MODELLISTICA E CONTROLLO DI PROCESSI INDUSTRIALI

- SOMMARIO

  - RICHIAMI DI TERMODINAMICA E FLUIDODINAMICA
  - PRINCIPI DI CONSERVAZIONE
  - MODELLI DI COMPONENTI IDRAULICI, TERMICI, PNEUMATICI
  - DINAMICA E CONTROLLO DI PROCESSI:
    - IDRAULICI
    - TERMOIDRAULICI
    - PNEUMATICI

- OBIETTIVO: IMPARARE A SVILUPPARE MODELLI DINAMICI, BASATI SUI PRINCIPI PRIMI, DI SEMPLICI PROCESSI INDUSTRIALI DA IMPIEGARE PER L'ANALISI E LA SINTESI DI SISTEMI DI CONTROLLO

- MATERIALE DIDATTICO:
  - DISPENSE PROF. SCATTOLINI
  - TEMI D'ESAME

  SITO WEB

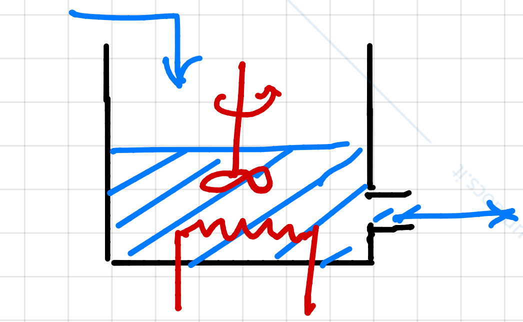
  - LIBRO MORAN, SHAPIRO, MUNSON, DE WITT "ELEMENTI DI FISICA TECNICA PER L'INGEGNERIA"

RICHIAMI DI TERMODINAMICA

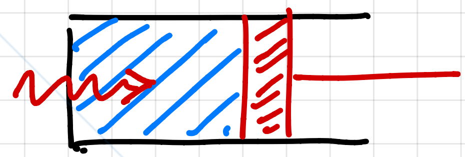
- **TERMODINAMICA**: SCIENZA CHE STUDIA GLI SCAMBI DI ENERGIA SOTTO FORMA DI LAVORO MECCANICO E CALORE

- **SISTEMI TERMODINAMICI**

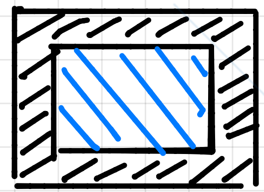
  - **APERTO** SCAMBI DI ENERGIA E MASSA CON L'AMBIENTE ESTERNO



  - **CHIUSO** SOLO SCAMBI DI ENERGIA CON L'AMBIENTE ESTERNO



  - **ISOLATO** SENZA SCAMBI DI ENERGIA O MASSA CON L'AMBIENTE ESTERNO



- GRANDEZZE TERMODINAMICHE

  - INTENSIVE non proporzionali alla massa

    pressione p, temperatura T, ...

  - ESTENSIVE proporzionali alla massa

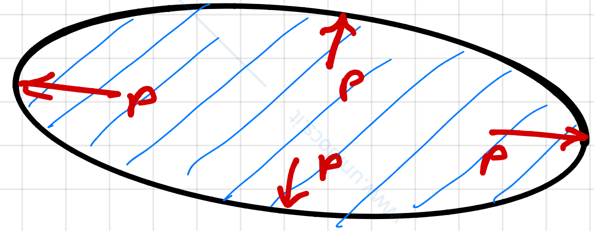
    volume V, energia interna E, entalpia H, ...

  - ESTENSIVE SPECIFICHE riferite all'unità di massa (kg, mole)

    vol. specifico v, en. interna specifica e,
    entalpia specifica h, ...

- SISTEMI IDROSTATICI (pVT)

- SISTEMI ISOTROPI, CON MASSA E COMPOSIZIONE COSTANTI, CHE ESERCITANO SULL'AMBIENTE UNA PRESSIONE UNIFORME



- SONO DESCRITTI DALLE COORDINATE TERMODINAMICHE (STATO)

