

TD-8572

Apparato per le leggi sui gas
Motore termico



Manuale di istruzioni Con esperimenti

ELItalia

ELItalia Srl – Via A. Grossich 32
20131 Milano – tel 02.236.3972
elitalia@micronet.it – www.elitalia.it

PASCO
scientific

Diritti d'autore e condizioni di garanzia

Siete autorizzati a duplicare questo manuale, tenendo però conto delle seguenti norme sui diritti d'autore.

Avvertenze sui diritti d'autore

Tutti i diritti sul presente manuale sono riservati. Si garantisce, comunque, il permesso ad istituzioni scolastiche di riprodurre qualsiasi parte di questo manuale, a patto che le riproduzioni stesse siano utilizzate per i laboratori interni e non a scopo di lucro. In qualsiasi altra circostanza e senza l'autorizzazione scritta della PASCO*, la riproduzione del manuale è vietata.

Limitazioni alla garanzia

La PASCO* garantisce il prodotto contro ogni difetto di fabbricazione o vizio di funzionamento per un anno dalla data di spedizione al cliente. La PASCO* provvederà a riparare o sostituire, a sua discrezione, qualsiasi parte del prodotto che presenti difetti di materiale o di fabbricazione. Questa garanzia non copre i danni causati al prodotto da un uso improprio o errato. Spetta esclusivamente alla PASCO* determinare se il mancato funzionamento sia dovuto ad un difetto di costruzione oppure ad un uso improprio da parte dell'utente. La responsabilità della restituzione dell'apparecchiatura per la riparazione in garanzia è interamente del cliente. L'apparecchiatura stessa deve essere imballata in modo opportuno per non essere danneggiata durante il trasporto ed i costi di spedizione sono a carico del cliente. Eventuali, ulteriori danneggiamenti dovuti ad un imballaggio insufficiente durante la restituzione, non saranno coperti dalla garanzia. Le spese di spedizione, per la restituzione dopo la riparazione, sono a carico della PASCO*.

Note per la restituzione

Prima di restituire, per qualsiasi motivo, il prodotto alla PASCO*, è necessario avvertire la PASCO* per lettera o per telefono. Solo dopo questa comunicazione verranno fornite l'autorizzazione alla restituzione e le istruzioni per la spedizione.

ATTENZIONE: non si accetterà la restituzione di alcun prodotto, senza la previa autorizzazione.

Quando si spedisce l'attrezzatura per la riparazione, ogni pezzo deve essere imballato adeguatamente. I vettori non accettano responsabilità per i danni causati da un imballaggio inadeguato. Per essere sicuri che i pezzi non vengano danneggiati durante il trasporto, osservate i seguenti consigli:

1. Scegliete un contenitore sufficientemente resistente.
2. Assicuratevi che su tutti i lati ci siano almeno 5 cm di materiale da imballaggio tra l'apparecchiatura ed il contenitore.
3. Assicuratevi che il materiale da imballaggio non possa spostarsi o essere compresso, lasciando così l'apparecchiatura a contatto con le pareti del contenitore.

(*) In Italia: ELItalia Srl, via A. Grossich 32, 20131 MILANO. Tel 02.236.3972, fax 02.236.2467.
WEB: www.elitalia.it e-mail elitalia@micronet.it

Indice

Supporto tecnico	4
Introduzione	5
Esperimento 1: l'ascensore termico	7
Esperimento 2: legge di Charles	9
Esperimento 3: legge di Boyle	11
Esperimento 4: legge dei gas combinata (Gay Lussac)	13
Esperimento 5: la macchina termica per sollevare masse	15

Supporto Tecnico

Feed-back

Se avete un qualsiasi commento su questo prodotto, o sul manuale, fatecelo sapere. Comunicateci imprecisioni, suggerimenti, nuovi esperimenti che ritenete significativi. La PASCO apprezza il feed-back dagli utenti. I vostri commenti ci aiutano a valutare e migliorare i nostri prodotti.

Il nostro indirizzo è

c/o ELItalia srl
via A. Grossich 32
20131 MILANO
tel. 02-236.3742 / 236.3972
fax 02-236.2467
e-mail: info@elitalia.it

Assistenza tecnica.

Prima di contattarci per richieste di assistenza tecnica, è meglio che abbiate a disposizione queste informazioni:

- Tipo e modello dell'apparato PASCO che state utilizzando (normalmente tutte le informazioni sono su un'etichetta sul prodotto stesso, o sulla confezione).
- L'età approssimativa dell'apparato.
- Una dettagliata descrizione del problema e delle condizioni in cui si verifica.
- Se possibile, tenete l'apparato a portata di mano, quando siete al telefono. Ciò rende l'identificazione delle varie parti alquanto più semplice.

