
GIORNATA DI STUDI 26 NOVEMBRE 2015 - FIRENZE

Tecniche di Computer Vision per la ricostruzione degli incidenti stradali

REPORT TECNICO



STUDIO DEL CESTA
P.I. Andrea Del Cesta
Ing. Francesco Del Cesta
www.studiodelcesta.com
info@studiodelcesta.com



SOMMARIO

TECNICHE DI COMPUTER VISION PER LA RICOSTRUZIONE DEGLI INCIDENTI STRADALI	2
COME AVVIENE LA COSTRUZIONE DEL MODELLO 3D	3
NOTE SULLA PRECISIONE, SULLA RISOLUZIONE E INDICAZIONI PRATICHE	5
Regole di scatto e indicazioni pratiche.....	5
TEST EFFETTUATO IN OCCASIONE DELLA GIORNATA DI STUDI.....	8
Considerazioni sulla costruzione della nuvola di punti.....	10
Precisione rispetto alla nuvola laser scanner	12
UTILIZZO DEI DATI	14
BIBLIOGRAFIA.....	15



TECNICHE DI COMPUTER VISION PER LA RICOSTRUZIONE DEGLI INCIDENTI STRADALI

La stima dell'energia associata alle deformazioni riportate dai veicoli e l'individuazione della configurazione dei veicoli alla collisione sono presupposti fondamentali ai fini della ricostruzione di un incidente stradale.

Negli approcci classici, la configurazione dei veicoli all'urto è determinata in modo approssimato in base all'osservazione dell'andamento delle deformazioni; il relativo valore di EES è individuato in base a confronti fotografici o in base a misurazioni parziali – e di difficile esecuzione - sul veicolo deformato.

Le moderne tecniche di Computer Vision [1,2] consentono invece di ricavare il profilo di deformazione dei veicoli danneggiati utilizzando procedure semi-automatiche, che necessitano esclusivamente delle fotografie del mezzo. I profili possono poi essere convenientemente utilizzati per ricavare con precisione le modalità di collisione e per ottenere in modo pressoché automatico una stima del valore di EES, tramite il modulo CRASH3 implementato in PC-Crash.

Le tecnologie di Computer Vision consentono quindi di ottenere informazioni molto più accurate e in minor tempo di quanto sia possibile con il semplice raffronto visivo, senza richiedere l'acquisto di costose strumentazioni.



COME AVVIENE LA COSTRUZIONE DEL MODELLO 3D

La costruzione del modello 3D di un soggetto fotografato avviene in due passaggi:

1. nella prima fase, detta “*Structure from Motion*” (*SfM*)
 - a. vengono determinate la posizione e la rotazione nello spazio (i cosiddetti parametri estrinseci) della fotocamera per ogni immagine scattata;
 - b. viene prodotta una nuvola di punti *sparsa*, cioè una nuvola costituita da poco punti e distanti fra loro (esempio in Figura 1);

le due operazioni sono effettuate individuando su ciascuna immagine una serie di punti di interesse (features – vedi la Figura 2) e cercando, per ciascuna immagine, le features in comune con le altre immagini; le varie posizioni della fotocamera vengono poi determinate in modo da massimizzare la corrispondenza delle features in comune fra le immagini;

2. una volta determinate le posizioni della fotocamera per le varie immagini, nella seconda fase, detta “*Multi View Stereo*” (*MVS*), viene prodotta la nuvola di punti *densa* della scena, cioè una nuvola costituita da migliaia (o milioni di punti) molto vicini fra loro; la nuvola densa è ottenuta estendendo il concetto di stereoscopia a un insieme di $N > 2$ immagini (si veda la Figura 3).

Figura 1 Nuvola di punti sparsa, ottenuta tramite SfM. Si notino in grigio le posizioni della fotocamera nei vari punti in cui sono state acquisite le immagini. Immagine tratta da [3].

