

Ricostruzione dinamica dei sinistri stradali

Ing. Emiliano Arcangeli, Ing. Mauro Gambino, Ing. Fiorenza Greco
Studiosria - Studio tecnico di ingegneria a Bologna

PREMESSA

La ricostruzione dinamica dei sinistri stradali rientra nel campo delle scienze applicate. L'adeguata risoluzione di un sinistro stradale richiede conoscenze tecniche elevate e l'impiego delle più moderne metodologie scientifiche, ingegneristiche e matematiche. L'adozione di modelli matematici adeguati implementati sulla base di dati sperimentali provenienti da prove di crash test, e col supporto di un massiccio uso della più moderna tecnologia, fornisce risultati molto prossimi al vero. La figura tecnica implicata in tale attività è viene denominata in gergo *ricostruttore cinematografico*. In Italia, fino a pochi anni addietro, tra tali figure erano affermati metodi di approccio al caso piuttosto semplificati tali da richiedere una formazione del perito più improntata sul buon senso che sull'approfondimento tecnico di aspetti di fotogrammetria, illuminotecnica, meccanica del veicolo, tecnologia dei materiali, dinamica del moto... Chiaramente l'intuizione nella fase investigativa e la capacità di giudizio sono armi fondamentali che il ricostruttore cinematografico deve avere ma appare evidente che è più appropriato difendere un lavoro scientifico impugnando i risultati, i modelli e i dati sperimentali che il proprio buon senso. L'approfondimento scientifico del fenomeno, comporta l'applicazione di analisi più complesse per le quali si richiede una formazione sempre più elevata del perito con l'impiego indispensabile di adeguate tecnologie a suo supporto.

LA PROBLEMATICA DEI SINISTRI STRADALI

Le ultime statistiche Istat riferite al 2006 indicano che ogni giorno si verificano in media sul territorio nazionale 652 incidenti stradali per un totale di 238.000 incidenti sull'intero arco dell'anno. Di questi circa il 10% si verificano nella Regione Emilia Romagna (23.950) e poco più del 2% nella provincia di Bologna (5.270) (prospetto 2). Al di là dei numeri, ogni singolo incidente costituisce un evento dannoso e sciagurato, comportante perdite

ANNI	Incidenti	Morti	Feriti	Indice di mortalità (b)	Indice di gravità (c)
2000	256.546	7.061	360.013	2,8	1,9
2001	263.100	7.096	373.286	2,7	1,9
2002	265.402	6.980	378.492	2,6	1,8
2003	252.271	6.563	356.475	2,6	1,8
2004	243.490	6.122	343.179	2,5	1,8
2005	240.011	5.818	334.858	2,4	1,7
2006	238.124	5.669	332.955	2,4	1,7

(a) L'Istat ha proceduto ad effettuare una ricostruzione dei dati della serie storica degli incidenti stradali a partire dall'anno 2000. Cfr nota metodologica.
(b) L'indice di mortalità si calcola come rapporto tra il numero dei morti ed il numero degli incidenti, moltiplicato 100.
(c) L'indice di gravità si calcola come rapporto tra il numero dei morti ed il numero totale dei morti e dei feriti, moltiplicato 100.

economiche, lesioni personali e in alcuni casi la morte. La ricostruzione dinamica di un sinistro stradale ha lo scopo di *raccontare* cosa è successo ai veicoli ed alle persone coinvolte nell'accaduto, e con quali modalità, usando le informazioni a disposizione presenti sul luogo tea-

SOMMARIO

L'attività di ricostruzione dinamica dei sinistri stradali richiede l'applicazione di una conoscenza tecnica del fenomeno sempre più approfondita per far fronte all'uso di metodologie e tecnologie moderne. In Italia questa branca di scienza applicata non trova largo spazio nei programmi didattici universitari, né vi sono specifiche organizzazioni professionali giuridicamente riconosciute a livello nazionale che raggruppino i professionisti del settore. Il presente articolo è volto a illustrare i contenuti dell'attività del tecnico ricostruttore cinematografico.

