

Ubaldo Sterlicchio

INFORTUNISTICA STRADALE: CALCOLI DI CINEMATICA

**Guida pratica alla risoluzione delle problematiche di ordine scientifico
nel campo dell'infornunistica stradale**

3^a EDIZIONE - NOVEMBRE 2003
ISBN 88-8482-062-6



1

LE GRANDEZZE FISICHE E LA CINEMATICA

1.1 LE GRANDEZZE FISICHE E LA CINEMATICA

Come si vedrà nel corso della presente trattazione, in Fisica esistono grandezze che vengono definite solamente da un numero, che indica la misura del loro valore rispetto ad una scala predeterminata (es. i volumi, le masse, i tempi, i lavori, le potenze, etc.); trattasi delle cosiddette **grandezze scalari**.

Oltre a queste, vi sono, poi, grandezze che vengono definite, non solo da un numero, ma anche da ulteriori elementi, quali la *direzione*, il *verso* ed il *punto di applicazione* (es. le forze, le velocità, le accelerazioni, le quantità di moto, i campi magnetici, etc.); trattasi delle cosiddette **grandezze vettoriali**.

Queste ultime hanno il grande pregio di poter essere graficamente rappresentate da segmenti rettilinei orientati, aventi una lunghezza ed un ordine fissato fra i due estremi (detti origine ed estremità) e, mentre la lunghezza del segmento (riferita ad una scala di misura) esprime l'*intensità* (o modulo) della grandezza vettoriale, l'origine e l'estremità ne determinano la direzione ed il verso.

L'ente matematico, definito dal suddetto segmento orientato, che esprime una grandezza vettoriale, si chiama **vettore**.

Se, ai concetti relativi alle grandezze scalari ed a quelle vettoriali, basilari in **aritmetica** ed in **geometria**, si aggiunge il concetto di *tempo*, si entra nel campo della Fisica ed, in particolare in quello della **cinematica** (1); quest'ultima *studia i movimenti dei corpi, indipendentemente dalle cause che li originano*, mentre la **dinamica** (2) *si occupa delle relazioni intercorrenti fra il movimento e le cause (forze) che lo determinano*.

1.2 LA CINEMATICA: MOTO DI UN PUNTO

Il concetto di *movimento* costituisce un'intuizione spontanea che l'uomo possiede sin dal momento in cui è in grado di fare uso della ragione e della memoria; infatti, i sensi vengono sollecitati, in varia misura, da manifestazioni di movimento: il movimento, quindi, costituisce uno dei fenomeni più generali e più frequenti in natura.

Però, se si vuole analizzare la fenomenologia in questione sotto il profilo strettamente scientifico, occorre darne, innanzitutto, un'appropriata definizione.

Pertanto, si parlerà di **moto** tutte le volte in cui un corpo, oggetto di studio, si troverà ad occupare, nei diversi istanti scanditi dallo **scorrere del tempo, posizioni diverse nello spazio**.

Tuttavia, per poter definire questa diversità di posizione, occorrerà necessariamente confrontare le successive posizioni del corpo da studiare, con quella di un altro corpo di riferimento che, "almeno provvisoriamente", dovrà essere considerato fermo; se, poi, si vuole pervenire a considerazioni sufficientemente semplici, ma aventi comunque un accettabile rigore scientifico, il

(1) Termine questo derivante dal greco "kinema", che vuol dire "movimento"

(2) Dal greco "dynamis", che significa "forza" e "potenza"

corpo in movimento dovrà essere sostituito (per evitare la complicazione derivante da possibili movimenti diversi dei singoli punti da cui esso è costituito) con un *punto materiale*, cioè con un qualcosa avente le stesse caratteristiche generali del corpo da studiare, ma privo di dimensioni, ovvero di dimensioni trascurabili.

Sovente, tale punto materiale lo si fa coincidere con il **baricentro** del corpo, cioè con il punto di applicazione del vettore risultante delle *forze-peso* che agiscono sulle innumerevoli particelle materiali (molecole) che compongono il corpo stesso.

Per definire, infine, univocamente la posizione di un corpo nello spazio, occorre utilizzare una terna di *assi cartesiani*, costituenti un sistema in cui, ad ogni posizione, vengono abbinate le *coordinate*: "*x - y - z*". Questa terna di assi assume, quindi, quel compito originariamente affidato al corpo fermo di riferimento.

In questo modo, *relativamente ad ogni istante t*, saranno rilevabili le *coordinate "x - y - z"*, le quali definiscono, come già detto, univocamente la posizione del corpo nello spazio.

Unendo, poi, tra loro tutti i punti occupati, successivamente nel tempo, dal punto materiale osservato, si ottiene una linea continua che indicherà la *traiettoria* del moto in esame. Essa potrà essere *rettilinea*, se tutti i suoi punti appartengono ad una retta; *piana*, se tutti i suoi punti appartengono ad un piano; diversamente la traiettoria si collocherà *nello spazio*.

