

Introduzione

Un automezzo in marcia possiede una determinata energia di movimento (E_{kin}), il cui dimensionamento dipende sostanzialmente dalla massa dell'autoveicolo (m) e dal quadrato della sua velocità (v).

$$E_{kin} = \frac{m \times v^2}{2}$$

Questa energia deve essere trasformata interamente o parzialmente, quando si deve arrestare l'automezzo o ridurre la sua velocità. Questo è il compito del freno, che trasforma l'energia di movimento dell'automezzo in calore tramite attrito.

Accelerazione e decelerazione

Il termine accelerazione descrive l'**aumento di velocità** di un determinato valore di velocità in metri al secondo quadro ($= m/s^2$). Il termine decelerazione (in frenata) descrive la **riduzione di velocità** di un determinato valore di velocità in metri al secondo quadro ($= m/s^2$).

Se questo valore è uguale in ogni secondo, allora si parla di una **accelerazione o decelerazione uniforme**.

Velocità viene calcolata in base alla formula seguente:

$$\text{accelerazione} = \frac{\text{Weg}}{\text{tempo}} \quad v = \frac{s}{t} \quad \text{in } \frac{m}{s}$$

L'accelerazione come pure la decelerazione viene calcolata in base alla formula seguente:

$$\text{decelerazione} = \frac{\text{accelerazione}}{\text{tempo}} \quad a = \frac{v}{t} \quad \text{in } \frac{m}{s^2}$$

La massima decelerazione in frenata

La decelerazione oppure frenata nei freni di autoveicoli non può essere aumentata a piacere. La decelerazione raggiungibile teoricamente tramite la **accelerazione di gravità (g)** con $g = 9,81 m/s^2$ rappresenta **un limite** (valore approssimativo $10 m/s^2$). Una decelerazione con un sistema frenante ottimale non è quasi in grado di raggiungere questo valore, e tanto meno superarlo.

Un **ulteriore limite** è il **valore d'attrito tra pneumatici e carreggiata**, che viene indicato con il **coefficiente di aderenza (k)**. Di regola la decelerazione raggiunge il suo valore massimo (salvo alcune eccezioni), quando le ruote non si bloccano durante la frenatura, cioè quando girano ancora. Un aumento della forza di frenatura non raggiungerebbe dunque una maggiore azione frenante in tutti i casi, bensì avrebbe la conseguenza di una perdita di controllo e sbandamento dell'automezzo a causa di un bloccaggio le ruote.

Coefficiente di aderenza (k)

A seconda del manto stradale e della sua condizione attuale (asciutto o bagnato), risulta un determinato coefficiente di aderenza (k), che definisce la massima decelerazione raggiungibile in frenata. Questo che viene calcolato nel modo seguente:

Max. decelerazione raggiungibile = accelerazione di gravità × coefficiente di aderenza

$$a_{max} = g \times k \quad \text{in } \frac{m}{s^2}$$

La seguente tabella fornisce una panoramica sul **coefficiente di aderenza k** in diverse condizioni del manto stradale

| manto stradale | asciutto | bagnato | |
|-------------------------|----------|---------------|-----------|
| | | pulito | scivoloso |
| calcestruzzo, | 0,7 | 0,6 | ca. 0,4 |
| macadam al catrame | 0,6 | 0,5 | ca. 0,3 |
| asfalto | 0,6 | 0,5 | ca. 0,25 |
| rivestimento di asfalto | 0,55 | 0,3 | 0,1 – 0,2 |
| neve (veicolo arenato) | 0,2 | 0,1 | |
| ghiaccio levigato | 0,1 | 0,01 fino 0,1 | |

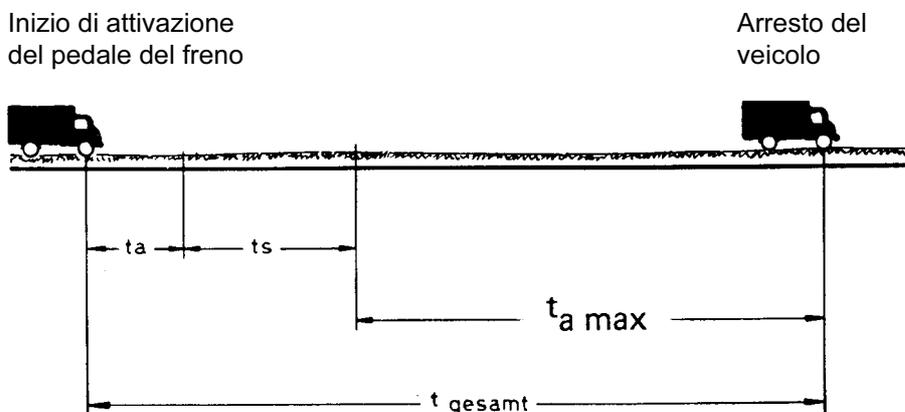
Per l'esempio di frenatura su ghiaccio levigato, ciò significa

$$a_{max} = 10 \frac{m}{s^2} \times 0,1 = 1 \frac{m}{s^2}$$

Supponendo, tuttavia, un valore k di 0,6 (calcestruzzo pulito), risulta un massimo valore raggiungibile di 6 m/s².

