Corso di Fisica Generale 1
a.a. 2018/2019

corso di laurea in Ingegneria dell'Automazione, Informatica, Biomedica, Telecomunicazioni ed Elettronica canali CIS-FER e RON-Z

10° lezione (5 e 7 / 11 / 2018)

Prof. Laura VALORE

Email : laura.valore@na.infn.it / laura.valore@unina.it

Pagina web : www.docenti.unina.it/laura.valore

Ricevimento : appuntamento per email – studio presso il Dipartimento di Fisica (Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, Edificio 6) – stanza 1H09

Oppure Laboratorio (Hangar) 1H11c0

Tutorato

esercitazioni in aula, a partire da lunedi 5 novembre

CANALE CIS – FER :

Tutor B : E. Malfi
MARTEDI, aula T4 VIA CLAUDIO dalle 17:30 alle 19:30

CANALE RON – Z :

Tutor B : M. Pascale
LUNEDI, aula TA-13 AGNANO dalle 13:30 alle 15:30

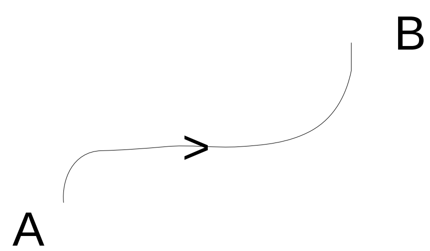
Controllate settimanalmente il calendario del tutorato su : https://goo.gl/1T5WPP

Eventuali variazioni all'orario sopra indicato saranno indicate nel calendario online.

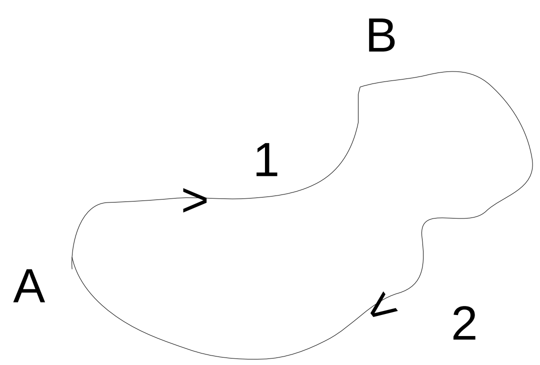
Forze conservative

Una forza si dice conservativa se il lavoro netto che compie su una particella che percorre un cammino chiuso è pari a zero

Un cammino chiuso è un percorso che inizia e termina nello stesso punto :



cammino aperto



cammino chiuso

Esempio di forze conservative :

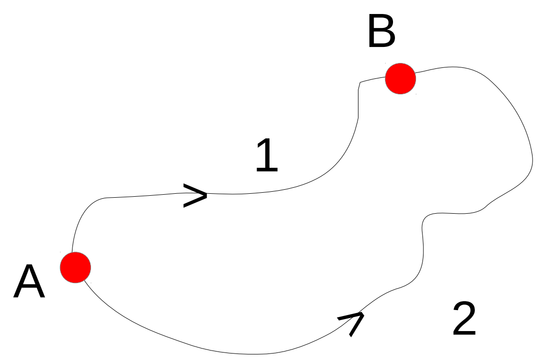
forza gravitazionale

forza elastica

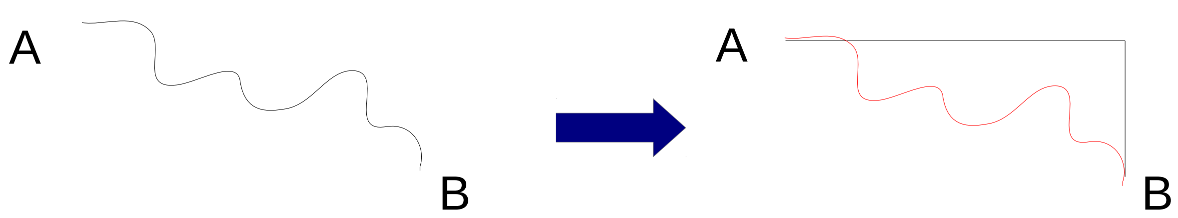
Indipendenza dal percorso del lavoro compiuto da una forza conservativa

il lavoro svolto da una forza conservativa su una particella che si muove tra due punti qualsiasi non dipende dal particolare percorso seguito

$$L_{AB,1} = L_{AB,2}$$



questo permette di semplificare la risoluzione di problemi, scegliendo il percorso piu' semplice! Ad esempio :



Energia potenziale

Energia : capacità di compiere lavoro. Dal greco, letteralmente "forza in azione"

Consideriamo ancora il lancio verso l'alto di un corpo con velocità inziale v_0 :

Mentre sale la F_g sottrae energia cinetica al corpo compiendo lavoro negativo, finché si annulla. Quando scende, la F_g restituisce al corpo l'energia cinetica precedentemente sottratta.

Durante il percorso, l'energia cinetica "sottratta" e poi "restituita" al corpo è stata trasformata dalla forza gravitazionale in un'altra forma di energia :
l'energia potenziale

L'energia potenziale è l'energia che un corpo possiede per effetto della sua posizione in un determinato sistema di riferimento

ovvero

è l'energia associata alla configurazione di un sistema in cui agisce una forza conservativa

- energia cinetica → associata al MOTO
- energia potenziale → associata alla POSIZIONE

Energia potenziale

Rileggendo in questa chiave il moto del corpo lanciato verso l'alto :

Durante la salita, la F_g trasforma l'energia cinetica del corpo in energia potenziale; durante la discesa, l'energia potenziale accumulata viene ri-trasformata in energia cinetica.

Quando una forza conservativa (in questo caso F_g) agisce su un corpo, la variazione di energia potenziale lungo il percorso é :

$$\Delta U = -L$$

- Generalizzando, se una particella si muove da x_i ad x_f sottoposta ad una forza F(x) conservativa variabile che compie il lavoro $L = \int_{xi}^{xf} F(x)\,dx$, la variazione di energia potenziale è : $\Delta U = -\int_{xi}^{xf} F(x)\,dx$

Energia potenziale gravitazionale

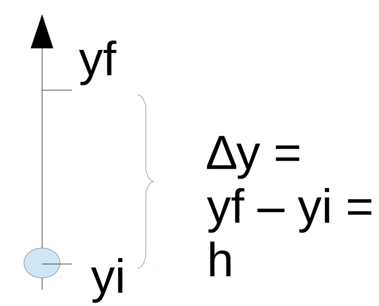
Quando ad agire è la forza gravitazionale, si parla di **energia potenziale gravitazionale**, che è l'energia associata allo stato di separazione tra due corpi che si attraggono reciprocamente per gravitazione : ad esempio, il corpo lanciato in aria e la Terra.

Per una particella sottoposta a forza gravitazionale, nello spostamento <u>verso l'alto</u> da y_i ad y_f l'energia potenziale gravitazionale aumenta:

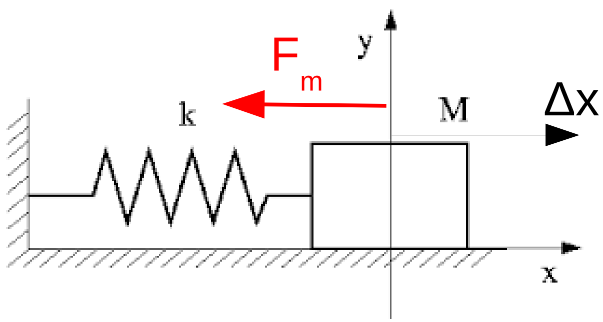
$$\Delta U = - \int_{yi}^{yf} F_g \, dy = - \int_{yi}^{yf} (-mg) \, dy = mg \, [y]_{yi}^{yf} = mg \, (y_f - y_i)$$

$$\rightarrow \; U_f - U_i = mg(y_f - y_i) = mgh \; \rightarrow \; \text{in generale, } U(h) = mgh$$

L'energia potenziale gravitazionale associata ad un sistema particella-Terra dipende solo dalla posizione verticale yf (quota h) della particella rispetto alla posizione di riferimento yi = 0



Energia potenziale elastica



- spostamento del blocco da una posizione x_i ad una x_f → $\Delta x = x_f - x_i$

➢ forza di richiamo $F = -kx$

➢ lavoro della forza : $L = k/2(xi^2 - xf^2)$

Quanto vale la variazione di energia potenziale durante lo spostamento Δx ?

$$\Delta U = -\int_{xi}^{xf} F(x)\,dx = -\int_{xi}^{xf} (-kx)\,dx = k\int_{xi}^{xf} x\,dx = k/2(x_f^2 - x_i^2) = -L$$

→ $U(x) = ½\, kx^2$ **energia potenziale elastica**

quando il capo libero della molla subisce uno spostamento x, la sua energia potenziale elastica è $U(x) = ½\, kx^2$

Conservazione dell'energia meccanica

- L'energia meccanica di un sistema è la somma dell'energia cinetica K e dell'energia potenziale U :

$$E_{mec} = K + U$$

Assumiamo di essere in un sistema isolato, ovvero che non ci sia possibilità che forze esterne al sistema possano modificare l'energia all'interno del sistema, e che stiano agendo solo forze conservative :

$$\left.\begin{aligned} \Delta K &= L \\ \Delta U &= -L \end{aligned}\right\} \quad \Delta K = -\Delta U \;\rightarrow\; K2 - K1 = -(U2 - U1) \;\rightarrow$$

$$K2 + U2 = K1 + U1$$

principio di conservazione dell'energia meccanica

Quando in un sistema isolato agiscono solo forze conservative, la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale (energia meccanica) del sistema non cambia

Ricavare una forza conservativa dalla funzione energia potenziale

Consideriamo una particella vincolata a muoversi in una dimensione, sottoposta all'azione di una forza conservativa :

$\Delta U = - L = -\int_{xi}^{xf} F(x)\, dx$ → se vogliamo ricavare F(x) a partire dalla U(x) dobbiamo operare in senso inverso :

$F(x) = - dU(x)/dx$ (moto unidimensionale)

verifica :

energia potenziale elastica : $U(x) = ½kx^2$ →

energia potenziale gravitazionale : $U(y) = mgy$ →

Ricavare una forza conservativa dalla funzione energia potenziale

Consideriamo una particella vincolata a muoversi in una dimensione, sottoposta all'azione di una forza conservativa :

$\Delta U = - L = -\int_{x_i}^{x_f} F(x)\, dx$ → se vogliamo ricavare F(x) a partire dalla U(x) dobbiamo operare in senso inverso :

$$F(x) = - dU(x)/dx \quad \text{(moto unidimensionale)}$$

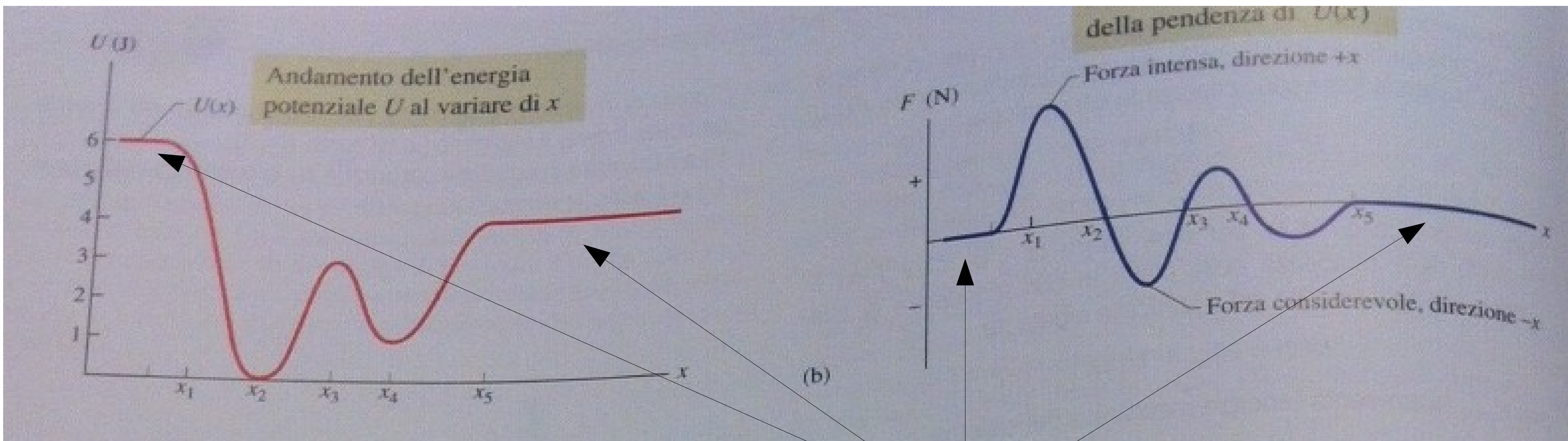
verifica :

energia potenziale elastica : $U(x) = ½kx^2 \rightarrow -d(½kx^2)/dx = -kx$

energia potenziale gravitazionale : $U(y) = mgy \rightarrow -d(mgy)/dy = -mg$

Come leggere una curva dell'energia potenziale

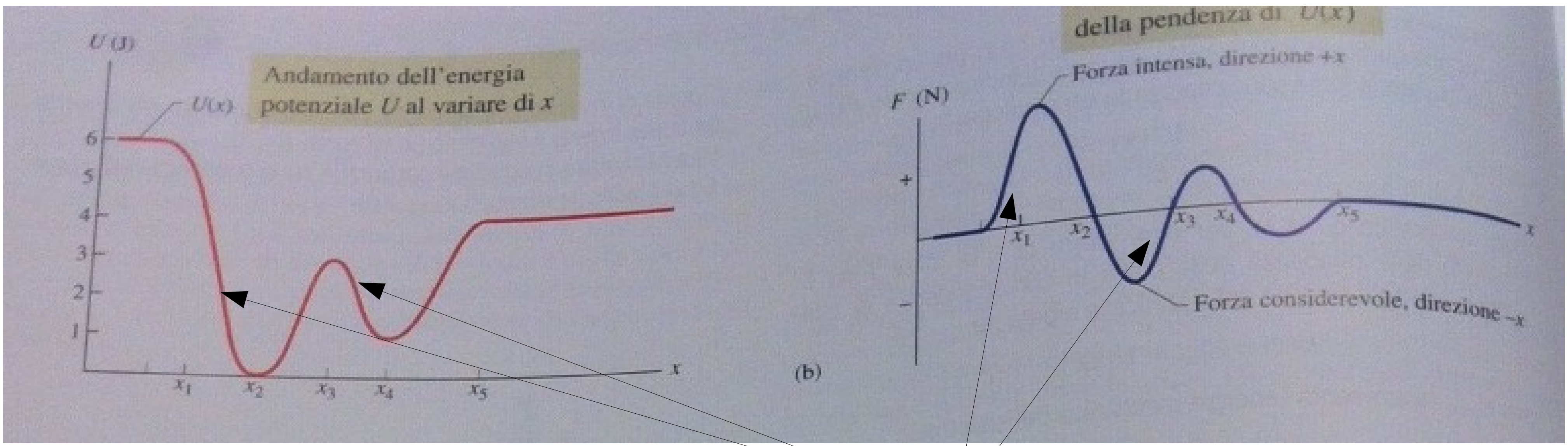
dato un grafico di U(x), energia potenziale di una particella in moto unidimensionale su cui agisce una forza conservativa F(x), possiamo ricavare per via grafica l'espressione della F(x) come inverso della pendenza della curva U(x).



