

MISURE DI TERMODINAMICA

COMPRESSIONE ED ESPANSIONE DI UN GAS

ISOTERMA ED ADIABATICA

INTRODUZIONE

Attenzione: se l'apparato è collegato all'interfaccia ScienceWorkshop500 il programma di acquisizione da utilizzare è DataStudio (non Capstone) e dopo l'apertura del programma si deve impostare l'uso di tale interfaccia.

1. TRASFORMAZIONE ISOTERMA (COMPRESSIONE/ESPANSIONE)

Un gas reale sia contenuto in un recipiente connesso termicamente ad un termostato (per esempio l'ambiente). Variando il volume del gas molto lentamente in modo che si possa considerare il gas sempre in **equilibrio termico** con l'ambiente, la compressione/espansione è con buona approssimazione **isoterma**.

Nell'ipotesi di gas perfetto vale l'equazione di stato

$$pV = n R T \quad (1)$$

Con p pressione, V volume, T temperatura, n numero di moli e R costante dei gas. L'equazione della trasformazione isoterma compiuta dal gas è allora

$$p V = \text{costante}$$

che in un piano (p , V) è rappresentata da un'iperbole equilatera. Con una trasformazione logaritmica (qui usiamo i logaritmi naturali) si passa al piano ($\ln p$, $\ln V$) dove la trasformazione è rappresentata dall'equazione

$$\ln (p) = - \ln (V) + \ln (n R T)$$

dove $\ln (n R T)$ è costante durante il processo isotermo (nell'ipotesi che non ci siano perdite di gas nel sistema e quindi il numero di moli rimane costante).

Nel piano ($\ln p$, $\ln V$) la relazione tra pressione e volume per una trasformazione isoterma è quindi rappresentata da una retta del tipo $y = A + BX$, con $y = \ln(p)$, $x = \ln(V)$, $A = \ln(n R T)$ e $B = -1$.

2. TRASFORMAZIONE ADIABATICA (COMPRESSIONE/ESPANSIONE)

Un processo adiabatico è caratterizzato dall'assenza di scambi di calore con l'ambiente esterno. Esso può essere ottenuto isolando termicamente il recipiente in cui è contenuto il gas oppure, quando, come nel nostro caso, non è possibile un perfetto isolamento termico, comprimendo o espandendo il gas così rapidamente da non lasciare al calore il tempo di fluire attraverso le pareti del recipiente.

La trasformazione **reale effettuata** è un'**adiabatica irreversibile**: infatti gli stati intermedi tra quello iniziale e quello finale non sono propriamente di equilibrio.

Nell'ipotesi che la trasformazione reale possa comunque essere approssimata dall'equazione di Poisson, valida per le **adiabatiche reversibili** di un gas **perfetto**, si scrive

$$p V^{\gamma} = \text{costante} \quad (2)$$

dove γ è il valore del rapporto tra C_p e C_v , rispettivamente calori specifici molari a pressione costante e a volume costante. I valori di C_p e C_v nell'ipotesi di gas perfetto dipendono dalla struttura atomica-molecolare del gas e sono dati in tabella 1.

In un piano (p, V) la relazione tra p e V è rappresentata da un'iperbole, non equilatera. In un piano ($\ln p, \ln V$) la trasformazione è rappresentata da una retta di equazione

$$\ln p = -\gamma \ln V + \text{costante}$$

la cui pendenza negativa è determinata dal valore del parametro γ (parametro $B = -\gamma$).

Tabella 1

	C_p	C_v	γ
Gas monoatomici (He, Ar..)	$5/2 R$	$3/2 R$	$5/3 = 1.67$
Gas biatomici ($H_2, N_2, O_2...$)	$7/2 R$	$5/2 R$	$7/5 = 1.4$
Gas poliatomici	$4 R$	$3 R$	$4/3 = 1.33$

In laboratorio si utilizzano l'aria, che è composta da gas biatomici N_2 (78.08%), O_2 (20.95%) e l'Argon, che è un gas nobile, monoatomico. Nell'aria sono presenti in piccola percentuale anche alcuni gas in concentrazioni molto variabili, il vapore acqueo, l'ozono, il CO_2 e tutti i comuni inquinanti, nonché una certa quantità di microscopiche particelle di polvere ecc.

L'equazione di Poisson può essere riscritta in termini di temperatura e volume, utilizzando la (1) e la (2) come

$$T V^{\gamma-1} = \text{costante}$$

e studiata utilizzando queste due grandezze osservando i dati in un piano ($\ln T, \ln V$).

