

CONVEGNO ASAIS
BOLOGNA, 01 DICEMBRE 2012

Determinazione sperimentale
del tempo tecnico e della decelerazione
in frenate d'emergenza

Alfonso Micucci*, Mattia Strangi**

1. SOMMARIO

La presente relazione illustra gli esiti di una campagna prove condotta con l'obiettivo primario di verificare, su base sperimentale, il tempo tecnico necessario all'attivazione dell'impianto frenante in autovetture sottoposte ad arresto in condizioni di emergenza¹, nonché la successiva decelerazione massima sviluppata.

A tal fine sono state attrezzate, con idonea strumentazione, alcune autovetture rappresentative – per quanto possibile – del parco attualmente circolante e sono state condotte una serie di frenate d'emergenza, su diverse tipologie di pavimentazione (asfalto, erba, cemento, ghiaio e relative combinazioni) e con diverse condizioni ambientali (inverno con ambiente umido, termine dell'estate con ambiente asciutto). I dati rilevati sono risultati convergenti con quanto già espresso in letteratura [3].

2. RICHIAMI DI TEORIA DELLA FRENATURA AUTOMOBILISTICA

Lo studio è svolto nell'alveo dell'attività tipica dell'analista ricostruttore cinematico, il cui compito è spesso risalire al régime di marcia imperturbata dei conducenti venutisi improvvisamente a trovare di fronte ad un pericolo.

Come noto, in tale scenario, tra avvistamento dell'incipiente pericolo e raggiungimento della massima decelerazione, che nei veicoli delle precedenti generazioni era palesata dalla frequente insorgenza di una o più tracce gommose di frenatura radente, intercorre un certo tempo psicotecnico, dato dalla somma del tempo di percezione e

¹ Ovvero con azionamento rapido e contestualmente fino alla massima efficienza.

reazione² del conducente t_{pr} e del tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante t_t .

Il primo addendo t_{pr} decorre dalla visione del pericolo e fino all'inizio dello schiacciamento del pedale del freno. La sua quantificazione esula dalla presente memoria, essendo peraltro già oggetto di precedenti studi [2]. Durante tale primo intervallo l'efficienza della frenatura è nulla non essendosi ancora avuto azionamento dell'impianto, ma l'autovettura manifesta già una prima limitata decelerazione d , data dal freno motore e dalle resistenze al moto R (aerodinamica, resistenza al rotolamento, resistenza in curva ed effetto dell'eventuale pendenza della strada).

Il secondo addendo t_t , oggetto della presente indagine, decorre dalla pressione sul pedale, che corrisponde all'accensione delle luci di arresto, e fino al raggiungimento della massima decelerazione. In tale fase si ha lo schiacciamento della leva verso il fine corsa e, conseguentemente, la ripresa dei giochi nella catena di azionamento ed il progressivo incremento della forza frenante H sviluppata dall'impianto, con analogo progressivo incremento dell'efficienza della frenatura e , essendo questa definitiva come rapporto tra forza frenante scambiata nell'orma di contatto pneumatici-suolo e forza peso P [1]:

$$e = \frac{H}{P}.$$

Lo sviluppo della forza frenate comporta un incremento della decelerazione d , secondo la seguente relazione:

$$d = \frac{e P + R}{m(1 + \mu)},$$

dove m è la massa gravitazionale contingente del autovettura e μ è un parametro che tiene conto della presenza, all'interno del mezzo, di masse rotanti con moto correlato a quello di avanzamento (essenzialmente ruote, ingranaggi della trasmissione, giunti, volano, albero motore)³.

² Più precisamente, tempo PIEV, acronimo di Percezione, Intelligenza, Emotività, Volontà. Nelle situazioni improvvise e/o impreviste le componenti che producono il maggior aumento del tempo PIEV sono l'Intelligenza (ovvero la comprensione di quello che sta accadendo o che può succedere - susseguente alla percezione, che appartiene alla sfera puramente fisica - ed individuazione della manovra più idonea) e l'Emotività (stato d'animo conseguente alla cognizione del pericolo, che ritarda l'attuazione della manovra, comandata dalla volontà). In altre parole si può dire che l'esitazione, più o meno lunga, che intercorre tra la percezione del pericolo e l'attuazione della manovra d'emergenza dipende dal combinato Intelligenza + Emotività.

³ Dati sperimentali mostrano che:

$$\mu = 0,04 + a m^2 10^{-3},$$

Di norma, nella pratica professionale per semplicità si considerano trascurabili sia R che μ . Essendo poi $P = m \cdot g$, si può scrivere che:

$$d \cong e \cdot g,$$

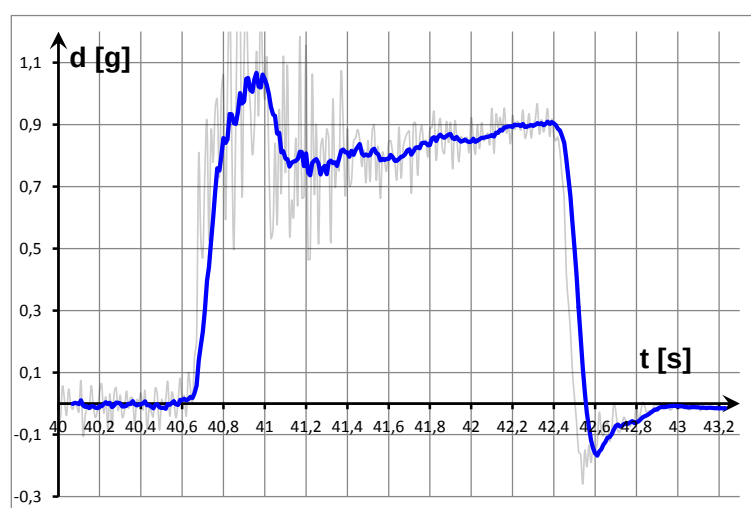
dove $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità.

