



Fisica

Medicina Veterinaria — Semestre Aperto
2026

Prof. Francesco de Pasquale

Lezioni 15 e 16

Outline

Lezione 15

- Definizione di energia potenziale.
- Esempi: energia potenziale gravitazionale
- Energia potenziale elastica.

Lezione 16

- Energia meccanica come somma di energia cinetica ed energia potenziale.
- Teorema di conservazione dell'energia meccanica nei sistemi ideali.

Soluzione esercizio precedente lezione

Esercizio #607

$$P = 5 \text{ kW}$$

$$h = 50 \text{ m}$$

$$V = 8 \text{ m}^3$$

$$\Delta t = ?$$

$$A) 50 \text{ s}$$

$$B) 1,6 \text{ s}$$

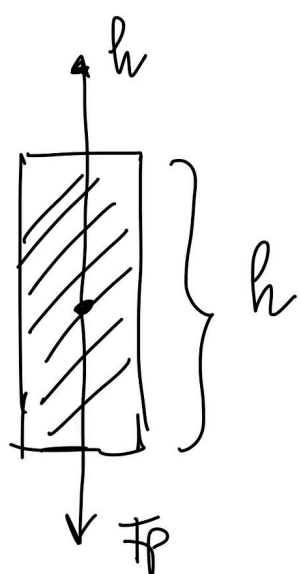
$$C) 784 \text{ s} \quad \checkmark$$

$$D) 8 \cdot 10^4 \text{ s}$$

$$E) 80 \text{ s}$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{P}$$



$$\Delta E = L_p = F_p \cdot h$$

$$L = \vec{F}_p \cdot \Delta \vec{s} = F_p \Delta s \cos 0^\circ$$

$$= - F_p h$$

$$V = 8 \text{ m}^3 \quad \text{H}_2\text{O}$$

$$h = 50 \text{ m}$$

$$F_p = mg$$

$$m = \rho V = (10^3 \text{ kg/m}^3) (8 \text{ m}^3)$$

$$m = 8 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$$L_p = \underbrace{8 \cdot 10^3}_{m} \cdot \underbrace{10}_{g} \cdot 50 = 40 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\Delta E = 40 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta E}{P} = \frac{40 \cdot \overset{10^2}{\cancel{10^5}}}{5 \cdot \cancel{10^3}} \cdot \text{s} = 8 \cdot 10^2 \text{ s}$$

$$\Delta t \approx 800 \text{ s} \approx 784 \text{ s}$$

c) ✓

Legame tra le forze conservative ed il concetto di energia potenziale

Energia Potenziale

L'energia potenziale è una forma di energia immagazzinata in un sistema, pronta per essere convertita in altre forme di energia.

Immagazzinamento dell'Energia

L'interazione tra due o più corpi può immagazzinare energia nel sistema, recuperabile successivamente.

Esempio Gravitazionale

Sollevando una palla, l'energia viene accumulata nel sistema Terra-palla e convertita in energia cinetica quando la palla cade (stesso esempio dell'uomo al mare che sale su uno scoglio)

Esempio Elastico

L'energia immagazzinata in una molla compressa viene rilasciata quando la molla si espande.

Definizione

L'Energia Potenziale è l'energia accumulata che il sistema può trasformare in altre forme (cinetica o termica).

Dipendenza dalla Configurazione

L'energia potenziale dipende dalla posizione e dall'orientamento del sistema all'interno di un campo di forze.

Proprietà del Sistema

È una proprietà del sistema nel suo complesso, non del singolo corpo.

Forze Conservative vs. Forze Non Conservative

Comprendere la natura delle forze è fondamentale per analizzare come l'energia si muove e si trasforma in un sistema fisico.

Forze Conservative

- Consentono l'immagazzinamento e il recupero dell'energia nel sistema.
- Il lavoro svolto da queste forze dipende solo dalle posizioni iniziale e finale, non dal percorso.
- Esempi: forza gravitazionale, forza elastica (molle).

Forze Non Conservative (Dissipative)

- Non permettono il completo recupero dell'energia; una parte viene dispersa (es. come calore).
- Il lavoro svolto da queste forze dipende dal percorso seguito.
- **Esempio: forza d'attrito. L'energia meccanica viene convertita in energia termica non recuperabile.**

ENERGIA è una grandezza che può accumularsi e trasformarsi all'interno di un sistema.

LAVORO è una modalità di trasferimento di energia; non può essere accumulato, ma si realizza quando una forza produce uno spostamento.

