Estratti da *Traffic Safety*, di Leonard Evans, Science Serving Society, 2004. Pagine 67 ss.

Definizioni per incidenti tra due veicoli (p. 67)
Da un punto di vista formale, ciascuno dei veicoli coinvolti in uno scontro tra due veicoli può avere un ruolo simmetrico: si schiantano l'uno contro l'altro.
Tuttavia, per chiarezza espositiva è conveniente fare una distinzione arbitraria tra loro, usando una terminologia come:
veicolo 1 = *primo, impattante, impingente, principale, o il tuo veicolo*
veicolo 2 = *secondo, colpito, impattato, partner o altro veicolo*.

Le masse del veicolo sono indicate da m_1 e m_2. È conveniente che il veicolo più pesante dei due sia il veicolo 2, quindi possiamo definire un rapporto di massa, μ, per ogni scontro tra due veicoli di massa nota come

$$\mu = \frac{m_2}{m_1} = \left(\frac{massa\ del\ veicolo\ più\ pesante}{massa\ del\ veicolo\ più\ leggero}\right) \qquad 4\text{-}1$$

Indicando come veicolo 2 il più pesante assicura che μ sia maggiore di uno.
Consideriamo una serie di scontri con lo stesso valore di μ o con valori di μ confinati in un intervallo ristretto. Supponiamo che il numero totale di conducenti uccisi nei veicoli più leggeri sia N_1 e che siano N_2 i conducenti uccisi nei veicoli più pesanti. Un rapporto di mortalità dei conducenti, R, può essere definito come

$$R = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\text{Numero dei conducenti uccisi nei veicoli più leggeri}}{\text{Numero dei conducenti uccisi nei veicoli più pesanti}} \qquad 4\text{-}2$$

L'interpretazione di R è del tutto priva di presupposizioni: è un semplice conteggio dei conducenti vittime in due gruppi di veicoli chiaramente definiti. È una misura del rischio di mortalità relativa in coppie di veicoli che collidono, essenzialmente indipendente dal comportamento del conducente o dai modelli di utilizzo del veicolo. Un rischio più elevato di guida da parte, ad esempio, dei conducenti di veicoli più pesanti aumenterà il numero di vittime del conducente nei veicoli più pesanti, ma anche, in proporzione simile, nei veicoli più leggeri con i quali avviene l'impatto. Una guida a rischio più elevato influisce sul numero totale di vittime, il che influisce sulla precisione con cui R può essere determinato, ma non sul valore atteso. R è influenzato da fattori che influenzano la sopravvivenza in caso di incidente, come tassi di uso della cintura sistematicamente diversi o età del conducente sistematicamente diverse in veicoli di massa diversa.

Effetto della massa negli scontri tra due auto (pag. 68)
Le definizioni e le equazioni di cui sopra si applicano agli incidenti tra veicoli di qualsiasi tipo che differiscono in massa. Ora ci concentriamo su una classe di veicoli, vale a dire le automobili (*tipo di carrozzeria 1-10* in FARS[*]). Questo perché le masse a vuoto sono codificate in FARS per le auto, ma non per altri tipi di veicoli. Le auto costituiscono meno della metà dei veicoli su strade statunitensi. Circa un quinto degli incidenti a due veicoli coinvolge due auto.

Ci sono stati 3.288 morti in incidenti con due auto nel 2001, il 7,8% di tutti i decessi. Anche se gli incidenti con due auto non sono responsabili della parte maggiore degli incidenti mortali, vengono studiati intensamente perché portano a scoperte che aumentano la comprensione degli effetti generali che si applicano a qualsiasi tipo di veicolo coinvolto in qualsiasi tipo di incidente.