Durante tale tempo tecnico t_t , si può assumere, sempre nell'ottica della semplificazione ed in linea con le emergenze sperimentali, che la decelerazione cresca linearmente da zero fino al valore massimo d_m , il quale viene raggiunto nell'ambito di uno spazio

$$S = v \cdot t_t - \frac{1}{4} d_m \cdot t_t^2,$$

dove v è la velocità all'inizio della frenatura. Se successivamente si manifestano tracce gommose di frenatura radente, lo spazio indicato assume la comune denominazione di 'frenatura pre-tracciante'.

La fase successiva al raggiungimento della massima decelerazione d_m si differenzia in funzione dell'allestimento o meno dell'autovettura con dispositivo ABS.



**Figura 1: Diagramma della decelerazione relativo alla prova n° 06 del 18/02/2012
(frenata Alfa Brera su asfalto umido a 55 km/h, con ABS disattivato).**

L'area sottesa dal grafico rappresenta l'integrale decelerazione/tempo, ovvero la riduzione di velocità, oggetto di studio nelle ricostruzioni cinematiche.

In un'autovettura sprovvista di ABS funzionante, raggiunta la massima decelerazione si ha la 'rottura dell'aderenza' e conseguentemente il blocco delle ruote, generalmente anteriori in conseguenza di una esplicita scelta progettuale effettuata relativamente alla ripartizione della forza frenante tra avantreno e retrotreno, con subentro dell'attrito radente e contrazione puntuale della decelerazione anche del 20%.

dove $a = 2 \div 3$ a seconda del tipo di motore e di cambio.

A seguire la decelerazione manifesta oscillazioni contenute ed andamento sub-orizzontale fino all'arresto, con pendenza più o meno accentuata a seconda che prevalga l'allargamento dell'orma di contatto per abrasione delle superficie del battistrada e/o il riscaldamento dello pneumatico e/o l'incremento dell'attrito radente per riduzione della velocità.

In caso di disponibilità del grafico è possibile determinare d_m come ordinata di compenso del tratto superiore al valore corrispondente al minimo che si manifesta in occasione della transizione da aderenza ad attrito (cfr. linee orizzontali in Figura 2), nonché t_t come tempo intercorrente tra avvio della decelerazione ed intercetta di d_m .

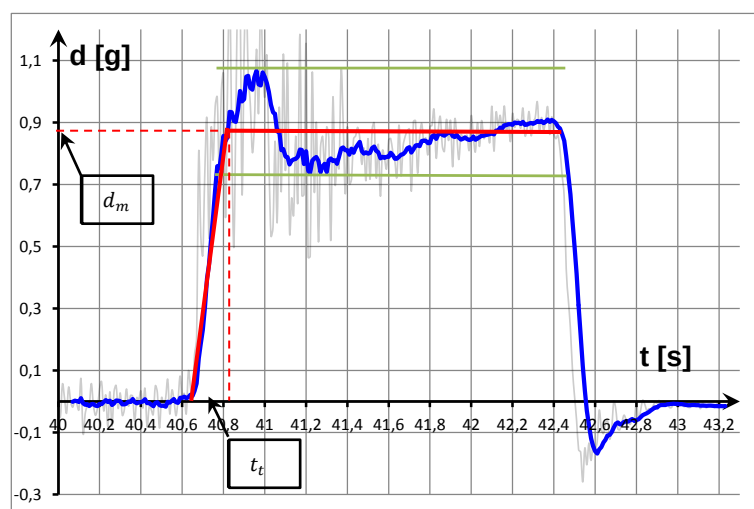


Figura 2: Esempio di determinazione su base grafica della decelerazione massima d_m e del tempo tecnico t_t .

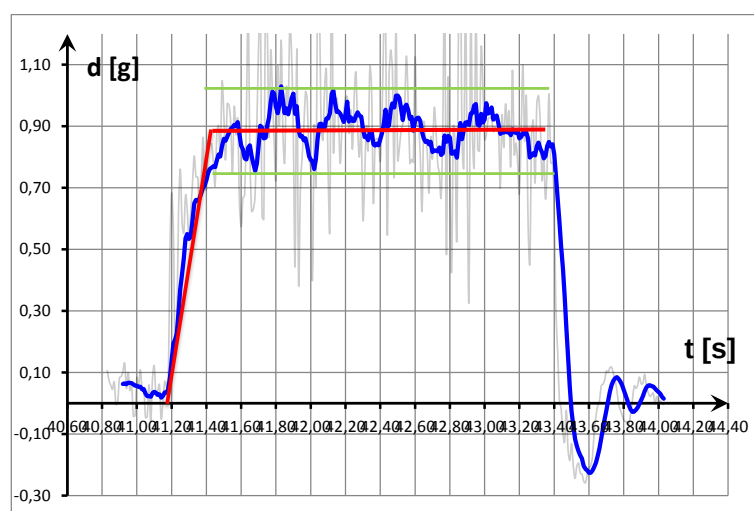


Figura 3: Diagramma della decelerazione relativo alla prova n° 08 del 19/09/2012 (frenata VW Polo su asfalto asciutto a 71 km/h). Si noti la chiara oscillazione dovuta all'intervento dell'ABS.