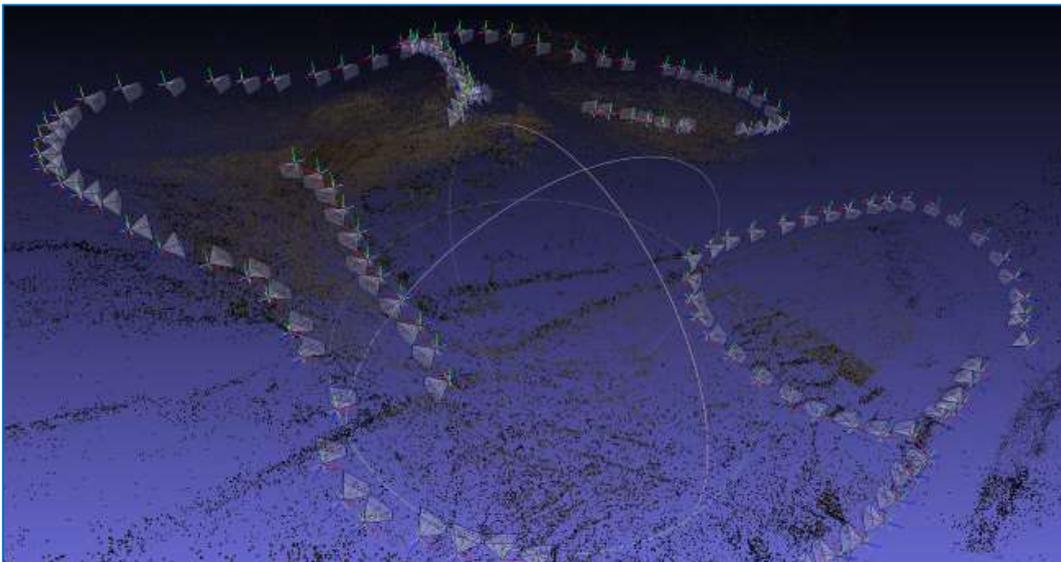


Figura 2 Esempio di immagine processata da un algoritmo SfM. I punti blu e i punti bianchi rappresentano le features riconosciute.



Figura 3 Nuvola di punti densa di uno scooter, ottenuta tramite MVS. Immagine tratta da [3].



NOTE SULLA PRECISIONE, SULLA RISOLUZIONE E INDICAZIONI PRATICHE

Al fine di una corretta individuazione delle features, gli algoritmi SfM richiedono un buon grado di sovrapposizione fra le varie immagini. Il che implica la necessità di posizioni di scatto vicine fra loro. Tuttavia, acquisire troppe immagini, alla ricerca di una sovrapposizione estrema, accresce il tempo di ricostruzione senza necessariamente migliorare la qualità finale della nuvola di punti - come osservabile nel paragrafo *“Test effettuato in occasione della giornata di studi”*, a pag. 8. Infatti, minore è l’angolo fra il soggetto ripreso e le posizioni della fotocamera tra due scatti successivi, maggiore è l’incertezza sulla costruzione della nuvola (si vedano le seguenti immagini).

REGOLE DI SCATTO E INDICAZIONI PRATICHE

Di seguito alcune regole e indicazioni pratiche per effettuare il rilievo fotografico:

- utilizzare quanto più parte del frame possibile per il veicolo; evitare quindi di scattare immagini in cui il veicolo occupa meno spazio rispetto allo sfondo; includere una porzione di sfondo nell’immagine agevola comunque il riconoscimento delle posizioni di scatto;
- riprendere l’intera altezza del veicolo all’interno del frame;
- **non** è necessario che le fotografie siano scattate dalla stessa altezza e **non** è necessario che in ogni scatto il profilo del veicolo sia interamente visibile;
- per un corretto rilievo, è necessario effettuare una panoramica a 360° intorno all’autoveicolo;
- evitare di ripretendere, all’interno delle immagini, soggetti in movimento, cioè soggetti la cui posizione possa variare fra un’immagine e un’altra;
- anche la ripresa di ombre in movimento e/o bagliori andrebbe evitata, è quindi preferibile effettuare le fotografie con cielo nuvoloso o durante le ore in cui il sole è più alto;
- scattare sempre le fotografie in condizioni illuminazione buona e naturale; non usare flash o luci artificiali;
- utilizzare posizioni di scatto ravvicinate fra loro, in modo che i frame siano molto sovrapposti; **è infatti preferibile avere immagini ridondanti che poche immagini**; in fase di elaborazione, se si riscontra un numero eccessivo di immagini, è sempre possibile scartarne alcune per velocizzare la costruzione della nuvola; viceversa, se si sono acquisite poche immagini, è necessario effettuare un ulteriore rilievo del mezzo;



- al fine di effettuare la messa in scala della nuvola, può essere utile collocare a fianco dell'autoveicolo una o più stecche metriche, da usare come riferimento;
- relativamente alla fotocamera, gli algoritmi di Computer Vision non richiedono una strumentazione dedicata: anche la semplice fotocamera di un cellulare è sufficiente; tuttavia, per ottenere risultati di qualità elevata, è consigliabile utilizzare una fotocamera reflex con le seguenti impostazioni:
 - apertura del diaframma ridotta (e.g. f11), in modo da avere buona profondità di campo;
 - bassi valori di ISO (max 800) in modo da non introdurre rumore digitale;
 - focale fissa;

Figura 4 Esempio di scatto per il rilievo di un autoveicolo. Si noti come l'altezza del veicolo copra l'intera altezza del frame.