1.3 LA LEGGE DEL MOTO

Le leggi del movimento, che s'incontrano nell'*infortunistica stradale*, secondo le quali i protagonisti si muovono prima, durante e dopo l'incidente, possono essere schematizzate, come segue:

- **moto uniforme** = tipico di un veicolo procedente secondo un movimento a regime, durante il quale la velocità è costante:

$$V = \text{costante} \quad \text{ed} \quad s = f(t)$$

- **moto uniformemente accelerato** (o decelerato) = mantenuto da un veicolo durante la fase di avviamento (non solo dalla posizione di quiete, ma anche se è già in movimento e ne venga aumentata o diminuita la velocità) o di arresto sotto frenatura: l'accelerazione (oppure la decelerazione) è costante, la velocità è variabile:

$$a = \text{costante} \quad \text{e} \quad V = f'(t)$$

- **moto vario** = che i veicoli mantengono nella realtà quotidiana, durante la circolazione stradale, ove, non solo la velocità, ma anche l'accelerazione è variabile:

$$V = f'(t) \quad \text{ed} \quad a = f''(t)$$

Per definire la posizione nello spazio di un punto *P*, in corrispondenza di un certo istante *t*, come si è visto, occorrono tre parametri; tuttavia, se conosciamo a priori la traiettoria già seguita, sarà sufficiente fare riferimento ad un solo parametro: lo spazio *s*, per definire esattamente la posizione del medesimo punto *lungo la traiettoria* suddetta, a condizione che sia fissata l'origine di essa, da cui partire per misurare *s*.

2 LA DINAMICA

2.1 LA DINAMICA

La **dinamica** studia gli effetti prodotti dalle **forze**, cioè studia la relazione intercorrente fra il movimento di un corpo e le cause che lo generano:

FORZA - LAVORO - POTENZA

Le **forze** sono entità fisiche la cui presenza viene evidenziata da certe loro conseguenze che, in genere, si manifestano sotto forma di spostamenti, deformazioni e rotture dei corpi ai quali esse sono applicate; come già detto, sono **grandezze vettoriali**, cioè individuabili allorché se ne conoscano: *intensità, direzione, verso* ed, in alcuni casi, il *punto di applicazione*.

Le forze sono capaci di sollecitare a muoversi i corpi cui esse siano applicate: con il prodursi di uno spostamento, si dice che la forza compie un **lavoro**, che viene, appunto, definito come il *prodotto della forza per lo spostamento*.

Anche gli **spostamenti** sono, a loro volta, grandezze **vettoriali** che possono essere studiate graficamente.

Il **lavoro**, al contrario, è una **grandezza scalare**, quantunque la sua entità venga data dal prodotto fra i *moduli* delle suddette due **grandezze vettoriali**.

Tanto premesso, allorché si studia il comportamento di un corpo che, mediante applicazione di una **forza**, è stato soggetto ad un determinato **spostamento**, occorre innanzitutto verificare se il movimento dello stesso corpo si è realizzato nella stessa direzione (e nello stesso verso) della forza o se i due **vettori** hanno formato tra loro un certo **angolo** φ .

Nella prima ipotesi che, in realtà, costituisce un caso particolare della seconda (in quanto, coincidendo direzioni e versi, l'angolo fra i medesimi vettori assume valore zero: $\varphi = 0$ e, quindi, $\cos \varphi = 1$), si avrà semplicemente:

$$L = F \cdot S$$

mentre, nella seconda ipotesi, avendo **forza** e **spostamento** direzioni differenti (con **angolo** φ diverso da zero e, quindi, $\cos \varphi < |1|$), il lavoro sarà dato da:

$$L = F \cdot S \cdot \cos \varphi$$

che, nella sostanza, costituisce la relazione di carattere generale.

Accanto a queste due ipotesi, occorre esaminare anche quelle in cui ciascuno dei **vettori**, sia della **forza** che dello **spostamento**, formi a sua volta un altro **angolo** rispetto ad una direzione di riferimento.

Al riguardo, si devono prima considerare distintamente i moduli dei due **vettori** (oltre a verificare se, fra le **direzioni** ed i **versi** degli stessi, esista un **angolo** φ diverso da zero), riferendoli entrambi alla direzione dell'asse (x) di orientamento del sistema (con il quale asse formeranno, rispettivamente, un **angolo** α ed un **angolo** $\beta = \alpha \pm \varphi$) e, successivamente, essi andranno moltiplicati fra loro.

Pertanto, nell'ipotesi di carattere generale, il lavoro sarà dato da:

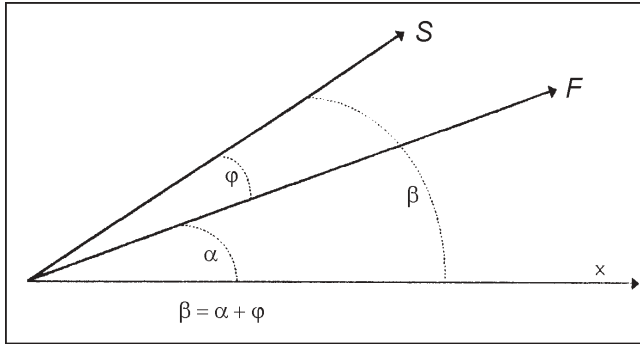
$$L = F \cdot \cos \alpha \cdot S \cdot \cos \beta = F \cdot \cos \alpha \cdot S \cdot \cos (\alpha \pm \varphi)$$

da cui, per le formule di addizione e sottrazione, avremo:

$$L = F \cdot \cos \alpha \cdot S \cdot (\cos \alpha \cdot \cos \varphi - \sin \alpha \cdot \sin \varphi) =$$

$$= F \cdot S \cdot (\cos^2 \alpha \cdot \cos \varphi - \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi)$$