dove la U(x) è costante, la sua derivata è zero (F(x) = 0)

Come leggere una curva dell'energia potenziale

dato un grafico di U(x), energia potenziale di una particella in moto unidimensionale su cui agisce una forza conservativa F(x), possiamo ricavare per via grafica l'espressione della F(x) come inverso della pendenza della curva U(x).

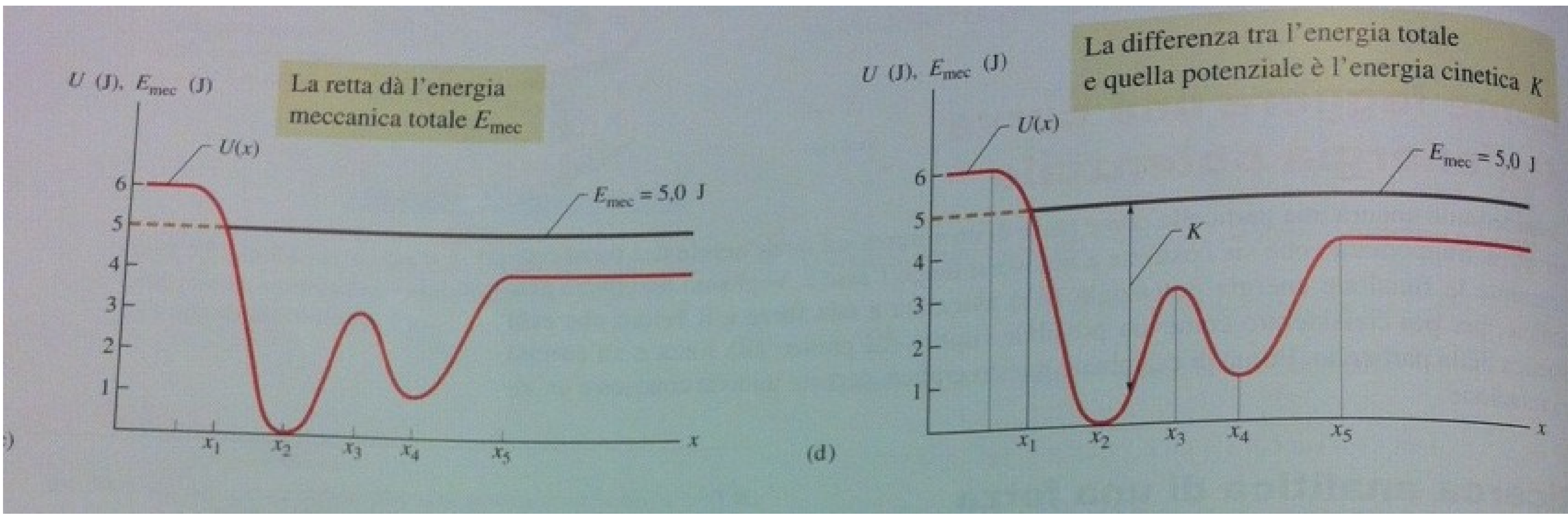


dove la U(x) ha pendenza negativa, l'inverso della sua derivata ha pendenza positiva (F(x) crescente).

Viceversa, dove U(x) ha pendenza positiva, F(x) è decrescente

Ricavare l'energia cinetica K(x)

Se siamo in un sistema isolato in cui agiscono solo forze conservative, l'energia meccanica della particella si conserva → ha un valore costante : Emec = U(x) + K(x) da cui : K(x) = Emec – U(x)

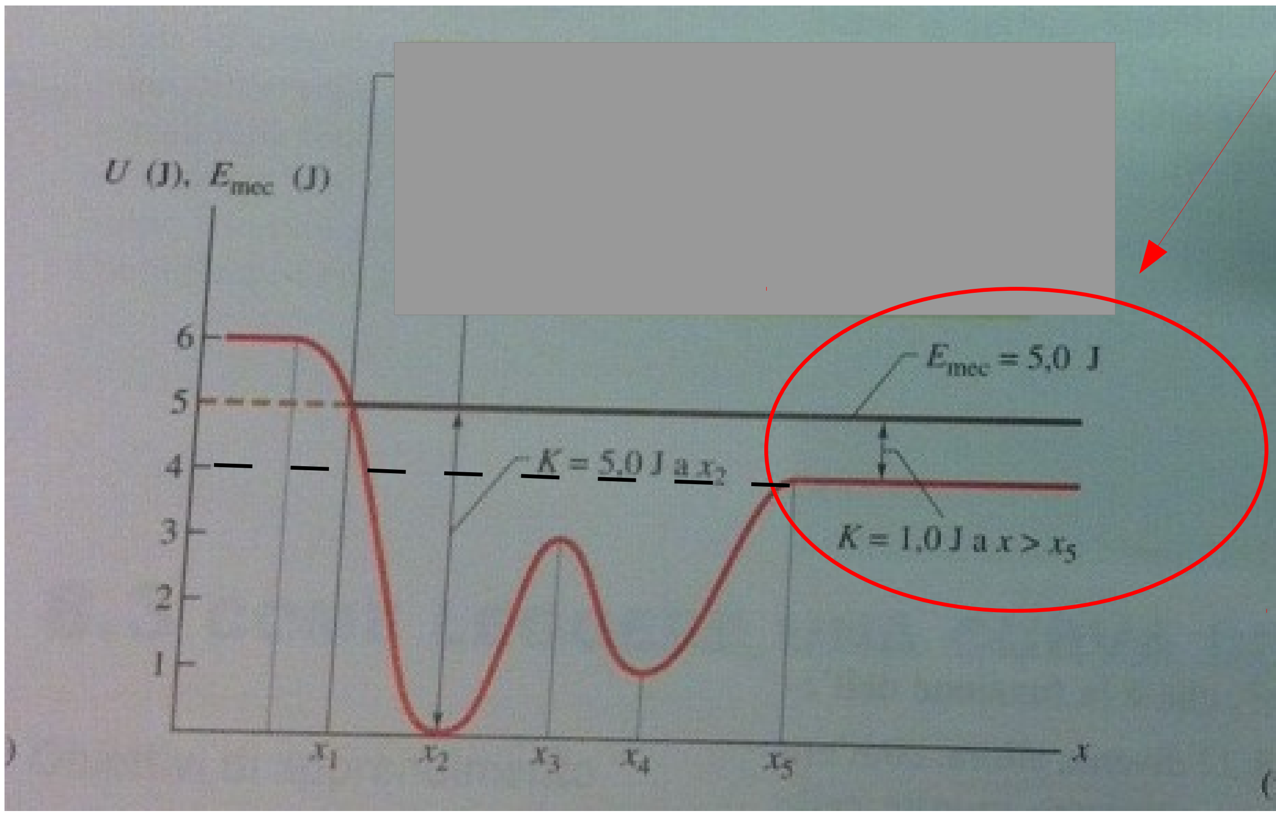


se conosciamo Emec ed il grafico di U(x) possiamo ricavare K(x) per ogni posizione!

K(x) è la differenza, punto per punto, tra Emec = costante ed U(x)

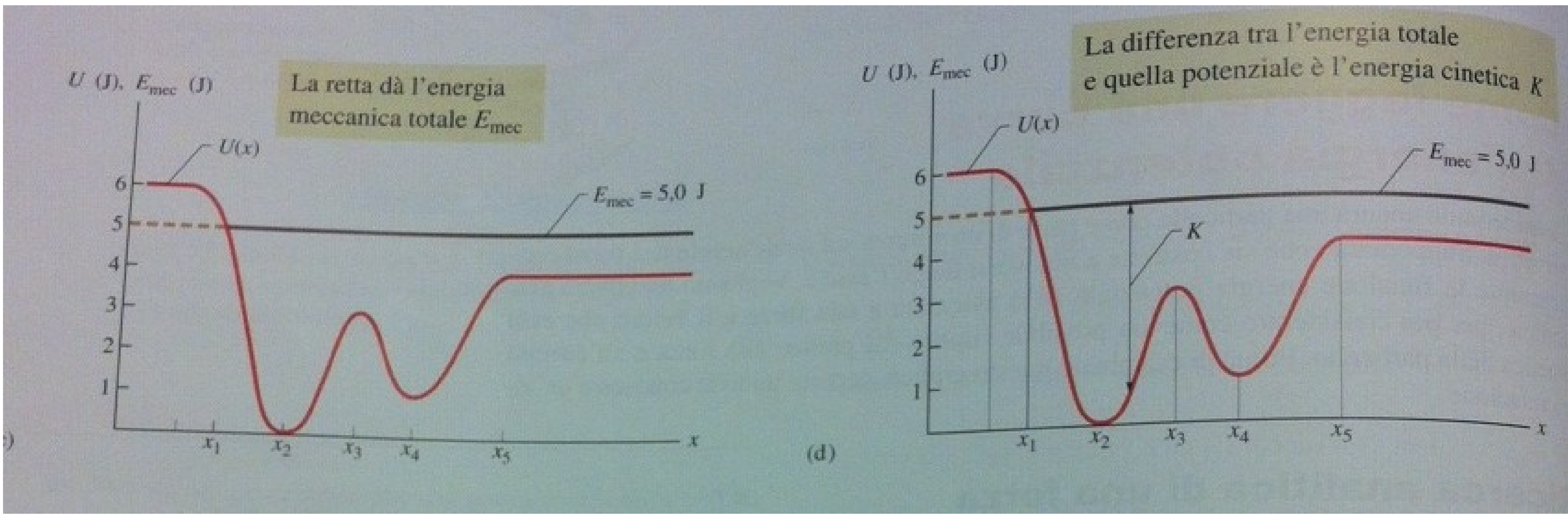
Ricavare l'energia cinetica K(x)

Per valori di x maggiori di x5, K(x) = Emec – U(x) = 5,0 J – 4,0 J = 1,0 J



Ricavare l'energia cinetica K(x)

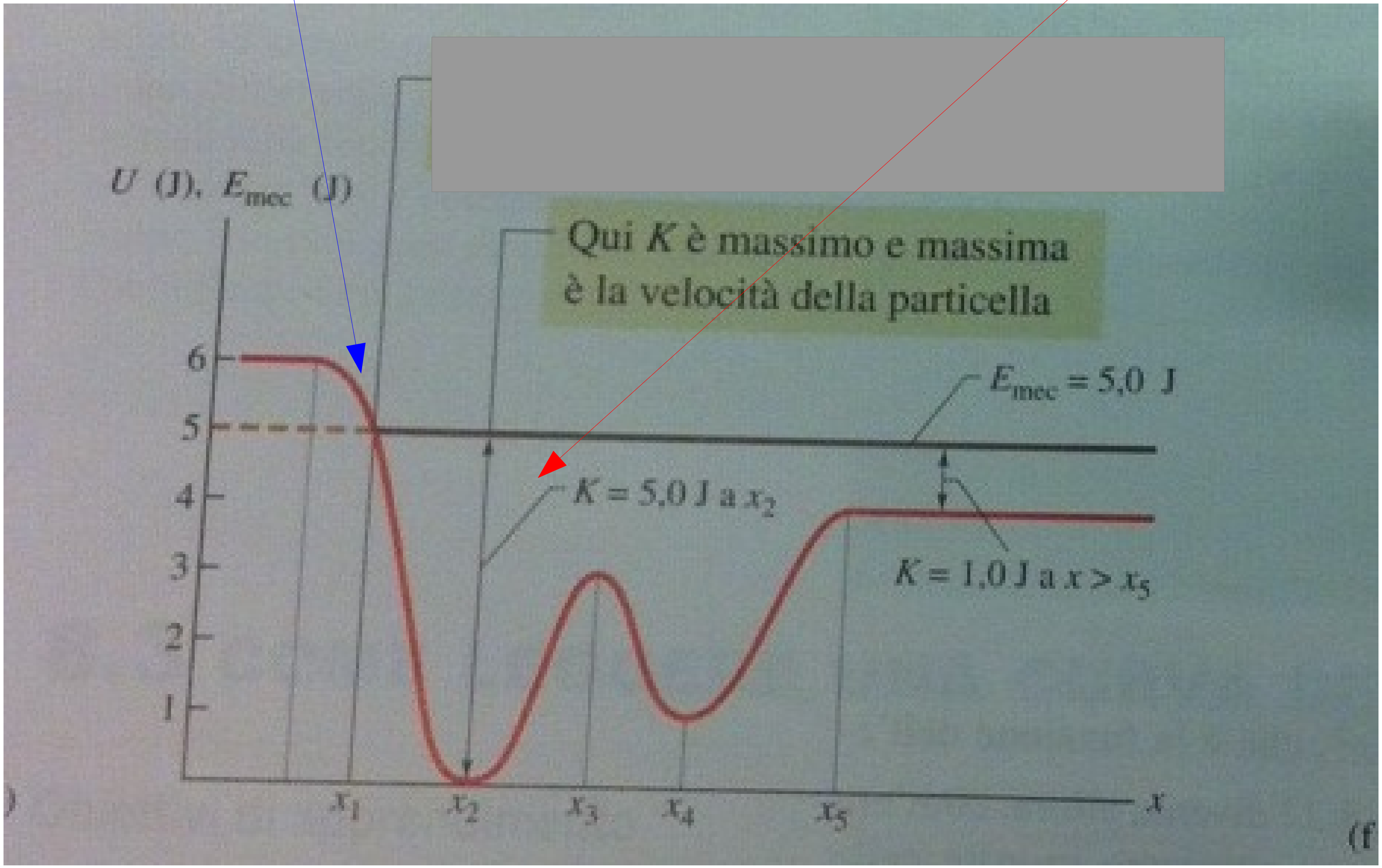
Dove abbiamo il valore massimo di K(x) ?



