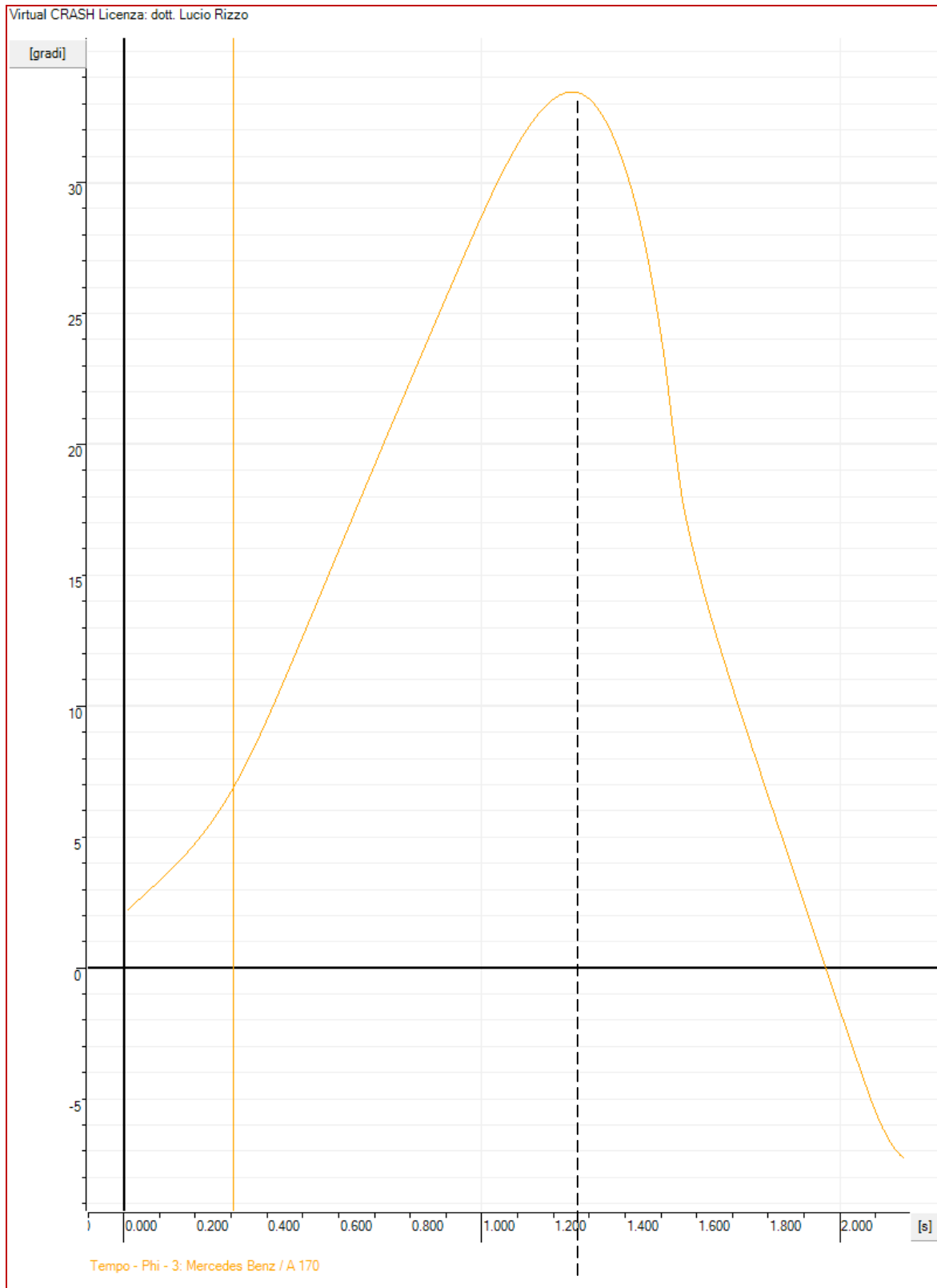
Riportiamo ora i dati di input-output e alcuni grafici significativi:

Veicolo/Oggetto: 3 - Mercedes Benz / A 170. Conducente:											
Tempo [s]	Spazio [m]	Velocità [km/h]	Orientamento - X,Y,Z [grad]			Direzione vettore velocità (ni,vnz) [grad]			Centro di gravità - X,Y,Z [m]		
0.000	0.000	105.000	0.000	0.000	2.051	3.347		0.000	18.619	-6.546	0.540
0.100	2.917	104.997	-0.114	0.001	3.330	3.316		0.000	21.531	-6.378	0.540
0.200	5.833	104.989	0.410	0.005	4.762	3.670		-0.002	24.442	-6.202	0.540
0.300	8.747	104.858	1.702	0.009	6.738	4.388		-0.022	27.349	-5.997	0.539
0.400	11.654	104.414	3.386	0.047	9.473	5.422		-0.093	30.245	-5.748	0.537
0.500	14.548	103.958	4.751	0.042	12.659	6.600		-0.219	33.122	-5.444	0.529
0.600	17.428	103.483	5.544	-0.058	15.921	7.877		-0.296	35.980	-5.080	0.515
0.700	20.296	102.978	5.821	-0.185	19.182	9.258		-0.233	38.815	-4.652	0.501
0.800	23.149	102.462	5.663	-0.262	22.404	10.701		-0.089	41.624	-4.156	0.494
0.900	25.988	101.972	5.280	-0.287	25.595	12.111		-0.006	44.407	-3.592	0.492
1.000	28.813	101.526	4.890	-0.291	28.727	13.415		-0.009	47.162	-2.966	0.492
1.100	31.628	101.128	4.418	-0.275	31.446	14.521		-0.042	49.893	-2.284	0.490
1.200	34.431	100.759	3.853	-0.215	33.183	15.420		-0.045	52.601	-1.558	0.488
1.300	37.225	100.406	3.138	-0.095	33.190	16.019		0.006	55.289	-0.799	0.487
1.400	40.009	100.043	2.201	0.088	30.554	16.324		0.118	57.963	-0.023	0.490
1.500	42.781	99.555	0.001	-0.108	24.211	16.067		0.832	60.624	0.752	0.509
1.600	43.410	9.877	0.822	8.071	15.407	150.274		39.216	60.848	0.906	0.615
1.700	43.679	9.206	-1.320	9.566	10.723	145.159		30.175	60.665	1.026	0.771
1.800	43.918	8.149	-4.207	9.575	6.564	144.742		11.831	60.484	1.153	0.957
1.900	44.140	7.999	-6.514	8.735	2.475	145.550		-7.965	60.303	1.280	0.862
2.000	44.368	8.504	-7.941	6.507	-1.603	146.923		-22.730	60.121	1.401	0.798
2.100	44.615	9.027	-8.283	2.180	-5.501	148.889		-31.436	59.938	1.518	0.682

Protocollo di calcolo e dinamica del veicolo Mercedes



Dal grafico si può osservare come l'urto, a 1.5 s dall'inizio della simulazione, subisca un crollo improvviso a causa dell'impatto violento, precipitando da 100 Km/h a poco meno di 10 Km/h in un intervallo dell'ordine dei 150 ms, con una differenza di ben 90 Km/h.



Il grafico rappresenta la variazione dell'angolo di imbardata in funzione del tempo; si può osservare come esso segua una curva a campana, crescendo da $t = 0$ fino a 1.250 s, in concomitanza con una rotazione dell'auto in senso antiorario rispetto all'asse baricentrale e con le tracce di pneumatico rilevate a aventi un andamento sinistrorso; il picco si ha in corrispondenza dell'urto della ruota anteriore destra contro il marciapiede; dopo di che l'auto subisce un ri-allineamento ruotando in senso orario, evidenziato dal tratto discendente della forma a campana.

5. Moto di frammenti espulsi durante le collisioni

Accade negli incidenti che, qualora sia noto il punto di collisione, si possa risalire alla velocità del mezzo collidente, ad esempio un pedone che attraversa la strada, mediante lo studio del lancio dei frammenti.

In tal caso è opportuno eseguire uno studio del frammento in aria, in regime turbolento dove, nota la gittata e calcolato il tempo di caduta del frammento, si perviene alla stima della velocità di lancio dello stesso, che si presenta nella forma seguente

$$v_0 = \frac{e^{x_m \beta} - 1}{\beta t}$$

con x_m : gittata del frammento; $\beta = 0.1m^{-1}$; $t = 0.4s$

comparabile con la velocità del mezzo individuata per altra via (ad esempio mediante la gittata del pedone investito, nota ovviamente la sua posizione di stasi);



Distribuzione di frammenti di polycarbonato infranti dopo la collisione tra un autobus e un pedone.