In un'autovettura allestita con ABS funzionante (cfr. Figura 3), all'atto della transizione da aderenza ad attrito, il correttore dinamico rilascia la pressione nel circuito di azionamento del freno favorendo un pieno recupero dell'aderenza, per poi tornare ad

incrementare la pressione stessa, il tutto con elevata frequenza. Per tale ragione il tratto successivo al raggiungimento della massima decelerazione presenta un andamento tendenzialmente oscillante, con periodo variabile in funzione delle caratteristiche dell'impianto ABS e del suolo.

In assenza del grafico della decelerazione e qualora disponibile una traccia gommosa di frenatura radente T^4 , è comunque possibile dedurre valori approssimati di t_t e d_m a partire dalla lunghezza complessiva dello spazio di frenata F percorso tra schiacciamento del pedale e fino al definitivo arresto dell'autovettura.

In tal caso si può assumere:

$$t'_t = \frac{2(F - T)}{2v - t'_t d'_m},$$

e

$$d'_m = \frac{v^2}{2T + t'_t v},$$

dove l'apice indica la diversa modalità di determinazione ed il maggior livello di approssimazione, non essendovi piena certezza dell'effettivo momento di insorgenza della scia gommosa⁵.

Trattasi di un sistema di due equazioni in due incognite, dalla cui soluzione si ottiene:

$$t'_t = \frac{F - 3T + \sqrt{5T^2 + F^2 - 2TF}}{v},$$

e

$$d'_m = \frac{v^2}{F - T + \sqrt{5T^2 + F^2 - 2TF}}.$$

3. ORGANIZZAZIONE ED ESECUZIONE DELLE PROVE

Le prove sono state effettuate mediante impiego di n° 4 autovetture, una di tipo sportiva (Alfa Brera), una di non recente costruzione (Fiat Punto) e due del segmento medio (Renault Megane e VW Polo), allestite con pneumatici di media usura, come illustrato nella tabella seguente. E' da precisare che l'Alfa Romeo Brera è stata utilizzata sia con impianto ABS disattivato, che con impianto ABS regolarmente in funzione.

⁴ Nel caso di più tracce gommosi, si fa riferimento a quella di maggior lunghezza.

⁵ Quanto dedotto nel corso della sperimentazione induce a ritenere che il tracciamento insorga nella fase ascendente del primo picco, quando l'inclinazione del tratto inizia a ridursi.

Il gruppo di lavoro era composto da tre ausiliari, oltre che dai conducenti Alfonso Micucci, Mattia Strangi, Silvano Simoncini e Mauro Gambino. Durante l'esecuzione delle prove sono emerse alcune problematiche connesse all'assenza di un reale ed imminente pericolo che potesse indurre a reazioni istintive, come nel concreto, che in taluni casi hanno portato ad una mancata validazione del risultato.

	Alfa BRERA	Fiat PUNTO	Renault MEGANE	VW POLO
Immatricolazione	07/08/2006	27/07/1994	22/06/2005	02/09/2009
Percorrenza	150.000 km	108.000 km	140.000 km	60.000 km
Cilindrata	2.387 c ³	1.108 c ³	1.461 c ³	1.390 c ³
Potenza	147 KW	40 KW	78 kW	59 kW
Euro	4	1	4	4
Alimentazione	Diesel	Benzina	Diesel	Benzina/GPL
Peso massimo	2020 kg	1.325 kg	1.770 kg	1580 kg
Portata	345 kg	380 kg	490 kg	492 kg
ABS	SI*	NO	SI	SI
Pneumatici	Invernali	Estivi	Estivi	Estivi
Marca	Marangoni	Goodride	Dunlop	Michelin
Dimensioni	225/50 R17	165/65 R13	205/55 R16	185/60 R14
Battistrada	60%	40%	50%	50%
Conducente	Strangi Mattia	Simoncini S.	Micucci Alfonso	Gambino M.

Tabella 1: Quadro riassuntivo dei veicoli impiegati nella sperimentazione.

Su tali veicoli sono stati installati:

- ✓ un accelerometro tridimensionale, prodotto da *STMicroelettronics*, operante con frequenza di 100 Hz, dotato di funzione di autocalibrazione⁶ e display grafico che consente la visualizzazione immediata del tracciato registrato al termine di ogni prova. L'accelerometro veniva reso solidale al cruscotto dell'autovettura mediante opportuno supporto, in maniera tale da avere l'asse Y circa allineato all'asse longitudinale del veicolo e l'asse Z in verticale⁷. Le successive elaborazioni sono state condotte a partire direttamente dai dati grezzi, memorizzati in file CSV⁸ trasferibili a mezzo porta USB. In particolare, considerata l'inevitabile presenza di fenomeni oscillatori di grado superiore legati alle vibrazioni indotte nell'abitacolo

⁶ Ovvero, il dispositivo individua la direttrice della forza di gravità ed in base a questa orienta dinamicamente i tre assi di rilevazione all'inizio di ogni prova, in maniera tale che $a_z = -1$.