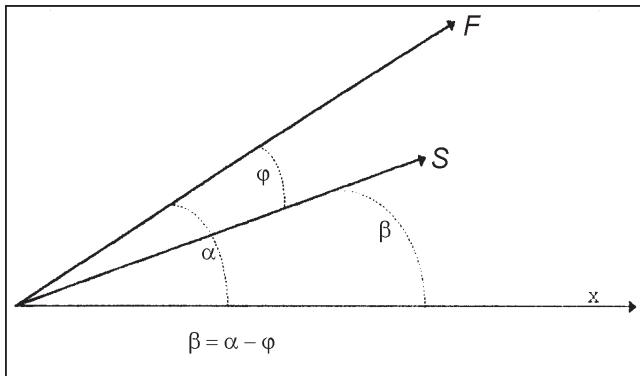
nel caso di $\beta = \alpha + \varphi$ (v. figura sottoriportata)



$$L = F \cdot \cos \alpha \cdot S \cdot (\cos \alpha \cdot \cos \varphi + \sin \alpha \cdot \sin \varphi) =$$

$$= F \cdot S \cdot (\cos^2 \alpha \cdot \cos \varphi + \cos \alpha \cdot \sin \alpha \cdot \sin \varphi)$$

nel caso di $\beta = \alpha - \varphi$ (v. figura sottoriportata)



mentre, nell'ipotesi particolare, in cui $\varphi = 0$ (direzioni e versi dei due vettori coincidano) e, quindi: $\cos \varphi = 1$ e $\sin \varphi = 0$, nonché: $\alpha = \beta$, il lavoro sarà dato da:

$$L = F \cdot \cos \alpha \cdot S \cdot \cos \alpha = F \cdot S \cdot \cos^2 \alpha$$

Relativamente a quest'ultima ipotesi (la quale, come appresso si vedrà, risulta essere la più frequente soprattutto nell'esame delle quote parti di lavoro che subentrano nell'equazione del bilancio energetico), si puntualizza che, in sostanza, sia il **vettore forza** (F) che il **vettore spostamento** (S) costituiscono, rispettivamente, risultanti di altre forze e di altri spostamenti, a loro volta componenti. Di queste ultime componenti, vengono poi considerati i vettori (che, in sostanza, interessano per le finalità di calcolo) la cui direzione coincide con quella fondamentale di orientamento del sistema, il prodotto dei cui moduli

3

LA FRENATURA

3.1 LA FRENATURA

Si dice che **una forza compie un lavoro, quando essa determina lo spostamento del punto di applicazione**; il lavoro si esprime attraverso il prodotto della forza per lo spazio percorso ($L = F \cdot S$). Se lo spostamento si realizza secondo un *angolo* φ rispetto alla direzione della *forza*, esso si verifica anche in funzione del *coseno* di detto angolo:

$$L = m \cdot g \cdot r \cdot S$$

ovvero:

$$L = m \cdot g \cdot r \cdot S \cdot \cos \varphi$$

Dicesi energia l'attitudine di un corpo a compiere lavoro; ***l'energia cinetica*** (o forza viva) **è l'attitudine a compiere lavoro, che un corpo possiede per effetto del suo stato di moto.**

Se un corpo di massa m , inizialmente in quiete, è soggetto ad una forza che lo muove per un certo spazio, senza altre forze contrapposte, la velocità della massa cresce sempre; per ottenere ciò, si spende un certo lavoro, il cui valore è dato dal prodotto della forza per lo spazio percorso.

In cambio di tale lavoro, il corpo acquista una velocità tale che, prima di ridursi nuovamente allo stato di quiete, gli consente di produrre un lavoro uguale a quello assorbito. Questa attitudine a restituire lavoro non dipende solo dalla velocità, ma anche dalla massa del corpo stesso; essa è ***l'energia cinetica***.

$$L = F \cdot S$$

ma: $F = m \cdot a$ ed $S = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$

pertanto:

$$E_c = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot a^2 \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

L'energia cinetica, posseduta da un corpo, **è direttamente proporzionale alla massa ed al quadrato della velocità**; essa, alla stessa stregua del lavoro, viene espressa con la medesima unità di misura che, nel Sistema Tecnico, è denominata chilogrammetro (kgm), mentre, nel Sistema Internazionale, è chiamata joule (J).

Ai fini della frenatura di un veicolo di *massa* m , lanciato alla *velocità* v , occorrerà trasformare e, quindi, dissipare l'*energia cinetica*, da esso posseduta, in energia termica, compiendo un lavoro di resistenza volontaria all'avanzamento stesso. L'entità di tale lavoro è in relazione all'efficienza dei freni, all'*attrito* (sotto il duplice possibile aspetto *statico* e *cinetico*) e ad altri elementi che possono ridurre od aumentare l'efficacia dell'azione frenante (es. la pendenza della strada).

Questo lavoro si opporrà all'avanzamento del veicolo fino a quando esso possiederà energia cinetica; pertanto:

$$L_f \text{ (lavoro frenante fino all'arresto)} = E_c \text{ (energia cinetica)}$$

da cui:

$$m \cdot g \cdot r \cdot S = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

laddove, semplificando e risolvendo, si ottiene la formula della frenatura relativa allo spazio S data da:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot r \cdot S}$$

relativamente alla quale, il prodotto: " $g \cdot r$ " rappresenta, come più avanti si vedrà, il valore della *decelerazione "d"* che interviene nella frenatura, laddove:

g = costante di accelerazione gravimetrica, pari a $9,8 \text{ m/s}^2$

r = coefficiente di attrito cinetico (frenata radente), ovvero di attrito statico (frenata volvente), secondo i casi.