Figura 5 In blu sono raffigurate le posizioni di scatto intorno all'autoveicolo. Si noti come sia stata effettuata una panoramica a 360° intorno al soggetto.



Figura 6 Esempio di sovrapposizione fra due immagini adiacenti. La zona chiara dell'immagine, al centro, rappresenta l'area visibile in entrambe le immagini. Le zone scure, ai bordi, rappresentano le porzioni non a comune fra le immagini.



TEST EFFETTUATO IN OCCASIONE DELLA GIORNATA DI STUDI

In occasione della Giornata di Studi è stato effettuato il rilievo fotografico di un autoveicolo VW Passat, danneggiato nella parte posteriore e nella parte laterale destra, all'altezza del parafrangente anteriore. Lungo il fianco destro dell'autoveicolo è stata posizionata una stecca metrica, come riferimento di scala (si vedano le seguenti immagini).

Figura 7 Parte posteriore del veicolo usato per il test.



Figura 8 Parte laterale destra del veicolo usato per il test.



L'autoveicolo è stato rilevato effettuando panoramiche a 360° intorno al mezzo stesso, per un totale di 66 fotografie, partendo dal retro del veicolo e ruotandovi intorno in senso antiorario (le immagini sono state acquisite rispettando il principio per cui è conveniente scattare un numero elevato di fotografie al momento del rilievo, ed eventualmente scartarne alcune in fase di elaborazione). Inoltre, è stato effettuato un rilievo del mezzo con strumentazione laser scanner, da usare come riferimento per la verifica della qualità della nuvola prodotta con le tecniche di CV.

Figura 9 In blu sono raffigurate le posizioni di scatto intorno al veicolo.

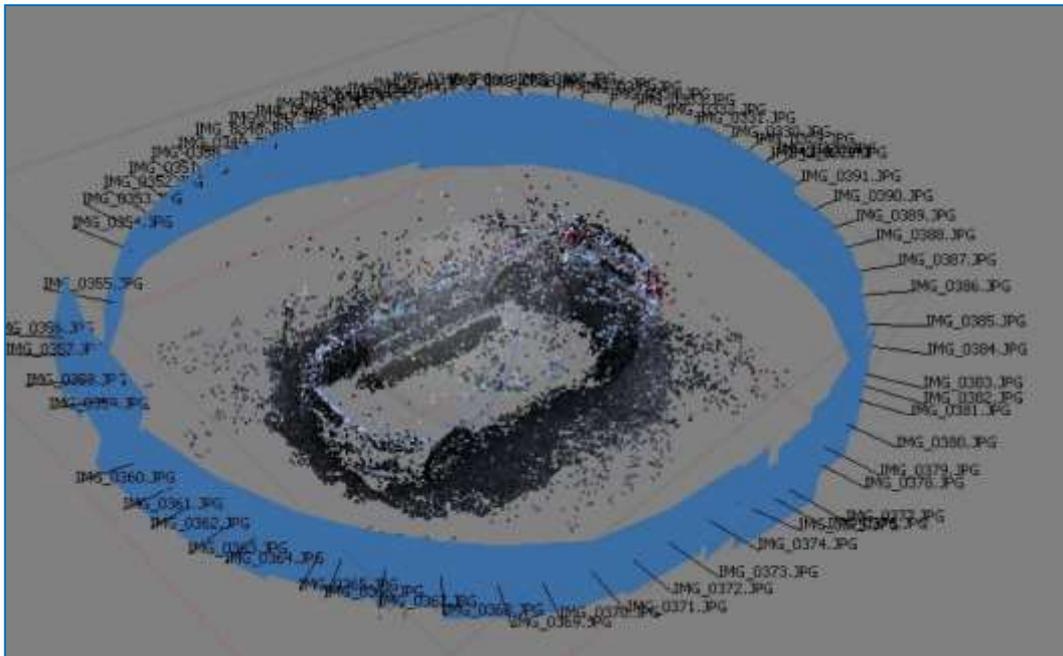


Figura 10 Nuvola dell'autoveicolo ottenuta con rilievo laser scanner.