Energia Potenziale Gravitazionale

Poiché F_P è conservativa, possiamo definire una funzione energia potenziale. Il lavoro della forza peso è pari alla variazione di energia potenziale:

$$L_{F_P} = \Delta U = mg \underbrace{\Delta y}_h = mg(y_1 - y_2)$$

$$U = mgh + \text{costante}$$

📌 La costante dipende dal **riferimento scelto** per la quota zero. Solo le *variazioni* di energia potenziale hanno significato fisico.

Energia Potenziale Elastica

L'energia immagazzinata in un corpo elastico (es. molla) quando viene compresso o allungato. Una volta in tensione, la molla può compiere lavoro.

Lavoro e variazione di energia

Il lavoro compiuto da una forza esterna sulla molla equivale alla variazione di energia potenziale elastica:

$$\Delta U_e = L$$

Definizione di energia elastica

La forza elastica **non è costante** ma cresce con la deformazione, da cui il fattore $\frac{1}{2}$:

$$U_e = \frac{1}{2} k (\Delta x)^2$$

Scelta del riferimento

Si pone $U_e = 0$ nella posizione di equilibrio ($x = 0$), così U_e misura solo l'energia immagazzinata durante la deformazione.

Forza elastica conservativa

Il lavoro dipende **solo** dai valori iniziale e finale dell'allungamento, non dal percorso seguito: la forza elastica è una forza conservativa.

Esempio biomedico: Il Tendine di Achille

Il Meccanismo

Durante la corsa, ad ogni appoggio del piede si verifica una decelerazione con perdita di **$\sim 100 \text{ J}$** di energia cinetica. Questa energia non viene dissipata interamente.

Immagazzinamento Elastico

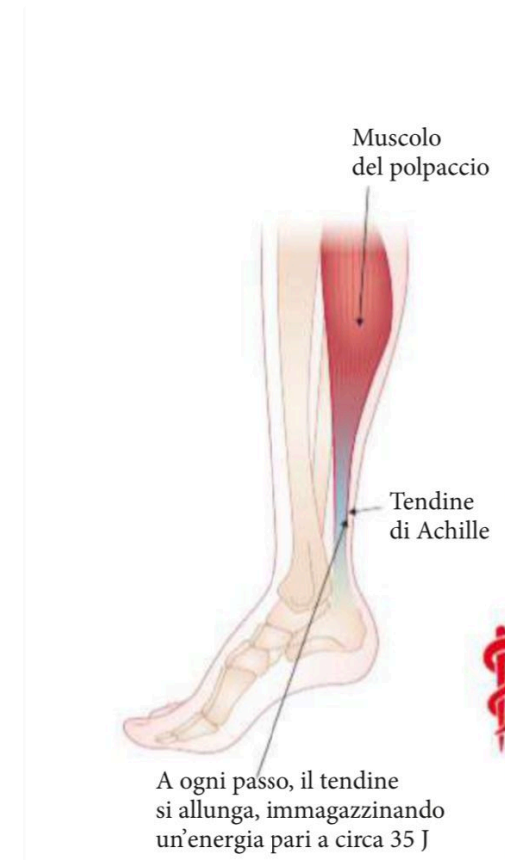
Circa **35 J** vengono immagazzinati nell'allungamento del tendine di Achille, che si comporta come una **molla elastica**.

Recupero dell'Energia

Il **93%** dell'energia immagazzinata è recuperabile nella fase di accelerazione del passo successivo, riducendo lo sforzo muscolare complessivo.

Interpretazione Fisica

L'energia immagazzinata è **energia potenziale elastica** — analoga a una molla deformata — che aumenta l'efficienza della corsa riducendo il consumo muscolare.



Teorema della Conservazione dell'Energia Meccanica

$$U_A + K_A = U_B + K_B$$

$$U + K = \text{costante}$$

⚠ **Attenzione:** questo teorema vale **solo se tutte le forze in gioco sono conservative**. In presenza di forze dissipative (attrito, ecc.) l'energia meccanica non si conserva.