Se il vostro problema si riferisce al manuale, abbiate sottomano:

- L'edizione del manuale (sulla copertina)
- Il manuale stesso, per discutere bene del problema.

Se il vostro problema si riferisce al computer o ad un software, abbiate sottomano:

- Nome e versione del software.
- Tipo di computer (Marca, modello, velocità).
- Tipo delle periferiche connesse.

Introduzione

Il *Motore Termico/Apparato per la legge dei gas PASCO TD-8572* può essere utilizzato per esperimenti sia qualitativi che quantitativi, riguardo la legge dei gas perfetti, e per indagini su un motore termico funzionante.

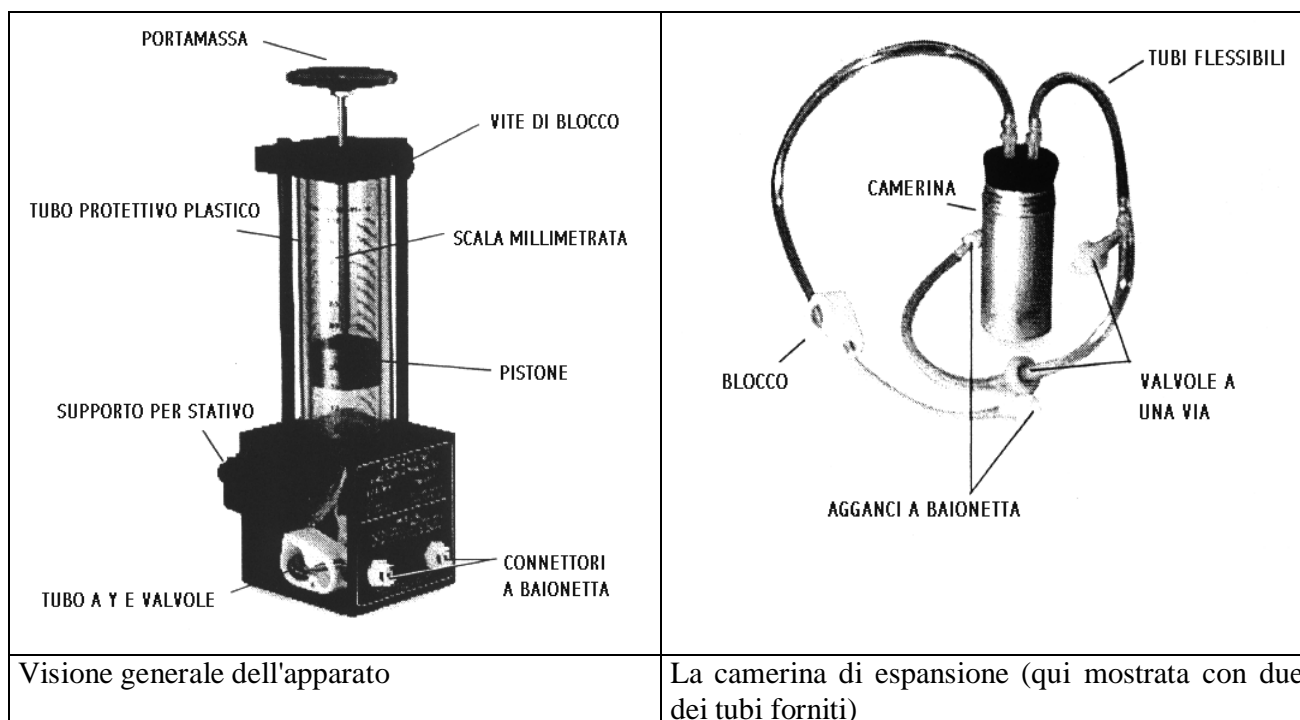
L'utilizzo di strumentazione on-line (sensori di pressione e di posizione) permette di misurare la quantità di lavoro prodotta dall'energia termica.

Il cuore di questo strumento è un sistema pistone/cilindro pressoché privo di attrito. Il pistone in grafite si adatta perfettamente al cilindro in *Pyrex* in modo da assicurare perdite trascurabili pur presentando un bassissimo coefficiente di attrito.

Il *Motore termico/Apparato per la legge dei gas* possiede due connettori a baionetta a bloccaggio rapido che permettono di collegare il cilindro con l'esterno o con un sistema di tubi; ogni connettore ha una valvola di blocco a scatto.

L'apparato può essere collegato ai sensori di pressione per l'utilizzo con le interfacce per computer PASCO.

Attenzione: Non applicare lubrificanti al pistone o al cilindro.
Non immergere l'apparato base in un liquido.
Usare solo gas non caustici e non tossici, come aria, azoto o elio.