Il ciclo temporale di una frenatura

La massima decelerazione in frenata non è efficace durante tutta la frenata ovvero durante tutta la durata della frenatura, infatti, dal momento in cui si preme il pedale del freno fino al raggiungimento della massima decelerazione trascorre un determinato tempo di risposta t_a e un tempo di soglia t_s .



Dalla rappresentazione simbolica del ciclo temporale risultano i seguenti fattori di tempo (indicazioni in s).

La durata di risposta (t_a)

In una semplice spiegazione, la durata di risposta (t_a) è considerata il tempo che trascorre tra l'azionamento del pedale del freno e l'inizio dell'azione frenante.

La durata di soglia (t_s)

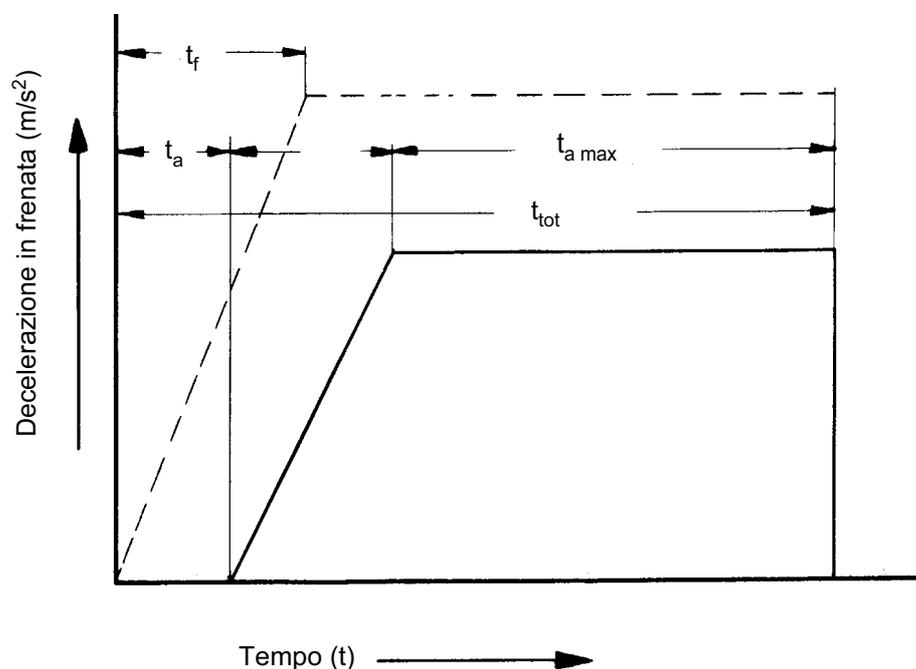
Spiegato semplicemente anche in questo caso, la durata di soglia (t_s) è considerata il tempo che trascorre tra l'inizio dell'azione frenante e il raggiungimento della massima decelerazione in frenata.

La durata di decelerazione in frenata ($t_{a\ max}$)

La durata di decelerazione in frenata max. ($t_{a\ max}$) è considerata il tempo che trascorre tra l'inizio della massima decelerazione (a_{max}) e l'arresto dell'autoveicolo.

Durata totale della frenata (t_{tot})

Il tempo di trascorre dal momento in cui si preme il pedale del freno fino all'arresto dell'autoveicolo. Qui non viene considerato il periodo di reazione dell'autista.



La durata d'attivazione (t_f)

La durata di risposta e di soglia nel loro prolungamento di tempo dipendono naturalmente dalla durata d'attivazione (t_f).

Qui è da intendersi il tempo che trascorre tra il momento in cui si preme il pedale del freno e il raggiungimento del fermo di fine corsa.

La frenata (z)

Oltre alla decelerazione in frenata, esiste un'altra misura per il comportamento di frenatura: la **frenata z**.