CONSIDERAZIONI SULLA COSTRUZIONE DELLA NUVOLO DI PUNTI

Le fotografie sono state elaborate utilizzando il software Agisoft Photoscan (<http://www.agisoft.com/>), che consente di effettuare in modo automatico tutti i passaggi necessari per la produzione della nuvola di punti a partire dalle fotografie del veicolo:

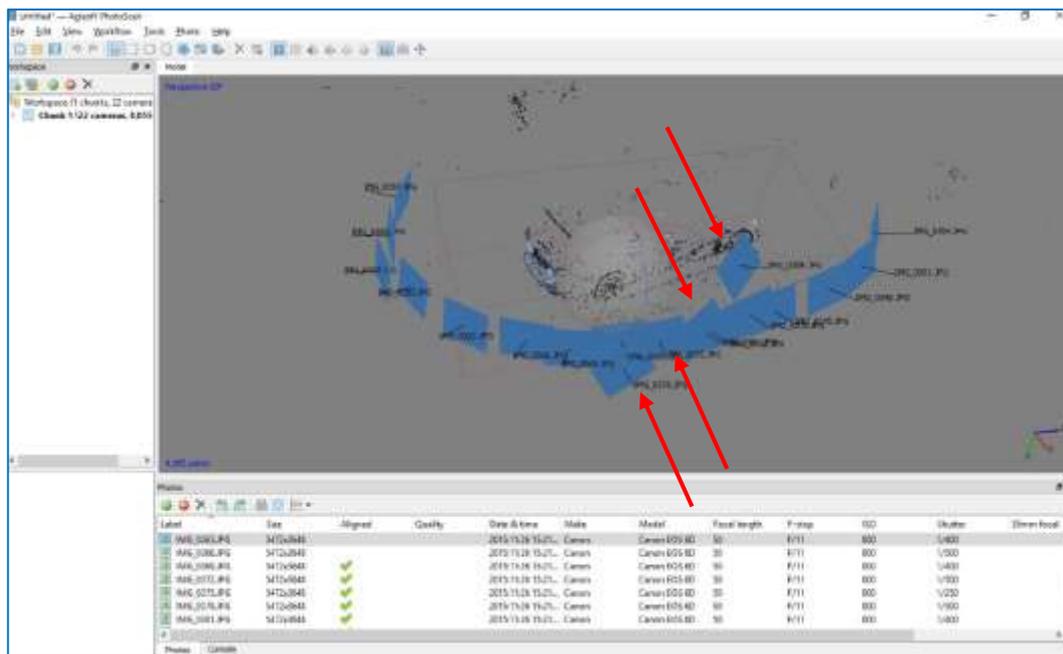
- individuazione delle posizioni di scatto (SfM);
- costruzione della nuvola densa (MVS);
- esportazione della nuvola densa per le successive elaborazioni.

Al fine di valutare l'influenza del numero di fotografie, sono state effettuati 3 differenti elaborazioni. La prima utilizzando 1 fotografia su 3, per un totale di 22 fotografie; la seconda utilizzando 1 fotografia su 2, per un totale di 33 fotografie; l'ultima utilizzando tutte le 66 fotografie.

Utilizzo di una immagine ogni tre

Utilizzando una immagine ogni tre, l'algoritmo SfM è riuscito a collocare correttamente solo 14 fra le 22 fotografie di scatto. In particolare sono state collocate correttamente solo le prime 14 fotografie scattate; altre 4 fotografie sono state collocate erroneamente, e per le rimanenti non è stata individuata la collocazione (si veda la seguente immagine). Il fallimento è dovuto alla distanza eccessiva fra le posizioni della fotografia 14 e della fotografia 15.

Figura 11 Elaborazione ottenuta utilizzando una immagine ogni tre. In blu sono raffigurate le camere per cui è stata individuata la posizione. Le frecce rosse evidenziano le fotocamere erroneamente collocate.



Utilizzo di una immagine ogni due

Utilizzando una immagine ogni due, l'algoritmo SfM è riuscito a collocare correttamente tutte le 33 fotografie di scatto, ed è quindi stato possibile costruire la nuvola di punti densa, con 2 164 179 punti utili.