L'apparato comprende:

- Motore termico vero e proprio (vedi figura)
 - Diametro del pistone $32.5 \text{ mm} \pm 0.1$
 - Massa di pistone e piattaforma portamassa (tutta la parte mobile) $35.0 \text{ g} \pm 0.6$
- Camerina d'espansione (vedi figura)
- 3 configurazioni di tubi
 - con valvole a senso unico
 - con valvola a pinza
 - solo tubo
- 2 tappi in gomma
 - con foro singolo
 - con due fori per l'inserimento del sensore di temperatura

Attenzione: Prima di riporre l'apparato aprire le valvole di blocco poste sul tubo a Y nella base del motore termico per evitare deformazioni permanenti dei tubi e serrare la vite di blocco del pistone. La pressione massima sopportabile dal sistema è di 345 kPa (circa 3.4 atm).

Esperimento 1: l'ascensore termico

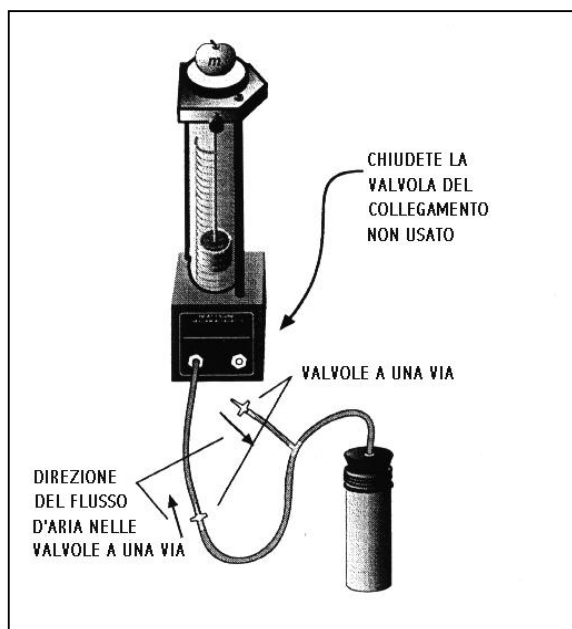
Apparati richiesti	
Motore termico/Apparato per la legge dei gas	Contenitore con acqua ghiacciata
Masse 100 – 200 g	Contenitore con acqua calda

Teoria:

Questo esperimento è puramente qualitativo. Si dimostra che una differenza di temperatura è sufficiente per compiere un lavoro.

Preparazione:

1. Chiudere la camera d'aria con il tappo a foro singolo e collegarla, usando il tubo a Y con le valvole a senso unico, ad uno dei connettori del' apparato, in modo che l'aria possa fluire nel senso indicato dalle frecce in figura: l'aria deve essere in grado di passare dall'ambiente esterno alla camera d'aria e dalla camera d'aria al cilindro del motore termico.



2. Chiudere la valvola di blocco del connettore non utilizzato, col pistone a circa 1/5 delle corsa.
3. Appoggiare una massa di 100 ÷ 150 g. sulla piattaforma del pistone.

Attenzione: ricordarsi di allentare la vite di blocco del pistone prima di procedere.

Nota: Utilizzare, al massimo, una massa di 200 g; per masse superiori, infatti, le perdite, attraverso le valvole e il pistone, non sono più trascurabili.

Procedimento:

1. Immergere la camera d'aria nel bagno di acqua calda: si noti che l'aria all'interno della camera si espande facendo innalzare il pistone. La particolare disposizione delle valvole a senso unico permette all'aria di passare dalla camera al motore termico senza fuoriuscire dal ramo di tubo libero.
2. Ora spostare la camera nel bagno ghiacciato: l'aria nella camera, contraendosi, richiama altra aria attraverso la valvola a senso unico posta all'estremità libera del tubo di collegamento, mentre la seconda valvola impedisce che il motore termico si svuoti mantenendone inalterata l'altezza.
3. Ripetendo più volte i passaggi 1 e 2 è possibile sollevare la massa fino al punto più alto raggiungibile.

Note:

- Maggiore è la differenza di temperatura tra i bagni e maggiore sarà l'innalzamento del pistone e quindi il lavoro prodotto ad ogni ciclo. Verificatelo.
- Di quanto si alza ogni volta la massa? Potete misurarlo con la scala millimetrata del motore termico. L' entità di questo innalzamento dipende dalla temperatura dei bagni? E dalla quantità d' aria chiusa nel sistema motore + camera?
- Per un'indagine quantitativa vedere l'esperimento 5.

