



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE**



Dipartimento di

Fisica

Dipartimento d'Eccellenza 2023-2027

ESERCITAZIONI DI TERMODINAMICA E FLUIDODINAMICA (E ONDE)

Esercitatore: dott. Davide Fuligno
a.a. 2025/26

Indice

1	TERMODINAMICA	1
1.1	Esercitazione 1 - 16 marzo 2026	1
1.2	Esercitazione 2 - 24 marzo 2026	2
1.3	Esercitazione 3 - 30 marzo 2026	3
1.4	Esercitazione 4 - 13 aprile 2026	4
1.5	Esercitazione 5 - 20 aprile 2026	5
1.6	Esercitazione 6 - 28 aprile 2026	6
2	FLUIDODINAMICA	7
2.1	Esercitazione 7 - 7 maggio 2026	7
2.2	Esercitazione 8 - 18 maggio 2026	8

1 TERMODINAMICA

1.1 Esercitazione 1 - 16 marzo 2026

1. Del gas perfetto monoatomico è contenuto dentro un cilindro con un pistone (di massa trascurabile). Inizialmente il gas occupa un volume $V_0 = 2.0$ litri, la sua temperatura è di $T_0 = 27^\circ\text{C}$ e la sua pressione (pari a quella atmosferica esterna) è di $p_0 = 1.0$ atm. Si riscalda lentamente il gas fino a che il suo volume non diviene di $V = 2.5$ litri.
 - a) Qual'è il numero di moli del gas?
 - b) Quale lavoro L compie il gas durante la trasformazione?
 - c) Quanto calore Q ha assorbito?
2. Un recipiente cilindrico a pareti adiabatiche, con asse disposto orizzontalmente, è diviso in 3 parti A , B e C da due pistoni adiabatici di superficie $S = 4$ dm² e scorrevoli senza attrito (vedi Figura 1). La camera A contiene $n = 1$ mol di gas perfetto monoatomico alla temperatura $T_A = 273$ K e volume $V_A = 11.2$ litri. Nella camera B vi è il vuoto e i pistoni sono tenuti separati da una molla di costante elastica $k = 8 \times 10^4$ N/m e lunghezza a riposo $l_0 = 0.3$ m. Nella camera C vi è il vuoto.

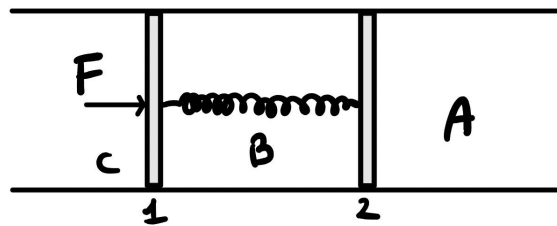


Figura 1: Esercizio 2

- a) In condizioni di equilibrio, si determini il modulo F della forza perpendicolare al pistone 1 necessaria per tenere fermo il pistone esterno, e quanto vale la compressione Δx della molla
 - b) Si aumenta F in modo da far spostare i pistoni 1 e 2 dei tratti $d_1 = 0.1$ m e $d_2 = 0.05$ m, rispettivamente: la trasformazione è irreversibile e il lavoro compiuto dalla forza F è $L = 850$ J. Si calcoli la temperatura finale T_A^* e la pressione finale p_A^* del gas nella nuova condizione di equilibrio
3. Due gas diversi, schematizzabili come gas perfetti O_2 e N_2 occupano due volumi adiacenti uguali e si trovano alla stessa pressione p_0 . La temperatura dell'ossigeno è $T_1 = 20^\circ\text{C}$, quella dell'azoto è $T_2 = 40^\circ\text{C}$. Mediante l'apertura di un rubinetto i gas vengono messi in comunicazione.
 - a) Determinare il rapporto in massa fra O_2 e N_2 presenti nel recipiente (peso molecolare $O_2 = 32$, $N_2 = 28$)
 - b) Trovare la temperatura di equilibrio
 - c) Calcolare la pressione della miscela gassosa all'equilibrio in funzione di p_0 .