Risultati empirici (pag. 69)
Molte analisi usando i dati FARS [8-11] hanno mostrato che R e μ per le auto sono così correlati:

$$R = \mu^{\lambda} \qquad 4\text{-}3$$

L'esempio in Fig. 4-5 riguarda gli incidenti tra coppie di automobili con guidatori non cinturati che impattano l'uno contro l'altro (punti di impatto principali ad ore 11, 12 o 1 - Fig. 3-16, p. 55). Applicare

---

[*] FARS, Fatality Analysis Reporting System; creato dall'agenzia governativa statunitense National Highway Traffic Safety Administratio (NHTSA) per la raccolta dei dati statistici sulle morti da incidenti stradali. Sito web https://www-fars.nhtsa.dot.gov/Main/index.aspx

limitazioni d'analisi ad entrambi i veicoli coinvolti in incidenti tra due veicoli riduce notevolmente le dimensioni del campione. Se, per esempio, la metà di tutti i veicoli coinvolti subisce danni frontali, filtrando solo i veicoli che non subiscono danni frontali si riducono le dimensioni del campione del 75%. La relazione in Figura 4-5, basata su 15.356 conducenti non cinturati morti in 13.162 incidenti, dà un valore di λ = 3,58 ± 0,05.[12]

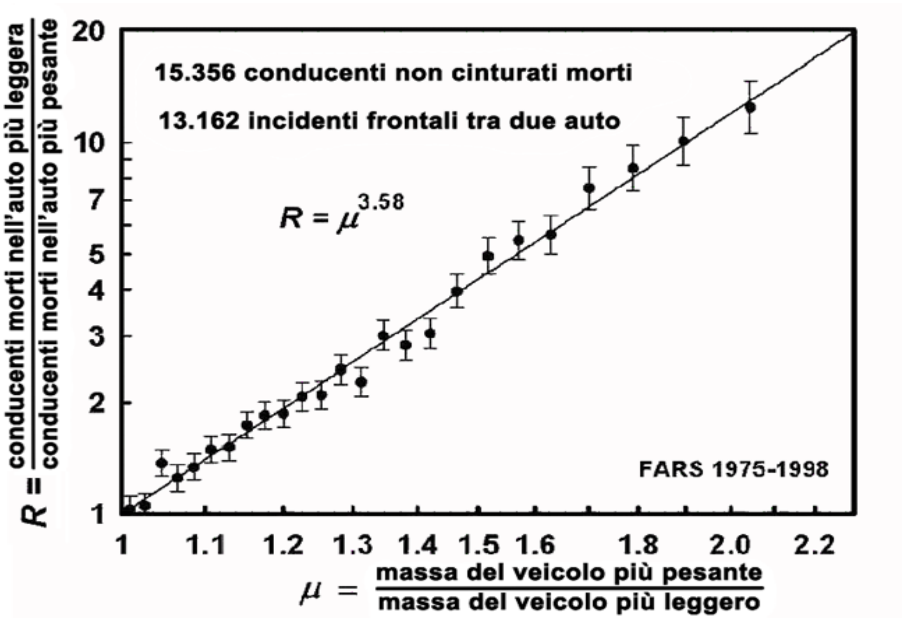


Figura 4-5. Rapporto di mortalità, *R*, rispetto a rapporto di massa, *μ*, per scontri frontali (in entrambe le auto, punto d'impatto principale ad ore 11, 12 o 1) .[12] La relazione $R = \mu^{\lambda}$ è la *prima legge degli scontri tra due auto* (con λ= 3.58 per i dati indicati). FARS 1975-1998.