⁷ Il sensore è di tipo inerziale e pertanto produce segnali positivi in caso di decelerazione del veicolo e negativi in caso di accelerazione [4].

⁸ Comma separated values, ovvero file di testo contenente i valori di tempo ed accelerazione lungo i tre assi cartesiani, separati mediante virgole.

dal motore, dal moto stesso e dall'elasticità dei materiali, si è proceduto con l'applicazione di un filtro costituito da una media mobile su base di 10 campioni⁹

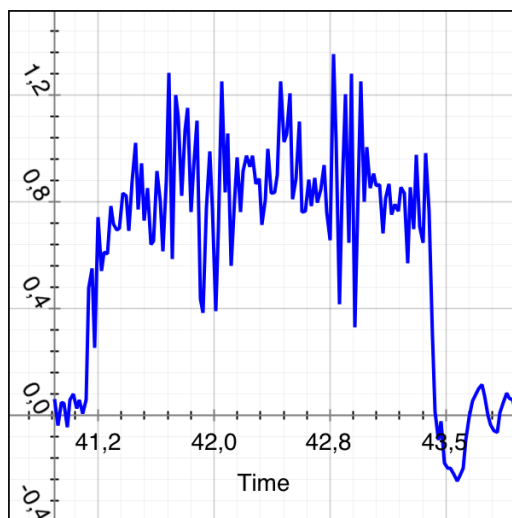


Figura 4: Visualizzazione grafica sullo schermo dell'accelerometro. Le elaborazioni successive sono state condotte direttamente sui dati grezzi, memorizzati in file CSV.

- ✓ un emettitore elettrico di vernice Wagner GmbH W95 – type 0519 atto ad evidenziare la lunghezza dello spazio di frenata F , ancorato ad elemento rigido dell'autovettura, alimentato mediante un accumulatore elettrico, la cui corrente continua 12 V in uscita veniva trasformata in alternata monofase 220 V - 50 Hz attraverso un inverter elevatore. Il circuito in uscita veniva interrotto mediante un microswitch prodotto da *Telemecanique* collegato al pedale del freno. Alla prima pressione del pedale, l'interruttore chiudeva il circuito e dall'emettitore un flusso di vernice, nel caso di colore bianco, veniva proiettato in direzione del manto stradale. In ciascun'autovettura è stato verificato il sincronismo tra tracciamento al suolo ed attivazione delle luci di arresto, azione che come espresso in § 2 viene assunta corrispondente all'inizio del tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante;
- ✓ eventuali spessori modulari in legno, ancorati sotto il pedale dell'acceleratore, atti a limitarne l'escursione in modo da facilitare il raggiungimento di un régime stabilizzato;

⁹ Per la scelta della tipologia di filtro da applicare si è partiti dal presupposto che le oscillazioni nel loro complesso non determinano variazioni di velocità (per meglio chiarire: in un veicolo con motore acceso ma fermo in folle su strada piana, si rilevano consistenti oscillazioni ma non si ha aumento o diminuzione di velocità). Ciò porta a ritenere che in un intervallo di tempo più o meno ampio il contributo di dette oscillazioni si annulli. I diversi tentativi effettuati hanno mostrato che l'ampiezza ottimale dell'intervallo mobile che porta ad una elisione delle oscillazioni senza pregiudizio per l'intelligibilità del grafico, è di circa 10 campioni.

- ✓ un rilevatore GPS per la misurazione della velocità v all'interno dell'autovettura.



Figura 5: Dettagli sullo strumento utilizzato per la rilevazione della lunghezza dello spazio di frenata F , montato sull'Alfa Romeo Brera (in alto a sinistra il microswitch, in alto a destra l'accumulatore e l'inverter, in basso a sinistra gli spessori modulari, in basso a destra l'emettitore di vernice ancorato alla scocca del veicolo).

In strada si è operato con:

- rilevatore telelaser Sportsradar modello SR3600 per la misurazione della velocità v dall'esterno dell'autovettura. Tale rilievo veniva condotto da un operatore al transito dell'autovettura all'interno di una fascia di spazio delimitata mediante idonei marcatori, denominata 'set zone';
- ruota metrica, impiegata per la misurazione della lunghezza dello spazi di frenata F demarcato mediante vernice e delle eventuali tracce gommose T ;
- videocamera HD con riprese di 30 ftp^{10} , ovvero con cadenza dei fotogrammi ogni $3,44 \cdot 10^{-2} \text{ s}$, per rilievi video-fotografici e per verifica del sincronismo. L'esame della ripresa video ha consentito di riscontrare l'effettivo sostanziale sincronismo (cfr. Figura 6) o, al contrario, di determinare lo sfasamento con cui correggere le rilevazioni eseguite.

¹⁰ Fotogrammi per secondo.



Figura 6: Esempio di verifica del sincronismo tra schiacciamento del pedale del freno ed inizio tracciamento della scia di vernice. Dal filmato emerge sostanziale sincronismo. Si noti che l'asfalto era umido, con cumuli di neve in discioglimento ai lati della carreggiata.

Sono state condotte due serie di prove, entrambe nel territorio bolognese, su strade di pubblico accesso, rispettivamente a fine inverno con temperature ambientali medio-basse ed a fine estate con temperature ambientali medio-alte.