Esperimento 2: legge di Charles

Apparati richiesti	
Motore termico/Apparato per la legge dei gas	Becker con acqua bollente
Termometro	Ghiaccio
Equipaggiamento opzionale	
Sensore di temperatura	Sensore di distanza ad ultrasuoni (o posizione angolare)
Interfaccia per computer <i>Science workshop</i>	

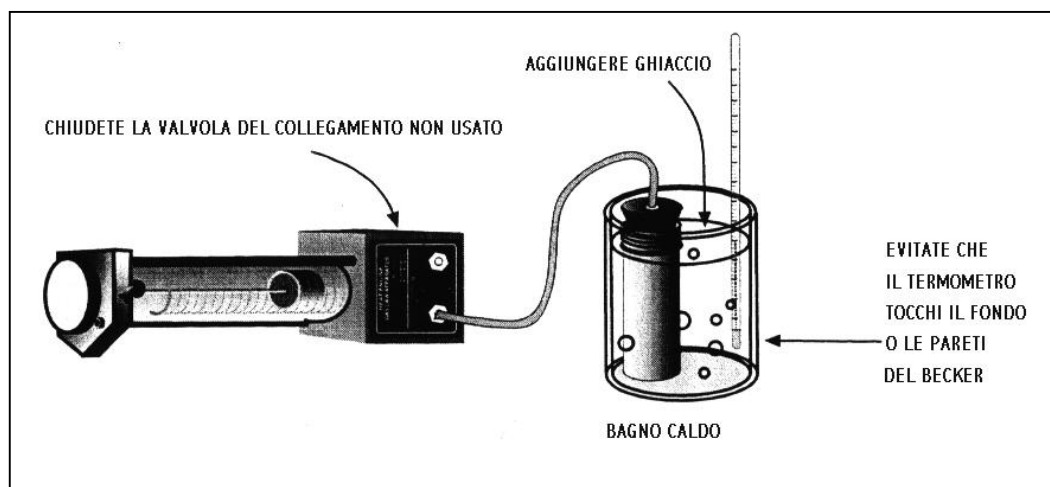
Teoria:

La legge di Charles afferma che, a pressione costante, il volume di una certa quantità di gas varia in modo direttamente proporzionale alla sua temperatura assoluta:

$$V = cT \quad (\text{dove } c \text{ è una costante, la pressione è costante e } T \text{ è espressa in gradi kelvin})$$

Preparazione:

1. Collegare l'apparato base con la camera d'aria utilizzando il pezzo di tubo semplice.
2. Chiudere la valvola di blocco del connettore libero.
3. Posizionare il cilindro orizzontalmente, in modo che l'unica pressione ad agire sul sistema sia quella



atmosferica che si considera costante per la durata dell'esperimento.

4. Se si dispone dell'interfaccia *Science Workshop*, inserire il sensore di temperatura nella camera d'aria (o nel bagno) e misurare lo spostamento del pistone con il sensore di posizione, "puntandolo" contro la piattaforma; se utilizzate il sensore di posizione angolare, invece, fate passare un filo dalla piattaforma (c'è un forellino apposta) sulla puleggia del sensore, posto fissato presso il bordo del tavolo. Il filo sarà teso da una massa modesta (due fermagli, per esempio, quello che basta per far ruotare la puleggia del sensore). Questo metodo non influenza sensibilmente il motore termico, anche se ovviamente è meglio usare il sonar.

Procedimento:

1. Immergere la camera d'aria nel contenitore di acqua bollente: l'aria, espandendosi, spinge il pistone; quando il sistema si stabilizza registrare la temperatura e la posizione del pistone; se invece si dispone di *Science Workshop*, iniziare l'acquisizione dei dati.
2. Aggiungere ghiaccio in modo da abbassare progressivamente la temperatura e registrare ad intervalli regolari posizione del pistone e temperatura del bagno (se si utilizza *Science Workshop* questa operazione verrà effettuata automaticamente).
3. Calcolare il volume del gas sfruttando la scala millimetrata interna (si ricordi che il diametro del cilindro è di 32.5 mm) e disegnare un grafico di temperatura in funzione del volume.
4. Verificare che la relazione è lineare.

Nota per l'uso con Science Workshop: se utilizzate l' interfaccia, predisponete un campionamento al secondo con partenza e arresto manuale. Ponete il sonar ad una distanza nota dalla piattaforma; potete misurarla col sonar stesso in modalità *Mon* del software (ALT+M); annotate questa distanza perché vi servirà per calcolare il volume del gas in esame.

In questo esempio supponiamo che la distanza iniziale sia 70 cm.