Ed il valore minimo di K(x) ?

Ricavare l'energia cinetica K(x)

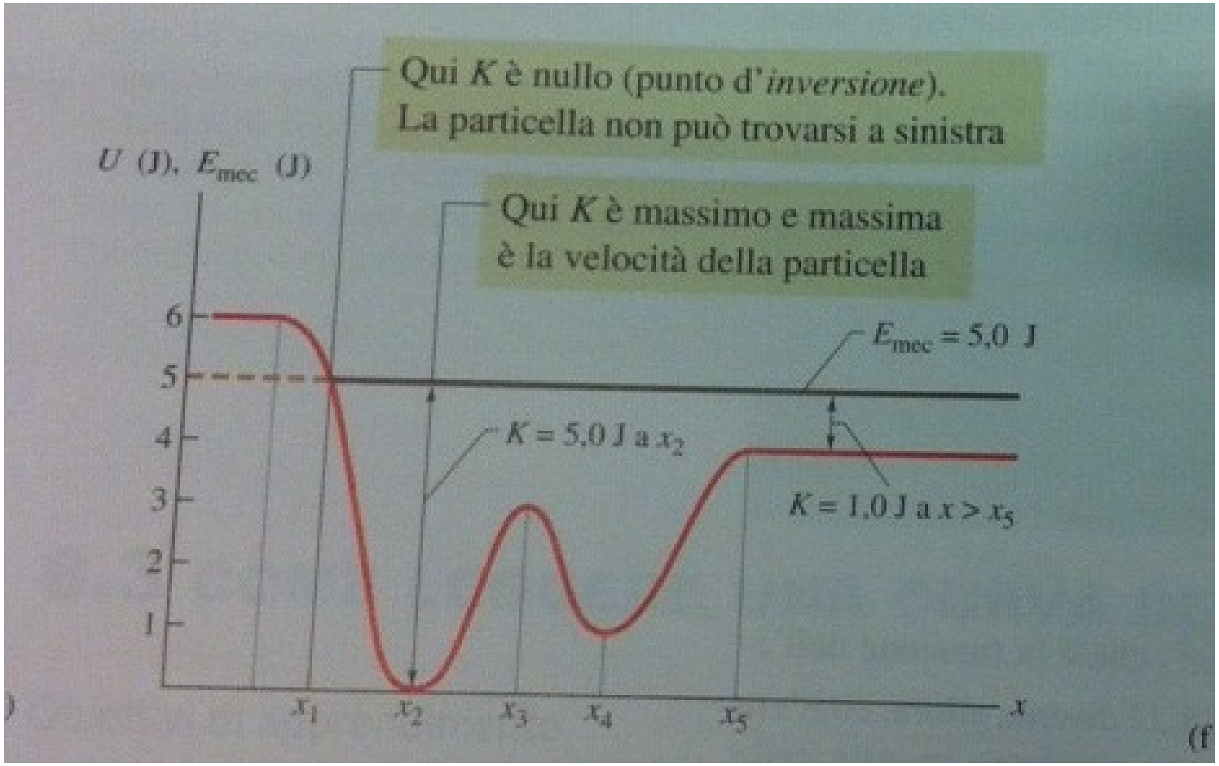
Il minimo è K = 0 J in x = x1 (dove U = Emec) , il massimo è K = 5 J in x = x2



Ricavare l'energia cinetica K(x)

In x = x1, K = 0 → la particella è ferma.

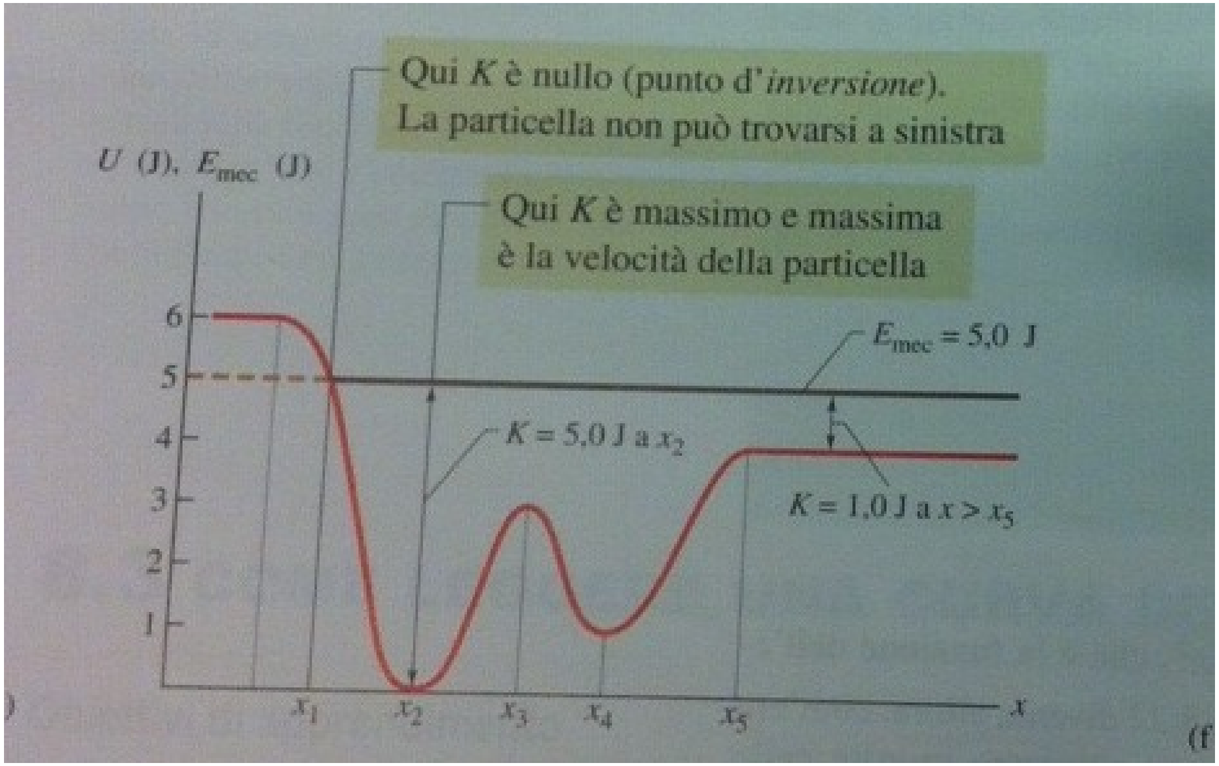
Per x < x1, K(x) dovrebbe assumere valori negativi, ma è proporzionale a v^2, quindi <u>K(x) non puo' mai essere negativa! Quindi la particella non puo' mai muoversi verso valori di x < x1.</u>



Andando da x2 ad x1, K(x) diminuisce dal valore massimo a zero, sta rallentando, fino a fermarsi in x = x1

Punti d'inversione

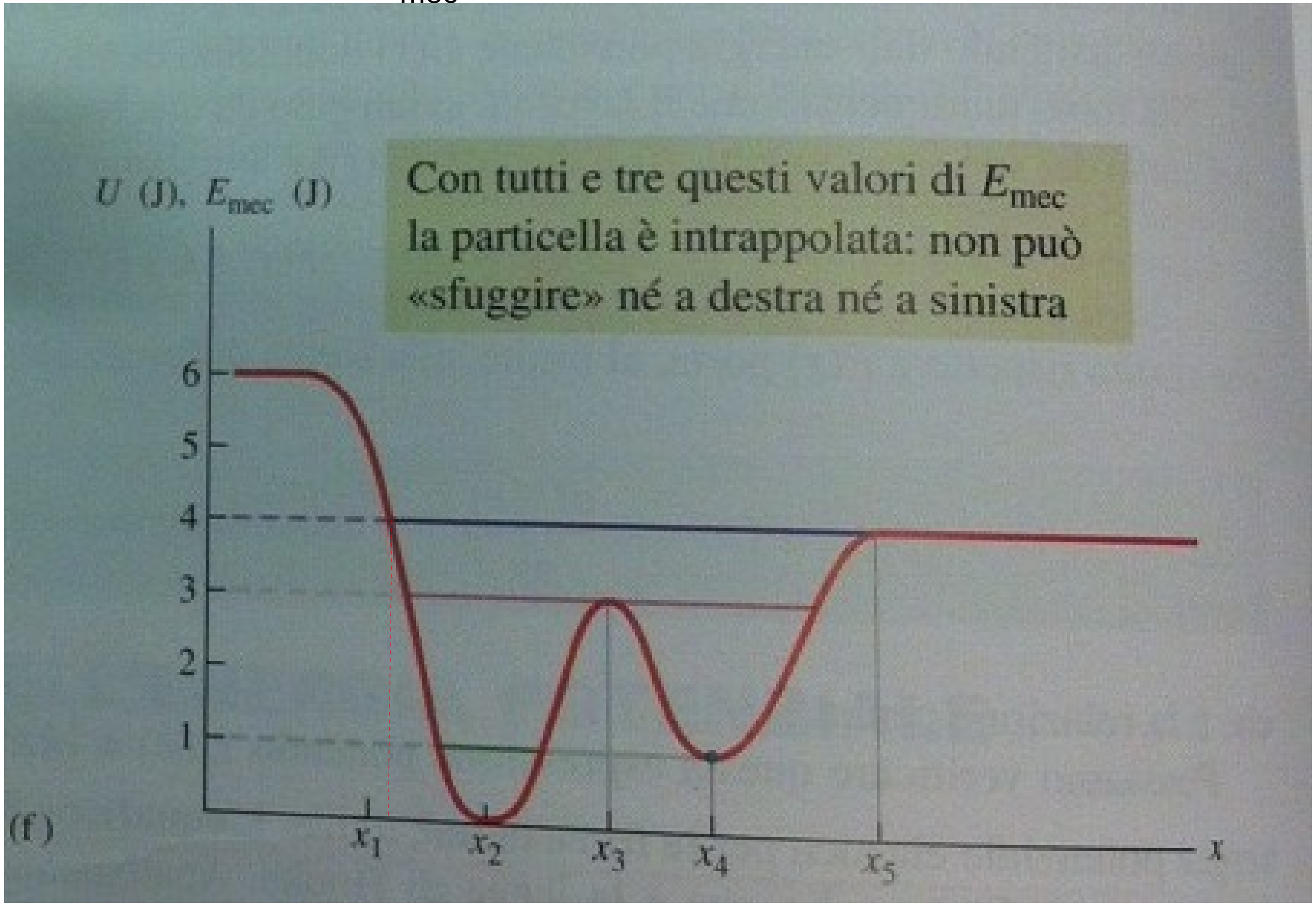
Quando la particella arriva in x = x1, F(x) è positiva: c'è una forza conservativa che sta agendo, quindi non puo' restare ferma in x1 → ricomincia a muoversi nel verso opposto. Il punto x = x1 è detto punto d'inversione



Il punto d'inversione è un punto in cui l'energia cinetica è nulla ed il moto della particella cambia verso per effetto della forza conservativa che sta agendo.
Da questo grafico vediamo che a destra di x1 non ci sono piu' punti d'inversione, quindi la particella continuerà muoversi indefinitamente verso destra

