

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

2. Termodinamica Applicata alle Macchine

Roberto Lensi

DIPARTIMENTO DI ENERGETICA

DEFINIZIONI DI TERMODINAMICA CLASSICA

Termodinamica classica

Tratta la macrostruttura della materia e non il comportamento della singola molecola.

Sistema termodinamico

Tutto quanto costituisce l'oggetto dello studio termodinamico, normalmente contenuto in una specifica regione dello spazio (CR, Control Region, ovvero CV, Control Volume) ed è separato da ciò che è esterno ad esso mediante una ben definita superficie (CS, Control Surface, ovvero confine del sistema). La CS può essere fissa oppure mobile.

Sistema chiuso

Se la CS non permette flussi di massa (e la massa è quindi identicamente la medesima) il sistema è detto chiuso o a massa controllata. L'analisi termodinamica di tali sistemi prende pertanto il nome di "studio di una massa controllata".

Sistema aperto

Se la CS permette flussi di massa il sistema è detto aperto o a volume controllato. L'analisi termodinamica di tali sistemi prende pertanto il nome di "studio di un volume controllato (regione controllata)".

Sistema isolato

Un sistema si dice isolato allorché modificazioni dell'ambiente non producono modificazioni nel sistema stesso.

Universo

Un sistema ed il suo ambiente costituiscono sempre, complessivamente, un sistema isolato che è detto *universo*.

Stato termodinamico

Condizione di un sistema che ad ogni determinato istante è descritta mediante le sue proprietà.

Proprietà termodinamica (grandezza di stato)

È ogni caratteristica misurabile di un sistema, il cui valore dipende dalla condizione in cui tale sistema si trova, ossia dallo stato e non dalla precedente "storia" del sistema. Le proprietà termodinamiche sono funzioni dello stato del sistema e non del processo che il sistema ha compiuto.

Proprietà estensiva

Dipende dall'estensione del sistema e gode della proprietà additiva. Per un sistema suddiviso in N sottosistemi, il valore di una proprietà estensiva X per l'intero sistema è la somma dei valori di tale proprietà per tutti i sottosistemi; se X_j è il valore della proprietà estensiva in oggetto per il j -esimo sottosistema, si ha quindi:

$$X = \sum_{j=1}^N X_j$$

Massa, volume ed energia sono proprietà estensive. Le proprietà estensive hanno significato indipendentemente dal fatto che il sistema sia in uno *stato d'equilibrio*.

Proprietà intensiva

Queste proprietà sono indipendenti dall'estensione del sistema ed hanno significato solamente per i sistemi che si trovano in uno *stato d'equilibrio*. Pressione e temperatura sono proprietà intensive.

Mole

Quantità di sostanza la cui massa, espressa in grammi, è numericamente uguale al suo peso molecolare.

Proprietà specifica

Una speciale categoria di proprietà intensive sono le proprietà specifiche, sia quelle massiche (rapporto

tra le corrispondenti proprietà estensive e la massa del sistema cui esse si riferiscono) che quelle molari (rapporto tra le corrispondenti proprietà estensive ed il numero di moli cui esse si riferiscono).

Processo termodinamico

Due stati sono identici se e solamente se ogni proprietà presenta lo stesso valore in ciascuno dei due stati; se una (o più) proprietà del sistema cambia di valore si ha un cambiamento di stato e si dice che il sistema ha effettuato un *processo*.

Processo quasi-statico (reversibile)

Processo in cui il sistema è, in ogni istante, infinitamente prossimo all'equilibrio e ciascuno stato attraverso cui il sistema passa può essere descritto mediante coordinate termodinamiche. Un processo quasi-statico è un'idealizzazione cui ci si può avvicinare, nella pratica, con il grado di accuratezza desiderato.

Ciclo

Quando un sistema che si trova in un determinato stato iniziale effettua una sequenza di processi ed alla fine ritorna nel suo stato iniziale, si dice che esso ha effettuato un *ciclo*.

Fase

Quantità di materia che sia omogenea sia per *composizione chimica* sia per *struttura fisica* (interamente solida, interamente liquida, interamente vapore o gas). Un sistema può contenere una o più fasi.