Energia Potenziale U

Dipende dalla configurazione del sistema

Energia Cinetica K

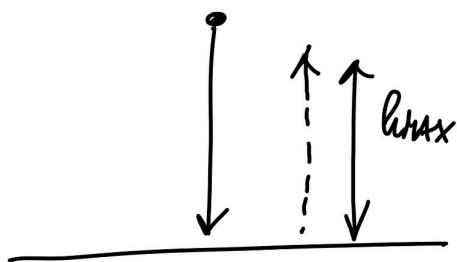
Dipende dalla velocità del sistema

Energia Totale E

Somma costante in assenza di forze dissipative

Esercizi su lavoro ed energia

Esercizio # 582

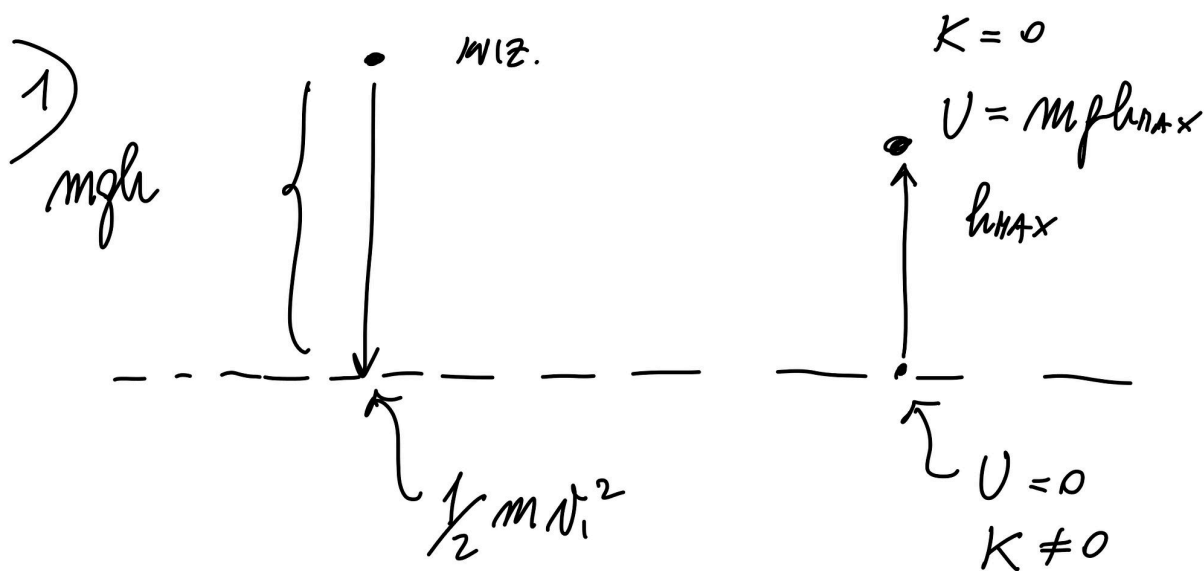


$$v_1 = 50 \text{ m/s}$$

$$h_{\max} = 60 \text{ m}$$

$$\Delta E_{\text{PERSA}} = ?$$

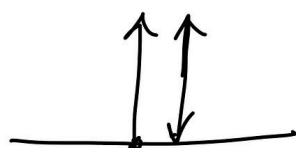
- A) 48 %
- B) 64 %
- C) 24 %
- D) 12 %
- E) 50 % ✓



$$\frac{\Delta E_{\text{FIN}}}{\Delta E_{\text{IN}}} \Rightarrow U_{\text{IN}} + K_{\text{IN}} = U_{\text{FIN}} + K_{\text{FIN}}$$
$$mgh = 0 + \frac{1}{2} m v_2^2$$

Dopo l'auto:

$$\frac{1}{2} m v_2^2 = mgh_{\max}$$



$$\frac{\Delta E_{\text{FIN}}}{\Delta E_{\text{IN}}} = \frac{mgh_{\max}}{mgh} = \frac{mgh_{\max}}{\frac{1}{2} m v_1^2}$$

$$\approx \frac{10 \cdot 64}{\frac{1}{2} \cdot 2500} = \frac{640}{1250} \approx 50 \%$$

E) ✓

Esercizio # 617

$$m = 300 \text{ g}$$

$$h_{IN} = 15 \text{ m}$$

$$h_{MAX} = 10 \text{ m}$$

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$$

Energie dissipate:

A) 15 dyn

B) 30 dyn

C) 30 J

D) 15 J $\checkmark$

E) 1500 dyn

Energie iniziale

$$mg h_{IN} + \underbrace{K_{IN}}_{=0} = E_{IN}$$

Energie finale

$$mg h_{MAX} + \underbrace{K_{FIN}}_{=0} = E_{FIN}$$

$$\Delta E = E_{IN} - E_{FIN} = mg (h_{IN} - h_{MAX}) = 0,3 \cdot 10 \cdot 5$$

$$\Delta E = 15 \text{ J}$$

D)

Attenzione dyn è una mte di misura
della forza, non ENERGIA!!!