Punti di equilibrio

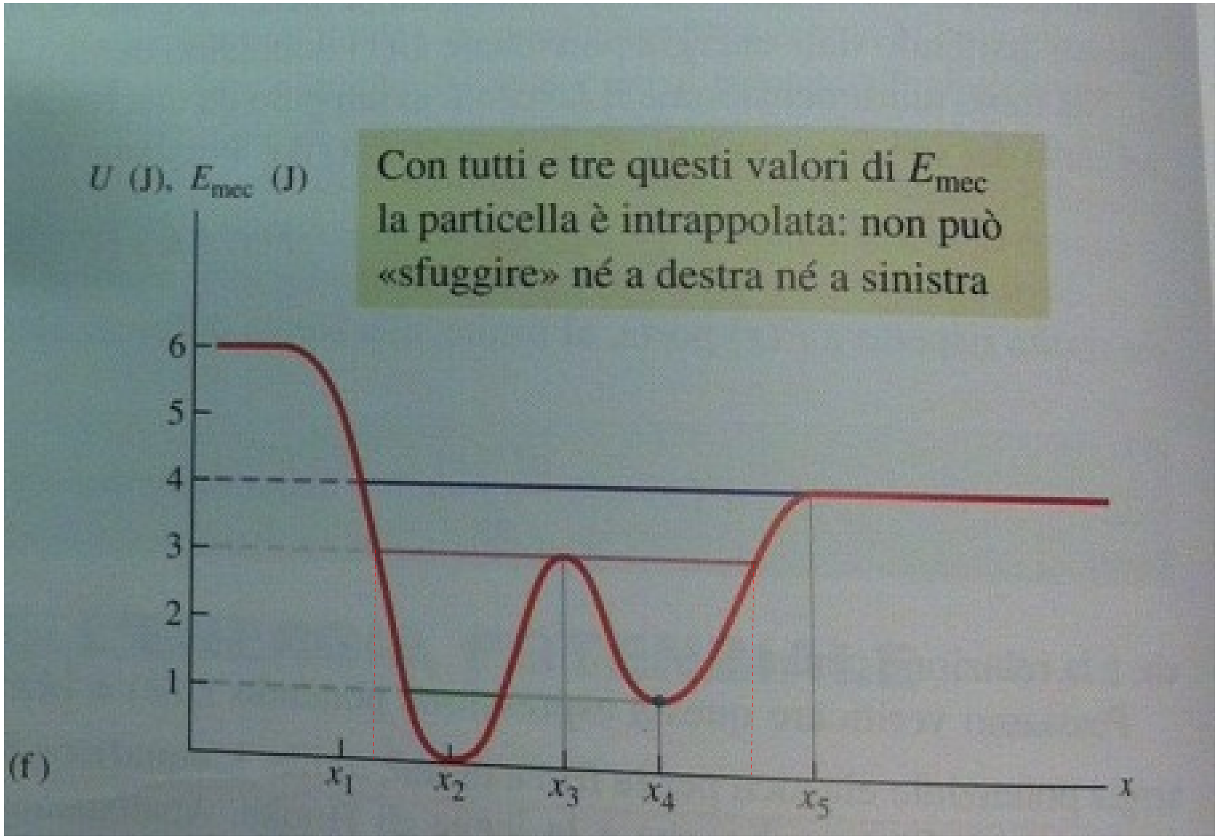
Il grafico mostra altri 3 valori di E_{mec} = costante



Caso con Emec = 4,0 J

il punto d'inversione si trova tra x1 ed x2. Per x > x5, Emec = U(x) = costante → K(x) = 0, ed anche F(x) = -dU(x)/dx = 0 (derivata di una costante). La particella è ferma. Lo stato della particella si definisce di equilibrio indifferente.

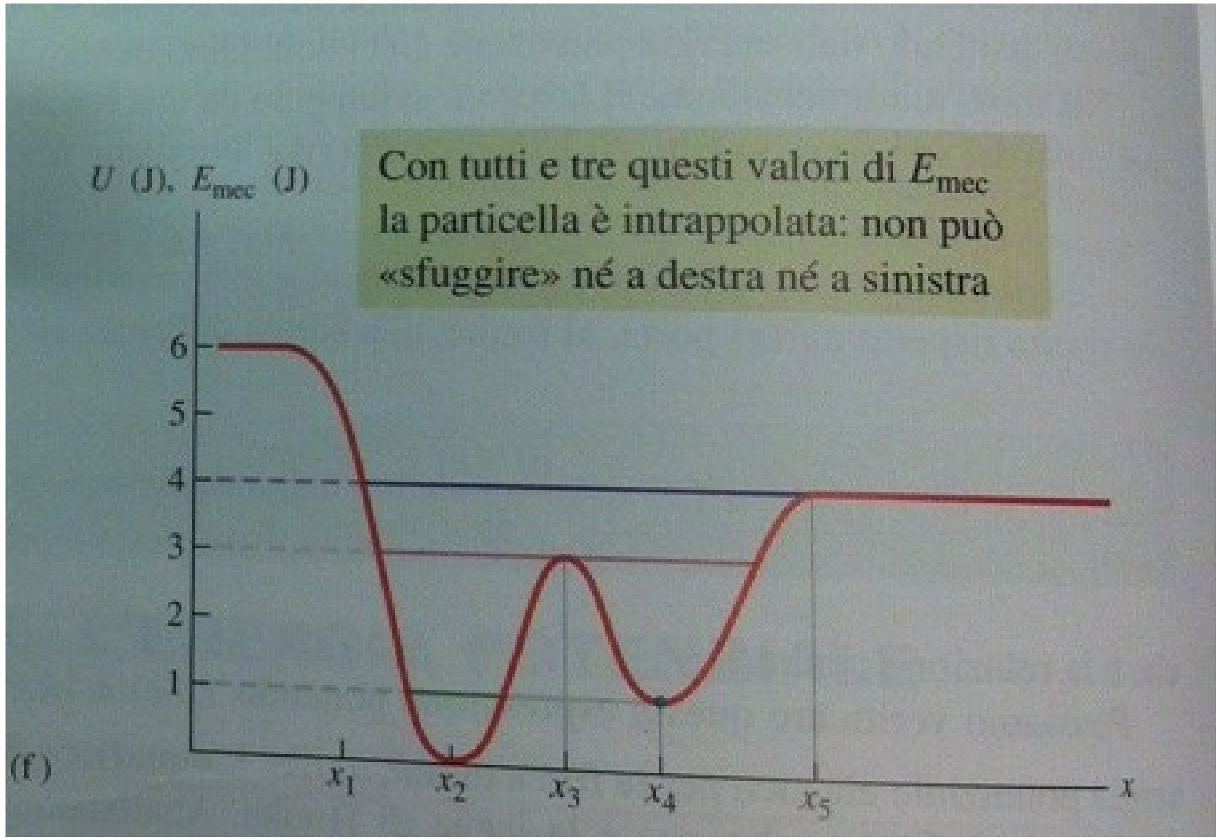
Punti di equilibrio



Caso con Emec = 3,0 J

due punti d'inversione : uno tra x1 ed x2, e l'altro tra x4 ed x5.
In x3, Emec = U(x) → K(x) = 0. Se la particella si trova esattamente in x3, anche F(x) = 0, ma per uno spostamento minimo F(x) ≠ 0 e la particella riprende a muoversi. Lo stato della particella si definisce di equilibrio instabile.

Punti di equilibrio



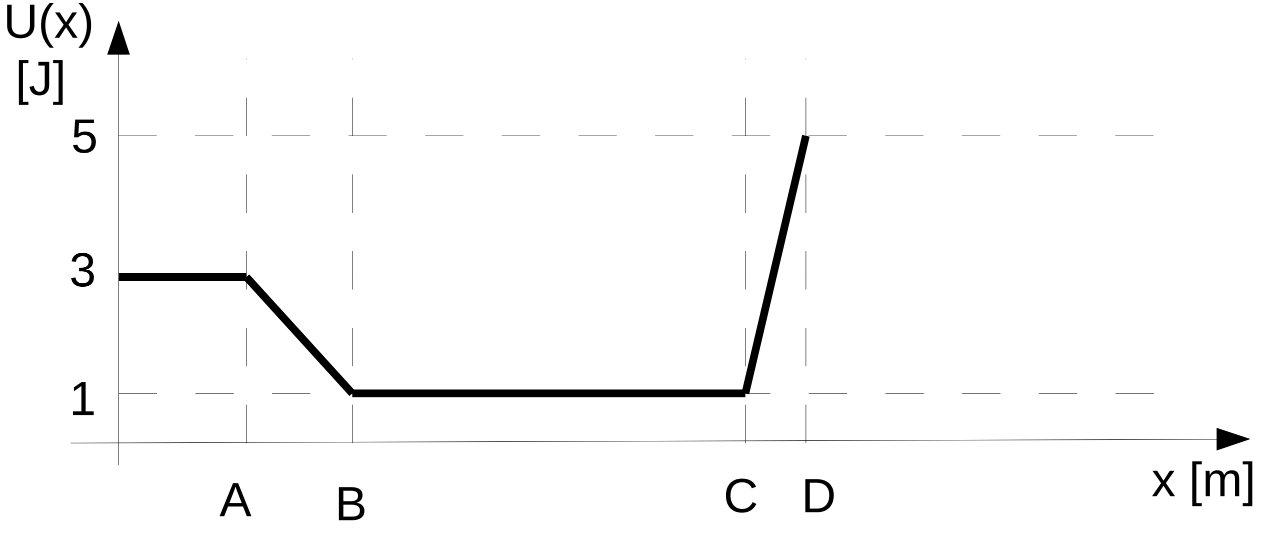
<u>Caso con Emec = 1,0 J</u>

In x4 la particella è bloccata. Sia a destra che a sinistra Emec – U(x) < 0 → non puo' muoversi da sola. Se la posizioniamo nella buca di potenziale attorno al punto x2, puo' spostarsi di poco a destra e sinistra ma tende sempre a tornare in x2.
Lo stato della particella si definisce di equilibrio stabile.

Verifica

- La figura descrive la funzione U(x) per una particella in moto unidimensionale in un sistema isolato in cui agisce solo una forza conservativa.

  a) ordinate in modo decrescente le regioni AB, BC e CD secondo il modulo della forza che agisce sulla particella

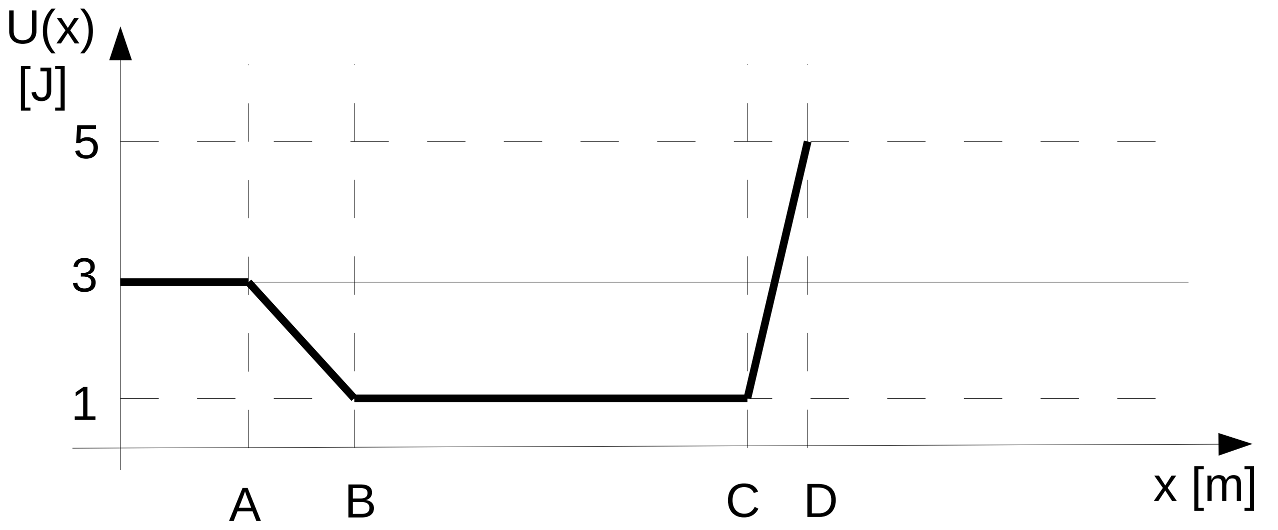


Verifica

- La figura descrive la funzione U(x) per una particella in moto unidimensionale in un sistema isolato in cui agisce solo una forza conservativa

  a) ordinate in modo decrescente le regioni AB, BC e CD secondo il modulo della forza che agisce sulla particella :

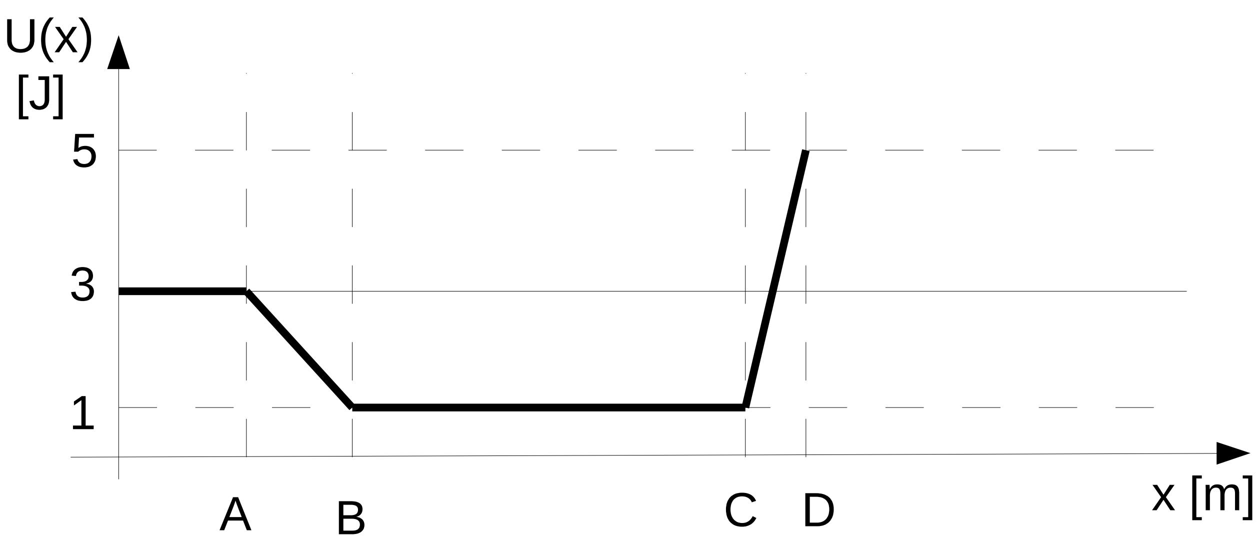
  CD, AB, BC → il modulo della forza è la pendenza di U(x), ovvero ΔU(x)/Δx. La variazione maggiore si ha in CD, per un intervallo Δx (CD) che è minore dell'intervallo AB. Tra B e C la pendenza è zero.