Sostanza pura

Sostanza che sia interamente e invariabilmente caratterizzata dalla medesima *composizione chimica* (indipendentemente dal fatto che le fasi siano una o più).

Equilibrio termodinamico

Si ha un equilibrio completo in caso di esistenza contemporanea dei seguenti equilibri:

- *equilibrio termico* uguaglianza della *temperatura*;
- *equilibrio meccanico* uguaglianza della *pressione*;
- *equilibrio chimico (o di fase)* uguaglianza dei *potenziali chimici*.

Per determinare se un sistema si trova in uno *stato di equilibrio* termodinamico si può pensare di eseguire il seguente test: isolare il sistema dal suo ambiente e verificare se si hanno cambiamenti nei valori delle proprietà del sistema; in assenza di tali cambiamenti, si può concludere che il sistema si trovava in uno stato di equilibrio. Un sistema isolato non può interagire col suo ambiente, tuttavia il suo stato può cambiare in conseguenze di fenomeni spontanei che avvengono internamente al sistema stesso e fanno tendere verso valori uniformi le proprietà intensive di questo, come temperatura e pressione. Quando tutti questi cambiamenti cessano il sistema è in equilibrio. All'equilibrio la temperatura è uniforme in tutto il sistema, analogamente la pressione può essere considerata uniforme fintanto che l'effetto della gravità è trascurabile (altrimenti può esistere una variazione di pressione con la quota, così come in una colonna verticale di liquido).

Lavoro e calore (grandezze di scambio)

L'energia può essere immagazzinata nei sistemi in varie forme macroscopiche:

- energia cinetica, E_k ;
- energia potenziale gravitazionale, E_p ;
- energia interna, U .

L'energia può essere *trasformata* da una forma in un'altra. L'energia può essere *trasferita* da un sistema ad un altro; per i sistemi chiusi ciò avviene mediante trasferimenti di *lavoro* e di *calore*.

La quantità totale di energia si conserva in tutte le trasformazioni ed in tutti i trasferimenti.

Lavoro e calore sono fenomeni fisici che possono esser descritti al confine del sistema (aperto o chiuso) ed esistono soltanto finché il sistema e l'ambiente interagiscono; per questo sia il lavoro che il calore sono detti *interazioni*. Poiché tali interazioni si traducono in *trasferimenti di energia* attraverso il confine del sistema, lavoro e calore possono essere considerati come "energia in transito". Lavoro e calore denotano i diversi modi in cui l'energia è trasferita e non denotano cosa viene trasferito (in tutti e due i casi si tratta sempre di energia). Pur avendo in comune quest'importante caratteristica, esistono notevoli differenze tra lavoro e calore dalle quali derivano conseguenze di fondamentale rilevanza.

Il lavoro (W), in termodinamica, denota un modo di trasferire energia da un sistema al suo ambiente tale che l'unico effetto sull'ambiente potrebbe consistere unicamente nel sollevamento di un peso (ossia in una forza agente durante uno spostamento nella direzione della forza, per cui il concetto di lavoro proprio della meccanica è compreso nella definizione precedente).

Il calore (Q) rappresenta la quantità di energia trasferita ad un sistema chiuso durante un processo in modi diversi dal lavoro; un tale trasferimento di energia è sempre il risultato di una differenza di temperatura tra il sistema ed il suo ambiente.

Lavoro e calore non sono proprietà del sistema ed è improprio parlare di lavoro o calore contenuto in un sistema. Per brevità, W e Q sono denominati trasferimenti di lavoro e di calore, rispettivamente, anche se, più formalmente, essi rappresentano la quantità di energia trasferita mediante interazioni di lavoro (W) e la quantità energia trasferita mediante interazioni di calore (Q).

Acronimi

TER Serbatoio di energia termica con una capacità termica così grande che esso può agire da sorgente o pozzo di calore senza risentire di variazioni finite di temperatura.

MER Serbatoio di energia meccanica capace di immagazzinare energia meccanica completamente organizzata sotto la forma di energia potenziale (innalzamento di un peso in un campo gravitazionale) o cinetica; esso è un sistema ideale in cui l'energia è ricevuta, immagazzinata e fornita in maniera reversibile.