DESCRIZIONE DELL' APPARATO

L'apparecchiatura per lo studio della compressione/espansione di un gas consiste in un cilindro di materiale acrilico contenente gas in cui scorre un pistone di materiale plastico che può essere mosso manualmente comprimendo o espandendo il gas. Due rubinetti posti alla base del cilindro consentono di riempire quest'ultimo con aria o con un altro gas.

Sensore di volume

Il volume occupato dal gas viene misurato istantaneamente da un sensore di volume: sulla parete laterale del pistone è applicata una striscia resistiva mentre sul bordo superiore del cilindro è applicata una spazzola che realizza il contatto elettrico "mobile" (strisciante) sulla striscia stessa. Striscia resistiva e spazzola costituiscono un reostato, cioè un dispositivo a resistenza elettrica variabile. Ai capi della striscia è applicata una tensione fissa di 5 V, mentre la tensione letta tra la spazzola e uno dei capi della striscia dipende dalla resistenza della porzione di striscia che si trova tra questi due punti. Poiché la resistenza per unità di lunghezza della striscia è costante, la tensione letta dipende solo dalla distanza tra la spazzola e l'altro capo, ossia dall'altezza della porzione di cilindro contenente il gas. In questo modo, nota la sezione del cilindro, si ottiene la misura del volume.

Sensore di pressione

La pressione del gas è misurata istantaneamente da un sensore di pressione montato sulla base del cilindro. Si tratta di un dispositivo piezoresistivo la cui resistenza elettrica varia in funzione della pressione ad esso applicata.

Sensore di temperatura

La temperatura del gas è misurata istantaneamente da un sensore di temperatura montato sulla base del cilindro. Esso è costituito da un filo di nichel teso su un telaio quadrato. La resistenza elettrica del filo dipende dalla sua temperatura. Grazie all'elevato rapporto superficie/volume il filo raggiunge velocemente l'equilibrio termico con il gas che lo circonda. La misura della resistenza del filo permette quindi di ottenere la temperatura del gas anche durante rapide variazioni della stessa.

Le resistenze di tutti questi sensori sono misurate mediante un circuito a ponte. Da ciascun sensore viene passato all'interfaccia cui sono collegati un valore di *tensione che risulta essere linearmente proporzionale alla grandezza misurata*: volume, pressione e temperatura. Le relazioni di conversione (**calibrazione del sensore**) tra tensione e volume, tensione e pressione, tensione e temperatura sono fornite dal costruttore e indicate sull'apparato.

Le equazioni di calibrazione vanno inserite manualmente nel programma di acquisizione per trasformare i valori delle tensioni lette dai sensori in valori delle rispettive grandezze: volume, pressione, temperatura.

CALIBRAZIONE DEI SENSORI

A titolo di **esempio**, un set di costanti di calibrazione per i sensori è il seguente:

- **Sensore di temperatura**

$$\begin{array}{llll} R(T) & \rightarrow & V_T = I \ R(T) & [\text{Volt}] \\ & & T = 36.417 \ V_T + 294.219 & [\text{K}] \end{array}$$

- **Sensore di pressione**

$$\begin{array}{llll} R(p) & \rightarrow & V_P = I \ R(p) & [\text{Volt}] \\ & & p = 100 \ V_P + 3.3 & [\text{kPa}] \end{array}$$

- **Sensore di volume**

$$\begin{array}{llll} R(V) & \rightarrow & V_V = I \ R(V) & [\text{Volt}] \\ & & V_{\text{volume}} = 33.13 \ V_V + 78.768 & [\text{cm}^3] \end{array}$$

I valori dei parametri di calibrazione dei sensori sono specifici dell'apparato in uso.

Inserire nel programma di acquisizione dati i parametri di calibrazione del **proprio apparato**, riportati sull'etichetta bianca attaccata sul lato dell'apparato in uso.

Calibrazione del sensore di volume

La calibrazione del sensore di volume deve essere **verificata** eseguendola personalmente:

- Si posiziona il pistone a diverse altezze e per ciascuna di queste si legge la tensione fornita dal sensore di volume. Si calcola il volume interno del cilindro geometricamente, utilizzando il valore della superficie di base del cilindro (indicata sulla stessa etichetta) e l'altezza del cilindro letta sulla scala graduata. Si costruisce un grafico con i valori della tensione letta sulle ascisse e i valori del volume calcolato sulle ordinate. Si interpola la relazione tra Volume e Tensione con una retta ricavandone i parametri A, B. Si confrontano i parametri della retta con quelli forniti dal costruttore.

Calibrazione dei sensori di temperatura e di pressione

Per il sensore di temperatura e di pressione è possibile verificare solo 1 punto di calibrazione, quello corrispondente alla temperatura e pressione atmosferica del laboratorio.