3.1.1 Casistica esemplificativa

Esempio: il conducente di un autoveicolo, ponendo in essere una energica azione frenante, riesce ad arrestarne la marcia (senza collidere o addivenendo ad una collisione di lievissima entità, tanto da potersi trascurare); sul manto stradale, asciutto e con andamento pianeggiante (o con pendenza irrisoria e, quindi, ininfluyente), vengono rinvenute tracce gommose di frenata, impresse da pneumatici in buone condizioni, estese 66 metri.

Le caratteristiche del veicolo suddetto sono le seguenti:

- massa: $m_a = 700 \text{ kg}$;
- coefficiente di forma: $K = 1$;
- sezione maestra: $A = 1,25 \text{ m}^2$;
- la densità dell'aria: $\delta = 0,12$.

Si vuole conoscere qual'era la verosimile velocità del veicolo nel momento in cui le ruote, bloccate dalla morsa del freno, hanno incominciato a strisciare sul piano viabile, lasciandovi impresse le orme dei propri pneumatici.

Soluzione:

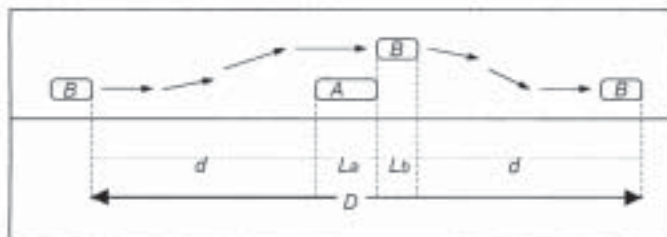
$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,60 \cdot 66} = \sqrt{776,16} = 27,8 \text{ m/s}$$

$$V = 27,8 \text{ m/s} \cdot 3,6 = 100 \text{ km/h circa.}$$

Il coefficiente di *attrito cinetico*, più appropriato al caso, è stato desunto dall'apposita tabella (più avanti riportata), procedendo per tentativi, in relazione alla *velocità media* di 50 km/h , alla quale corrisponde il valore di: $r = 0,58$; tale valore viene arrotondato a $0,60$ in considerazione delle varie resistenze esterne (costituenti, nel loro complesso, la cosiddetta resistenza alla trazione in orizzontale ed in rettilineo, di cui si è parlato in precedenza), con un incremento dello $0,02$ calcolato come segue:

$$R_t = (15 \cdot 0,7 + 1 \cdot \frac{0,12 \cdot 13,9^2}{2} \cdot 1,25) = (10,5 + 14,49) = 24,99$$

che, diviso per 1000 (1 ton = 1000 kg), è pari a: $0,02$ circa (omettendo di prendere in considerazione le cifre dalla millesimale in poi).



pertanto:

$$D = 2 \cdot d + L_a + L_b + S.$$

Indicate con:

V_a = la velocità mantenuta dal veicolo sorpassato

V_b = la velocità mantenuta dal veicolo sorpassante

in base alle leggi del moto uniforme, avremo le seguenti equazioni che esprimeranno il valore del tempo t di durata del sorpasso:

$$t = \frac{S}{V_a} \qquad t = \frac{D}{V_b}$$

L'equazione dello spazio D , necessario al veicolo B (sorpassante) per compiere con sicurezza la manovra completa nel tempo t , può essere scritta così come segue:

$$S = D - (2 \cdot d + L_a + L_b)$$

ma, sapendo che:

$$\frac{S}{V_a} = \frac{D}{V_b}$$

si ha:
$$\frac{D - (2 \cdot d + L_a + L_b)}{V_a} = \frac{D}{V_b}$$

da cui:

$$D \cdot V_b - D \cdot V_a = (2 \cdot d + L_a + L_b) \cdot V_b$$

e, quindi:

$$D \cdot (V_a - V_b) = (2 \cdot d + L_a + L_b) \cdot V_b$$

dalla quale si ottiene la formula che permette di calcolare l'entità dello spazio complessivo necessario per il sorpasso:

$$D = (2 \cdot d + L_a + L_b) \cdot \frac{V_b}{V_b - V_a}$$

Se poi esaminiamo il *tempo (i) psicotecnico*, necessario al conducente

RICERCA POSTUMA DELLA VELOCITÀ

4.1 RICERCA POSTUMA DELLA VELOCITÀ NELL'INFORTUNISTICA STRADALE

La ricerca postuma della velocità, con la quale un veicolo procedeva negli istanti immediatamente antecedenti un sinistro stradale, costituisce un problema che, sebbene si ponga in termini tutt'altro che perfetti, mediante la più corretta impostazione degli appropriati procedimenti scientifico-matematici di calcolo e l'utilizzazione, con il massimo rigore possibile, dei dati oggettivi disponibili, consente di pervenire a risultati che si avvicinano di molto alla verità, quantomeno con l'individuazione dell'**ordine di grandezza** della velocità ricercata, circoscrivibile entro un accettabile campo di approssimazione.

Ai fini della ricostruzione di un sinistro, anche per i conseguenti riflessi di ordine giuridico, l'errore ipotizzabile (qualche chilometro orario in più od in meno) mentre, da una parte, non inficia la bontà dei procedimenti matematici seguiti, dall'altra, ha poca rilevanza nelle ipotesi in cui si pervenga a risultati che quantifichino valori di velocità decisamente superiori ai limiti massimi che, al contrario, andavano rispettati da parte dei conducenti.