Osservando la nuvola si nota come il cofano, i vetri e il tetto non siano stati rilevati: i vetri, in quanto superficie trasparente, il tetto e il cofano, in virtù della loro inclinazione rispetto alla camera. Si nota inoltre la presenza di alcuni artefatti, dovuti alla presenza di persone intorno al veicolo durante gli scatti (si vedano le seguenti immagini). Gli artefatti possono comunque essere convenientemente eliminati in post-processing.

Figura 12 Nuvola di punti densa nel caso di utilizzo 33 fotografie. Si noti la presenza degli artefatti.



Figura 13 Nuvola di punti densa nel caso di utilizzo 33 fotografie, pulita dagli artefatti.



Utilizzo di tutte le immagini

Anche in questo caso, l'algoritmo SfM è riuscito a collocare correttamente tutte le fotografie di scatto, ed è quindi stato possibile costruire la nuvola di punti densa. Avendo utilizzato più fotografie, si è ottenuta una maggiore risoluzione, per un totale di 3 041 373 punti utili. In questo caso però, si nota come sulla superficie del veicolo siano presenti più punti rumorosi, in conseguenza della minor distanza tra due camere consecutive.

Rispetto al risultato ottenuto utilizzando una fotografia ogni due, il notevole aumento del tempo di elaborazione derivante dall'utilizzo di tutte le fotografie, non corrisponde a un significativo aumento di qualità. **In conclusione, è quindi consigliabile effettuare un numero elevato di scatti in sede di rilievo, e scartare poi quelli non necessari durante la fase di elaborazione.**

Figura 14 Nuvola di punti densa nel caso di utilizzo di tutte le 66 fotografie. Si noti come sulla superficie del veicolo sia presente più rumore rispetto alla nuvola ottenuta utilizzando 33 fotografie.

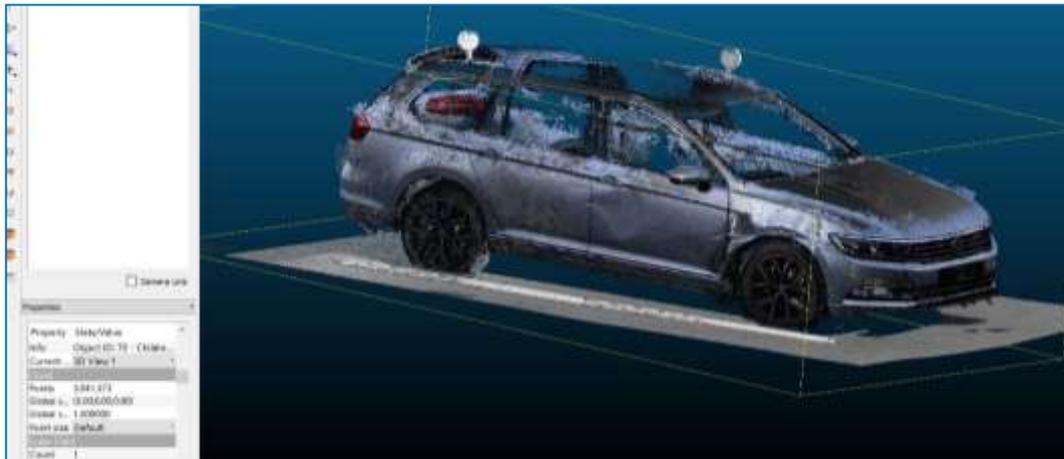


PRECISIONE RISPETTO ALLA NUVOLA LASER SCANNER

La sovrapposizione fra la nuvola ottenuta dalle tecniche di Computer Vision e la nuvola ottenuta dal rilievo laser scanner ha mostrato una ottima corrispondenza fra i due rilievi.