Il gas, *contraendosi* farà sì che la piattaforma si *allontani* dal sonar, che rileverà quindi una distanza che aumenta col passare del tempo (e al diminuire della temperatura del bagno). Il volume della camera va quindi calcolato col tool calcolatore di *Science Workshop* con una definizione del tipo

$$V = V_0 - A \cdot (d - 0.7)$$

dove:

- V è il volume.
- V_0 è un numero che rappresenta il volume iniziale della camera (desumibile dalla scala millimetrata interna del motore termico) e dall' area del pistone.
- A è l' area del pistone (valore nominale 8.295 cm^2).
- d è la distanza misurata dal sonar alla piattaforma. Aggiungendo ghiaccio il gas si contrae e quindi d aumenta, diventando progressivamente 0.71, 0.72... (se all' inizio è 0.7)
- 0.7 è la distanza iniziale, *in metri*, tra il sonar e la piattaforma. Si usano i metri perché il sonar risponde in metri. Questo valore dipende ovviamente dal vostro setup sperimentale.

Vi ricordiamo che per "battere" la definizione della formula nel calcolatore dovete richiamare il tool e scrivere nella casella una formula simile a:

40-8.295*(@1.x-0.7) [@1.x appare scegliendo "Posizione" dalla lista del tastino INPUT]

(qui supponiamo che V_0 sia 40 cc e che d dia 0.7 metri). Come nome della grandezza scegliete "Volume", come nome breve "V" e come unità di misura "cc".

Nota: a rigore bisognerebbe usare i metri cubi, per il volume, per avere dati numericamente congrui al sistema SI, ma risulta scomodo trattare i numeri molto piccoli che ne risultano. Ciò non è tuttavia necessario per verificare la legge di Charles.

Esperimento 3: legge di Boyle

Apparati richiesti	
Motore termico/Apparato per la legge dei gas	Interfaccia per computer <i>Science workshop</i> , modello "300" o superiore.
Sensore di pressione (CI-6532)	

Per dettagli sull'impostazione del sensore di pressione con *Science workshop*, consultare il foglio di istruzioni del sensore e il manuale utente di *Science workshop*.

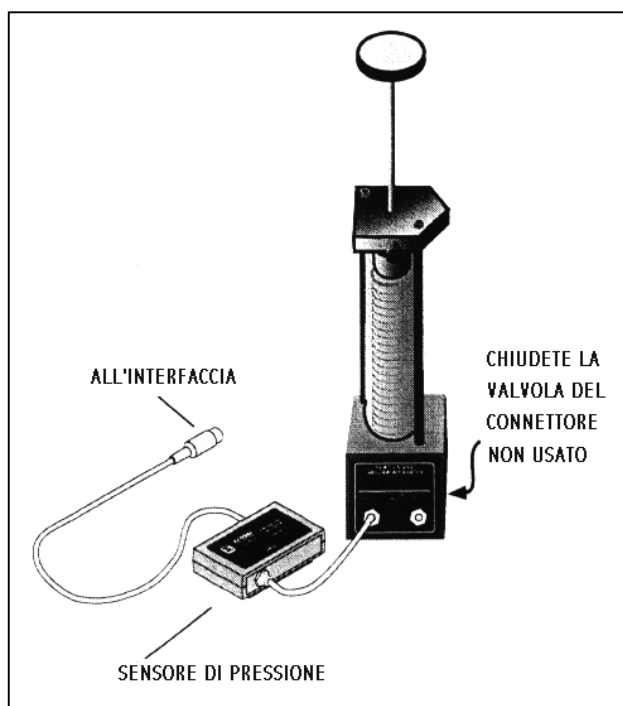
Teoria:

la legge di Boyle afferma che il prodotto tra la pressione e il volume di un gas, a temperatura costante, è costante:

$$PV=a$$

Quindi, a temperatura fissata, la pressione varia in modo inversamente proporzionale al volume:

$$P = \frac{a}{V}$$



Preparazione:

1. Collegare il sensore di pressione all'apparato base utilizzando un pezzo (corto!) di tubo normale.
2. Sollevare il pistone nella sua posizione più alta e chiudere la valvola di blocco del connettore libero.
3. Collegare il sensore di pressione all'interfaccia per computer e impostare *Science Workshop* per la registrazione della pressione. Assicurarsi di impostare il campionamento da tastiera, in modo da inserire manualmente i valori dell'altezza del pistone.

Procedimento:

1. Registrare l'altezza del pistone e la pressione quando la piattaforma è sollevata alla massima altezza.
2. Premere la piattaforma (delicatamente!) con la mano facendola abbassare di una serie di intervalli e registrare pressione e altezza per ogni livello. Consigliamo di eseguire una misura ogni 2 mm di discesa.
3. Convertire le misure di altezza in volume, con una formula tipo quella vista nell' esperimento precedente.
4. Richiedere a *Science Workshop* un grafico pressione in funzione del volume, e verificare la proporzionalità inversa, sia sul grafico che su una tabella.