Spiegazione basata sulla meccanica newtoniana (pag. 70)

La semplice meccanica newtoniana di due oggetti che si scontrano l'uno contro l'altro può offrire una visione dell'equazione 4-3. Consideriamo due auto, auto$_1$ e auto$_2$ con masse m_1 e m_2 che viaggiano alle velocità v_1 e v_2 l'una verso l'altra, con i loro centri di gravità che si muovono lungo la stessa linea retta (Fig. 4-6). Supponiamo che dopo essersi scontrati rimangano bloccati insieme (ciò equivale ad una collisione non elastica) in un gruppo di massa $M = m_1 + m_2$ che viaggia alla velocità V lungo la stessa retta. Applicando la legge di conservazione del momento lineare si ha

$$V = (m_2 v_2 - m_1 v_1) / M \qquad 4\text{-}4$$

Quando $m_2 v_2 > m_1 v_1$ il gruppo si muoverà nella stessa direzione della direzione iniziale di auto$_2$, come rappresentato nella Figura 4-6, cosicché l'impatto impone ad auto$_2$ una variazione di velocità (delta-v, come descritto nel capitolo 2) data da

$$\Delta v_2 = v_2 - V = m_1 (v_1 + v_2) / M \qquad 4\text{-}5$$

Poiché lo scontro inverte la direzione di marcia di auto$_1$, la sua variazione di velocità è data da

$$\Delta v_1 = v_1 + V = m_2 (v_1 + v_2) / M \qquad 4\text{-}6$$

Dividendo l'eq. 4-5 per la 4-6 otteniamo

$$\Delta v_1 / \Delta v_2 = m_2 / m_1 = \mu \qquad 4\text{-}7$$

dimostrando che il rapporto tra i valori delta-*v* è semplicemente l'inverso del rapporto di massa. Le equazioni da 4-4 a 4-7 si applicano a tutti i veicoli o, per questo aspetto, a ogni genere di oggetti che impattano l'uno contro l'altro.

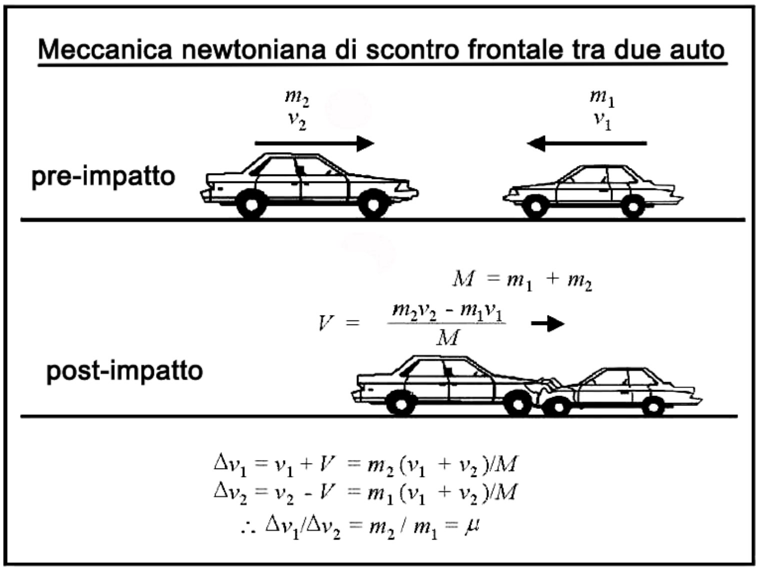


Figura 4-6. Meccanica Newtoniana di un modello di collisione frontale tra due auto

Se le masse e le velocità iniziali di entrambe le auto fossero identiche, entrambe si fermerebbero al loro punto di contatto immediatamente dopo l'incidente ($V = 0$). In effetti, un osservatore potrebbe avere difficoltà a distinguere tra un'auto che si schianta contro uno specchio infrangibile sul fronte di una barriera (verticale, immobile, ecc.) e due macchine identiche che si schiantano l'una contro l'altra. (Nel caso dello specchio, i veicoli "identici" avrebbero i volanti sui lati opposti...).

Rapporto tra delta-*v* e rischio di morte (omesso)

Prima legge delle collisioni tra due auto (pag. 72)

Spiegare una parte importante delle relazioni empiriche in termini di meccanica newtoniana identifica in modo inequivocabile la massa, in quanto tale, come il principale fattore causale nella differenza nel rischio del conducente, quando veicoli di massa diversa si scontrano l'uno contro l'altro. La solidità della relazione di cui alla Eq. 4-3 - insieme con la sua derivazione dai principi fisici di base - e la relazione tra rischio di morte e delta-*v* suggerisce che $R = \mu^{\lambda}$ è una *legge*, la prima di due *leggi degli scontri tra due auto*.