1.2 Esercitazione 2 - 24 marzo 2026

1. La costante solare, ossia la potenza termica che giunge sulla terra dal sole è $W = 1340 \text{ W/m}^2$ appena al di sopra dell'atmosfera.
 - a) Considerando la terra come un corpo nero (e trascurando variazioni giorno-notte della temperatura e l'effetto serra), trovare la sua temperatura media;
 - b) Tenuto conto delle seguenti distanze medie dal sole: Mercurio $d = 69.7 \cdot 10^9 \text{ m}$, Terra $d = 152.1 \cdot 10^9 \text{ m}$, Saturno $d = 1507 \cdot 10^9 \text{ m}$, calcolare le costanti solari per Mercurio e Saturno e le temperature medie di questi due pianeti.
2. Si consideri un gas reale, descritto dall'equazione di stato di Van der Waals:

$$\left(p + \frac{an^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

- a) Scrivere l'equazione delle trasformazioni adiabatiche reversibili per i gas reali;
- b) Trovare l'espressione dell'energia interna;
- c) Mostrare che un gas reale espandendosi adiabaticamente nel vuoto si raffredda.

Suggerimento: usare la seguente formulazione differenziale del calore:

$$\delta Q = nc_V dT + T \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V dV$$

3. Il cilindro di Fig 2 a pareti adiabatiche è chiuso da un pistone pure adiabatico, mobile e senza attrito, ed è diviso da un setto diatermico e fisso. A e B occupano inizialmente lo stesso volume V_0 e contengono rispettivamente $n_A = x$ e $n_B = 1$ moli di gas monoatomico in equilibrio termico a $T_i = 300 \text{ K}$. Il pistone viene lasciato scorrere reversibilmente ed il gas in B raggiunge un volume $4V_0$ ed una temperatura finale di 250 K .

- a) Determinare il numero di moli n_A ;
- b) Calcolare il lavoro compiuto dal sistema;

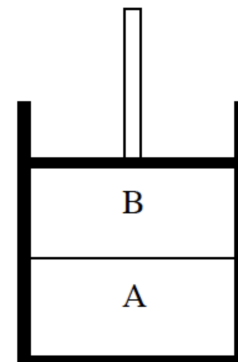


Figura 2: Esercizio 3

1.3 Esercitazione 3 - 30 marzo 2026

1. Si consideri un'aula informatica usata da 10 studenti. L'aula va mantenuta alla temperatura costante di 22°C , ha una superficie disperdente $S = 200\text{ m}^2$, pareti spesse $D = 25\text{ cm}$ e conducibilità termica $K = 0.5\text{ W}/(\text{m K})$. Ogni studente emette metabolicamente circa 100 W di potenza termica, e ogni postazione computer accesa dissipa altri 150 W . L'aula è climatizzata da una macchina di Carnot reversibile.
 - a) Determinare la potenza elettrica che il climatizzatore deve assorbire per mantenere costante la temperatura dell'aula se la temperatura esterna è di 9°C ;
 - b) Confrontare il risultato del punto precedente con la potenza necessaria qualora l'aula sia priva di studenti e coi computer spenti.
2. 3 moli di gas biatomico ideale inizialmente a $T = 0^{\circ}\text{C}$ e a pressione atmosferica, compiono il ciclo costituito dalle seguenti trasformazioni: **AB** isobara irreversibile fino al doppio del volume iniziale; **BC** adiabatica reversibile fino al triplo del volume iniziale; **CD** isobara reversibile fino a $T = 0^{\circ}\text{C}$; **DA** isoterma reversibile a chiudere il ciclo. Sapendo che durante l'isobara irreversibile il calore assorbito è 22 kJ , si calcoli:
 - a) Il lavoro compiuto dal ciclo;
 - b) Il rendimento del ciclo;
 - c) Il rendimento del ciclo nell'ipotesi di una espansione isobara reversibile;
 - d) l'equivalente rendimento di un ciclo di Carnot che operi fra le temperature massime e minime del ciclo.
3. Il ciclo di Diesel, usato nei motori termici, è composto da 4 trasformazioni: una compressione adiabatica, seguita da un'espansione isobara, poi c'è un'altra espansione adiabatica fino al volume iniziale ed infine il ciclo viene chiuso con una trasformazione isocora. Si consideri quindi un motore diesel reversibile che contiene al suo interno aria, che approssimiamo a gas perfetto biatomico. Nello stato iniziale, l'aria è a una pressione $p_1 = 1.0\text{ bar}$ e ad una temperatura di $T_1 = 300\text{ K}$. Nella compressione adiabatica il volume viene ridotto di un fattore 18 (si definisce rapporto di compressione $r = V_1/V_2 = 18$). Successivamente, grazie alla combustione del carburante, abbiamo l'immissione di calore a pressione costante fino al raggiungimento della temperatura $T_3 = 2000\text{ K}$ ¹. Il ciclo viene quindi chiuso da un'espansione adiabatica fino al volume iniziale V_1 e una trasformazione isocora.
 - a) Determinare il rendimento del ciclo di Diesel;
 - b) Cosa succede all'aumentare del rapporto di compressione r ? Discutere il comportamento limite di un ciclo di Diesel e confrontare il risultato con quello di un ciclo di Carnot operante fra le stesse temperature.