SUMMARY

Accident reconstruction is an activity which requires an increasing expertise by the application of the most modern methodologies and technologies. In Italy, the status of accident reconstructionist is not acquired in academic environment, nor is it recognised or regulated by any specific professional organisation. Therefore, This paper wants to show the features of the accident reconstruction expert activity.

Ambito giudiziale

• Danni a cose

- ☐ < 15.494,00 € → Giudice di Pace
- ☐ > 15.494,00 € → Giudice del Tribunale

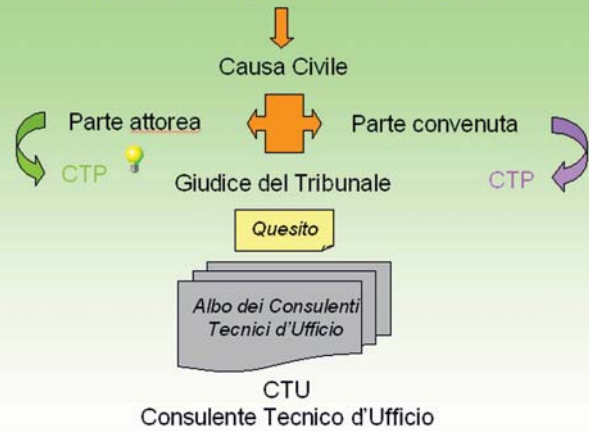
• Danni a persone (lesioni – omicidio)

- ☐ Lesioni → Giudice del Tribunale
- ☐ Omicidio → Pubblico Ministero della Procura



1

Danni > 15.494,00 € - Lesioni fisiche



2

tro del sinistro. Il compito del ricostruttore cinematico deve essere perseguito giungendo a risultati ragionevolmente accurati e precisi.

Il perito cinematico svolge il proprio incarico percorrendo diversi momenti di seguito brevemente accennati.

Analizza e interpreta l'insieme delle informazioni e dei dati raccolti sull'area del sinistro dalle forze dell'ordine intervenute e integra il quadro con eventuali successivi sopralluoghi ed ispezione dei mezzi.

Applica appropriati modelli matematici che, dopo una completa imputazione dei dati, consentono il calcolo della grandezze fisiche e cinematiche di interesse.

Infine indaga sulle cause che hanno generato l'evento sinistro definendo i nessi causali e delineando quindi le responsabilità delle persone coinvolte. Questo in generale è l'aspetto che interessa maggiormente la parti coinvolte che molto spesso consultano un tecnico per risolvere una controversia legale.

INQUADRAMENTO GIURIDICO E AMBITI OPERATIVI

In Italia la figura del consulente specializzato nel settore della ricostruzione di sinistri stradali non è regolamentata da specifiche abilitazioni professionali né esistono esami ufficiali o definizioni dell'esercizio della professione.

In ambito giudiziario i ricostruttori cinematici possono fornire la propria professionalità iscrivendosi negli albi dei periti tecnici del tribunale della propria provincia di residenza. Tale iscrizione, sebbene necessiti del parere positivo da parte della commissione dell'ordine professionale di appartenenza, è effettuata senza previa verifica delle specifiche conoscenze.

Il giudice o il pubblico ministero (PM) che intenda avvalersi della consulenza tecnica, attinge dalla summenzionata lista e nomina il consulente in modo tale che gli incarichi siano equamente distribuiti fra gli iscritti. Nella pratica, alla luce del rapporto fiduciario che si instaura tra consulente e giudice o PM, la nomina da

parte di questi ultimi ricade spesso su pochi professionisti. È inoltre possibile che si attinga da albi di periti di tribunali di altre città quando all'interno del proprio non vengono individuati professionisti idonei alla CTU che si intende disporre.