Note:

- Per minimizzare l'errore sul volume dovuto all'aria presente nel tubo, utilizzate un collegamento il più corto possibile tra il sensore e l'attacco sul motore termico. Tagliate, a questo scopo, un pezzo di tubo di un centimetro e mezzo circa.
- Per pressioni vicine al limite di tenuta del motore termico la relazione tra P e V può diventare molto imprecisa a causa delle perdite.
- Potete utilizzare un sensore di forza per "schiacciare" il motore termico. Potrete così verificare la relazione tra forza e pressione (ricordiamo che la pressione è una forza su una superficie, e l'area dal pistone è circa 8.3 cm^2).

Esperimento 4: legge dei gas combinata (Gay-Lussac)

Apparati richiesti	
Motore termico/Apparato per la legge dei gas	Fornelletto elettrico
Sensore di pressione (CI-6532)	Beker in pyrex con acqua
Interfaccia per computer <i>Science workshop</i> , modello "300" o superiore	Ghiaccio
Sensore di temperatura (CI-6505)	

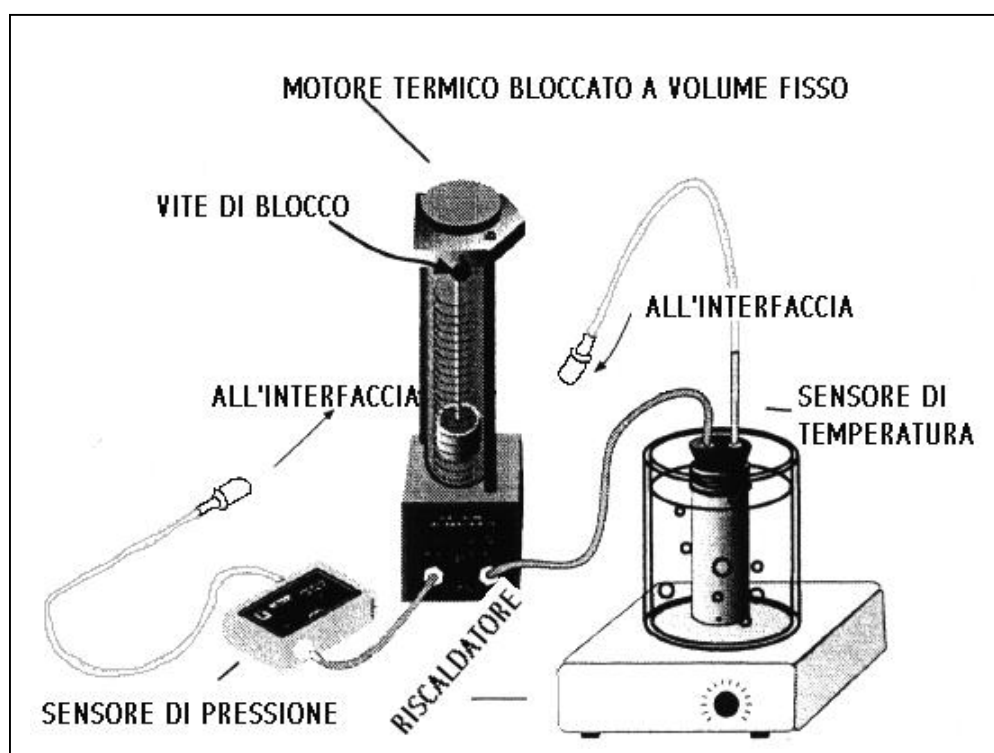
Per dettagli sull'impostazione dei sensori di pressione e temperatura con *Science Workshop*, consultare il foglio di istruzioni dei sensori e il manuale utente di *Science Workshop*.

Teoria:

Combinando la legge di Charles e la legge di Boyle (esperimenti 2 e 3) si ottiene:

$$V = \frac{aT}{P}$$

La legge dei gas combinata predice che per una data quantità di gas, se V viene mantenuto costante, P è proporzionale a T . Nella formula, abbiamo chiamato a questa costante.



Preparazione:

1. Fissare il pistone pochi cm sopra la posizione di minimo, stringendo la vite di blocco.
2. Collegare il sensore di pressione a uno dei connettori sull'apparato base con un pezzo di tubo.
3. Collegare la camera d'aria all'altro connettore utilizzando un pezzo di tubo e chiudendola con il tappo a due buchi.