¹risulta utile definire $\alpha = V_3/V_2$

1.4 Esercitazione 4 - 13 aprile 2026

1. Una mole di gas perfetto si espande da un volume V ad un volume αV . Si calcoli la variazione di entropia del gas e dell'Universo nel caso (a) in cui l'espansione sia isoterma e reversibile, e nel caso (b) in cui l'espansione sia libera. Si sostituisca poi il gas perfetto con un gas reale che obbedisca all'equazione di van der Waals e si calcoli la variazione di entropia del gas e dell'Universo nel caso (a). Discussione: cosa succede nel caso (b)?
2. Due moli di un gas perfetto biatomico compiono in senso orario un ciclo composto da una compressione isobara reversibile, una trasformazione isocora reversibile che riporta il gas alla temperatura iniziale, un'espansione isobara reversibile che lo riporta al volume iniziale, ed infine il ciclo viene chiuso ponendo il sistema in contatto termico con il serbatoio alla temperatura iniziale a volume costante. Calcolare (a) il rendimento del ciclo, (b) la variazione di entropia dell'Universo, ed infine (c) il rendimento del corrispondente ciclo di Carnot che operi tra le temperature massima e minima raggiunte. La temperatura iniziale è di 200 K e le pressioni minima e massima del ciclo sono rispettivamente 1 e 1.5 atm.
3. Per fare un tè, si prende una tazza d'acqua di 200 cm^3 a temperatura ambiente (20°C), la si riscalda fino a 90°C mettendola a contatto per un certo tempo con un serbatoio a 300°C , e poi la si lascia raffreddare fino a 40°C . Calcolare la variazione di Entropia dell'Universo. Se si lascia raffreddare il tè fino alla temperatura ambiente, quant'è la variazione di Entropia dell'Universo in questo caso?