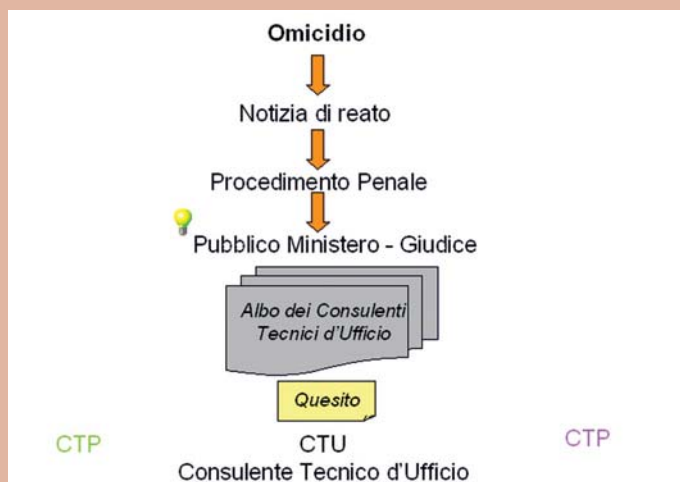
Il consulente tecnico d'ufficio è un ausiliario del giudice o PM e come tale vincolato agli stessi limiti e agli stessi obblighi. La sua consulenza non costituisce un mezzo di prova, ma un mezzo di controllo della prova e di valutazione dei fatti già acquisiti al giudizio.

Essendo l'attività del CTU strettamente correlata alla tipologia del procedimento (civile o penale), occorre effettuare un breve accenno al processo all'interno del quale egli può essere nominato.

In caso di sinistri che comportino un esclusivo danno alle cose, il processo civile può svolgersi di fronte al Giudice di Pace per danni inferiori ai € 15.494,00, in tribunale per danni superiori. Il procedimento civile è avviato sempre ed esclusivamente su iniziativa di una delle due parti, e pertanto il CTU è tenuto ad accertare quegli aspetti di verità che le parti vogliono conoscere. Egli si deve attenere, nella risposta del quesito, agli obiettivi riscontri fornite dalle parti, nel rispetto del principio dispositivo (fig. 1).

In caso di sinistri che provochino lesioni alle persone (art. 589 del codice penale) o omicidio colposo (art. 590 del c.p.), la notizia di reato viene inoltrata da un pubblico ufficiale al PM il quale svolge le indagini preliminari ai fini della verifica delle eventuali responsabilità penali. In questo caso il CTU analizza ed eventualmente reperisce quegli elementi di prova necessari all'accertamento globale della verità del sinistro. Recentemente è stato stabilito che i reati di cui all'art. 589 non sono più competenza della Procura ma dei Giudici di Pace.

Nell'ambito di tutte le summenzionate procedure può essere presente il consulente tecnico di parte (CTP), in qualità di ausiliare tecnico del difensore giurista della parte in causa (attore o convenuto): l'affidamento dell'incarico è strettamente correlato e conseguente alla nomina del CTU. Il CTP ha il compito di assistere alle in-



dagini ed alle operazioni del consulente d'ufficio, nel rispetto delle regole del contraddittorio, e di partecipare alle udienze tutte le volte che vi interviene il consulente del giudice, con la facoltà di prospettare, nell'interesse della propria parte, le osservazioni sui risultati delle indagini tecniche (figg. 2-3).

In ambito stragiudiziale non esiste nessuna limitazione all'attività: qualsiasi persona fisica o giuridica che ritenga di possedere conoscenze specifiche nel settore può definirsi perito ed offrire i propri servizi sul mercato delle perizie cinematiche. I potenziali clienti sul libero mercato sono: studi legali, assicurazioni, infortunistiche, avvocatura di enti locali e pubblici, società di gestione di strade, singoli cittadini privati. Esistono associazioni private che raccolgono esperti del settore col fine di condividere strumenti per l'analisi e lo studio degli incidenti. Inoltre alcune società assicurative formano i propri periti che operano per loro conto.

FASI OPERATIVE NELLA RISOLUZIONE DEL CASO

L'attività del ricostruttore cinematico può essere sostanzialmente suddivisa in due sottoattività consequenziali: la prima fase di tipo investigativo è relativa alla ricerca e all'interpretazione di fatti correlati, la seconda concerne la ricostruzione del sinistro mediante modello matematico.