In particolare, la prima serie è stata eseguita in data 18/02/12, su asfalto di non recente posa, tendenzialmente umido essendovi ai lati della carreggiata anche neve in discioglimento, con temperatura ambientale compresa tra 4° C e 15° C.

La seconda serie è stata eseguita in data 19/09/12, sulla medesima strada ma perfettamente asciutta e ben levigata dal consistente traffico stagionale generato dalla Festa dell'Unità, nonché su ghiaino, su erba e su lastra di cemento, con alcune combinazioni che prevedono un transito su uno di tali elementi e su asfalto, come talvolta accade nei veicoli in procinto di uscire di strada. La temperatura ambientale era compresa tra 18° C e 30° C.

A bordo dell'autovettura erano presenti 2 persone: il proprietario in veste di conducente ed un rilevatore, avente funzione di registrare la velocità stabilizzata mostrata dal GPS, successivamente confrontata con quella rilevata dal telelaser,

nonché di gestire l'accensione del dispositivo tracciante e le registrazioni dell'accelerometro.

Nell'ambito di ciascuna serie, si sono condotte più prove con velocità crescenti ad intervalli tendenzialmente di 10 km/h , fino ad massimo di circa 70 km/h su strada e di circa 30 km/h fuori strada ed in situazioni intermedie.

Per ogni prova eseguita si è proceduto a compilare una scheda riepilogativa, contenente i dati identificativi dell'autovettura, del conducente, nonché velocità, temperatura, tipologia suolo, lunghezza spazio di frenata F e lunghezza tracce gommosse T .



Figura 7: Prova di frenata con ABS inserito (a sinistra) e disinserito (a destra). Si notino, oltre alla scia di vernice, le differenti tracce gommosse impresse.



Figura 8: Prova di frenata su lastra in cemento.

4. RISULTATI

Come esposto in precedenza, le due grandezze t_t e d_m sono determinabili:

- ✓ analiticamente mediante rilevazione della lunghezza di frenata F e della lunghezza delle tracce gommose T , ovvero sulla base di dati rilevati *dall'esterno* del veicolo;
- ✓ graficamente sulla base del tracciato della decelerazione, ovvero sulla base di dati rilevati *dall'interno* del veicolo.

La prima metodologia è applicabile solo allorquando si riscontrino almeno una traccia gommosa di frenatura radente. Questa è risultata sussistente esclusivamente nell'ambito della prima campagna, avendo impiegato autovetture sprovviste di ABS, *ab origine* come nel caso della Fiat Punto, o per disattivazione, come nel caso dell'Alfa Romeo Brera. Invero, anche con impianto ABS attivato sono risultate comunque apprezzabili alcune flebili tracce, di cromatismo limitato ed andamento intermittente (cfr. Figura 7).

Le risultanze, riepilogate in Tabella 3, mostrano che:

- nella vettura sportiva, condotta da un guidatore di giovane età, il tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante si attesta nel range $t'_t = 0,08\text{ s} \div 0,17\text{ s}$, mentre la decelerazione massima nel range $d'_m = 0,79\text{ g} \div 0,88\text{ g}$. Non emergono differenze rilevanti nel caso di attivazione dell'ABS;
- nella utilitaria, condotta da un guidatore di età più avanzata, il tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante si attesta nell'intervallo $t'_t = 0,19\text{ s} \div 0,34\text{ s}$, mentre la decelerazione massima nell'intervallo $d'_m = 0,65\text{ g} \div 0,85\text{ g}$.

Le elaborazioni su base grafica (cfr. Figura 1 e Figura 10) portano a risultati tendenzialmente convergenti.

Nella seconda campagna prove le due autovetture del segmento medio sull'asfalto non hanno mai impresso tracce gommose, neppure flebili, mentre su erba o ghiaio erano apprezzabili delle tracce, tuttavia sovrapposte alle tracce di transito e per tale ragione di non piena affidabilità. Ciò ha reso inevitabile procedere nella determinazione di t_t e di d_m esclusivamente con la seconda metodologia, ovvero su base grafica.



Figura 9: Tracce osservabili su erba (prova n° 11 del 19/09/2012) e ghiaio/asfalto (n° 13 del 19/09/2012).

Le risultanze, riepilogate in Tabella 4: Riepilogo prove con determinazione di t_t e d_m su base grafica., mostrano che:

- in entrambe le autovetture del segmento medio, condotte da guidatori di età intermedia, su strada il tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante si attesta nell'intervallo $t_t = 0,13\text{ s} \div 0,25\text{ s}$, mentre la decelerazione massima nell'intervallo $d_m = 0,79\text{ g} \div 0,89\text{ g}$,
- fuori strada il tempo tecnico di attivazione dell'impianto frenante si dilata fino a valori di $t_t = 0,30\text{ s}$, raggiungendo il massimo su ghiaio, mentre la decelerazione massima si contrae attestandosi nell'intervallo $d_m = 0,51\text{ g} \div 0,75\text{ g}$, ove il valore superiore si manifesta su lastra in cemento.

Nelle figure seguenti si riportano, a titolo esemplificativo, alcuni dei grafici di decelerazione ottenuti.