1.5 Esercitazione 5 - 20 aprile 2026

1. Due corpi di uguale capacità termica $C = 500 \text{ J/K}$, il cui volume non cambia apprezzabilmente con la variazione di temperatura, si trovano inizialmente entrambi in un contenitore adiabatico, separati da una parete pure adiabatica, in equilibrio alle temperature rispettivamente di $T_1 = 0^\circ\text{C}$ e $T_2 = 100^\circ\text{C}$.
Nel primo caso, la parete adiabatica viene rimossa e i due corpi, messi a contatto termico, si scambiano calore fino a raggiungere l'equilibrio termodinamico. Si calcolino la temperatura finale e la variazione di Entropia dell'Universo.
Nel secondo caso, i due corpi si scambiano calore per mezzo di un motore termico reversibile. Si calcolino la temperatura e il lavoro totale compiuto quando la macchina smette di funzionare.
2. Un recipiente cilindrico, isolato dall'ambiente, è diviso a metà da un pistone conduttore, in grado di scorrere senza attrito, inizialmente bloccato. Una delle due parti del cilindro contiene una mole di argon ad una pressione di 4 atmosfere e l'altra parte contiene elio a un'atmosfera. Entrambi i gas possono essere considerati ideali e monoatomici. La temperatura del sistema è inizialmente di 300 K. Si lascia il pistone libero di muoversi e si aspetta che il sistema raggiunga una situazione di equilibrio termodinamico.
Calcolare la nuova temperatura raggiunta dal sistema, il rapporto dei volumi dei gas, la variazione di Entropia dell'universo. Si rimuove il pistone: valutare l'eventuale ulteriore variazione di entropia dell'universo. Se al posto di elio avessimo argon, si otterrebbero gli stessi risultati?
3. Una macchina contenente 2 moli di gas perfetto biatomico, occupa un volume iniziale $V = 50$ litri alla temperatura $T_A = 400 \text{ K}$, e compie il seguente ciclo:
 - Espansione adiabatica irreversibile fino a $4V$ e temperatura T_x
 - Compressione isobara reversibile fino a $2V$
 - Compressione adiabatica reversibile fino al volume iniziale
 - Isocora irreversibile² fino alla temperatura iniziale.Determinare l'intervallo dei possibili valori di T_x che rendono positivo il lavoro del ciclo. Calcolare la variazione di entropia dell'universo quando il rendimento del ciclo è nullo. Determinare il rendimento di un ciclo di Carnot che operi fra le temperature minime e massime raggiunte in tal caso. Disegnare un grafico del lavoro in funzione dei possibili valori di T_x .

²per convenzione un isocora irreversibile è una trasformazione a volume costante in cui il sistema viene messo a contatto con un serbatoio fino a raggiungere l'equilibrio termico

1.6 Esercitazione 6 - 28 aprile 2026

1. Un recipiente adiabatico, chiuso in cima da un pistone mobile privo di massa e di attrito, contiene $n = 2.5$ moli di gas perfetto monoatomico a $T_0 = 300$ K ed è in equilibrio con l'ambiente esterno a pressione p_0 costante.
Si toglie una parte dell'isolamento per mettere il gas in contatto termico con il corpo A di capacità termica $C_A = 25$ J/K e $T_A = 500$ K, fino al raggiungimento dell'equilibrio termodinamico. A quel punto si blocca il pistone, si sostituisce il corpo A con il corpo B di capacità termica $C_B = 15$ J/K e $T_B = 100$ K e si attende il raggiungimento del nuovo equilibrio termodinamico.
(a) Calcolare i calori scambiati dal gas con i corpi A e B . Infine si allontana il corpo B , si isola nuovamente il gas, si toglie il fermo al pistone e si lascia che il gas si riporti all'equilibrio. Determinare (b) la temperatura finale del gas e (c) la variazione di entropia dell'universo.
2. Una macchina frigorifera che opera in modo reversibile viene usata per congelare una mole d'acqua, inizialmente a 25°C . Il calore assorbito viene utilizzato per riscaldare un'altra mole d'acqua da 25°C fino all'ebollizione. (a) Quanta percentuale d'acqua viene convertita in vapore? (b) Quanto lavoro è stato fatto dalla macchina frigorifera? (una mole d'acqua pesa 18.02 grammi)
3. L'aria sulla superficie di un lago si mantiene costantemente a -10°C e il lago inizia a congelare. (a) Calcolare lo spessore del ghiaccio in funzione del tempo e (b) dopo quanto tempo il ghiaccio raggiunge lo spessore di 5 cm. Si calcolino quindi (c) la velocità di crescita dello spessore del ghiaccio e (d) il flusso di variazione di Entropia dell'Universo a quel punto. La densità e la conducibilità termica del ghiaccio sono rispettivamente $\rho_g = 0.92$ g/cm³ e $k = 2.1$ W/(m K)

2 FLUIDODINAMICA

2.1 Esercitazione 7 - 7 maggio 2026

1. Un cubo di legno di 1 dm di lato galleggia nell'acqua, uscendo per 15 mm dalla superficie. L'acqua viene successivamente ricoperta da uno strato di olio spesso 6 cm e il cubo a questo punto galleggia per 9 mm. Trovare la densità dell'olio. Se lo strato d'olio aumenta di ulteriori 10 cm, di quanto affiora il cubo?
2. Alla base di un recipiente cilindrico aperto contenente fluido ideale viene praticato un foro la cui sezione è l'1% di quella del recipiente. Se l'altezza del fluido è 1 m, calcolare il tempo necessario per lo svuotamento del recipiente. Si supponga che la velocità sia massima all'istante $t = 0$. Il rapporto del quadrato delle due superfici è 10^{-4} , è quindi possibile fare delle approssimazioni: valutare quanto impattano sul risultato finale.