Per tali finalità, molto spesso, si fa leva sulla misura delle tracce di frenata, lasciate impresse dai pneumatici dei veicoli sul manto stradale, ponendo le stesse in relazione a determinati **coefficienti**, desunti da apposite tabelle sperimentali, che forniscono i valori più plausibili delle varie specie di attrito che intervengono nella frenatura degli autoveicoli con ruote gommate. Questi valori, fra i quali scegliere, di volta in volta, quello ritenuto più appropriato al caso concreto in esame, sono frutto di lunghi studi, ricerche e verifiche nella realtà dei moti veicolari, operati da insigni studiosi in tale campo.

Si precisa, al riguardo (come peraltro evidenziato dall'Ingegnere Paolino Ferrari nella sua opera: "Infortunistica Stradale Scientifica"), che il coefficiente di attrito, variando consistentemente (in funzione inversa) secondo la stessa velocità, deve essere scelto in maniera appropriata **in relazione alla velocità media fra quelle che sussisteranno all'inizio ed al termine degli spazi esaminati nel problema da risolvere**. Stabilita (assumendo anche valori provvisori di essa) la velocità a livello medio, si deve quindi operare la ricerca del valore corrispondente alla qualità dell'attrito, anche in relazione alle condizioni della strada e dei pneumatici, che fa al caso.

Tuttavia, poiché il valore del coefficiente in questione è funzione, come innanzi accennato, proprio della nostra incognita: *la velocità*, occorrerà stimare ed assumere, inizialmente, un valore provvisorio da sottoporre, in un secondo momento, a verifiche di calcolo, allo scopo di individuare (procedendo per tentativi) quello più plausibile.

In sostanza, la velocità viene calcolata sulla base del presupposto scientifico-sperimentale che un veicolo, prima di arrestarsi, percorre, in decelerazione, spazi la cui entità è legata ad alcune fasi di movimento, fra le quali le più importanti sono state individuate come qui di seguito specificato.

Intervallo di reazione psicotecnica, comprensivo dei tempi di reazione psicofisica del conducente e tecnico, quest'ultimo dovuto alla *corsa-gioco* del

pedale del freno, il tutto intercorrente fra il momento della *percezione del pericolo*, che esige l'effettuazione della manovra di frenata, e l'istante in cui entra in funzione il sistema frenante del veicolo.

Gli esperti nel settore, sulla scorta dei dati ricavati dalla ricostruzione di molteplici incidenti stradali, influenzati soprattutto dalla repentinità di reazione, sono giunti a valutare il *tempo di reazione psicotecnica*, riferito al conducente medio, intorno al valore di **1 minuto secondo**.

Durante tale intervallo, la decelerazione del veicolo è dovuta all'azione ritardatrice esercitata dal motore e dagli organi annessi, nel gergo tecnico definita *freno motore*, cui va ad aggiungersi quella connessa alla resistenza dell'aria, alla resistenza al rotolamento delle ruote e ad altre resistenze minori.

Prove sperimentali al riguardo hanno consentito di ricavare che il valore relativo a tale decelerazione, con motore in presa diretta su strada piana e pavimentata, in via approssimativa corrisponde, in metri al secondo per secondo (m/s^2), mediamente a 10/1000 della velocità espressa in chilometri orari per velocità superiori ai 50 km/h e ad 11/1000 per velocità inferiori.

Ai fini di una maggiore praticità, può anche ritenersi che tale decelerazione, nelle medesime condizioni di marcia innanzi specificate, abbia i seguenti valori:

- autocarri ed autobus con motore diesel 0,90 ÷ 2,00 m/s^2
- autovetture ordinarie 0,80 ÷ 1,50 m/s^2
- motocicli e ciclomotori 1,00 ÷ 1,50 m/s^2

laddove, i valori minimi sono relativi a basse compressioni del motore ed a velocità elevate, quelli massimi per condizioni opposte.

Frenata volvente, che si pone in relazione allo spazio percorso durante il tempo intercorrente fra l'istante in cui le ruote soggiacciono alla stretta del freno e quello in cui queste, cessando di volvere, si bloccano e cominciano a strisciare al suolo, lasciandovi impressa l'orma dei pneumatici.

Infatti, anche con azioni di massima rapidità e violenza, le ruote non riescono mai a bloccarsi nell'istante medesimo in cui il freno entra in funzione; per tale ragione, nell'assumere la lunghezza dello spazio di frenatura ai fini del calcolo postumo della velocità, occorre prendere in esame anche l'entità dello spazio percorso durante questo intervallo temporale. Esso, nel contesto di frenate di emergenza, caratterizzate da subitanità e violenza, risulta essere generalmente brevissimo: entro l'ordine dei 10/100 ÷ 50/100 di *secondo*.

In condizioni di grado medio, il tempo relativo alla frenatura cosiddetta *invisibile*, durante la quale, cioè, i pneumatici non lasciano tracce e che risulta la più efficace (sia per la qualità che per l'entità della decelerazione che interviene: si pensi ai modernissimi sistemi ABS), in quanto caratterizzata da *attrito di specie statica entro il limite dell'aderenza delle gomme al suolo* (detto anche *al distacco*), viene valutato, secondo un procedimento empirico, approssimativamente pari, in secondi, al valore ottenuto operando il quoziente fra il quadrato della stessa velocità media, in *metri al secondo* (m/s), intervenuta nel tratto interessato, ed il denominatore numerico "100".