Qui è da intendersi il rapporto percentuale delle forze frenanti esercitate, vale dire misurate sul banco di prova a rulli, in relazione alla massa momentanea dell'automezzo.

$$\text{Abbremsung in \%} = \frac{\text{Summe der Bremskräfte des Fahrzeugs}}{\text{Prüfgewicht des Fahrzeugs}}$$

$$z = \frac{F}{G_p} \times 100 \%$$

Relazione tra frenata z e la decelerazione in frenata max.

a_{max}

Una relazione tra la massima decelerazione max e la frenata z risulta dalla formula seguente:

$$a_{max} = \frac{F \times g}{G_p} = z \times g$$

Ciò significa, che esiste una diretta relazione tra (z) e (a_{max}), che consente di esprimere la frenata raggiunta (a_{max}) anche come frenata percentuale (z) e viceversa.

La tabella mostra i rispettivi valori di confronto

| frenata z | decelerazione in frenata (a_{max}) | |
|-----------|--|-----------------------|
| | esattamente | arrotondata |
| 10 % | 0,981 m/s ² | 1,0 m/s ² |
| 20 % | 1,962 m/s ² | 2,0 m/s ² |
| 30 % | 2,943 m/s ² | 3,0 m/s ² |
| 40 % | 3,924 m/s ² | 4,0 m/s ² |
| 50 % | 4,905 m/s ² | 5,0 m/s ² |
| 60 % | 5,886 m/s ² | 6,0 m/s ² |
| 70 % | 6,867 m/s ² | 7,0 m/s ² |
| 80 % | 7,848 m/s ² | 8,0 m/s ² |
| 90 % | 8,829 m/s ² | 9,0 m/s ² |
| 100 % | 9,810 m/s ² | 10,0 m/s ² |

Misurazione della decelerazione ovvero frenata

A tal fine esistono due possibilità

1. Il rilevamento della frenata z in % **con l'ausilio di un banco di prova per freni** (banco di prova a rulli o a piastre)
2. Il rilevamento durante la decelerazione **nell'ambito di un esperimento di guida con l'ausilio di un misuratore di ritardo** (scrivente o non scrivente). Mentre un misuratore non scrivente indica soltanto il valore della massima decelerazione, un misuratore scrivente registra, inoltre, anche il decorso di tempo della durata di risposta e di soglia.

Il controllo di frenata durante un esperimento di guida su strada richiede molto tempo ed è inoltre molto pericoloso nell'odierna densità di traffico. Pertanto, per il controllo di sistemi frenanti secondo il § 29 del codice di immatricolazione stradale si utilizzano prevalentemente banchi di prova per freni (in automezzi commerciali in prima linea banchi di prova a rulli).

Soltanto gli automezzi che, a causa della loro tipologia costruttiva non possono essere controllati sopra un simile banco di prova, vengono controllati su strada con un misuratore di ritardo scrivente.

Rilevamento della frenata sul banco di prova

Sopra un banco di prova vengono misurate le forze di frenatura max. in ciascuna ruota. Sommando queste forze di frenatura e confrontando la somma percentuale con il rispettivo peso dell'automezzo, secondo l'equazione già conosciuta, risulta la frenata percentuale dell'automezzo:

$$z = \frac{F}{G_p} \times 100 \%$$

Esempio: $F = 96\,000\text{ N}$; $G_p = 160\,000\text{ N}$

$$z = \frac{96.000\text{ N}}{160.000\text{ N}} \times 100 \% = 60 \%$$

Nell'ambito dei controlli di automezzi, conformemente al § 29 del codice di immatricolazione stradale (revisioni principali ovvero controllo di sicurezza), il legislatore prescrive frenate minime, che devono essere in ogni caso raggiunte **dall'automezzo carico**.

La maggior parte degli automezzi non viene, tuttavia, controllata sul banco di prova dei freni in stato completamente carico, bensì in stato scarico o eventualmente in parte caricato.

Per questo motivo, per certificare l'adempimento alle prescrizioni vigenti ai sensi di legge, è necessario eseguire una proiezione di calcolo.

Il motivo sta nel fatto che con l'automezzo in stato scarico, a causa del mancante carico delle ruote sui rulli, si possono misurare soltanto forze di frenatura ridotte, prima che si attivi il sistema antibloccaggio.

Le forze frenanti nelle ruote di un automezzo aumentano linearmente con la pressione di frenatura alimentata. Ciò vale sia per automezzi con sistemi frenanti ad aria compressa che per automezzi con sistemi frenanti idraulici.