Verifica

- La figura descrive la funzione U(x) per una particella in moto unidimensionale in un sistema isolato in cui agisce solo una forza conservativa.

  b) che verso presenta la forza quando la particella si trova nella regione AB?

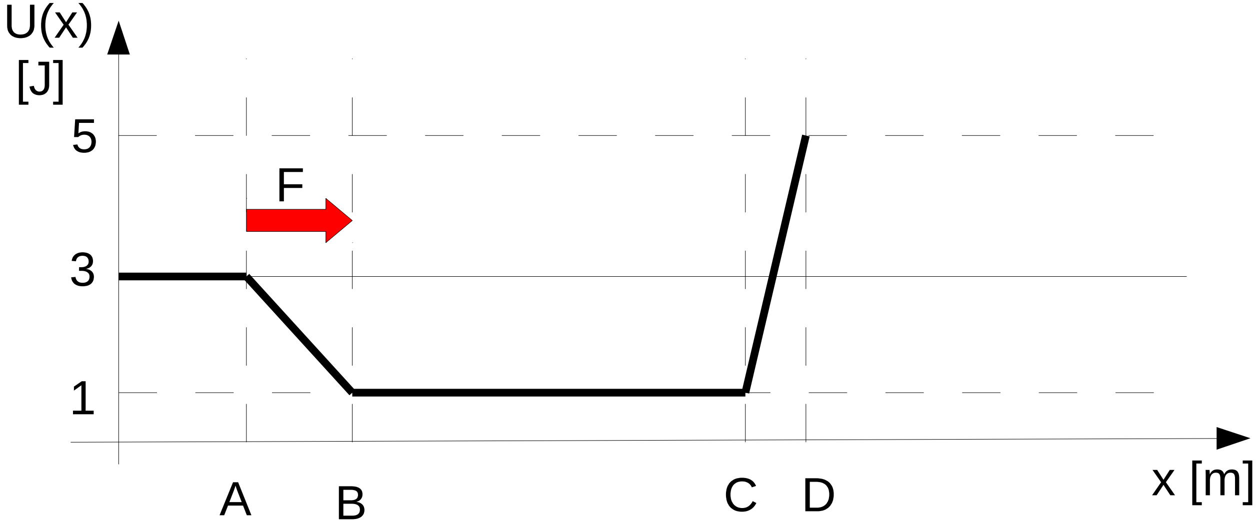


Verifica

- La figura descrive la funzione U(x) per una particella in moto unidimensionale.

  b) che verso presenta la forza quando la particella si trova nella regione AB? verso positivo delle x, perché :

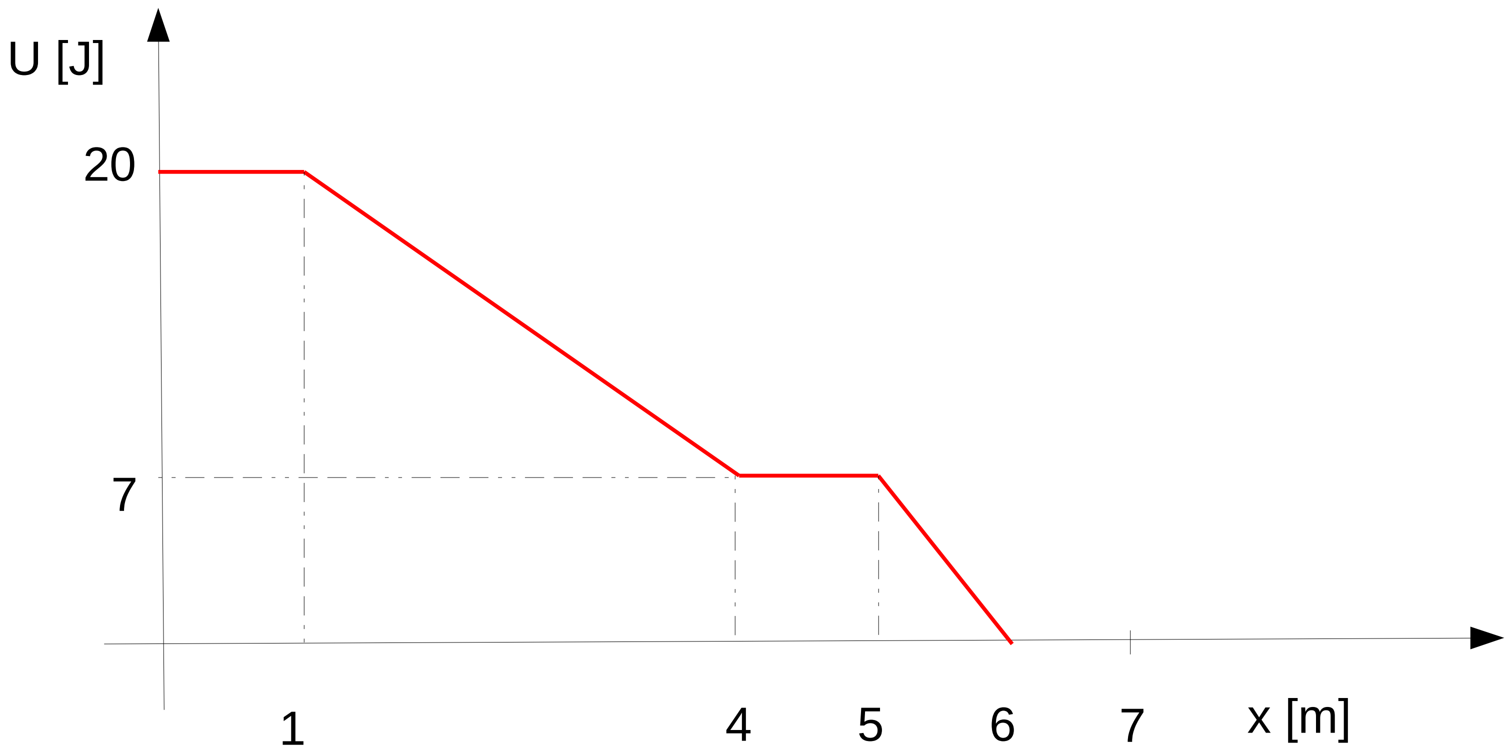
- F(x) = -d(U(x)/dx
- Vista in un altro modo : U(x) sta diminuendo, Emec = costante → K(x) (e quindi la velocità) sta aumentando.



Problema svolto 8.4

Una particella di massa m=2,00 kg si muove lungo l'asse x mentre su di essa agisce una forza conservativa. L'energia potenziale U(x) segue l'andamento nel grafico.
Per x = 6,50 m la velocità della particella è v_0 = (-4,00 m/s) **i**

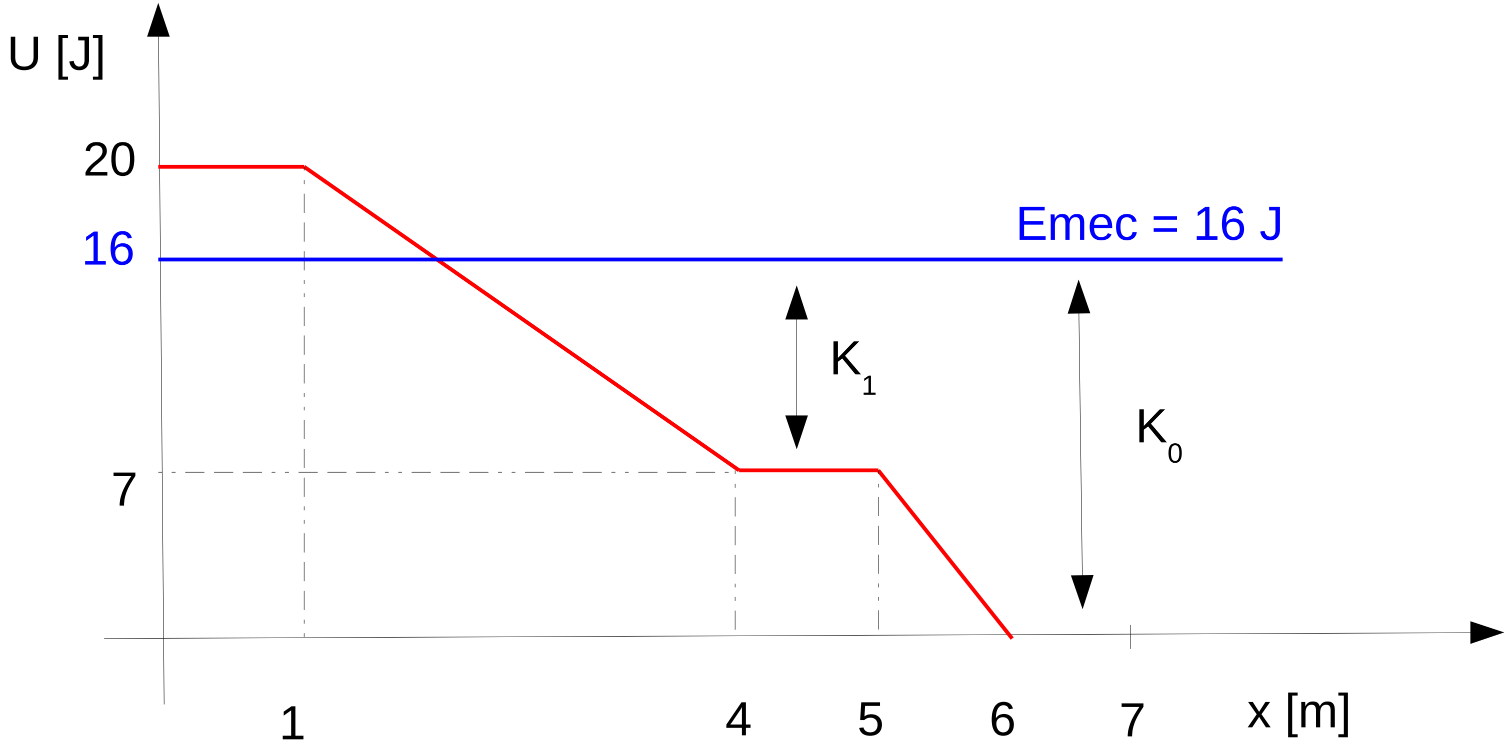
a) dalla figura, ricavare la velocità scalare della particella per x = 4,5 m



Problema svolto 8.4

Una particella di massa m=2,00 kg in un sistema isolato si muove lungo l'asse x mentre su di essa agisce una forza conservativa. L'energia potenziale U(x) segue l'andamento nel grafico.
Per x = 6,50 m la velocità della particella è v_0 = (-4,00 m/s) **i**

a) dalla figura, ricavare la velocità scalare della particella per x = 4,5 m



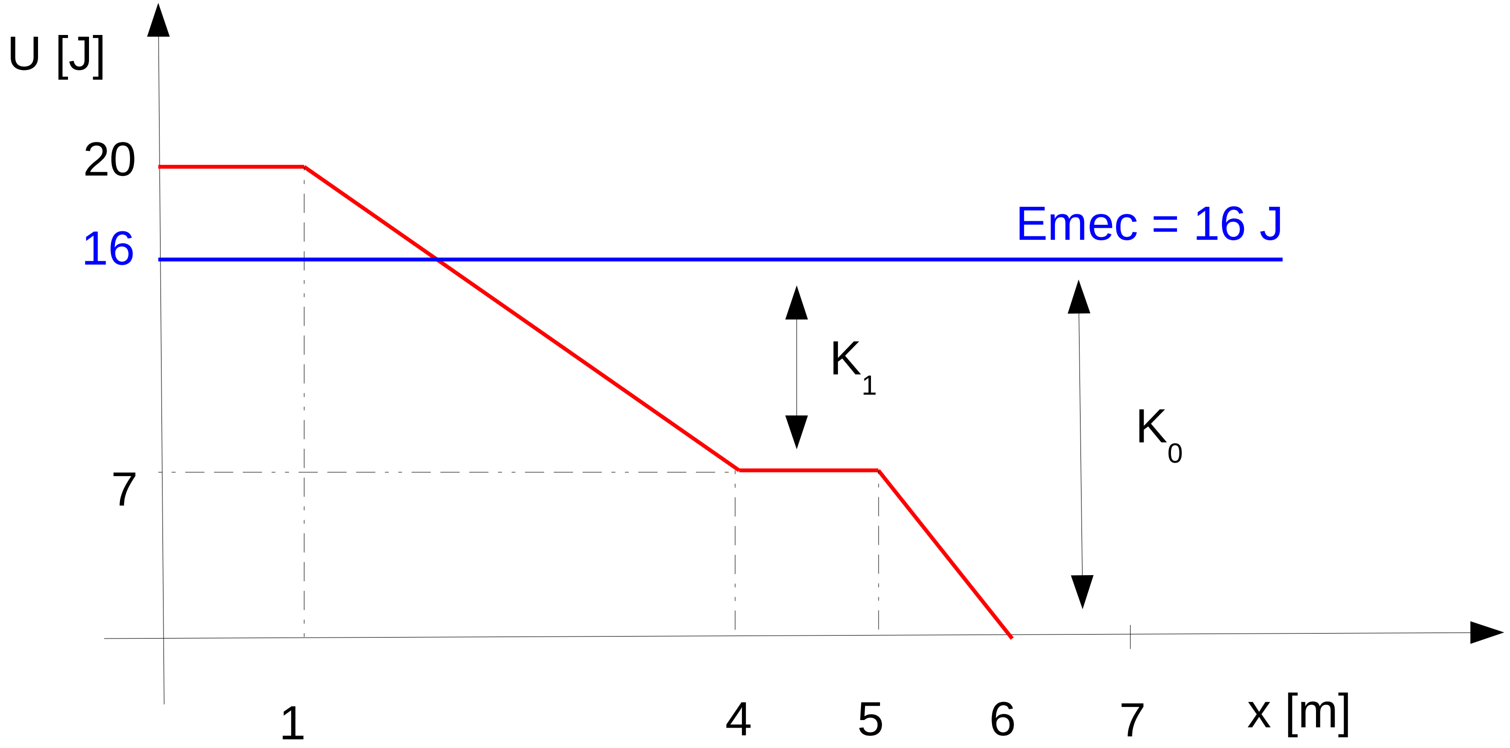
Problema svolto 8.4

Una particella di massa m=2,00 kg in un sistema isolato si muove lungo l'asse x mentre su di essa agisce una forza conservativa. L'energia potenziale U(x) segue l'andamento nel grafico.