Ciò posto, l'entità dello spazio percorso sotto frenatura volvente, senza tracce gognose visibili sul manto stradale, viene calcolato, in termini medi, attraverso l'applicazione della ben nota formula:

$$S = V_m \cdot t$$

5

PRINCIPI DI CONSERVAZIONE DELLE QUANTITÀ DI MOTO E DELL' ENERGIA

5.1 DETERMINAZIONE DELLA VELOCITÀ MEDIANTE APPLICAZIONE DEI PRINCIPI DI CONSERVAZIONE DELLE QUANTITÀ DI MOTO E DELL' ENERGIA

In base al **terzo principio della dinamica**, definito da Isaac Newton *principio delle azioni e reazioni*, se un corpo esercita, su di un altro corpo, una forza (azione), quest'ultimo esercita, sul primo, un'altra forza, di uguale intensità e direzione della prima, ma di verso opposto (reazione); ovvero: **"ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria"**; pertanto, conoscendo l'azione, si può determinare la reazione e viceversa.

Da tale principio discendono due altri principi, concettualmente equivalenti, che prendono, rispettivamente, il nome di: *Principio di Conservazione dell'Energia* e *Principio di Conservazione delle Quantità di Moto*, leggi fisiche queste sintetizzate in una famosissima affermazione, secondo la quale, in natura, **"nulla si crea e nulla si distrugge, tutto si trasforma"**.

I due principi citati si pongono, in relazione alla terza legge della dinamica, come le due distinte facce della stessa medaglia.

Un corpo possiede *energia* quando è in grado di compiere *lavoro* e la misura di questo lavoro è anche la misura dell'energia; al tempo stesso, il lavoro è l'indice di una trasformazione di energia da una forma in un'altra.

In Natura esistono molteplici forme di energia che, pur degradandosi dal punto di vista qualitativo, sono convertibili l'una nell'altra: energia *nucleare*, energia *chimica*, energia *meccanica*, energia *elastica*, energia *elettrica*, energia *luminosa*, energia *termica*.

In particolare, poi, l'*energia meccanica* può presentarsi sotto due distinte forme: *energia cinetica* ed *energia potenziale*.

L'*energia cinetica* è quella posseduta da un corpo in movimento che, per effetto della sua velocità, può compiere lavoro e (come già detto per l'energia in genere) la sua misura viene data, nel caso specifico, dal lavoro che il corpo compie per arrestarsi; parimenti, la misura dell'energia cinetica è anche espressa dal lavoro che è necessario compiere, dall'esterno, per mettere in movimento il corpo fino al raggiungimento di una determinata velocità.

L'*energia potenziale* è quella posseduta da un corpo, indipendentemente dal proprio stato di moto, e si distingue in energia di *forma* (es.: posseduta da una molla compressa) ed in energia di *posizione* (es.: posseduta da una massa che si trova ad una certa altezza e che è in grado di compiere lavoro, grazie alla sua forza-peso, durante la caduta); per distinguerla da altre forme di energia, quest'ultima viene anche definita *energia potenziale gravitazionale*, la cui misura è data dal lavoro del peso del corpo, cioè dal lavoro della forza gravitazionale con cui il corpo è attratto dalla terra.

In base, poi, al **secondo principio della dinamica**, definito da Galileo Galilei *principio degli effetti*, ogni *forza* applicata ad un corpo materiale libero, imprime a quest'ultimo, in ogni istante, un'***accelerazione vettoriale, direttamente proporzionale all'intensità della forza stessa ed inversamente***

proporzionale all'entità della massa del corpo, avente la stessa direzione e lo stesso verso della forza suddetta:

$$F = m \cdot a$$

che, in sostanza, produce:

- *dinamicamente*: accelerazioni, decelerazioni e deviazioni;
- *staticamente*: deformazioni e rotture.

Forze diverse, agenti sullo stesso corpo, imprimono a questo accelerazioni proporzionali alle forze stesse e le loro azioni si sovrappongono reciprocamente senza alterarsi.

Quindi, in virtù del *secondo principio* della dinamica, la forza "F", agendo sul corpo di massa "m", ne determina l'accelerazione "a" di cui alla seguente relazione:

$$a = \frac{F}{m}$$

se, poi, tale forza costante agisce per un intervallo di tempo "t", al termine dello stesso, il corpo avrà assunto una velocità "v"; in sostanza, è intervenuto sul corpo un *impulso* dato dal prodotto fra la forza costante applicata ed il valore del tempo di azione:

$$\text{impulso} = F \cdot t$$

per effetto del quale, il corpo medesimo avrà acquistato una velocità:

$$v = a \cdot t \quad \text{da cui:} \quad a = \frac{v}{t}$$

ma, sapendo che:

$$F = m \cdot a \quad \text{da cui:} \quad a = \frac{F}{m} \quad \text{si ha:}$$

$$\frac{v}{t} = \frac{F}{m}$$

dalla quale si ottiene:

$$F \cdot t = m \cdot v$$

il secondo membro di questa equazione, secondo la definizione data da Cartesio, prende il nome di **Quantità di Moto** che la forza "F" ha impresso al corpo, originariamente inerte, di massa "m" nell'intervallo di tempo "t", facendogli raggiungere la velocità "v".

La *quantità di moto*, che è data dal prodotto del valore della massa di un corpo per quello della velocità da questo posseduta, impressa al corpo medesimo da una forza costante, **è uguale all'impulso della forza stessa**.