La relazione in Fig. 4-5 indica che se due auto differiscono in massa per un fattore due, il guidatore nell'auto più leggera ha una probabilità 12 volte maggiore di essere ucciso rispetto al guidatore nell'auto più pesante ($2^{3,58} = 12,0$). Solo circa l'1% degli incidenti negli Stati Uniti tra due auto comportano una disparità di masse pari a un fattore di due[15]. La metà degli incidenti tra due auto negli Stati Uniti coinvolge auto con masse che differiscono di oltre il 20%. Per una disparità di massa del 20%, il conducente nell'auto più leggera ha quasi il doppio delle probabilità di essere ucciso rispetto al conducente nell'auto più pesante ($1.20^{3.58} = 1.92$).

Il confronto tra i rischi di cui sopra rimane sostanzialmente inalterato se si utilizza la relazione derivata considerando come il rischio di mortalità dipende da delta-*v*, Eq. 4-9 [*], anziché la relazione empirica tra

[*] Presente nel capitolo precedente omesso, con i relativi commenti. Essa è
$R = P_1/P_2 = (\Delta v_1 / \Delta v_2)^{3,54} = (m_1/m_2)^{3,54} = \mu^{3,54}$
dove *P* è la frazione di conducenti non cinturati deceduti in tutti gli incidenti codificati nel National Accident Sampling System rispetto al Δv stimato.

rischio di mortalità e rapporto di massa. La relazione di cui alla Eq. 4-9 può essere utilizzata per inferire i risultati per i casi in cui le informazioni empiriche dirette non sono disponibili.

Applicazione agli incidenti tra auto e autocarri di grandi dimensioni. (pag. 73)

Potrebbe sembrare intuitivamente ragionevole supporre che se un'auto e un grosso autocarro si scontrano frontalmente, la massa dell'automobile è così inferiore alla massa dell'autocarro che la massa dell'auto ha poca influenza sul rischio del guidatore dell'auto. Tuttavia, il rischio aumenta così drasticamente con il delta-*v* che non è così.

Consideriamo una grande automobile da 1.800 kg che viaggiando a 50 km/h cozza frontalmente su un autocarro da 12.000 kg che viaggia a 50 km/h nella direzione opposta. Le equazioni nella Figura 4-6 mostrano che dopo l'incidente (presunto non elastico), il gruppo comprendente entrambi i veicoli si sposta a 37,0 km/h nella direzione in cui stava viaggiando l'autocarro. Il semplice sguardo probabilmente percepirebbe l'autocarro che prosegue alla sua velocità precedente non diminuita dall'impatto. Tuttavia, l'autocarro ha un delta-*v* di 13,0 km/h, che presenta pochi rischi per il conducente. L'auto di grandi dimensioni ha un delta-*v* di 87,0 km/h. Ora ripetiamo questo scenario con una piccola macchina da 900 kg che sostituisce la macchina da 1.800 kg. L'auto più leggera ha un delta-*v* di 93,0 km/h, che è il 7% maggiore del delta-*v* dell'auto più pesante. Dal momento che il rischio di mortalità dipende così fortemente dal delta-*v*, ciò si traduce in un suo sostanziale aumento del 27% nell'auto più leggera. Si noti che questo calcolo considera solo il modo in cui la massa dell'auto influenza il suo delta-*v*. Anche se l'autocarro fosse di massa infinita, in modo che entrambe le auto avessero identici valori delta-*v* di 100 km/h, il rischio sarebbe più basso nell'auto più pesante perché sarebbe anche più grande.