HE Motore termico; esso opera in maniera ciclica e scambia energia termica e meccanica con altri sistemi.

RHE Motore termico reversibile.

HP Pompa di calore; essa opera in maniera ciclica e scambia energia termica e meccanica con altri sistemi.

RHP Pompa di calore reversibile.

Confine adiabatico

Il confine (o la superficie di controllo) che non rende possibili le interazioni termiche.

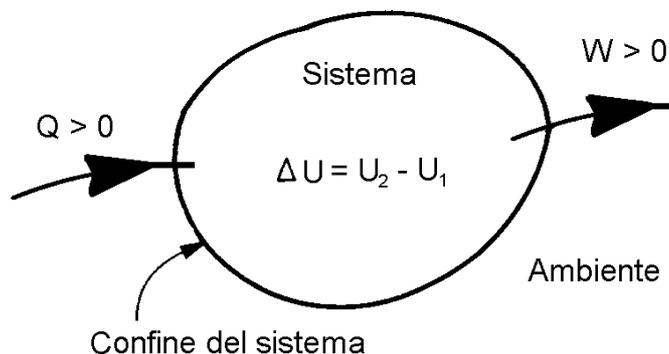
Confine diatermico

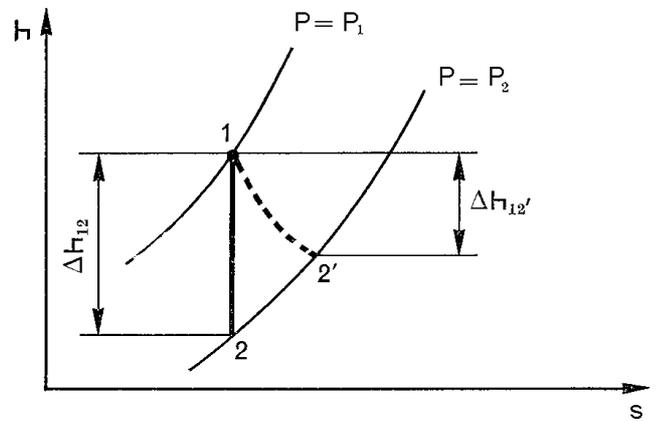
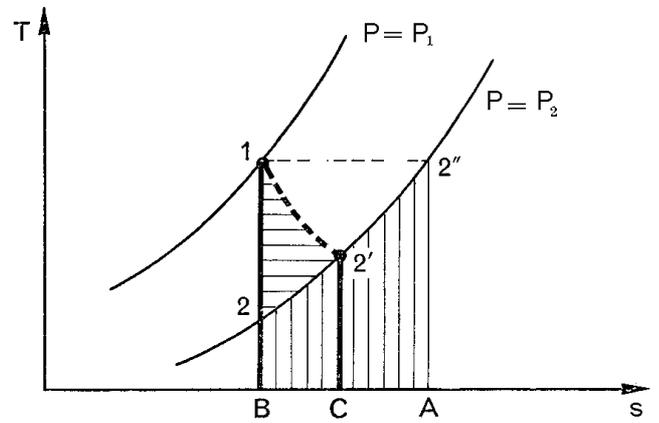
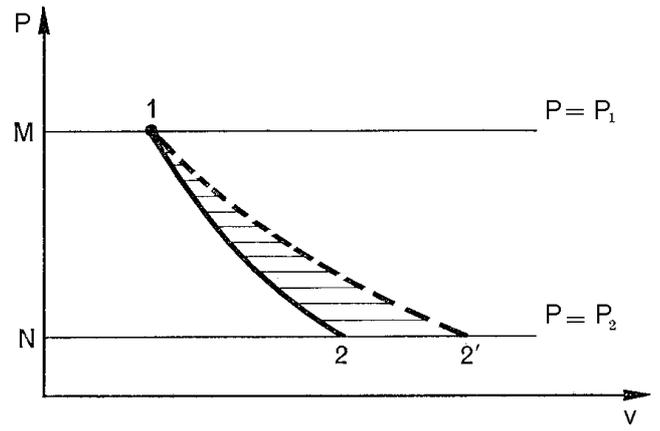
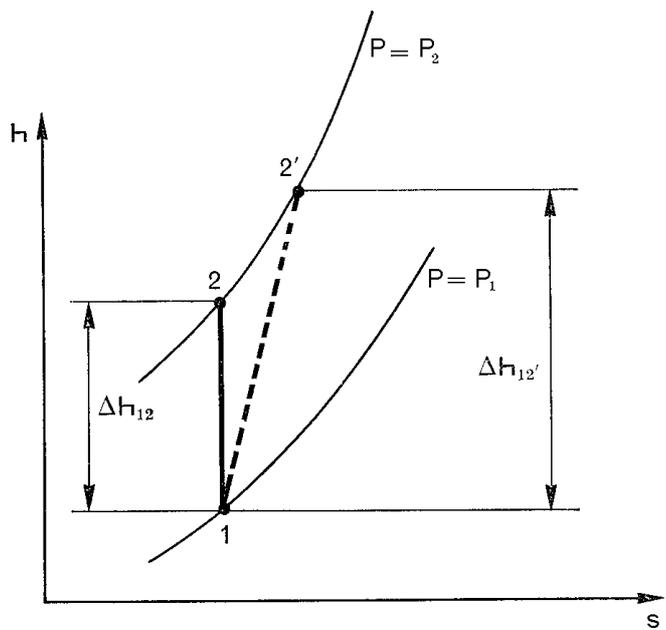