3. Il sifone di Fig 3 permette di svuotare un contenitore dell'acqua (considerata come un fluido ideale con $\rho = 1 \text{ kg/dm}^3$) in eccesso fino all'altezza h_A . Il tubo ABC , di sezione costante e 100 volte minore alla superficie del contenitore, deve essere inizialmente riempito e da quell'istante il liquido uscirà dal tubo in C . Rispetto alla quota iniziale dell'acqua i livelli sono $h_A = -20 \text{ cm}$, $h_B = 50 \text{ cm}$, $h_C = -60 \text{ cm}$. Calcolare (nell'istante iniziale) velocità di uscita dell'acqua in C , la pressione nel punto più alto B e l'altezza massima h_B di funzionamento del sifone. Sapendo che al velocità varia linearmente con il tempo, calcolare quanto impiega l'acqua per arrivare all'altezza h_A .

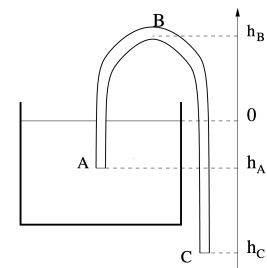


Figura 3: Esercizio 3

2.2 Esercitazione 8 - 18 maggio 2026

1. Una cassaforte di forma cubica di 50 cm di lato contenente lingotti d'oro, del peso di 1 tonnellata, viene recuperata dal fondo del mare agganciandola ad un pallone d'aria del diametro di 1.2 m e coefficiente di resistenza aerodinamica pari a $C = 0.5$. Trascurando la resistenza della cassaforte, posta immediatamente sotto il pallone d'aria (e soprattutto la variazione di volume del pallone mentre sale...), si determini la velocità limite di salita della cassaforte. Si assumano i valori di 10^3 e 1 kg/m^3 per le densità dell'acqua e dell'aria rispettivamente.
2. Dell'acqua viene fatta scorrere attraverso un tubo di 8 cm di diametro e 4 km di lunghezza, con una portata (volumetrica) di 120 litri al minuto. Calcolare la differenza in altezza del tubo tra i due estremi per mantenere costante la portata. L'acqua è un fluido reale (densità $\rho = 1 \text{ kg/L}$ e viscosità $\eta = 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) e si consideri la variazione di pressione $\left| \frac{dp}{dx} \right|$ costante lungo tutto il tubo.
3. Un recipiente alto 5 m contiene olio con densità $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$. Sul fondo viene posta una palla di massa 450 g e raggio $r = 5.0 \text{ cm}$. Determinare la velocità con cui la palla arriva in superficie nel caso in cui la sua viscosità η sia nulla. Nel caso in cui $\eta = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, si calcoli la velocità limite nell'ipotesi di moto laminare e si verifichi tale affermazione. Si calcoli la quantità di calore scambiato con l'olio nei due casi (nell'ipotesi che la palla abbia raggiunto la velocità limite prima di arrivare sulla superficie dell'olio e che l'olio sia un serbatoio di calore).
4. Un tubo orizzontale di grande raggio contiene un fluido reale di densità 200 kg/m^3 e viscosità $\eta = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Una sferetta omogenea di raggio $R = 4 \text{ cm}$ viene lanciata con velocità $v_0 = 8 \text{ m/s}$ dal centro del tubo in direzione orizzontale e continua a muoversi al centro del tubo. Assumendo che il moto della sfera avvenga in regime laminare, quanta strada percorre la sferetta prima di arrestarsi? Doppo quanto tempo la sua velocità sarà un decimo della velocità iniziale?