Esercizio # 584

$$V_F = 20 \text{ m/s}$$

$$L = 1000 \text{ s}$$

$$M:$$

	5	Kg
A	10	"
B	15	"
C	20	"
D	25	"
E		

Th. energy kinetics

$$\angle_{\text{comp}} = \Delta K = K_{\text{FIN}} - K_{\text{IN}} = \frac{1}{2} m v_F^2$$

$$m = \frac{2 \angle 67.7^\circ}{\sqrt{F}^2} = \frac{2000}{400} = 5 \text{ kg} \quad \checkmark$$

Esercizio # 577

$$h_{in} = 5m \quad ; \quad 3 \text{ rimbalzi}$$

$$\Delta E_{persa} = 50\%$$

$$v_F = ?$$

- | | | | |
|----|------|-----|---|
| A) | 7 | m/s | |
| B) | 4,9 | " | |
| C) | 3,5 | " | ✓ |
| D) | 2,5 | " | |
| E) | 1,75 | " | |

$$E_{in} = mgh_{in} \quad \text{dopo 3 rimbalzi:}$$

$$\left\{ \left[(mgh_{in}) \frac{1}{2} \right] \frac{1}{2} \right\} \frac{1}{2} = \frac{mgh_{in}}{8}$$

$\downarrow$
 2^3

$$\cancel{mgh_{in}} \frac{1}{8} = \cancel{\frac{1}{2}} \cancel{m} v_F^2$$

$$v_F = \sqrt{\frac{8 h_{in}}{4}} = \sqrt{\frac{10.5}{4}}$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{50} \approx \frac{7}{2} = 3,5$$

$$v_F = 3,5 \text{ m/s}$$

C) ✓

Riepilogo: Tipi di Energia



Energia Cinetica K

$K = \frac{1}{2}mv^2$ — associata al movimento.
Aumenta con il quadrato della velocità.



En. Potenziale Gravitazionale
 U_g

$U_g = mgh$ — dipende dalla quota.
Riferimento arbitrario.



En. Potenziale Elastica U_e

$U_e = \frac{1}{2}kx^2$ — dipende dalla
deformazione della molla.

Teoremi su Energia: Sintesi

Teorema Energia Cinetica

$$L_{tot} = \Delta K$$

Vale **sempre**, anche con forze dissipative.

Conservazione Energia Meccanica

$$U_A + K_A = U_B + K_B$$

Vale **solo** se tutte le forze sono conservative. In presenza di attrito, l'energia meccanica diminuisce.

Riepilogo Formule Fondamentali

1

Lavoro

$$L = F \Delta s \cos \theta - [L] = J$$

2

Energia Cinetica

$$K = \frac{1}{2}mv^2 - \text{Teorema: } L = \Delta K$$

3

En. Pot. Gravitazionale

$$U_g = mgh - L_{Fp} = mg\Delta y$$

4

En. Pot. Elastica

$$U_e = \frac{1}{2}kx^2; \quad F = -kx \text{ è conservativa}$$

5

Potenza

$$P = \frac{\Delta L}{\Delta t} = Fv - [P] = W$$

Riepilogo della Lezione



Energia Potenziale

Energia immagazzinata in un sistema in virtù della sua configurazione. È una proprietà del *sistema*, non del singolo corpo.



Forze Conservative vs Dissipative

Le forze conservative (gravitazionale, elastica) consentono il recupero dell'energia; quelle dissipative (attrito) la convertono in calore non recuperabile.



Energia Potenziale Gravitazionale

$U_g = mgh$ — Il riferimento è arbitrario; solo le *variazioni* hanno significato fisico.



Energia Potenziale Elastica

$U_e = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2$ — La forza elastica è conservativa; il fattore $\frac{1}{2}$ deriva dalla non-costanza della forza.



Conservazione dell'Energia Meccanica

$U + K = \text{costante}$ — Valida solo in assenza di forze dissipative. L'energia si trasforma tra potenziale e cinetica, ma la somma rimane costante.



Energia e Lavoro: l'energia è accumulabile e si trasforma; il lavoro è solo una modalità di trasferimento.

Domande di Autovalutazione

Verifica la tua comprensione

1

Cos'è l'energia potenziale?

Perché si dice che è una proprietà del sistema e non del singolo corpo?

2

Forze conservative

Qual è la differenza tra una forza conservativa e una dissipativa? Fai un esempio di ciascuna.

3

Energia potenziale gravitazionale

Un oggetto di massa 2 kg viene sollevato di 5 m. Quanto vale la variazione di energia potenziale gravitazionale? ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$)

4

Energia potenziale elastica

Una molla con costante elastica $k = 200 \text{ N/m}$ viene compressa di 0.1 m. Quanta energia potenziale elastica immagazzina?

5

Conservazione dell'energia meccanica

In quali condizioni vale il teorema di conservazione dell'energia meccanica? Cosa succede in presenza di attrito?

6

Tendine di Achille

Come si collega il comportamento del tendine di Achille durante la corsa al concetto di energia potenziale elastica?

 Le risposte alle domande numeriche: 3) $\Delta U = 98 \text{ J}$ | 4) $U_e = 1 \text{ J}$