Inoltre, in virtù del già menzionato *terzo principio* della dinamica, se un corpo *agisce* su di un altro con una forza "F" e per un tempo "t", quest'ultimo reagisce sul primo, entro lo stesso intervallo di tempo, con una forza uguale e contraria; ciò sta a significare che si avrà uguaglianza di impulso (forze uguali agiscono, per tempi uguali, sui due corpi considerati) e, conseguentemente,

$$\frac{1}{2} \cdot 1300 \cdot w_a^2 = 2230 \cdot 9,8 \cdot 0,70 \cdot 22 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1300 \cdot 930}{1300 + 930} \cdot (1 - 0) \cdot (w_a - 0)^2$$

$$(650 - 271) \cdot w_a^2 = 336551,6 \text{ J}$$

$$w_a = \sqrt{\frac{336551,6}{379}} = \sqrt{887,9989} = 29,799 \text{ m/s} = 107 \text{ km/h circa}$$

Esempio n. 2: tra veicoli in movimento secondo *direzioni ortogonali* fra loro: siano A e B due veicoli entrati in collisione, aventi massa, rispettivamente:

$$m_a = 1200 \text{ kg} \quad m_b = 1375 \text{ kg}$$

i quali, dopo l'urto, risultano aver percorso, solidalmente con massa unica ($m_u = m_a + m_b = 2575 \text{ kg}$), un tragitto di 14 metri con attrito radente (cinetico), su strada asfaltata asciutta.

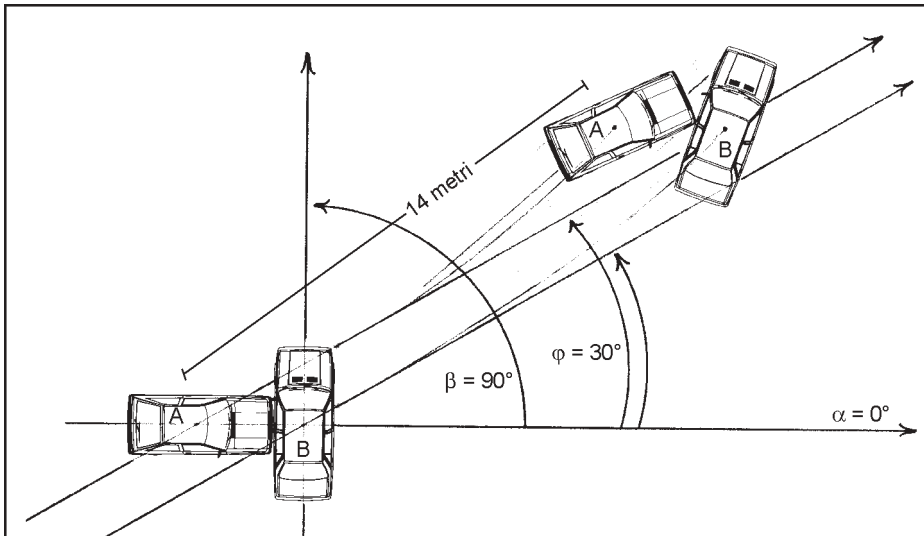
Dallo studio grafico, effettuato sull'elaborato planimetrico in scala, emerge che si è trattato di un urto centrale obliquo (laterale) e, rispetto all'asse fondamentale di riferimento (orientamento del sistema), vengono determinati i seguenti angoli:

$\alpha = 0^\circ$, $\beta = 90^\circ$ e $\varphi = 30^\circ$, i valori delle cui funzioni trigonometriche sono:

$$\text{sen } \alpha = 0 \quad \text{cos } \alpha = 1 \quad \text{cos}^2 \alpha = 1$$

$$\text{sen } \beta = 1 \quad \text{cos } \beta = 0 \quad \text{cos}^2 \beta = 0$$

$$\text{sen } \varphi = 0,5 \quad \text{cos } \varphi = 0,866 \quad \text{cos}^2 \varphi = 0,75$$



Urto centrale obliquo fra due veicoli in movimento secondo direzioni ortogonali e versi convergenti, con comportamento totalmente anelastico

RIFLESSI DI ORDINE GIURIDICO

6.1 GLI ASPETTI SCIENTIFICI DELL' INFORTUNISTICA STRADALE ED I LORO RIFLESSI DI ORDINE GIURIDICO

Il denominatore comune degli obblighi, divieti e limitazioni imposti dalle norme sulla circolazione stradale, è quello legato all'irrinunciabile principio secondo cui qualsiasi utente della strada è tenuto a servirsi di essa, quale bene pubblico, armonizzando il proprio esercizio d'uso con quello degli altri.

Il Titolo V del Codice della strada detta le regole che ogni utente deve conoscere ed osservare durante la circolazione stradale; il complesso di tali precetti, definiti "**Norme di Comportamento**", costituisce la disciplina primaria del "**diritto della circolazione**", in quanto presiede alla regolamentazione giuridica di tutte le manovre che, ordinariamente, la circolazione stradale comporta.

Fra quelle più strettamente connesse alla sicurezza della circolazione, assume importanza determinante la disciplina giuridica della **velocità** (articoli 141 e 142), della **distanza di sicurezza** (articolo 149), della **precedenza** (articolo 145), della **posizione dei veicoli sulla carreggiata** e dei **cambi di corsia o di direzione** (articoli 143 e 154), del **sorpasso** (articolo 148); ogni sinistro stradale è la conseguenza tangibile di una o più violazioni di tali norme, prima fra tutte quella concernente la velocità.