La prima fase si suddivide nell'analisi degli atti, con particolare riferimento al rapporto di incidente stradale redatto dai verbalizzanti, nel sopralluogo del teatro del sinistro e nell'ispezioni dei mezzi. Tale attività è finalizzata a trovare il maggior numero di informazioni quali caratteristiche dei mezzi e della strada, tracce di frenata e scarrocciamento, segni e abrasioni sull'asfalto, oggetti, corpi e mezzi in posizione di stasi, danni su oggetti e lesioni su persone, apporti testimoniali ... al fine di giungere ad un quadro sufficientemente esatto e coerente all'interno del quale calare il modello matematico risolutivo.

Esame delle fonti

Rilievi descrittivi, planimetrici e fotografici

Gli organi di polizia che eseguono il rilievo diretto del sinistro sono: polizia stradale, polizia di stato, arma dei carabinieri, corpo della guardia di finanza, polizia provinciale, polizia municipale, ... I rilievi sono fondamentali per l'attività del ricostruttore in quanto questi solitamente non ha la possibilità di accedere al luogo del sinistro con i mezzi ancora nella loro originaria posizione di quiete e ad altri fatti correlati visibili e rilevabili, quali tracce di frenata, abrasioni, ecc.

Testimonianze

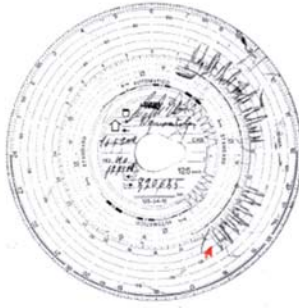
Generalmente vengono trascritte le dichiarazioni delle persone coinvolte nel sinistro, nonché le testimonianze delle persone che hanno assistito al sinistro. Esse hanno sicuramente una influenza importante nell'indirizzare la ricostruzione del sinistro, ma il perito deve sempre considerarle con spirito critico in quanto il meccanismo di codifica, immagazzinamento e recupero dell'informazione da parte del testimone è soggetto a rielaborazioni tali da poter non risultare sempre aderenti al vero, seppur riferite in buona fede.

Cronotachigrafo

Il regolamento CEE n. 3820 del 1985 impone che mezzi di massa superiore ai 3,5 t si equipaggino di cronotachigrafo al fine del rispetto dei turni di lavoro e di riposo dei conducenti, nonché dei limiti di velocità. Il cronotachigrafo digitale introdotto dal regolamento CEE n. 2135/98 sostituirà quello analogico in modo tale da rendere più difficoltose le manomissioni. Il ricostruttore può ricavare preziose informazioni dall'analisi di un disco cronotachigrafico di un mezzo coinvolto in un

■ CRONOTACHIGRAFO

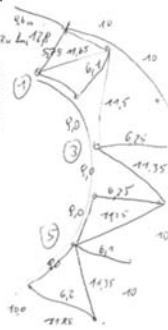
- I dati contenuti nel cronotachigrafo, il cui uso è d'obbligo sui veicoli di massa maggiore di 3,5 ton ai sensi della direttiva CEE 3820/1985, vengono spesso utilizzati dai ricostruttori cinematici per ricavare informazioni sulla velocità del veicolo all'istante dell'urto, ma anche tempi, spazi percorsi e decelerazioni medie.



4

■ METODI DI RILIEVO (1/2)

- **Progressive:** su tratti stradali rettilinei i punti vengono localizzati con misure riferite ad una retta (p.e. la striscia di margine della carreggiata).
- **Triangolazioni:** fissati almeno due capisaldi si localizzano i punti effettuando misurazioni a partire dai capisaldi. In fase di restituzione grafica, il punto verrà univocamente determinato dall'intersezione di tre circonferenze.
- **Griglia a 4 punti:** una curva può facilmente essere resa tramite misure lineari dei vertici di poligoni affiancati l'un l'altro.



5

sinistro. Se esso viene scansionato digitalmente ed analizzato con programma di assistenza al disegno CAD si possono valutare con una discreta precisione le velocità precedenti l'urto, quelle caratterizzante l'urto, i tempi, gli spazi e le accelerazioni o decelerazioni medie (fig. 4).

Referti medici

La consulenza medico legale fornisce elementi che possono essere di conferma o disattendere la ricostruzione cinematica del consulente. Occorre quindi sempre prenderle in seria considerazione approfondendo, quando risulti necessario e nei limiti della propria formazione, aspetti di anatomia umana e di biomeccanica.