Le prove empiriche indicano in effetti che negli incidenti auto-autocarro, il rischio per gli automobilisti aumenta più rapidamente rispetto ai soli effetti delta-*v*.[7 (p 103), 16]

Applicazione agli incidenti tra auto e pedoni. (pag. 73)

Anche quando le macchine investono i pedoni, la massa della vettura influenza la variazione di velocità del pedone. Un pedone fermo di 75 kg colpito da un'auto da 1.800 kg che viaggia a 50 km/h subirà un delta-*v* di 48,0 km/h. Se l'auto che lo colpisce è di 900 kg, il delta-*v* diventa 46,2 km/h. Quindi il pedone colpito dall'auto più pesante ha un delta-*v* che è del 4% maggiore. Mentre l'Eq. 4-8 è stata derivata da incidenti stradali, sembra plausibile che darebbe un ordine di grandezza stimato anche per gli impatti pedonali, il che implica che il pedone colpito dall'auto più pesante ha, solo in base di considerazioni della meccanica newtoniana, circa il 15% più probabilità di morire.

Effetto di altre caratteristiche di incidenti e di guidatori (omesso)

Altri veicoli (omesso)

Interpretazione dei rapporti di rischio (omesso)

La relazione tra dimensione dell'auto e massa dell'auto (omesso)

Seconda legge degli incidenti di due auto: incidenti tra auto della stessa massa (pag. 79)

Quando automobili della stessa massa si scontrano l'una contro l'altra, l'Eq. 4-3 non fornisce informazioni utili. Tuttavia, la Figura 4-10 mostra che cinque serie di dati[22,23] e una relazione calcolata[24] portano a sostenere che il rischio relativo del conducente, R_{MM}, quando due auto della stessa massa M si scontrano l'una contro l'altra, è dato da

$$R_{MM} = \frac{k}{M} \qquad \text{4-13}$$

dove k è una costante.[12] Sebbene la relazione sia in termini di massa, è la dimensione il fattore causale. La massa è irrilevante per la meccanica newtoniana di due auto della stessa massa che si schiantano l'una contro l'altra. Ulteriori prove del fatto che, quando le automobili di massa simile si schiantano l'una contro l'altra, il rischio di mortalità del conducente è proporzionale alla massa comune è fornito dalle relazioni di regressione per le automobili di modello degli anni 1991-1999.[7 (p 103)] La riduzione di 100 libbre dalla massa di automobili di peso inferiore a 2.950 libbre (in media 2.612 libbre), cioè una diminuzione del 3,8%, è stata associata ad un aumento del 4,9% del rischio di mortalità. Il risultato corrispondente per le automobili che pesano 2.950 libbre o più (media 3.402 libbre), cioè una diminuzione del 2,9%, è stato associato ad un aumento del 3,2% del rischio di mortalità. La relazione Eq 4-13 può essere considerata una *seconda legge degli incidenti tra due auto*.

La massa come fattore causale separato (omesso)

Modello di separazione tra i ruoli causali di massa e dimensione (pag. 81)

Le precedenti due leggi sugli incidenti stradali tra due auto, Eq. 4-3 e 4-13, possono essere combinate per dare

$$r_{1,2} = k \times \frac{1}{m_1 + m_2} \times \left(\frac{m_2}{m_1}\right)^t \qquad 4\text{-}15$$

$$\begin{bmatrix}\text{effetto}\\ \text{netto}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\text{dimensione}\\ \text{intrinseca}\end{bmatrix} \times \begin{bmatrix}\text{massa}\\ \text{intrinseca}\end{bmatrix}$$

dove $r_{1,2}$ è il rischio per il conducente dell'auto$_1$ quando si scontra contro auto$_2$, supponendo che auto$_1$ e auto$_2$ abbiano masse m_1 e m_2 e dimensioni uguali a quelle delle auto medie rispettivamente di masse m_1 e m_2.[12] Il parametro t ha il valore = $\lambda/2$ = 1,79 (dove λ proviene da Eq. 4-3). Le masse nel termine "dimensione intrinseca" devono essere interpretate come dimensioni medie corrispondenti alle automobili con le masse indicate.
Se auto di massa diseguali si scontrano l'una contro l'altra, il rapporto tra i rischi per i conducenti, $r_{1,2} / r_{2,1}$, viene ricavato dall'Eq. 4-15 come