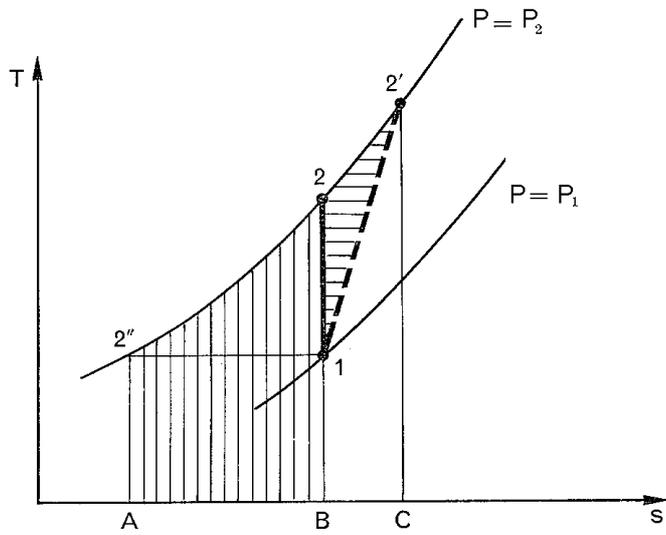
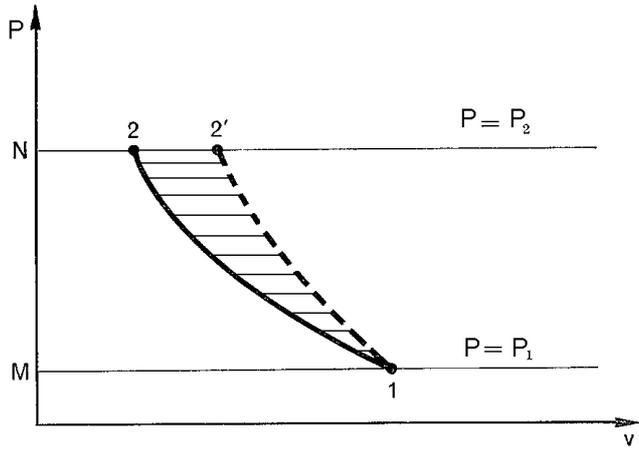
Il confine (o superficie di controllo) che rende possibili le interazioni termiche.

Convenzione classica (in termodinamica) sui segni degli scambi di energia

Si considerano positivi i trasferimenti di calore dall'ambiente verso il sistema ed i trasferimenti di lavoro dal sistema verso l'ambiente.

U_2 è il valore di U nello stato finale ed U_1 è il valore di U nello stato iniziale.





INDICE

Frontespizio	1
Definizioni di termodinamica classica.....	2
Trasformazioni reversibili e irreversibili	5
Indice	6