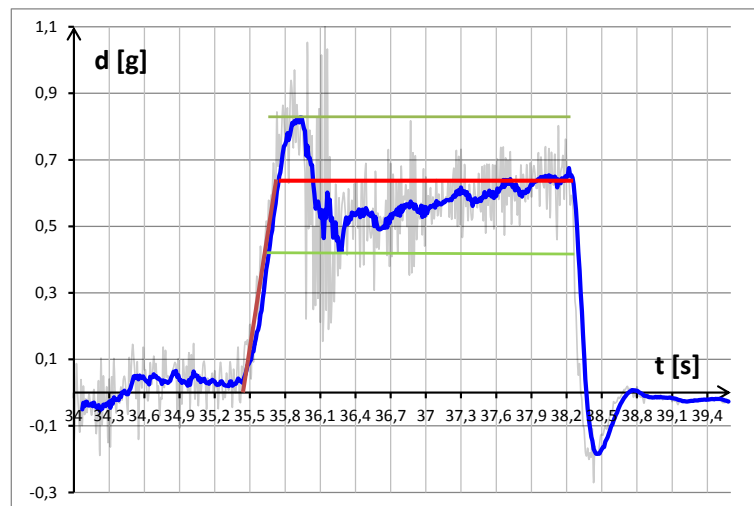


Figura 10: Diagramma della decelerazione relativo alla prova n° 12 del 18/02/2012 (frenata Fiat Punto priva di ABS su asfalto umido a 62 km/h).

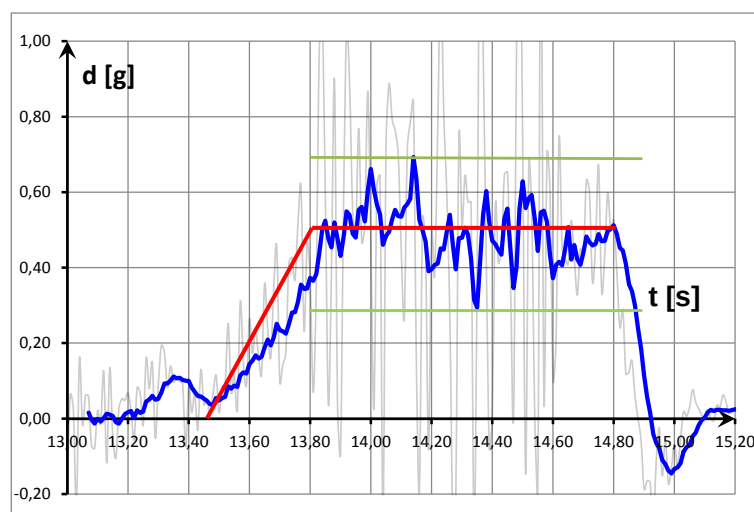


Figura 11: Diagramma della decelerazione relativo alla prova n° 11 del 19/09/2012 (frenata VW Polo su ghiaio a 13 km/h).

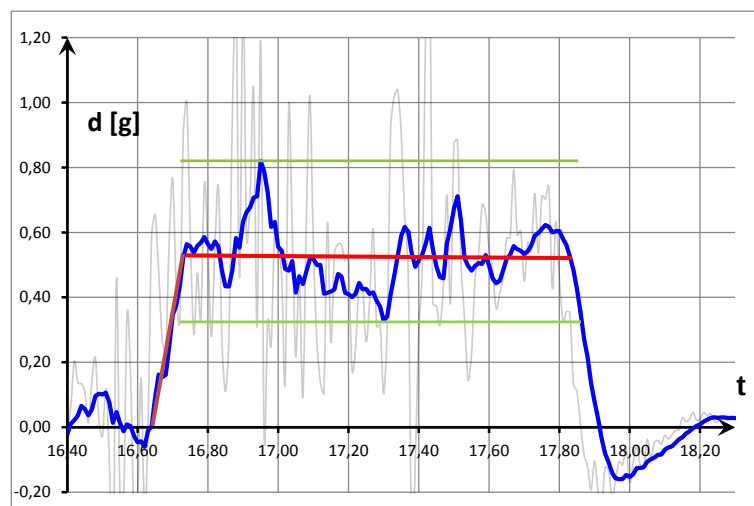


Figura 12: Diagramma della decelerazione relativo alla prova n° 12 del 19/09/2012 (frenata VW Polo su erba a 19 km/h).

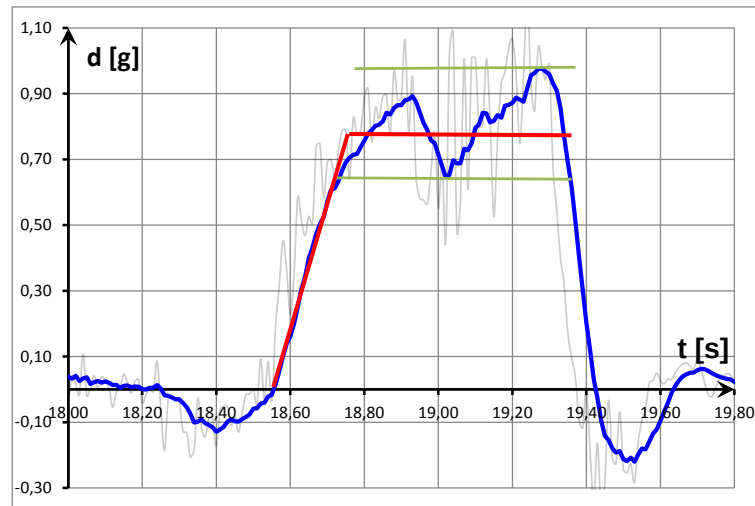


Figura 13: Diagramma della decelerazione relativo alla prova n° 14 del 19/09/2012 (frenata VW Polo su lastra in cemento a 19 km/h).