Per x = 6,50 m la velocità della particella è v_0 = (-4,00 m/s) **i**

a) dalla figura, ricavare la velocità scalare della particella per x = 4,5 m

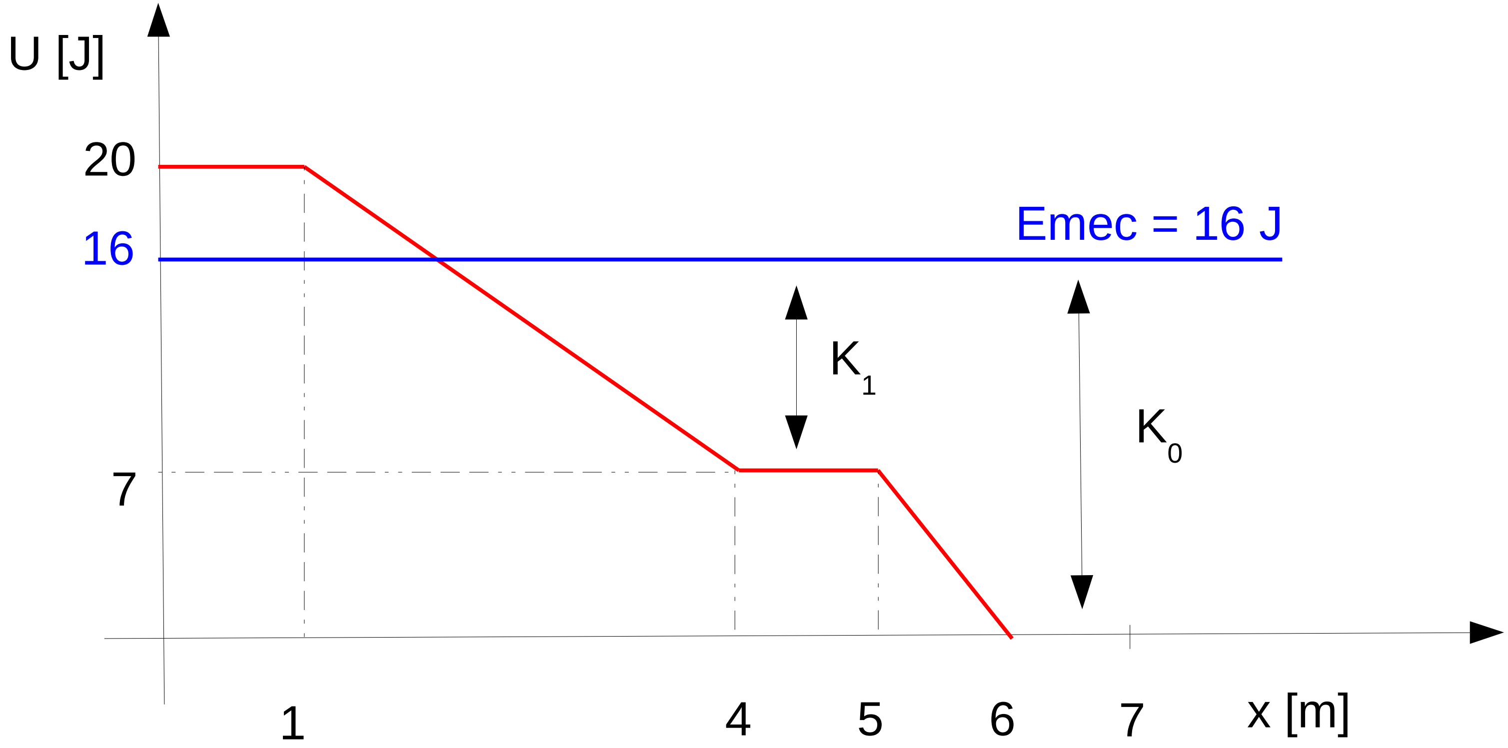
v = 3,0 m/s



Problema svolto 8.4

Una particella di massa m=2,00 kg si muove lungo l'asse x mentre su di essa agisce una forza conservativa. L'energia potenziale U(x) segue l'andamento nel grafico.
Per x = 6,50 m la velocità della particella è v_0 = (-4,00 m/s) **i**

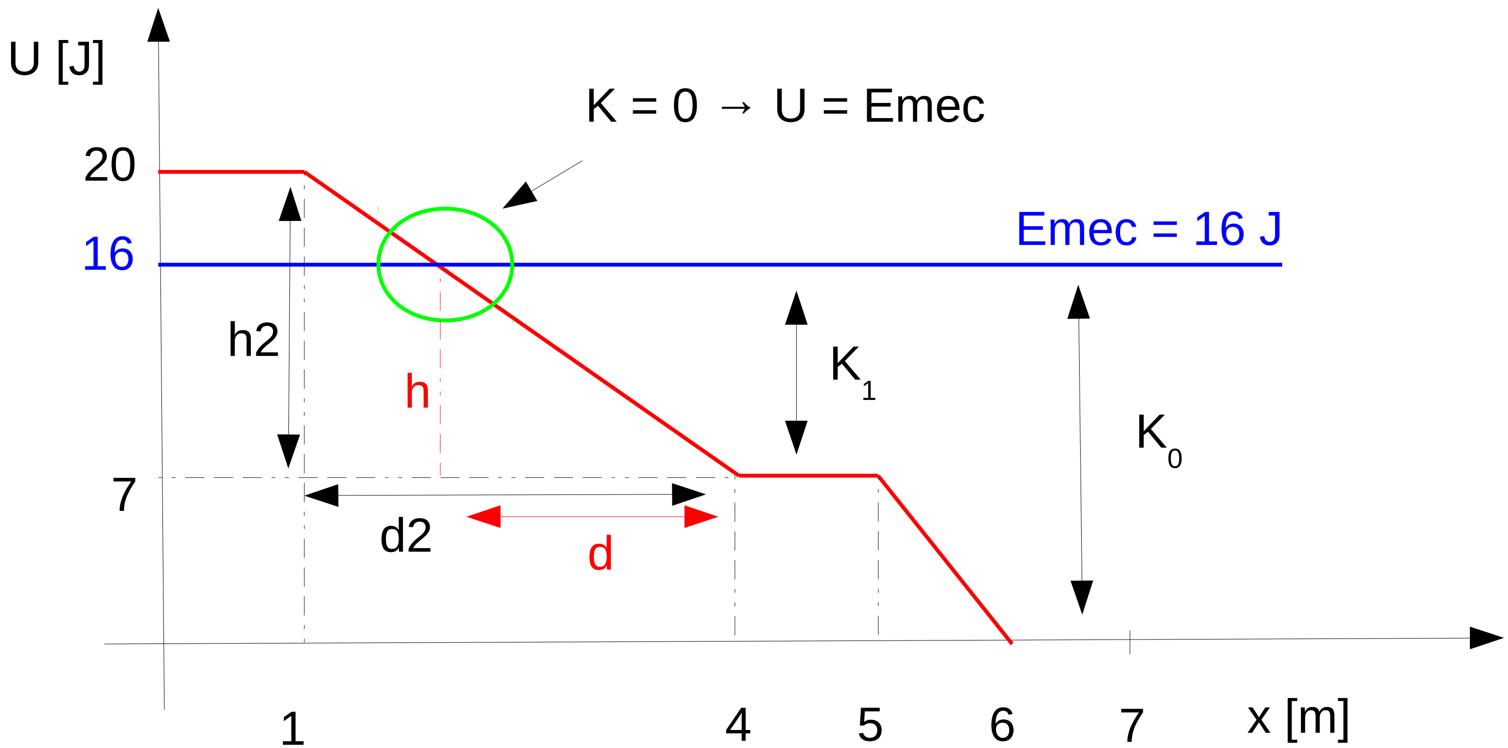
b) dove è collocato il punto d'inversione per la particella?



Problema svolto 8.4

Una particella di massa m=2,00 kg si muove lungo l'asse x mentre su di essa agisce una forza conservativa. L'energia potenziale U(x) segue l'andamento nel grafico.
Per x = 6,50 m la velocità della particella è v_0 = (-4,00 m/s) **i**

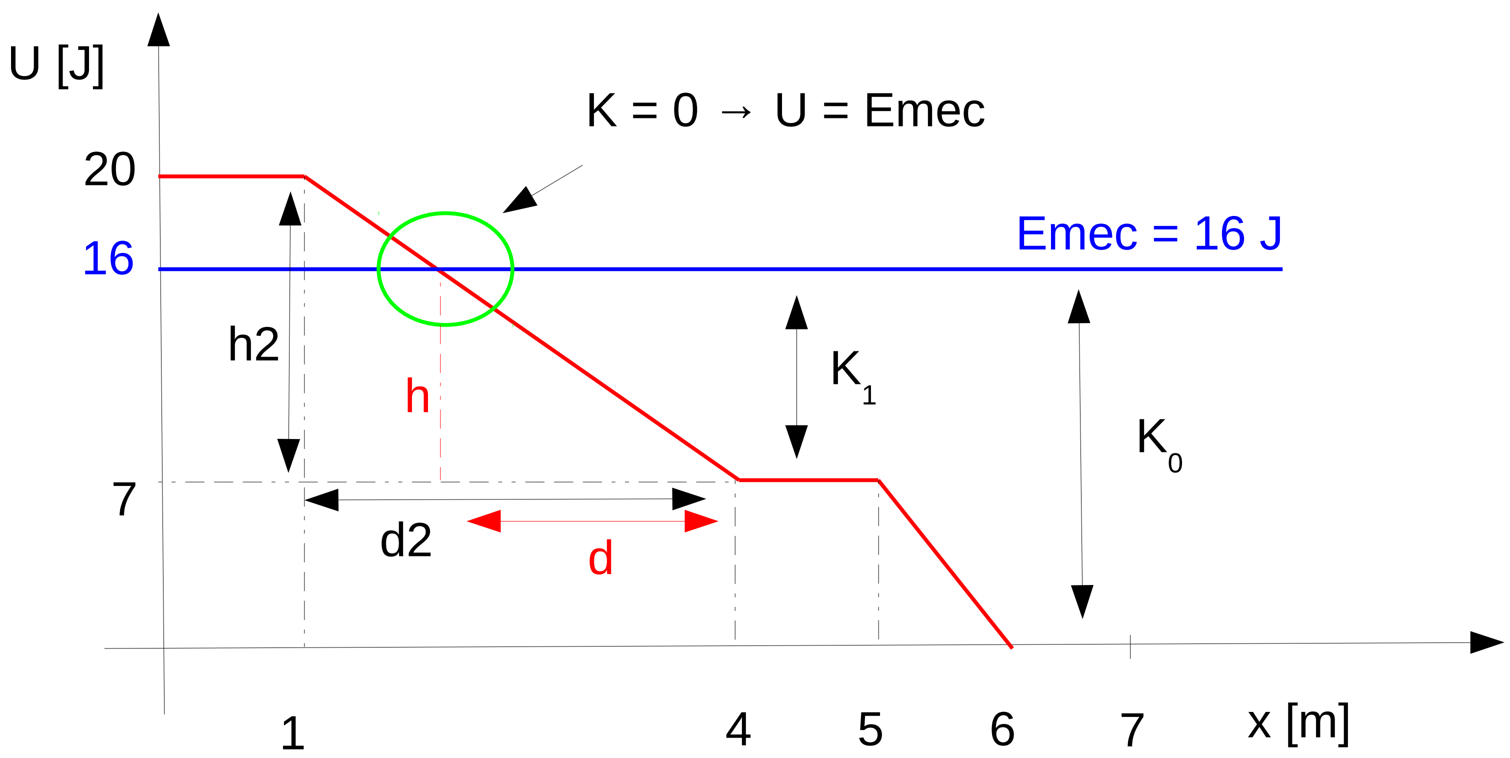
b) dove è collocato il punto d'inversione per la particella?