Sulla base di questo fondamento, con l'ausilio delle forze frenanti misurate in stato scarico e delle pressioni alimentate nei Brake Chamber si può realizzare una proiezione di calcolo della forza frenante attendibile in stato di carico.

La proiezione di calcolo

Per la proiezione viene calcolata la massima precisione di frenatura indicata dal costruttore dell'automezzo per il sistema frenante p_N nonché la pressione rispettivamente alimentata nei Brake Chamber dei singoli assi p , il fattore i , considerando una pressione applicata di 0,4 bar.

$$z = \frac{F_1 \times i_1 + F_2 \times i_2 + \dots + F_n \times i_n}{G_z} \times 100 \%$$

G_z = massa complessiva consentita per l'automezzo (N)

z = frenata (%)

F_1 = forza frenante del primo asse, rilevata nella pressione p_1 in (N)

F_2 = forza frenante del secondo asse, rilevata nella pressione p_2 in (N)

F_n = forza frenante dell'ultimo asse in (N)

Formula

$$i_1 = \frac{p_N - 0,4}{p_1 - 0,4}$$

Il valore di 0,4 bar considera la pressione applicata dal freno sulla ruota

$$i_2 = \frac{p_N - 0,4}{p_2 - 0,4}$$

Indice

p_N = massima pressione di frenatura specificata dal costruttore per il rispettivo asse (sovrappressione in bar), si veda sulla targhetta d'identificazione
(nel caso in cui non sia indicato p_N , sarà da applicare come finora la pressione di calcolo).

$p_1; p_2$ = pressione di frenatura, che viene alimentata durante il controllo dei freni nei cilindri sulle ruote del rispettivo asse (sovrappressione in bar).

Esempio

$$G_z = 220\,000 \text{ N}$$

$$F_1 = 8\,500 \text{ N}$$

$$F_2 = 6\,000 \text{ N}$$

$$F_3 = 6\,000 \text{ N}$$

$$p_n = 7,0 \text{ bar (in questo caso indicato dal costruttore e per tutti gli assi)}$$

$$p_1 = 2,0 \text{ bar}$$

$$p_2 = 1,7 \text{ bar}$$

$$p_3 = 1,7 \text{ bar}$$

Ricercato: z

$$i_1 = \frac{7,0 \text{ bar} - 0,4}{2,0 \text{ bar} - 0,4} = 4,1$$

$$i_1 \text{ u. } i_3 = \frac{7,0 \text{ bar} - 0,4}{1,7 \text{ bar} - 0,4} = 5,1$$

$$z = \frac{8.500 \text{ N} \times 4,1 + 6.000 \text{ N} \times 5,1 + 6.000 \text{ N} \times 5,1}{220.000 \text{ N}} \times 100 (\%) = 44,0 \%$$

La frenata z corrisponde dunque al 44 %.

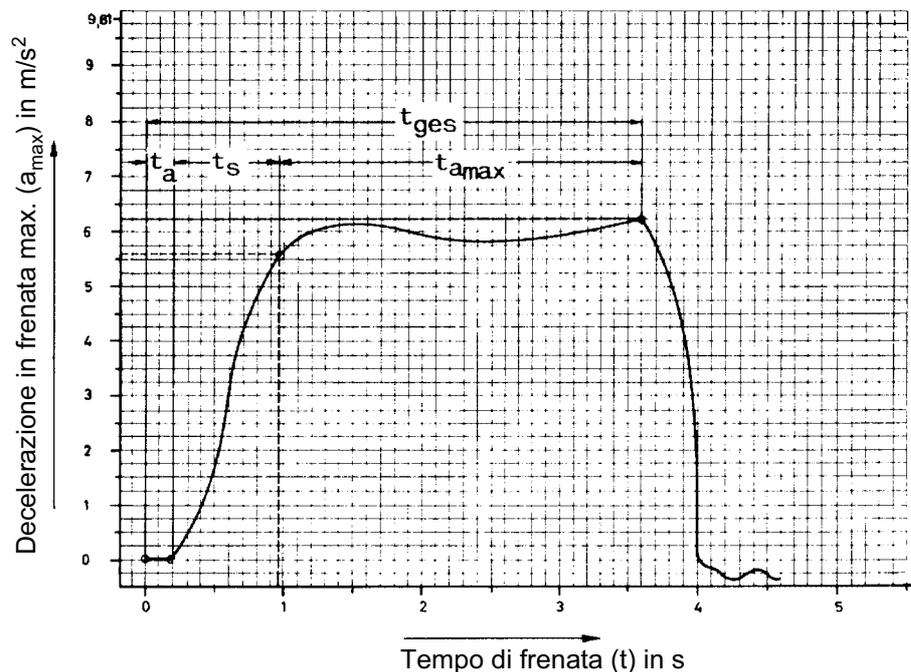
Rilevamento della decelerazione durante la guida

Nel caso in cui non fosse possibile misurare la frenata sul banco di prova, si utilizza un misuratore di frenata scrivente, che registra durante la frenatura un rispettivo diagramma di decorso. Successivamente da qui si può leggere il valore della decelerazione max. come pure il decorso di tempo della frenatura, per ottenere anche delle informazioni sulla durata di risposta e di soglia.