In concomitanza a qualsiasi manovra illegittima o, comunque, anomala, che possa essere compiuta da chicchessia, sarebbe appena sufficiente regolare la velocità in conformità al dettato normativo previsto dall'art. 141 del CDS, per scongiurare l'accadimento o, quanto meno, limitare l'entità delle sue conseguenze dannose. Infatti, qualora i conducenti riuscissero a regolare la velocità dei veicoli, tanto da conservarne il controllo ed essere in grado di compiere tutte le manovre necessarie in condizioni di sicurezza (in special modo, l'arresto tempestivo del mezzo entro i limiti del proprio campo di visibilità e dinanzi a qualsiasi ostacolo prevedibile), le problematiche connesse al fenomeno infortunistico stradale risulterebbero decisamente limitate entro dimensioni senza dubbio non così allarmanti, come quelle che quotidianamente è dato di constatare.

La velocità viene giuridicamente esaminata sotto due profili: quello "qualitativo" ne considera l'adeguatezza rispetto alle circostanze in cui si svolge la circolazione ed alle molteplici condizioni, oggettive e soggettive, che il conducente deve tenere in debito conto durante la guida; quello "quantitativo" concerne, invece, i limiti della stessa, in termini puramente numerici, che non possono essere in ogni caso superati.

In sostanza, mentre la disciplina contenuta nell'articolo 141 costituisce una norma cosiddetta "elastica", che presuppone una valutazione, da operarsi caso per caso, circa la pericolosità del comportamento tenuto dal conducente, il dettato contenuto nell'art. 142 costituisce una norma cosiddetta "rigida", la quale va rispettata in assoluto come tale e prescinde da qualsivoglia giudizio di merito.

Si chiarisce che le "**norme rigide**" sono costituite da *precetti nei quali*

l'elemento del pericolo è ritenuto sempre sussistente, immanente nel comportamento vietato; la legge non ha, pertanto, condizionato l'osservanza di tali norme in relazione all'esistenza di un pericolo concreto; questo viene aprioristicamente presunto. Tale è l'art. 142. Al contrario, le "**norme elastiche**" prevedono comportamenti che, in taluni casi, possono essere pericolosi e quindi vietati, in altri casi, possono non esserlo; per essi, la norma impone il conseguente divieto solo nell'ipotesi in cui il pericolo sia concretamente sussistente. Tale è l'art. 141.

Pertanto, da una parte, la velocità di marcia dei veicoli, elevata o ridotta che sia, deve essere sempre tale che venga evitato ogni pericolo per la sicurezza delle persone e delle cose ed ogni altra causa di disordine per la circolazione (art. 141/1° comma del CDS), dall'altra, a prescindere dalla concreta pericolosità, i limiti massimi imposti non devono mai essere valicati (art. 142 del CDS).

Ne discende che, mentre la velocità può essere maggiore o minore, pericolosa o non, in relazione alle diverse situazioni di traffico (norma elastica), il superamento dei limiti, comunque vietato, o c'è o non c'è (norma rigida).

Nell'ambito della fenomenologia infortunistica, la velocità assume fondamentale rilevanza e costituisce un parametro suscettibile, non solo di determinare, ma anche di aggravare, fino alle estreme ed irreparabili conseguenze, qualsiasi evento, a volte anche del tutto banale.

Per comprendere adeguatamente la grande portata del problema, è sufficiente riflettere sul dato scientifico, secondo cui l'energia cinetica, che si scarica negli urti, è "funzione quadratica" (e non lineare) del valore della velocità; vale a dire che, a parità di altre condizioni, in sede di collisione, se una velocità di indice 10 incide con una quantità di energia cinetica pari a 100, una velocità doppia (cioè di indice 20) non incide in misura doppia, bensì con il quadruplo di energia cinetica (pari a ben 400); una velocità di indice 30 determina effetti dovuti ad una quantità di energia cinetica di valore pari a ben 900 (nove volte superiore rispetto alla prima ipotesi); e così via.

Si tratta, quindi, di valori che aumentano secondo una progressione crescente, tale che, se rappresentassimo in un grafico la relazione intercorrente fra velocità ed energia cinetica, il relativo diagramma consisterebbe in una "curva di tipo esponenziale".

Non a caso il legislatore ha inteso dedicare, alla disciplina giuridica della velocità, due corposi articoli che, a parere di chi scrive, sono da ritenersi formulati in maniera esaustiva e tali da soddisfare, se debitamente rispettati dai conducenti, l'esigenza primaria di una circolazione il più possibile sicura.

Alla luce di tale disciplina, fermo restando l'obbligo di rispettare le limitazioni imposte, è necessario che ogni conducente conosca bene il veicolo condotto, il suo funzionamento e le sue prestazioni, tenga conto delle condizioni della strada e del traffico, ed adegui la propria condotta di guida anche in relazione a quegli eventi negativi prevedibili, per essere sempre in grado di prevenirli anche grazie all'arresto tempestivo del veicolo entro gli spazi liberamente osservati.

Questi precetti risultano perfettamente conformi al contenuto dell'art. 10 del Capitolo 2° della Convenzione di Ginevra del 1949 che così recita: "*ogni conducente di veicolo deve essere costantemente **padrone della velocità** del suo mezzo e guidare in maniera ragionevole e prudente; egli deve rallentare o fermarsi tutte le volte che le circostanze lo richiedano, specialmente allorquando la visibilità non è buona*".