Problema svolto 8.4

Una particella di massa m=2,00 kg si muove lungo l'asse x mentre su di essa agisce una forza conservativa. L'energia potenziale U(x) segue l'andamento nel grafico.
Per x = 6,50 m la velocità della particella è v_0 = (-4,00 m/s) **i**

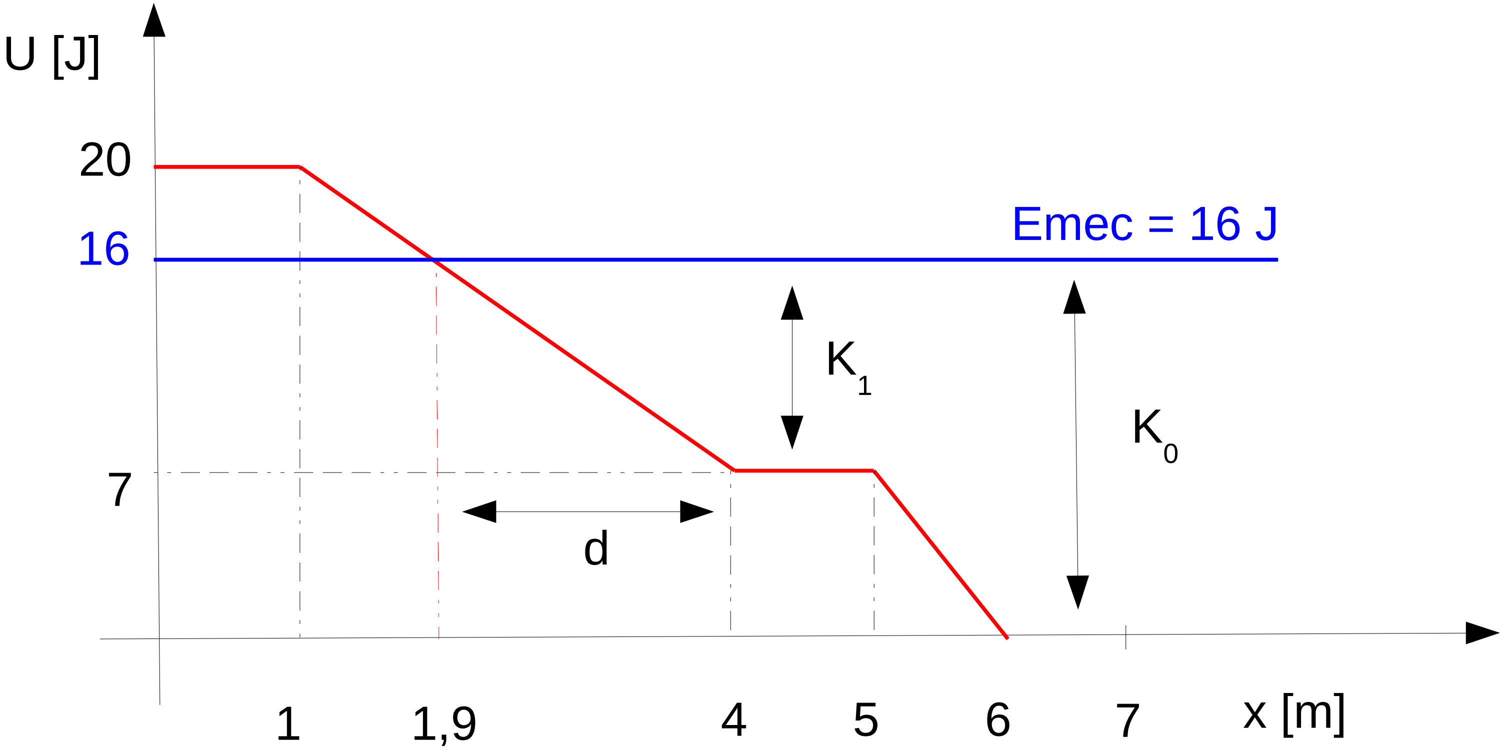
b) dove è collocato il punto d'inversione per la particella? **x = 1,9 m**



Problema svolto 8.4

Una particella di massa m=2,00 kg si muove lungo l'asse x mentre su di essa agisce una forza conservativa. L'energia potenziale U(x) segue l'andamento nel grafico.
Per x = 6,50 m la velocità della particella è v_0 = (-4,00 m/s) **i**

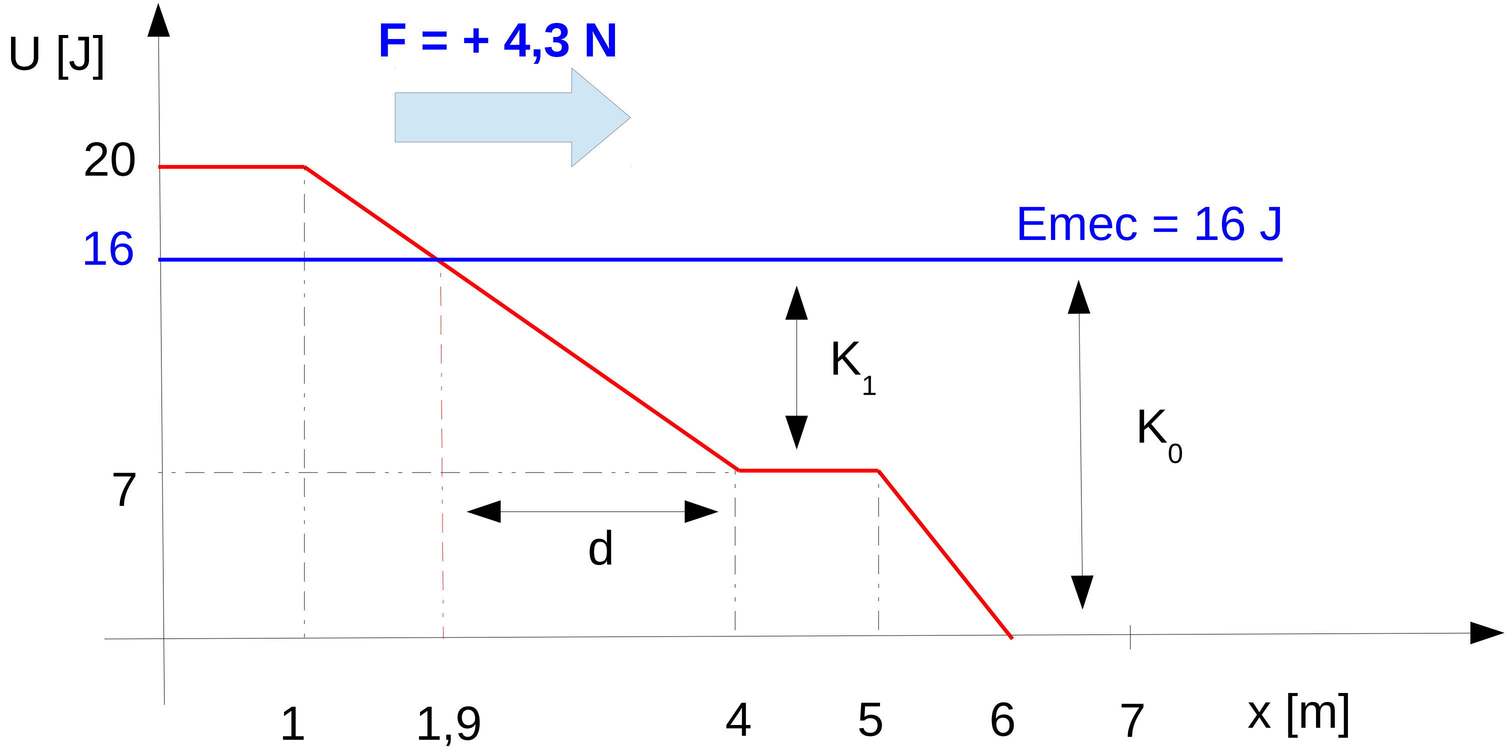
b) calcolare la forza agente sulla particella quando si trova tra 1,9 m e 4,0 m



Problema svolto 8.4

Una particella di massa m=2,00 kg si muove lungo l'asse x mentre su di essa agisce una forza conservativa. L'energia potenziale U(x) segue l'andamento nel grafico.
Per x = 6,50 m la velocità della particella è v_0 = (-4,00 m/s) **i**

b) calcolare la forza agente sulla particella quando si trova tra 1,9 m e 4,0 m



Forze conservative e non conservative

Una forza si dice CONSERVATIVA se :

1. il lavoro da essa compiuto su una particella che percorre un cammino chiuso è zero

2. il lavoro da essa compiuto su una particella che si muove tra due punti qualsiasi è indipendente dal percorso

Esempio di forze conservative :
forza gravitazionale
forza elastica

Esempio di forza non conservativa :
forza di attrito

Il Teorema dell'Energia Cinetica (detto anche Teorema delle Forze Vive) è valido sia per le forze conservative che per quelle non conservative :

$$L_{tot} = L_C + L_{NC} = \Delta K$$

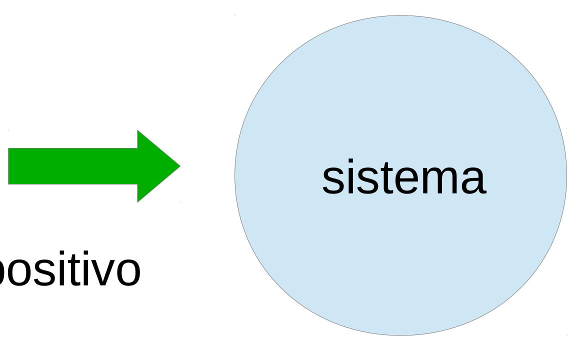
Azione di una forza esterna su un sistema (sistema NON isolato)

Il lavoro svolto da una forza esterna su un sistema è l'energia ceduta o assorbita dal sistema stesso → c’è variazione di energia!

Quando le forze esterne sono molteplici, l'energia ceduta o assorbita corrisponde al lavoro totale.

Il lavoro L è :

- positivo se l'energia viene ceduta al sistema
- negativo quando viene sottratta dal sistema.



L positivo

L negativo

L’energia del sistema NON si conserva! Sto fornendo o sottraendo energia

Sistemi in assenza di attrito

Se lanciamo un oggetto per aria, ad esempio una boccia, la forza che abbiamo applicato compirà un lavoro L per trasferire energia al **sistema boccia-Terra**, in particolare :

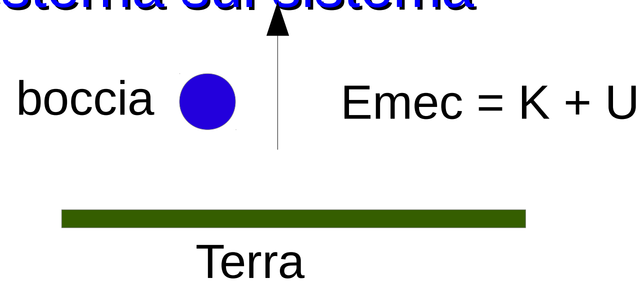
- aumenta l’energia cinetica della boccia (variazione ΔK)

- la distanza boccia-Terra varia (aumenta nel tratto iniziale, per poi diminuire), quindi c'è una variazione dell'energia potenziale ΔU del sistema boccia-Terra

  <u>La forza esterna applicata quindi compie lavoro sul sistema boccia-Terra</u> : aumenta l’energia cinetica della boccia e l’energia potenziale gravitazionale del sistema → la forza sta fornendo energia al sistema : sta variando l’energia meccanica del sistema.

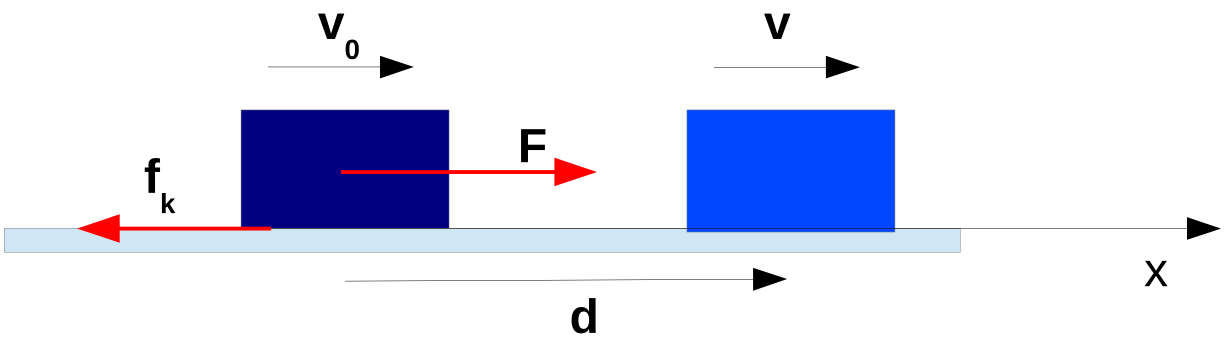
  In assenza di attrito, il lavoro svolto da una forza esterna sul sistema corrisponde alla variazione di energia meccanica :

$$L = \Delta E_{mec} = \Delta K + \Delta U$$



Sistemi in presenza di attrito

Consideriamo un blocco che scivola su un pavimento.



la forza F costante agisce sul blocco per spostarlo, mentre la f_k si oppone al moto.