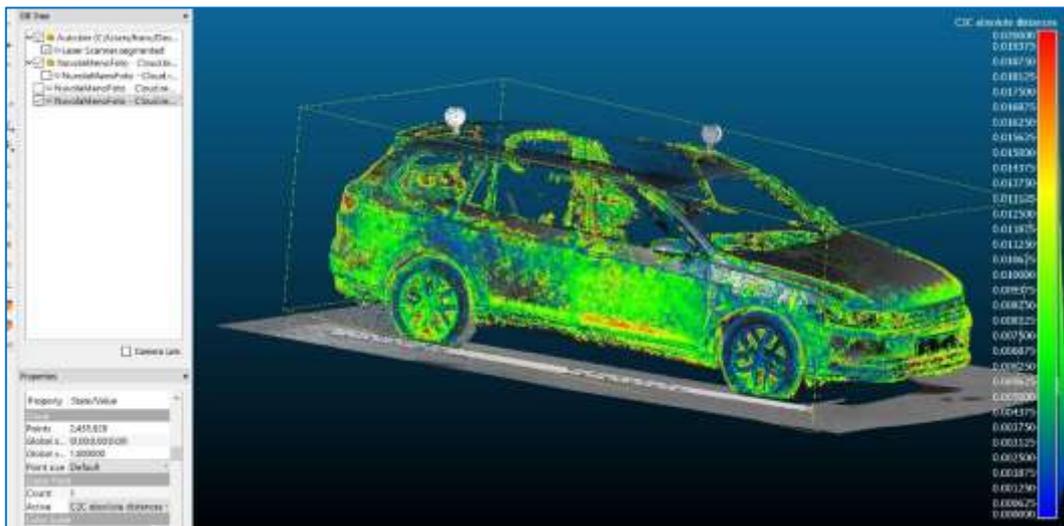


Figura 15 Allineamento fra la nuvola laser scanner e la nuvola ottenuta con le tecniche di Computer Vision.



Considerando la nuvola ottenuta utilizzando 66 fotografie, su circa 3 milioni e 41 mila 373 punti, circa 2 e 435 mila 929 punti distano dalla nuvola laser scanner meno di 2 cm (di cui circa il 90% dista meno di 1 cm).

Figura 16 Distanza fra la nuvola di punti laser scanner e la nuvola di punti ottenuta con le tecniche di Computer Vision.



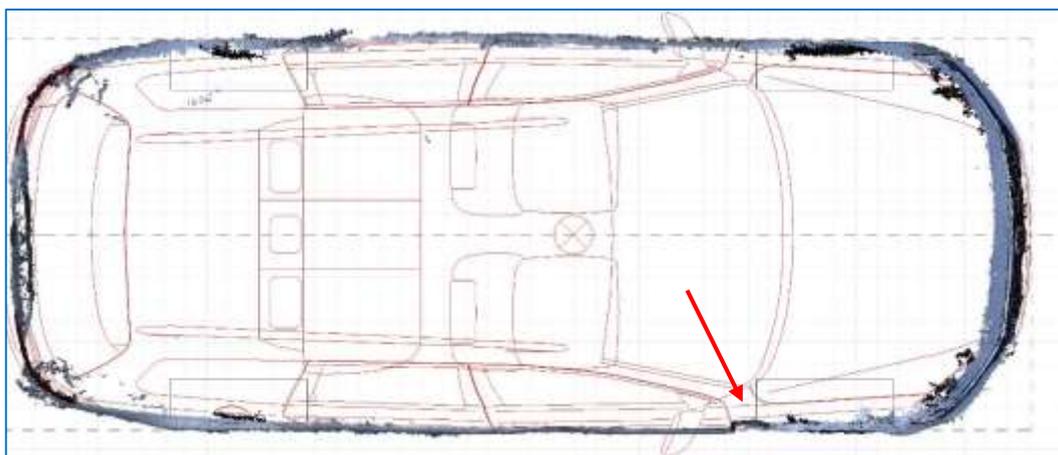
UTILIZZO DEI DATI

La nuvola di punti può essere utilizzata per ottenere il profilo delle deformazioni sul veicolo e per effettuare misurazioni. Nel caso di deformazioni elevate, il profilo può poi essere convenientemente utilizzato per ricavare il valore EES associato ai danni.

Figura 17 Deformazione al veicolo.



Figura 18 Sezione del veicolo. La freccia rossa indica la deformazione al parafrangente anteriore destro. Immagine tratta da PC-Crash 10.2.



BIBLIOGRAFIA

Per gli utilizzatori di PC-Crash v10.2, la spiegazione dettagliata della procedura per ottenere il profilo di deformazione partendo dalle fotografie del veicolo è descritta all'interno dei tutorial nell'area utente del sito web italiano di PC-Crash: www.pc-crash.it

[1] Snavely N., Seitz S. M., Szeliski R., ***Modeling the World from Internet Photo Collections***, *International Journal of Computer Vision*, 2007, DOI 10.1007/s11263-007-0107-3

[2] Hartley R., ***Multiple View Geometry in Computer Vision***, Cambridge University Press, 2003, ISBN 978-0-511-18618-9.

[3] P.I. Andrea Del Cesta, Ing. Francesco Del Cesta, ***Modern Scanning Technologies for Vehicular Accident Reconstruction***, Proceedings of the 23rd EVU Annual Conference – Copenhagen 2014, ISBN 978-87-993100-2