5. CONCLUSIONI

Di norma, assunta una lunghezza di frenata radente L e stimata una decelerazione massima da frenatura a fondo d_m , si procede nella determinazione della velocità originaria di marcia imperturbata trascurando il transitorio iniziale ed accostando il moto ad uno uniformemente decelerato, da cui:

$$v_1 = \sqrt{2 d_m L}.$$

Ciò porta ad un risultato generalmente sottostimato, con uno scarto rispetto al reale che in relazione alle prove effettuate su strada può oscillare tra un minimo di 1 km/h fino ad un massimo di oltre 4 km/h e che può ridursi incrementando L di una quota percentuale $+\Delta L\%$ compresa tra un minimo del 5% (per frenate ad alta velocità, in cui il contributo del transitorio iniziale è marginale rispetto al complessivo, cfr. Figura 14) ed un massimo del 30% (per frenate a bassa velocità, in cui il contributo del transitorio iniziale è rilevante rispetto al complessivo, cfr. Figura 14):

$$v_2 = \sqrt{2 d_m (L + \Delta L\%)},$$

Valori più precisi possono essere ottenuti computando analiticamente anche il transitorio iniziale per mezzo della seguente relazione:

$$v_3 = d_m t_f + \frac{d_m t_t}{2},$$

dove t_f è il tempo di frenatura alla massima efficienza (cfr. Figura 14), ovvero:

$$v_3 = \sqrt{2 d_m L} + \frac{d_m t_t}{2},$$

la cui applicazione porta ad un risultato approssimato a non più di 1 km/h. Per inciso, il primo addendo rappresenta la contrazione di velocità nel tratto di frenata che si assume stabilizzata (cfr. area rettangolare centrale di colore azzurro in Figura 14), mentre il secondo addendo rappresenta la contrazione di velocità durante il transitorio (cfr. area triangolare a sinistra di colore giallo in Figura 14). Si noti che l'ultimo tratto, discendente con oscillazione intorno all'asse delle ascisse e con risultante dell'integrale parziale nulla (cfr. zona di colore verde a destra in Figura 14), è dovuto al beccheggio che insorge al termine della frenatura in conseguenza dell'elasticità del sistema nel suo complesso. L'oscillazione è tanto più ampia quanto maggiore è la quota dal suolo dell'accelerometro.

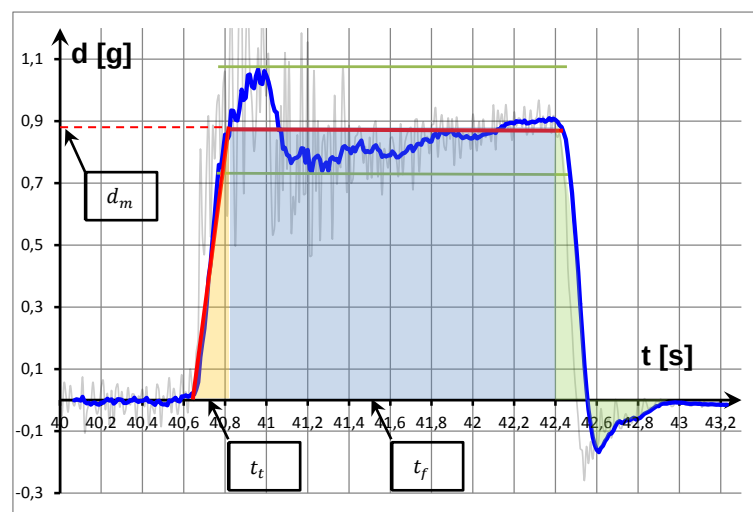


Figura 14: Determinazione della variazione di velocità..

Chi adotta il computo energetico, può giungere ad un medesimo livello di approssimazione aggiungendo al bilancio il seguente contributo:

$$E = \frac{1}{2} m \cdot d_m \cdot t_t \left(v - \frac{1}{4} d_m \cdot t_t \right),$$

dove v è la velocità all'inizio della frenatura a fondo, che può essere determinata in maniera ricorsiva.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] R. Scuto, P. Leone, *Tecnica dell'Autoveicolo*, Levrotto & Bella 1982
- [2] Marc Green, *How Long Does It Take to Stop? - Methodological Analysis of Driver Perception-Brake Times*, 2004
- [3] D. Vangi, *Ricostruzione della dinamica degli incidenti stradali*, FUP 2008