6. Comparazione tra dinamica ricostruita e dichiarata dai testi: verso la teoria dei giochi e delle decisioni

Accade sovente che il giudice richieda una comparazione tra la dinamica ricostruita e quella narrata dai testi; occorre a quel punto operare con estrema meticolosità un'analisi delle dichiarazioni in Atti, per appurare se esse sono mutuamente contraddittorie oppure lo sono rispetto alla dinamica così come emersa da tutti gli elementi analizzati.

Può essere necessario, in tali casi, applicare alcune nozioni della Teoria dei giochi o delle decisioni, specie allorché ciascun dichiarante corre il rischio di aver violato taluni articoli del CDS; pertanto i dichiaranti, in tal caso, devono essere trattati alla stregua di giocatori (si veda a tal proposito il noto "*dilemma del prigioniero*").

Naturalmente un campo di indagine in tal senso si estenderebbe ben oltre i limiti del contesto incidentologico, coinvolgendo quello più generale delle prove testimoniali durante un processo.

Conclusioni

A conclusione del presente elaborato possiamo evidenziare quanto di seguito riportato:

1. Il contesto delle indagini giudiziarie richiede a tutt'oggi sempre di più un approccio scientifico rigoroso, metodologicamente fondato sulla generale epistemologia della ricerca scientifica e sui consolidati criteri logico-formali (induzione, deduzione, controfattualità, etc.) posti a suo fondamento, oltre che su strumenti di misura e metodologie di calcolo sia di tipo analitico che numerico, tutto ciò ricadendo nel più generale alveo dei criteri di indagine indicati dalla giurisprudenza all'uopo (Cfr. Corte di Cassazione, “*sentenza Cozzini et al.*”);
2. Nello specifico, l'ambito generale della ricostruzione di un evento incidentale offre al fisico l'opportunità di porre in campo proprio quella struttura metodologica rigorosa e quella formazione scientifica che ancora oggi viene connotata dai più come “*generalista*”, e che ha il vantaggio di permettere un'esplorazione a tutto campo dei diversi nessi di causalità che determinino l'evento stesso; ciò, dicevamo, attingendo proprio alla formazione generalista del fisico che ne caratterizza l'agire professionale e che, d'altro canto, non è ormai sufficiente data la complessità dei casi di studio; da ciò ne deriva l'impellente esigenza sia di una formazione di tipo “*specialistico*”, da acquisire sia sul campo sia mediante formazione certificata da strutture ed enti accreditati;
3. Nel presente lavoro si è valutato il contesto generale dell'ambito degli incidenti stradali con esito grave o mortale e le competenze/conoscenze richieste allo specialista per la risoluzione di un caso sia di tipo tecnico-scientifico, peraltro assai vaste e che comprendono settori tra loro molto differenti, sia di tipo gestionale per il coordinamento delle informazioni provenienti dai diversi enti interessati, pubblici o privati che siano;

4. Nell'ambito degli incidenti stradali si sono poi forniti alcuni *input*, senza peraltro scendere in dettagli eccessivamente specialistici, traendoli da alcuni casi reali di studio durante l'attività consulenziale fornita negli anni; gli argomenti trattati (seppur in modo generale) sono stati i seguenti:

- a. Competenze gestionali e di coordinamento tra diversi enti: acquisizione delle informazioni;
- b. L'indagine sullo stato dei luoghi: dallo schizzo da campo al rilievo;
- c. Mappatura delle tracce di incisione su un mezzo e studio delle strutture deformate da collisione, mediante fotogrammetria, modelli meccanici analitici, dati tratti dai crash test e rappresentazione in 3D;
- d. Ricostruzione di un sinistro mediante *software* di simulazione agli elementi finiti: un caso di studio;
- e. Moto di frammenti espulsi durante le collisioni;
- f. Comparazione tra dinamica ricostruita e dichiarata dai testi: verso la teoria dei giochi e delle decisioni.

In definitiva, la ricostruzione di un evento incidentale appare un ambito multidisciplinare che, da un punto di vista professionale, ben si coniuga rispetto alle competenze e conoscenze del fisico, e offre allo stato attuale discreti margini di intervento sia presso i diversi tribunali e procure italiani sia presso affermati studi legali dove, per l'appunto, l'apporto del fisico può talvolta essere determinante o quantomeno incisivo per la risoluzione di un caso complesso.