Ispezione del luogo del sinistro

L'ispezione è importante al fine di rendersi conto delle caratteristiche del luogo e per completare eventualmente i rilievi dell'autorità giudiziaria sia dal punto di vista descrittivo che fotografico. Dal momento che il perito deve preferibilmente lavorare su una planimetria in scala, ed in considerazione del fatto che essa raramente viene prodotta dalle autorità, il sopralluogo si dovrebbe arricchire del rilievo planoaltimetrico con adatto strumento topografico. Tale pratica è molto poco diffusa e molti periti preferiscono ricorrere a misure puntuali mediante cordella, metro e altra strumentazione del caso (figg. 5-6).



6

Ispezione dei mezzi

L'ispezione dei mezzi sinistrati ha lo scopo valutare e misurare l'entità delle deformazioni permanenti e la loro localizzazione, consentendo la deduzione dell'assetto d'urto relativo nonché la stima dell'ordine di grandezza delle velocità d'impatto. Inoltre tale operazione permette di reperire indizi sulle condizioni di funzionamento dei freni e dello sterzo, quando ciò sia possibile, e sullo stato di usura dei pneumatici controllandone la profondità minima degli intagli principali del battistrada che per gli autoveicoli deve essere di almeno 1,00 mm. Particolare attenzione va inoltre prestata allo stato delle cinture di sicurezza e dei proiettori mediante il controllo accurato del filamento ad incandescenza per verificare l'eventuale inserimento di luci abbaglianti in incidenti verificatesi in condizioni di illuminamento naturale scarso (fig. 7-8).

Analisi della collisione e del moto pre e post urto

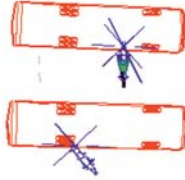
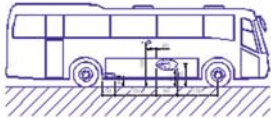
Il cuore dell'attività di consulenza consiste nell'utilizzo di un adatto modello matematico in cui si siano introdotte tutte le informazioni raccolte nel corso delle operazioni peritali, in modo tale da pervenire alla quantificazione dei valori delle grandezze fisiche caratterizzanti il sinistro.

Il modello matematico storicamente utilizzato da una buona parte di ricostruttori cinematici è il modello basato sulla conservazione della quantità di moto, con l'assimilazione dei veicoli a punti materiali. Quasi mai i consulenti che operano a tale livello prendono in considerazione il "rapporto d'impulso", che pure gioca un ruolo spesso non trascurabile negli urti con scorrimento relativo tra i due mezzi. Tale modello, se appropriatamente applicato, risulta affidabile solo per quei sinistri in cui i mezzi presentano rotazioni contenute dovute all'urto, ovvero nel caso di urti pieni. I consulenti che decidono di adottare un modello matematico di più vasta portata e che prenda in considerazione il veicolo come un corpo rigido, dotato di dimensioni

- **STATO DI EFFICIENZA DEL VEICOLO**
Stato dei pneumatici, dell'impianto frenante, dello sterzo, degli ammortizzatori, delle luci ed eventuali difetti tecnici



- **LOCALIZZAZIONE DEI DANNI**
Si individua la posizione del danneggiamento da urto in modo tale da poter definire l'assetto d'urto relativo (ovvero rispetto all'altro veicolo o ad un ostacolo).



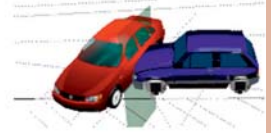
7

ANALISI DELLA COLLISIONE

- Conservazione della quantità di moto di punti materiali. Parametri: coefficiente di restituzione elastica (k), masse dei veicoli.



- Conservazione della quantità di moto di corpi rigidi. Parametri: coefficiente di restituzione elastica (k), coefficiente di attrito (μ), piano di contatto, direzione dell'impulso (θ), masse e momenti di inerzia dei veicoli, caratteristiche costruttive del veicolo.



9

- **QUANTIFICAZIONE DEI DANNI**
Quantificando la profondità del danno si ottiene un input per il calcolo dell'energia dissipata sotto forma di deformazioni.