4. Inserire il sensore di temperatura nell'altro foro del tappo (Per facilitare l'ingresso ed evitare danni alla sonda è possibile utilizzare un lubrificante al silicone). **Nota:** è possibile sostituire il sensore di temperatura con un comune termometro facendo attenzione che il bulbo del termometro stesso non tocchi il fondo del recipiente. In questo caso camperete "secondo tastiera", fornendo al computer la temperatura che leggete sul termometro come "Parametro".
5. Collegare i sensori all'interfaccia per computer e impostare il programma *Science Workshop* in modo da mostrare un grafico di temperatura in funzione della pressione.
6. Immergere la camera d'aria nel beker e accendere il fornello.

Procedimento:

1. Registrare Pressione e temperatura mentre l'acqua si scalda. Effettuate un campionamento ogni 5 secondi, fino ad ebollizione dell' acqua. Se raccogliete i dati "secondo tastiera" effettuate una lettura ogni trenta secondi circa fornendo la temperatura, oppure ogni aumento della temperatura di 2°.
2. Visualizzare un grafico di pressione in funzione della temperatura utilizzando *Science Workshop*, e verificare la relazione tra P e T.
3. Facoltativa: la costante a nella formula scritta all' inizio di questo esperimento vale ovviamente aR . Con il valore accettato di R , vi torna n col volume d' aria utilizzato? Quali sono le fonti di errore?

Esperimento 5: la macchina termica per sollevare masse

Apparati richiesti	
Motore termico/Apparato per la legge dei gas	2 beaker in pyrex con acqua
1 set di masse tra 20 g e 200 g	1 fornello
Ghiaccio	
Equipaggiamento opzionale	
Sensore di posizione	Sensore di pressione (CI-6532)
Interfaccia per computer <i>Science workshop</i>	

Teoria:

Lo scopo di questo esperimento è quello di costruire una macchina termica che, sfruttando un ciclo a quattro stadi di compressione ed espansione, sarà in grado di sollevare piccole masse trasformando l'energia termica in lavoro meccanico.

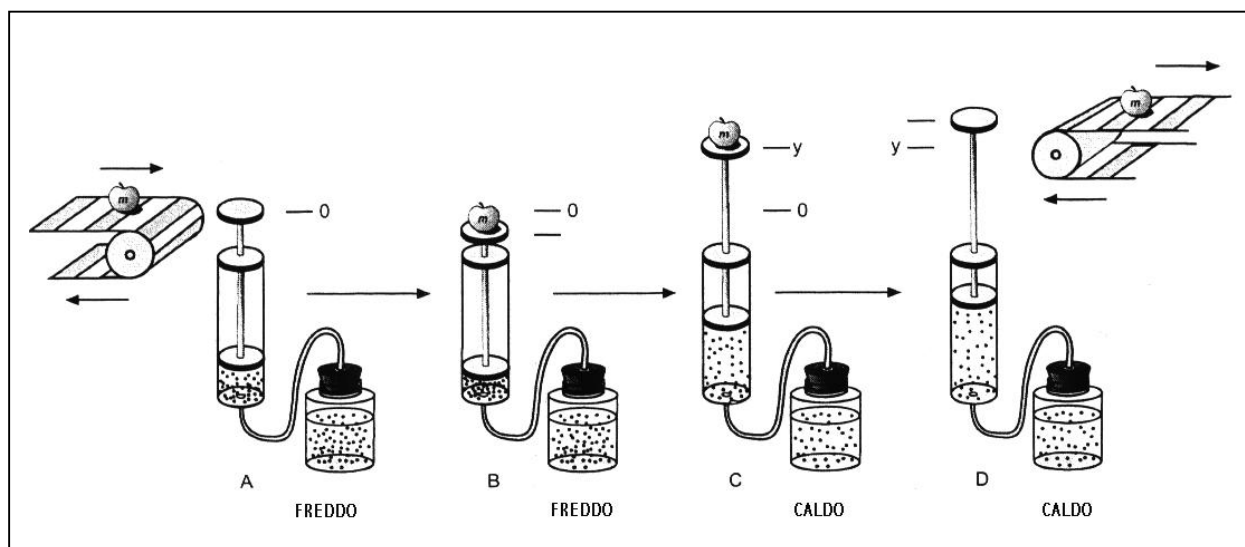
In particolare si potrà verificare sperimentalmente che il lavoro effettuato per sollevare una massa m di un tratto verticale h è uguale al lavoro termodinamico netto prodotto durante un ciclo, che può essere valutato misurando l'area racchiusa dal ciclo in un diagramma pressione volume. In pratica si andrà a verificare sperimentalmente la relazione:

$$mgh = \oint PdV \quad [\text{dove } g \text{ indica l'accelerazione di gravità}].$$

Sebbene sia possibile verificare tale identità per via teorica, l'esperimento permetterà allo studente di familiarizzare col funzionamento di una macchina termica reale.