$$\frac{r_{1,2}}{r_{2,1}} = \frac{m_2 + m_1}{m_1 + m_2} \times \left(\frac{m_2}{m_1}\right)^t \times \left(\frac{m_1}{m_2}\right)^{1/t} = \mu^{2t} = \mu^{\lambda} \qquad 4\text{-}16$$

dimostrando così che l'Eq. 4-15 contiene la prima legge, l'Eq. 4-3.

Se le auto sono della stessa massa *M*, l'Eq.4-15 calcola il rischio in ciascuna come *k / M*, lo stesso della seconda legge di relazione in Eqn 4-13. Pertanto l'Eqn 4-15 contiene entrambe le leggi sugli incidenti tra due auto.

Riferimenti bibliografici

7 Kahane CJ. Vehicle weight, fatality risk and crash compatibility of model year 1991-99 passenger cars and light trucks. Report DOT HS 809 662. Washington. DC: US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration; October 2003

8 Evans L, Frick MC. Car size or car mass - which has greater influence on fatality risk? *Am J Public Health* 1992; 82: 1009-1112.

9 Evans L, Frick MC. Mass ratio and relative driver fatality risk in two-vehicle crashes; *Accid Anal Prev*. 1993; 25: 213-224.

10 Evans L. Driver injury and fatality risk in two-car crashes versus mass ratio inferred using Newtonian Mechanics. *Accid Anal Prev*. 1994; 26; 609-616.

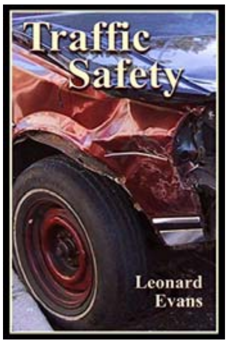
11 Evans L, Frick MC. Car mass and fatality risk - has the relationship changed? *Am J Public Health* 1994; 84: 33-36.

12 Evans L. Causal influence of car mass and size on driver fatality risk . *Am J Pub Health*. 2001; 91: 1076-81.

16 Evans L. Driver fatalities versus car mass using a new exposure approach. *Accid Anal Prev.* 1984; 16: 19-36.

22 Evans L, Wasielewski P. Serious or fatal driver injury rate versus car mass in head-on crashes between cars of similar mass. *Accid Anal Prev*. 1987; 19: 119~131.

23 Ernst E, Bruhning E, Glaeser KP. Schmidt M. Compatibility problems of small and large passenger cars in head on collisions. Paper presented to the 13th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, Paris, France; 4-7 November 1991.



Questo libro è disponibile su Amazon
Visitate il sito web di SSS – Science Serving Society

Leonard Evans è un esperto di sicurezza stradale di fama internazionale con un dottorato in fisica presso l'Università di Oxford, in Inghilterra. Ha tenuto conferenze sulla sicurezza del traffico, tra cui 22 *Keynote Addresses*, in 32 dei 60 paesi che ha visitato.

Le sue 201 pubblicazioni includono *Traffic Safety and the Driver* (1991) e il nettamente diverso *Traffic Safety* (2004). *Traffic Safety* è utilizzato in oltre 50 paesi come testo in molte università, tra le quali in USA.

È presidente della *Science Serving Society*, un'organizzazione che ha formato nel 2000 per continuare la ricerca e altre attività professionali dopo aver completato una carriera di ricerca di 33 anni con GM.

(*dalla biografia in http://www.scienceservingsociety.com/m/pers/htm/bio/short.htm*)

Si ringrazia Leonard Evans per la gentile concessione della pubblicazione.