- Metodi di misura:
- Misure con metro e cordella metrica
- Fotogrammetria tridimensionale



8

nello spazio tridimensionale e caratterizzato dall'inerzia alla rotazione, oltre che alla traslazione, si affidano prevalentemente a software di calcolo. Taluni di questi programmi informatici hanno inoltre il pregio di risolvere numericamente le equazioni differenziali che descrivono il moto dei veicoli nella fase pre e post urto, cosa non possibile con i calcoli a mano. Urti coassiali e a bassa velocità, nonché investimenti di pedoni, vengono trattati e risolti con approcci mirati, vista la loro specificità (figg. 9-10).

STRUMENTAZIONI E TECNOLOGIE A DISPOSIZIONE DEL RICOSTRUTTORE CINEMATICO

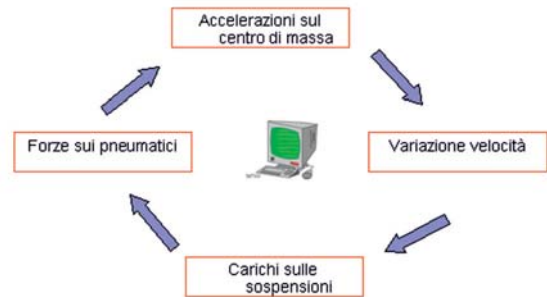
Il ricostruttore cinematico, nella propria attività, può ricorrere all'uso di svariate attrezzature e tecnologie che lo facilitano nello svolgimento del proprio compito. Ciascuna nuova tecnologia richiede ovviamente un'ulteriore competenza e nuove problematiche da affrontare e risolvere.

Total Station

Il rilievo accurato dello scenario nel quale ha avuto luogo il sinistro stradale è molto spesso demandato al consulente cinematico, in quanto nella maggior parte

ANALISI DEL MOTO DEI VEICOLI

Il moto può essere descritto utilizzando modelli matematici (veicolo = pneumatici + sospensioni + massa sospesa) risolti con metodi di integrazione numerica



10

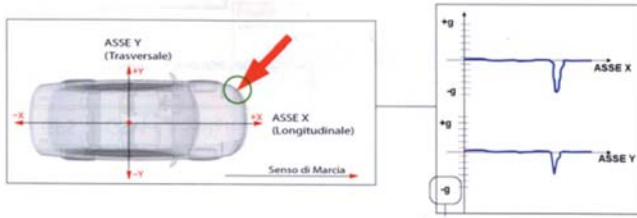
dei casi le autorità si limitano a redigere uno schizzo planimetrico fuori scala che fornisce solo in parte le informazioni necessarie per una attendibile e precisa ricostruzione. Quando la geometria della strada è molto semplice si può ricorrere a misure puntuali tramite cordella, però il metodo migliore e più generale che va adottato è il rilievo plano-altimetrico mediante teodolite e distanziometro elettronico. Il posizionamento dei punti rilevati dalle autorità viene effettuato in un contesto molto più realistico, riducendo così il rischio di errori che possono insorgere nel considerare l'ambiente del sinistro in via semplificata.

Fotogrammetria

La fotogrammetria, ovvero il processo tramite cui si ottengono informazioni dimensionali quantitative sugli oggetti fisici attraverso la memorizzazione, interpretazione e misurazione di fotogrammi, trova allo stato attuale scarso impiego tra i ricostruttori cinematici italiani. Nessun metodo, quale la proiezione inversa, la rettificazione numerica e la fotogrammetria tridimensionale, sembra trovare una diffusa applicazione sebbene l'apporto vantaggioso che se ne potrebbe avere è indubbio.

EVENT DATA RECORDER

- Le autovetture di alcune compagnie d'assicurazione sono equipaggiate di dispositivi in grado di misurare le accelerazioni conseguenti ad un urto. Il ricostruttore cinematico impiega i dati registrati soprattutto nel caso del "colpo di frusta": dai grafici accelerazione-tempo risale alla variazione di velocità all'urto e quindi verifica la compatibilità della lesione con i valori cinematici del sinistro.