La velocità di partenza per i controlli di sistemi frenanti su strada, salvo il sistema frenante continuo, dovrebbe corrispondere a **45 e 50 km/h**. In quanto non venisse raggiunta questa velocità, sarà valevole la rispettiva velocità massima. In casi particolari i controlli dei sistemi frenanti possono essere eseguiti anche ad una maggiore velocità di partenza.

Esempio

La seguente rappresentazione grafica mostra il risultato di un tale controllo dell'azione frenante in dipendenza del tempo.



Controllo di sistemi frenanti nei rimorchi durante la marcia

Per controllare l'azione di un sistema frenante in un rimorchio, nel caso in cui questi non potesse essere controllato su banchi di prova per freni a causa della sua tipologia costruttiva, vengono eseguiti esperimenti di guida, dove viene frenato soltanto il rimorchio. A tal fine il rimorchio deve essere caricato fino al suo massimo peso complessivo consentito.

La frenata del rimorchio viene poi calcolata da:

$$z_A = (z_Z - f_R) \frac{G_A + G_K}{G_A} + f_R (\%)$$

Indice

- z_A = frenata del rimorchio in %
- z_Z = frenata dell'autotreno soltanto col freno del rimorchio in %
- G_A = massa del rimorchio (N)
- G_y = massa della motrice (N)
- f_y = maggiorazione per la resistenza dei rulli (= 2 %)

Costruttore del sistema frenante peso di test del veicolo (P_M) daN
 Tipo di sistema frenante carichi consentiti sugli assi 1/2/3/4..... daN
 Pressione di calcolo ovvero pressione di frenatura max. del veicolo / dei singoli assi p_N peso complessivo consentito G_z (in semirimorchi somma degli assi di carico consentiti) daN
 / / / bar

Valori rilevati sul banco di prova dei freni

| | impianto dei freni di servizio | | | | | | freno di stazionamento o forza frenante (daN) | peso del veicolo/carichi sugli assi (peso di test) (daN) |
|--------|--------------------------------|--------|---------|-------------------------------|---------------------------------|--------------|---|--|
| | forze frenanti (daN) | | | pressione al cilindro p (bar) | $i = \frac{p_N - 0,4}{p - 0,4}$ | $F \times i$ | | |
| | sinistra | destra | somma F | | | | | |
| asse 1 | | | | | | | | |
| asse 2 | | | | | | | | |
| asse 3 | | | | | | | | |
| asse 4 | | | | | | | | |
| somma | | | | | | | | |

Frenata riferita al peso di test (soltanto se è conosciuto il peso di test)

$$z_{PM} = \frac{F_1 + F_2 + \dots + F_n}{P_M} \times 100[\%] = \dots\dots\dots \%$$

Frenata riferita al peso complessivo consentito dell'automezzo (proiezione di calcolo)

$$z = \frac{F_1 \times i_1 + F_2 \times i_2 + \dots + F_n \times i_n}{G_z} \times 100[\%] = \dots\dots\dots \%$$

Frenata con freno di stazionamento (riferita al peso complessivo consentito dell'automezzo)

$$z_{FBA} = \frac{F_{FBA}}{G_z} \times 100[\%] = \dots\dots\dots \% \quad \text{oppure: superamento del limite di bloccaggio } \square$$

Differenza delle forze frenanti

Differenz der Bremskräfte einer Achse
größte Bremskraft einer Achse $\times 100 \leq \dots[\%]$ Freno di servizio: %
 Freno di stazionamento: %

La massa (N) può essere ottenuta soltanto tramite una moltiplicazione della massa totale (kg) con il fattore 10 (accelerazione di gravità g approssimata a 10 m/s²). Con ciò la forza 1 daN (10 N) corrisponde a circa 1 kg di massa.

Nota:

Per semirimorchi e rimorchi in simile tipologia costruttiva: sostituire la massa con la somma delle forze esercitate sugli assi!