Preparazione:

1. Collegare la camera d'aria all'apparato base con un pezzo di tubo, chiudendola con il tappo a foro singolo.
2. Chiudere la valvola di blocco del connettore libero*, col pistone a $\frac{1}{4}$ della corsa dal basso.
3. Portare l'acqua di un beaker ad ebollizione e raffreddare l'altro in modo che l'acqua sia in equilibrio



con il ghiaccio così da avere due sorgenti di calore a diversa temperatura.

4. Immergere la camera d'aria nel beaker a temperatura inferiore e attendere che il sistema si stabilizzi.

- * Disponendo dei sensori di pressione e posizione, collegare il sensore di pressione al connettore libero e quello di posizione al piatto del pistone; impostare Science Workshop in modo da visualizzare i dati raccolti in un grafico con la posizione (direttamente proporzionale al volume) in ascissa e la pressione in ordinata. Per vedere come ricavare il volume dalla posizione della piattaforma del motore termico, fate riferimento all'esperimento 2.

Procedimento:

1. Se si dispone di Science Workshop iniziare la raccolta dati.
2. Il sistema si trova in uno stato con volume V_1 e pressione P_1 .
3. Con la camera d'aria immersa nella sorgente a temperatura inferiore, appoggiare la massa sul piatto del pistone: il sistema subisce una compressione che, a causa della velocità con cui avviene, può essere considerata adiabatica (pur non essendo il sistema isolato) e che lo porta ad uno stato $V_2 < V_1$ e $P_2 > P_1$.
4. Spostare la camera d'aria nel contenitore con l'acqua calda: l'aria scaldandosi si dilata mentre la pressione resta costante (pari alla pressione atmosferica più la pressione esercitata dal sistema pistone + massa); il sistema passa ad uno stato $V_3 > V_2$ e $P_3 = P_2$.
5. Quando il sistema si è stabilizzato, rimuovere la massa dal piatto del pistone: il sistema subisce un'espansione che, come al punto 3, può essere considerata adiabatica, passando allo stato $V_4 > V_3$ e $P_4 < P_3$.
6. Riportare la camera d'aria nel contenitore di acqua fredda: il gas si contrae a pressione costante tornando, se non ci sono state perdite, nello stato iniziale.
7. Terminare la raccolta dati. A questo punto Science Workshop può elaborare direttamente il grafico nel piano PV.
8. Non disponendo di Science Workshop disegnare un grafico su carta millimetrata ponendo in ascissa il volume (in m^3) e in ordinata la pressione (in Pa) e collegando con linee rette i punti (P_1, V_1) , (P_2, V_2) , (P_3, V_3) , (P_4, V_4) .
 Nota: i (P_1, V_1) - (P_2, V_2) e (P_3, V_3) - (P_4, V_4) sono in realtà trasformazioni adiabatiche, ma l'approssimazione lineare è più che sufficiente nel nostro caso.
9. Misurare l'area della regione compresa entro i punti (P_1, V_1) , (P_2, V_2) , (P_3, V_3) , (P_4, V_4) questo è il lavoro termodinamico effettuato dal sistema.
 Nota: Nel calcolo si può trascurare il volume del gas contenuto nella camera d'aria e nei tubi di collegamento: perché?
10. Calcolare il lavoro meccanico prodotto ricordando che $L = F \cdot d = mgh$.
11. Confrontare che i due valori sono paragonabili.

La macchina termica non è così semplice

Capire le fasi del ciclo di un motore termico su un diagramma P - V è ragionevolmente semplice. Comunque, è difficile utilizzare le equazioni per l'espansione e la compressione adiabatica e la legge per i gas ideali per determinare la temperatura (quindi l'energia interna) dell'aria attraverso il ciclo. Le ragioni di ciò sono svariate. Innanzitutto l'aria non è un gas ideale e quindi le leggi usate costituiscono un'approssimazione. Secondo: il motore termico non è perfettamente isolato, quindi il gas, riscaldato nella camera d'aria, disperde energia attraverso le pareti del cilindro; quindi non è isoterma. Terzo: il cilindro, pur garantendo un'ottima tenuta, non è perfettamente sigillato, quindi l'aria sfugge attorno al pistone, soprattutto quando la massa appoggiata sulla piattaforma diventa grande; ciò significa che il numero di moli di gas contenute nel cilindro, diminuisce col tempo. Ciò può essere verificato osservando che lo stato iniziale P_1, V_1 e lo stato finale P_4, V_4 non coincidono.