11



12

Software di simulazione

Diversi software di simulazione (Pc-Crash, HVE, Virtual Crash, Impulz Expert) presenti sul mercato aiutano il consulente nella ricostruzione dinamica dei sinistri. In questi ultimi anni stanno avendo una rapida diffusione, nonostante incontrino la diffidenza di chi in passato ha operato sempre con metodi semplificati per i quali non si rende necessario l'utilizzo di processori. L'argomentazione contraria rivolta da questi ultimi è che mentre con i metodi "manuali" si possano esplicitare i calcoli e le formule analitiche, i fruitori di software utilizzano una scatola chiusa il cui contenuto è difficile da controllare: l'impiego dei software permetterebbe di lavorare in modo meno "trasparente". La reale differenza sta invece nel fatto che il metodo della conservazione della quantità di moto nella sua applicazione semplificata descrive in modo inappropriato alcune situazioni fisicamente più complesse: l'insita incertezza sui risultati è corretta solo sulla base dell'esperienza e di alcuni dati sperimentali senza un controllo rigoroso sulla soluzione. L'approccio con software di simulazione analizza il fenomeno della collisione ad un grado di complessità più elevato, per mezzo di modelli matematici più evoluti: il maggior numero di parametri e di grandezze fisiche considerate, consente in realtà un minor margine di discrezionalità, perché il risultato deve soddisfare diverse condizioni fisico matematiche.

Accelerometri e registratori di dati storici

Alcune compagnie assicurative italiane installano sulle autovetture dei propri assicurati dispositivi elettronici atti a fornire l'entità di grandezze fisiche caratterizzanti il sinistro che eventualmente può occorrere al proprio assicurato. Il principale scopo di questa operazione è la riduzione dei risarcimenti corrisposti dalle compagnie assicuratrici per lesioni da trauma distorsivo cervicale, noto come "colpo di frusta". È stato stimato che in Italia, su 850.000 sinistri stradali in un anno, tale trauma si verifica nel 66% dei casi, con

un risarcimento complessivo stimato in 2,4 mld di euro annui. Non essendo il medico in grado di diagnosticare il colpo di frusta, mancando il dato obiettivo, l'unico modo per verificare il nesso causale risiede nella conoscenza cinematica del sinistro. La sentenza n. 2956/2006 del Giudice di Pace di Viterbo ha riconosciuto che il dispositivo è in grado di accertare la lesività in termini di colpo di frusta del rachide cervicale associata ad un dato urto. Uno tra i più evoluti di questi tipi di dispositivi è un sistema costituito da un accelerometro biassiale per la misura delle accelerazioni, da un ricevitore GPS per la localizzazione del veicolo, da un'antenna GSM per la trasmissione in continuo dei dati e da un'unità gestore che sovrintende il dispositivo. Quando l'accelerometro misura una decelerazione superiore ai 2 g, l'evento viene trasmesso alla centrale. Tale valore costituisce una soglia di attenzione ma è attorno ai 4 g di accelerazione applicati al capo che si hanno i presupposti per il colpo di frusta, con Dv istantanee di circa 5-7 km/h. L'elaborato che il perito si trova ad avere è un grafico delle accelerazioni rispetto al tempo su due direzioni e così, effettuando l'integrazione dell'area sottesa, ci si può ricondurre alla variazione di velocità del veicolo. Tali dati, incrociati con quelli che si riescono a estrapolare dalle fonti giudiziarie o dalle indagini peritali, consentono una precisa ricostruzione della dinamica del sinistro (figg. 11-12).

REFERENZE

- [1] "Il manuale del consulente tecnico e del perito", Blumetti-Maiga-Novelli, ed. Ipsoa
- [2] "Infortunistica stradale" Sterlicchio, ed. Egaf
- [3] "Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods" Brach, ed. SAE International
- [4] "Primo seminario per periti cinematici - Unibox e Aurobox: l'apporto di nuove tecnologie nella ricostruzione degli incidenti stradali" Gruppo Unipol
- [5] Atti del seminario tenutosi il 9 giugno 2009 alla fiera dell'automobile di Brno.