- [4] A. Micucci, Il monitoraggio della guida automobilistica attraverso sistemi di rilevamento, Atti del Convegno ASAIS 2008
- [5] A. Murro, Prove sperimentali di frenata delle autovetture, Atti del Convegno ASAIS 2010
- [6] A. Pietrini, Prove comparative, Atti del Convegno ASAIS 2010

n°	Velocità di prova		V1		V2		V3		
			km/h		km/h		km/h		
	km/h	m/s	calc	scarto	calc	scarto	calc	scarto	
1	42	11,67	40,88	1,12	43,26	- 1,26	42,00	-	
2	27	7,50	25,32	1,68	26,79	0,21	26,79	0,21	
3	48	13,33	46,28	1,72	48,98	- 0,98	47,88	0,12	
4	59	16,39	57,87	1,13	61,24	- 2,24	58,96	0,04	
5	46	12,78	43,74	2,26	46,29	- 0,29	45,78	0,22	
6	55	15,28	52,07	2,93	55,10	- 0,10	54,69	0,31	
7	26	7,22	16,37	9,63	17,33	8,67	19,78	6,22	*
8	35	9,72	28,68	6,32	30,35	4,65	32,80	2,20	*
9	52	14,44	47,96	4,04	50,76	1,24	51,38	0,62	
10	59	16,39	55,72	3,28	58,97	0,03	58,64	0,36	
11	58	16,11	53,87	4,13	57,01	0,99	57,42	0,58	
12	62	17,22	57,18	4,82	60,52	1,48	61,26	0,74	
13	36	10,00	32,91	3,09	34,83	1,17	35,47	0,53	

Tabella 2: Confronto tra le diverse modalità di calcolo.

Le righe contrassegnate con * sono relative a frenate poco decise, i cui esiti sono poco rappresentativi.

n°	Ora	Veicolo	ABS	Asfalto	τ°	Velocità		F	Tracce T				T max	F-T		tt'	dm'
						km/h	m/s	m	AD	AS	PD	PS					
									m	m	m	m	m	m	%	s	g
1	10:24	Alfa Brera	si	Umido	4°	42	11,67	9,20	8,30	8,30			8,30	0,90	11%	0,08	0,79
2	10:37	Alfa Brera	si	Umido	4°	27	7,50	3,90	2,30	3,10			3,10	0,80	26%	0,10	0,81
3	10:45	Alfa Brera	si	Umido	5°	48	13,33	11,00	9,60	9,60			9,60	1,40	15%	0,10	0,88
4	10:56	Alfa Brera	si	Umido	5°	59	16,39	16,70	15,50	15,50			15,50	1,20	8%	0,07	0,85
5	11:20	Alfa Brera	no	Umido	6°	46	12,78	11,30	9,30	7,65	9,40	9,40	9,40	1,90	20%	0,14	0,80
6	11:25	Alfa Brera	no	Umido	7°	55	15,28	15,00	10,80	9,60	12,30	12,30	12,30	2,70	22%	0,17	0,87
7	12:03	Fiat Punto	no	Umido	7°	26	7,22	5,00	1,00	1,60			1,60	3,40	213%	0,27	0,66
8	12:09	Fiat Punto	no	Umido	8°	35	9,72	8,00	4,40	3,50			4,40	3,60	82%	0,30	0,74
9	12:13	Fiat Punto	no	Umido	9°	52	14,44	17,50	11,40	13,21			13,21	4,29	32%	0,27	0,68
10	12:27	Fiat Punto	no	Umido	10°	59	16,39	17,70	13,50	14,40			14,40	3,30	23%	0,19	0,85
11	12:33	Fiat Punto	no	Umido	11°	58	16,11	17,50	11,60	13,50			13,50	4,00	30%	0,23	0,85
12	12:40	Fiat Punto	no	Umido	12°	62	17,22	26,10	19,70	17,00			19,70	6,40	32%	0,34	0,65
13	13:30	VW Polo	si	e gh.	30°	36	10,00	9,80		7,20		6,6	7,20	2,60	36%	0,24	0,59

Tabella 3: Riepilogo prove con determinazione analitica t_t e d_m .

n°	Ora	Veicolo	ABS	Suolo	τ°	Velocità		F	Tracce T		T max	tt	dm
						km/h	m/s	m	AS m	PS m	m	s	g
1	10:42	Megane II	si	Asfalto	18°	55,00	15,28	15,00				0,16	0,84
2	10:59	Megane II	si	Asfalto	19°	55,00	15,28	14,50				0,15	0,84
3	11:12	Megane II	si	Asfalto	19°	62,00	17,22	18,40				0,15	0,83
4	11:20	Megane II	si	Asfalto	21°	72,00	20,00	27,10				0,13	0,79
5	11:27	Polo	si	Asfalto	23°	35,00	9,72	7,90				0,17	0,80
7	12:17	Polo	si	Asfalto	24°	53,00	14,72	15,70				0,25	0,85
8	12:25	Polo	si	Asfalto	26°	71,00	19,72	25,80				0,22	0,89
9	12:31	Polo	si	Asfalto	26°	56,00	15,56	16,80				0,15	0,89
10	12:40	Polo	si	Asfalto	28°	26,00	7,22	4,10				0,18	0,89
11	13:01	Polo	si	Ghiaino	28°	13,00	3,61	6,00	2,80	5,20	5,20	0,30	0,51
12	13:08	Polo	si	Erba	30°	19,00	5,28	4,70	2,70		2,70	0,12	0,53
13	13:16	Polo	si	Asfalto/Ghiaino	30°	20,00	5,56		2,00		2,00	0,25	0,60
14	13:31	Polo	si	Cemento	30°	19,00	5,28	2,80				0,20	0,75
15	13:40	Polo	si	Asfalto/Ghiaino	30°	36,00	10,00	9,80	6,60	7,20	7,20	0,25	0,58

Tabella 4: Riepilogo prove con determinazione di t_t e d_m su base grafica.