



Shutterstock

1. Spazio di arresto, reazione e frenata

La capacità di un veicolo di arrestarsi rapidamente in caso di necessità è cruciale.

Nella dinamica dei veicoli si chiama **spazio di arresto** la distanza percorsa dal veicolo tra l'istante in cui la persona alla guida si accorge di un pericolo e il momento in cui il veicolo si arresta.

Parte di questa distanza viene percorsa nell'intervallo di tempo richiesto alla persona alla guida per reagire, mentre la distanza rimanente è percorsa durante la frenata. Lo spazio di arresto è dato quindi dalla somma tra lo **spazio di reazione** e lo **spazio di frenata** (Figura 1) e può essere determinato sfruttando le nozioni di cinematica.

2. Accelerazione massima

Partiamo da un fatto empirico: un veicolo può frenare con un'accelerazione a – di segno opposto rispetto alla velocità – **limitata** in valore assoluto:

$$|a| \leq a_{\max}$$

con l'accelerazione a_{\max} fissata dalle condizioni del veicolo e della strada.

In caso di emergenza si fa uso della massima accelerazione possibile, mantenendola per tutta la durata della frenata. In una strada dritta, il moto del veicolo è quindi rettilineo e **uniformemente accelerato**.

3. Calcolo dello spazio di reazione

Il tempo di reazione varia da persona a persona, ma ha un valore medio di circa 1 s. In questo intervallo di tempo la velocità v del veicolo rimane costante, per cui il moto del veicolo è rettilineo **uniforme**.

Usando la legge oraria del moto rettilineo uniforme, $s = vt$, durante il tempo di reazione un veicolo percorre una distanza Δs_{reaz} che è direttamente proporzionale alla velocità del veicolo:

$$\Delta s_{\text{reaz}} = v \Delta t_{\text{reaz}} \approx v (1s) \quad [1]$$

4. Calcolo dello spazio di frenata

Per un moto rettilineo uniformemente accelerato possiamo calcolare la distanza percorsa con la formula:

$$\Delta s = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a} \quad [2]$$

Figura 1 Spazio di arresto

Lo spazio di arresto è dato dalla somma tra lo spazio di reazione e lo spazio di frenata.



dove v_f è la velocità finale del veicolo, v_i quella iniziale e a è l'accelerazione.

Nel caso in esame, la velocità finale del veicolo deve essere nulla, quindi $v_f = 0$ m/s. Chiamando $v = v_i$ la velocità iniziale e ponendo $a = -a_{\max}$ otteniamo la formula dello **spazio di frenata**:

$$\Delta s_{\text{fren}} = \frac{-v^2}{2(-a_{\max})} = \frac{v^2}{2a_{\max}} \quad [3]$$

Questa formula mostra che lo spazio di frenata è in relazione di proporzionalità quadratica con la velocità iniziale: un raddoppiamento della velocità del veicolo comporta quindi uno spazio di frenata quattro volte maggiore.

5. Calcolo dello spazio di arresto

Combinando la [1] con la [3] si ottiene la formula dello spazio di arresto:

$$\Delta s_{\text{stop}} = \Delta s_{\text{reaz}} + \Delta s_{\text{fren}} = v(1s) + \frac{v^2}{2a_{\max}} \quad [4]$$

Questa formula mostra che la distanza di arresto dipende dal **quadrato della velocità iniziale**. Un incremento della velocità anche piccolo può portare a un aumento consistente dello spazio di arresto.

6. Andamento della velocità

Moltiplicando ambo i membri della [2] per $2a$ otteniamo:

$$2a\Delta s = v_f^2 - v_i^2 \Rightarrow v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta s$$

da cui ricaviamo:

$$v_f = \sqrt{v_i^2 + 2a\Delta s} \quad [5]$$

Questa formula fornisce la velocità finale del veicolo in moto rettilineo uniformemente accelerato in funzione della distanza percorsa, una volta note la velocità iniziale e l'accelerazione. Notiamo che la dipendenza *non* è lineare.

Quindi, durante l'arresto, la velocità del veicolo:

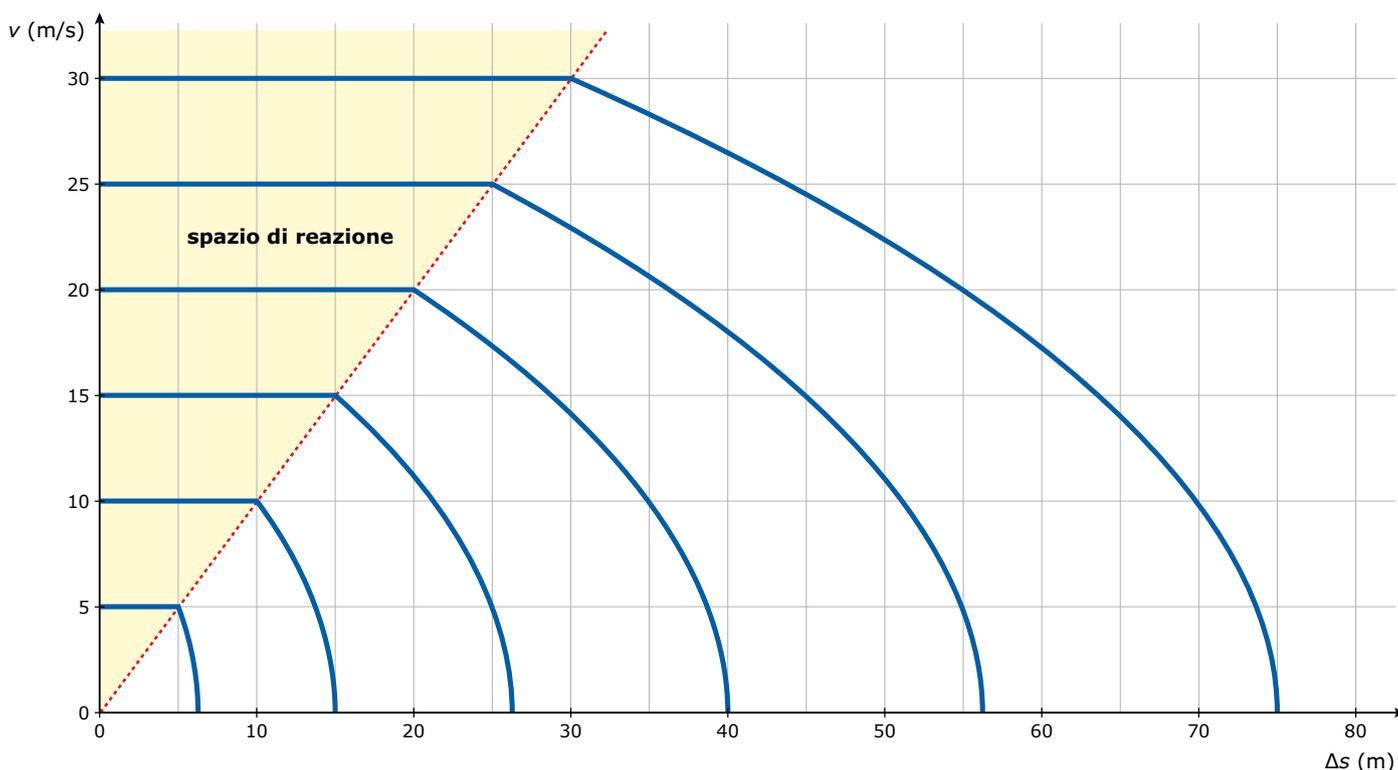
- è costante in corrispondenza dello spazio di reazione, ossia durante il tempo di reazione;
- ha un andamento dato dalla [5] in corrispondenza dello spazio di frenata.

Riassumiamo il tutto in un grafico (**Figura 2**) in cui abbiamo posto $a = -a_{\max} = -10$ m/s² e assegnato alla velocità iniziale v_i una serie di valori multipli interi di 5 m/s.

Il grafico mette in evidenza come, prima che il veicolo si arresti, la velocità non diminuisca molto dal valore iniziale per la maggior parte della distanza percorsa. Per esempio, procedendo a 72 km/h (20 m/s) il veicolo si arresta in 40 m ma dimezza la sua velocità (10 m/s) solo dopo aver percorso 35 m.

Sulle automobili moderne sono stati introdotti dei **systemi automatici**, detti di *frenata assistita*, che possono rilevare la presenza di un ostacolo e frenare automaticamente. La loro azione elimina quasi del tutto lo spazio di reazione e quindi riduce fortemente lo spazio di arresto.

Figura 2 Velocità del veicolo in funzione della distanza percorsa



FISSA I CONCETTI IMPORTANTI

- 1 Durante una frenata l'accelerazione:**
 - A è nulla, altrimenti l'auto non potrebbe frenare
 - B diminuisce gradualmente fino ad annullarsi
 - C è limitata in valore assoluto dalle condizioni del veicolo e della strada
 - D aumenta gradualmente fino ad arrivare a un valore massimo nell'ultimo tratto percorso
- 2 La distanza percorsa durante una frenata uniforme fino all'arresto:**
 - A è direttamente proporzionale alla velocità iniziale
 - B è proporzionale al quadrato della velocità iniziale
 - C è inversamente proporzionale alla velocità iniziale
 - D dipende linearmente dalla velocità iniziale
- 3 Un'auto che viaggia a 60 km/h frena con accelerazione uniforme fino a fermarsi percorrendo 28 m. A metà di questa distanza la velocità era:**
 - A maggiore di 30 km/h
 - B minore di 30 km/h
 - C pari a 30 km/h
 - D pari a 15 km/h
- 4 Il tempo di reazione:**
 - A non incide sullo spazio di arresto
 - B incide in maniera trascurabile sullo spazio di arresto
 - C incide in maniera significativa sullo spazio di arresto
 - D incide in modo direttamente proporzionale alla velocità iniziale

APPLICA I CONCETTI

Rispondi a queste domande a partire dal grafico alla pagina precedente o svolgendo direttamente i calcoli.

Un'auto procede lungo un rettilineo a 90 km/h quando la persona alla guida si accorge di un ostacolo sulla strada e, dopo un secondo, inizia a frenare con un'accelerazione di modulo 10 m/s^2 .

- 1** Quale distanza percorre l'auto dal momento in cui la persona si accorge dell'ostacolo al momento in cui l'auto si arresta?
- 2** Quale velocità ha l'auto dopo 40 m?
- 3** Quale velocità iniziale avrebbe dovuto avere l'auto per arrestarsi in 40 m, a parità di accelerazione?
- 4** Assumi che la velocità iniziale dell'auto sia 108 km/h. Quale velocità avrebbe dopo 40 m, frenando con la stessa accelerazione?