- Definire la grandezza temperatura a partire dalla tensione letta dal sensore di temperatura inserendo i valori di calibrazione della temperatura letti sull'etichetta.

- Definire la grandezza pressione a partire dalla tensione letta dal sensore di pressione inserendo i valori di calibrazione della pressione letti sull'etichetta.

Riempire d'aria il cilindro e lasciare aperte le valvole in modo che temperatura e pressione interna siano uguali a quella ambientale. **Confrontare i valori della temperatura e della pressione letti con quello forniti dal termometro del laboratorio.**

Una eventuale differenza può essere inserita come correzione nei parametri di calibrazione, oppure, se molto piccola, può essere tenuta in considerazione nella valutazione finale dei risultati ottenuti.

NOTA SULL' ACQUISIZIONE DATI

A seconda del processo che si vuole realizzare, scegliere un'opportuna frequenza di acquisizione dei dati. A titolo di esempio, dei valori che possono essere usati per le frequenze sono:

- per il processo adiabatico, veloce, frequenza di 500 Hz (o più, se possibile) e tempo di raccolta di circa 1-2 secondi.
- per processo isoterma, lento, usare una frequenza di circa 1 Hz e tempo di raccolta di circa 1-2 minuti.

I valori precisi vanno definiti da parte di ciascun studente in base al tipo di raccolta che si sta effettuando e del volume utilizzato (non è necessario comprimere tutto il volume disponibile, si può limitare la possibile variazione di volume bloccando il pistone con le apposite viti esterne).

Nel caso delle trasformazioni **adiabatiche**, per minimizzare la dispersione di calore, la **fase di compressione deve durare al massimo 1-2 decimi di secondo**, invece nel caso delle trasformazioni isoterme, la velocità di compressione va regolata osservando l'andamento di un grafico della temperatura verso il tempo. La temperatura deve rimanere costante in funzione del tempo, con solo piccole variazioni.

SVOLGIMENTO

Dopo aver definito le grandezze V , p , T ed aver calibrato i sensori, iniziare l'esperimento eseguendo alcune trasformazioni adiabatiche con **aria**, costruire i grafici di volume, pressione e temperatura in funzione del tempo e determinare i tempi di compressione necessari per minimizzare le dispersioni di calore. Ad esempio, se si esegue una compressione partendo sempre dalle stesse condizioni iniziali di p, T, V , si osserva che, a parità di variazione di volume, si raggiungono temperature più elevate quando si comprime il gas più velocemente, minimizzando le perdite di calore.

Nelle condizioni ottimali scelte (tempo di compressione, frequenza di acquisizione) eseguire una **compressione adiabatica**. Costruire un grafico di $\ln(p)$ in funzione di $\ln(V)$, interpolare con una retta e determinare il valore di γ . Ripetere diverse volte e calcolare il valor medio di γ e l'errore standard della media. Fare attenzione a scegliere

correttamente la regione da interpolare, includendo solo le misure raccolte durante la variazione del volume.

Uno studio analogo per la determinazione di γ può essere fatto utilizzando invece la coppia di variabili T e V , sempre con una trasformazione logaritmica del piano in modo da poter interpolare i dati raccolti con una retta.

Cambiare frequenza di acquisizione ed eseguire delle **compressioni isoterme**. Per ciascuna di esse costruire il grafico di $\ln(p)$ in funzione di $\ln(V)$ interpolare con una retta per verificare la legge delle isoterme.

In modo analogo eseguire e studiare i risultati di alcune **espansioni isoterme**.

Successivamente riempire il tubo di **Argon**, gas monoatomico. Effettuare **compressioni adiabatiche** come fatto per l'aria. Determinare il valor di γ per questo gas.

Eseguire delle compressioni **isoterme con l'Argon** e confrontare i risultati con quelli ottenuti con l'aria.

NOTE

- La regione di entrata del gas nelle valvole poste alla base del cilindro contiene un volume di gas di circa 1 cm^3 . Si può tenere conto di questo volumetto correggendo il volume misurato (aggiungendo 1 cm^3) oppure correggendo la misura dello spostamento del pistone, aggiungendo $0,06 \text{ cm}$.
- Quando si comprime il gas si compie un certo lavoro di attrito sulle pareti del cilindro, ma la parte del cilindro che si scalda non è in contatto con il gas. Quando invece si espande il gas, la parte del cilindro che si scalda è in contatto con il gas e lo scalda. Per questo motivo le misure durante l'espansione forniscono risultati quantitativamente peggiori che quelle nella compressione.