$F - f_k = ma$ → moto uniformemente accelerato, perché F è costante

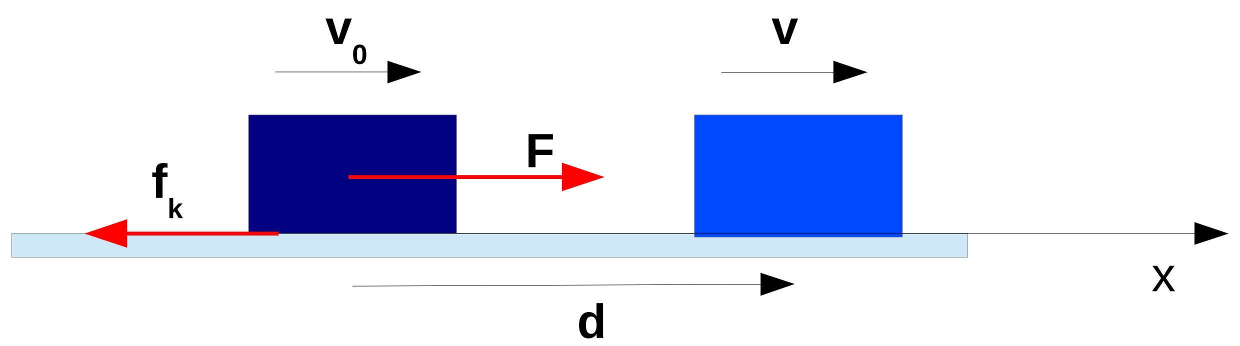
$v^2 = v_0^2 + 2ad$ → $a = (v^2 - v_0^2)/2d$ *(questa equazione si ricava dalle due eq. del moto unif. accel. , $v(t) = v_0 + at$ e $x(t) = x_0 + v_0 t + ½ at^2$, risolvendo rispetto a t)*

$F - f_k = m[(v^2 - v_0^2)/2d]$ → $Fd = ½\, mv^2 - ½\, mv_0^2 + f_k d$ → $Fd = \Delta K + f_k d$

In un caso piu' generale, per esempio se il blocco sale lungo una rampa, puo' esserci anche variazione di energia potenziale (oltre che cinetica) → $Fd = \Delta E_{mec} + f_k d$

Sistemi con attrito

Consideriamo un blocco che scivola su un pavimento.



Il blocco ed il tratto di pavimento si riscaldano per effetto dell'attrito → la loro energia termica E_{th} aumenta.

Attraverso esperimenti si puo' verificare che $\Delta E_{th} = f_k d$

Quindi possiamo concludere che → $Fd = \Delta E_{mec} + \Delta E_{th}$

ma Fd = L (lavoro svolto dalla forza F sul sistema blocco-pavimento), quindi

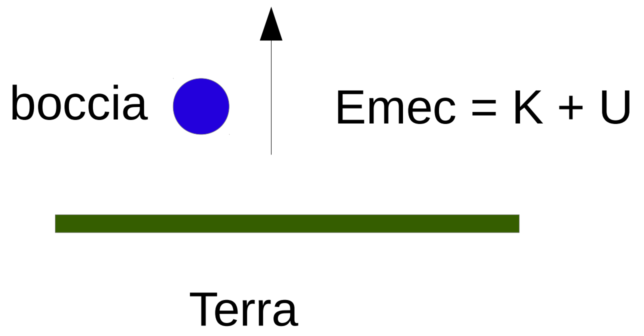
$$L = \Delta E_{mec} + \Delta E_{th}$$

Lavoro svolto dalla forza applicata sul sistema in presenza di attrito. Il lavoro finisce parte in energia cinetica e parte in energia termica

Lavoro di una forza esterna su un sistema : senza attrito ...

In assenza di attrito, il lavoro svolto dalla forza esterna sul sistema corrisponde alla variazione di energia meccanica :

$$L_F = \Delta E_{mec} = \Delta K + \Delta U$$

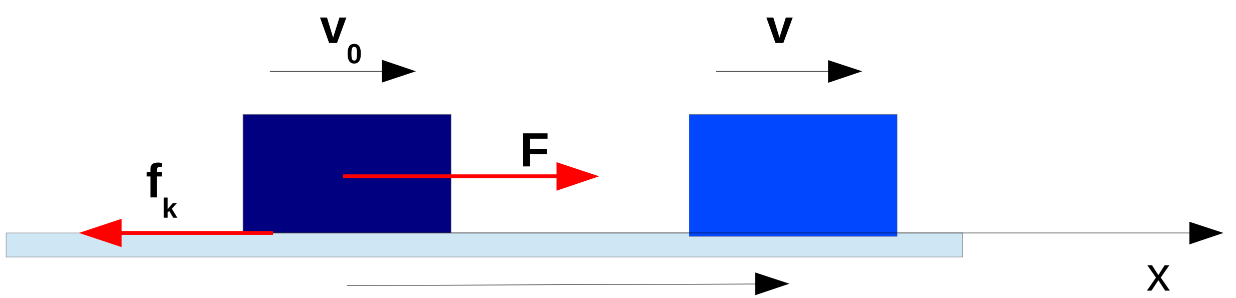


... e con attrito

Lavoro svolto dalla forza applicata sul sistema in presenza di attrito : il lavoro finisce parte in energia cinetica e parte in energia termica

$$L_F = \Delta E_{mec} + \Delta E_{th}$$

Attraverso esperimenti si puo' verificare che $\Delta E_{th} = f_k d$



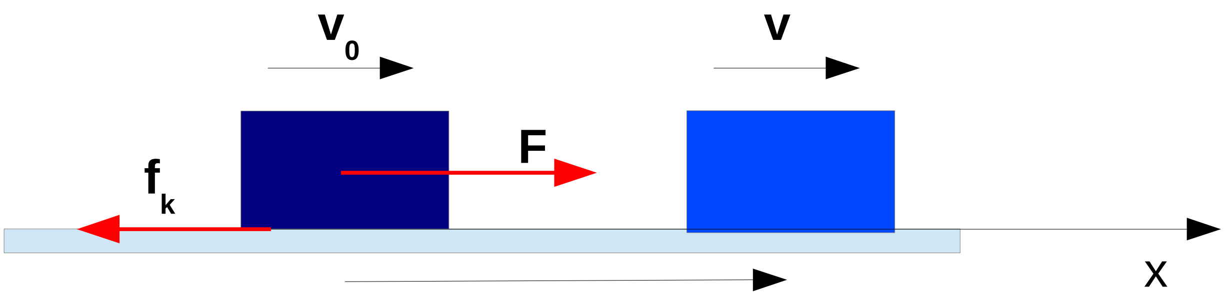
Verifica

In tre esperimenti si spinge un blocco applicandogli una forza orizzontale e facendolo scivolare su un pavimento con attrito come in figura.

Nella tabella che segue sono dati la forza F in modulo e la conseguente variazione di velocità del blocco per i tre casi. La distanza d percorsa è sempre la stessa.

Mettete in ordine i tre esperimenti secondo i valori decrescenti di variazione di energia termica del blocco e del pavimento

a) F = 5,0 N   v diminuisce
b) F = 7,0 N   v rimane costante
c) F = 8,0 N   v aumenta



Verifica

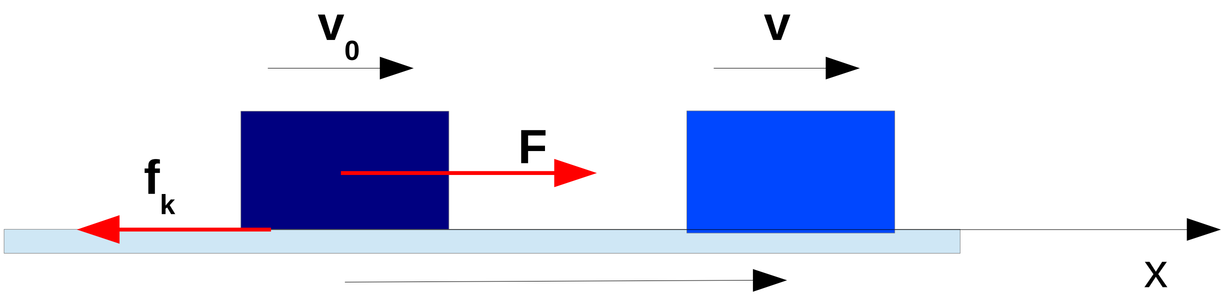
In tre esperimenti si spinge un blocco applicandogli una forza orizzontale e facendolo scivolare su un pavimento con attrito come in figura.

Nella tabella che segue sono dati la forza F in modulo e la conseguente variazione di velocità del blocco per i tre casi. La distanza d percorsa è sempre la stessa.

Mettete in ordine i tre esperimenti secondo i valori decrescenti di variazione di energia termica del blocco e del pavimento

a) F = 5,0 N   v diminuisce
b) F = 7,0 N   v rimane costante
c) F = 8,0 N   v aumenta

$\Delta E_{th} = f_k d = \mu_d F_N d \rightarrow$ sono uguali!



Legge di conservazione dell'energia

Se un sistema è isolato, quindi NON agiscono forze esterne, non possono esserci trasferimenti di energia tra il sistema e l'esterno.

Lavoro totale di tutte le forze (conservative e non) interne al sistema

$$L_{tot} = 0 \rightarrow \Delta E = \Delta E_{mec} + \Delta E_{th} + \Delta E_{int} = 0$$

L'energia totale di un sistema isolato si conserva

Entro il sistema isolato possono avvenire trasferimenti di energia, tra K ed U, o tra K ed Eth, ma la somma di tutte le forme di energia all'interno del sistema NON CAMBIA

La conservazione dell'energia di un sistema isolato possiamo anche scriverla come :

$$\Delta E_{mec} + \Delta E_{th} + \Delta E_{int} = 0 \rightarrow E_{mec,2} = E_{mec,1} - \Delta E_{th} - \Delta E_{int}$$

ovvero in un sistema isolato possiamo mettere in relazione le energie relative ad un certo istante con tutte le energie ad un altro istante qualsiasi, senza bisogno di considerare gli stati intermedi.

Conservazione dell'energia

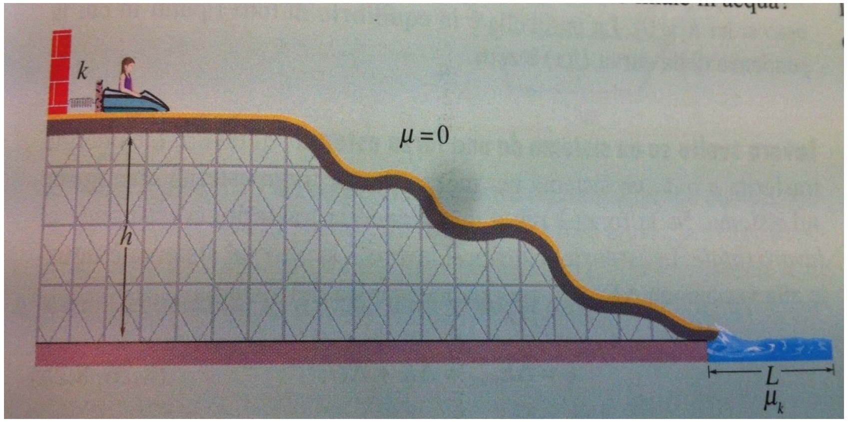
L'energia totale di un sistema, somma della sua energia meccanica e delle sue energie interne (inclusa quella termica), puo' variare solo se viene ceduta o assorbita energia dall'esterno

Abbiamo visto finora che l'unico modo di trasferire energia ad un sistema o dal sistema è compiere lavoro. Se L è il lavoro svolto sul (o dal) sistema, allora :

$$L = \Delta E = \Delta E_{mec} + \Delta E_{th} + \Delta E_{int}$$

variazione di altre forme di energia interna, a parte quella termica

Problema svolto 8.6



m = 200 kg
compressione iniziale molla d = 5,00 m
costante elastica k = 3,20 x 10^3 N/m
h = 35,0 m
μ_k = 0,800

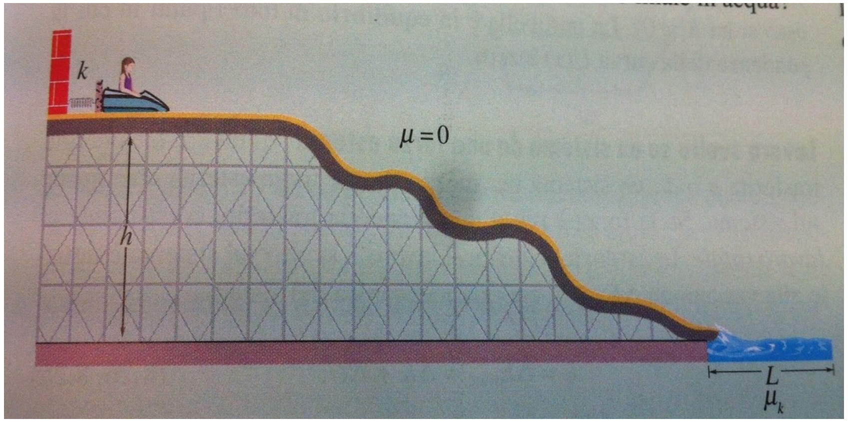
a che distanza L si arresta il bob?

- determinare le forze coinvolte e stabilire qual è il nostro sistema : è isolato o agiscono forze esterne?

SISTEMA : consideriamo il sistema che contiene tutti i corpi che interagiscono :

bob
molla
muro
fondo dello scivolo
Terra

Problema svolto 8.6



m = 200 kg
compressione iniziale molla d = 5,00 m
costante elastica k = 3,20 x 10^3 N/m
h = 35,0 m
μ_k = 0,800

a che distanza L si arresta il bob?

- determinare le forze coinvolte e stabilire qual è il nostro sistema : è isolato o agiscono forze esterne?

FORZE : F_N, che non compie lavoro
F_g, che compie lavoro sul bob ed è conservativa → associabile ad una U
F elastica della molla che compie lavoro sul bob ed è conservativa (converte energia potenziale elastica della molla in energia cinetica del bob)
F di attrito tra bob ed acqua nel tratto finale

tutti gli scambi di energia avvengono all'interno di questo sistema → è un sistema isolato → l'energia totale non puo' cambiare : L = 0 → ΔEmec + ΔEth = 0