PRESSIONE	p	$[N/m^2]$
VOLUME	V	$[m^3]$
TEMPERATURA	T	$[K]$

- EQUAZIONE DI STATO: LEGAME ALL'EQUILIBRIO TRA LE VARIABILI DI STATO

$$f(p,V,T)=0$$

- ESEMPIO: GAS IDEALE

- EQUAZIONE DI STATO

$$\boxed{pv = RT}$$

p PRESSIONE $[N/m^2]$

v VOL. SPECIFICO $[m^3/mol]$

T TEMPERATURA $[K]$

$R = 8.314$ $[J\,K^{-1}\,mol^{-1}]$ COSTANTE UNIVERSALE DEI GAS

- FORME ALTERNATIVE

$$\boxed{pV = nRT}$$

V VOLUME $[m^3]$

n N° MOLI $[mol]$

$$\boxed{pv = \frac{R}{P_m} T}$$

v VOL. SPECIFICO $[m^3/kg]$

P_m MASSA MOLARE $[kg\,mol^{-1}]$

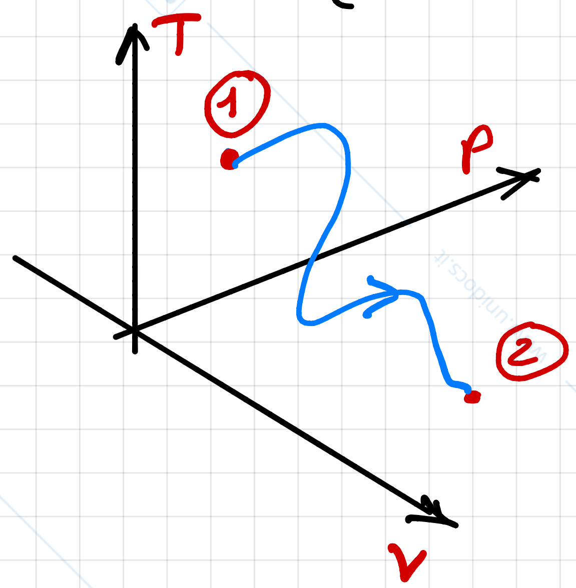
- FUNZIONI DI STATO

- SONO GRANDEZZE CHE DIPENDONO SOLO DALLO STATO (p,V,T)

$$\begin{cases} X = X(p,V,T) & \text{F. DI STATO} \\ f(p,V,T) = 0 & \text{EQ. DI STATO} \end{cases} \implies \begin{matrix} X = X(p,V) \\ \text{o} \\ X = X(p,T) \\ \text{o} \\ X = (V,T) \end{matrix}$$

- TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

- VANNO CONSIDERATE COME QUASI - STATICHE
(PASSAGGIO PER SUCCESSIVI STATI DI EQUILIBRIO)



- ISOTERMA (T COST.)
- ISOBARA (p COST.)
- ISOCORA (V COST.)
- ADIABATICA (SENZA SCAMBIO DI CALORE)

- CICLO TERMODINAMICO

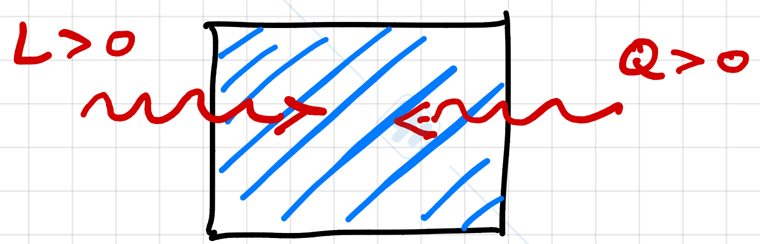
SUCCESSIONE DI TRASFORMAZIONI CHE RIPORTANO IL SISTEMA ALLO STATO ORIGINARIO

- LAVORO E CALORE

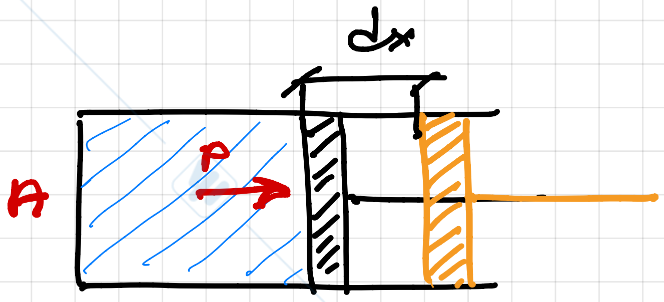
LAVORO L	ENERGIA SCAMBIATA PER EFFETTO DI UNA FORZA CHE PRODUCE UNO SPOSTAMENTO
CALORE Q	ENERGIA SCAMBIATA PER EFFETTO DI DIFFERENZE DI TEMPERATURA

- CONVENZIONE (ATTENZIONE!)

$L, Q > 0$ SE ENTRANTI NEL SISTEMA

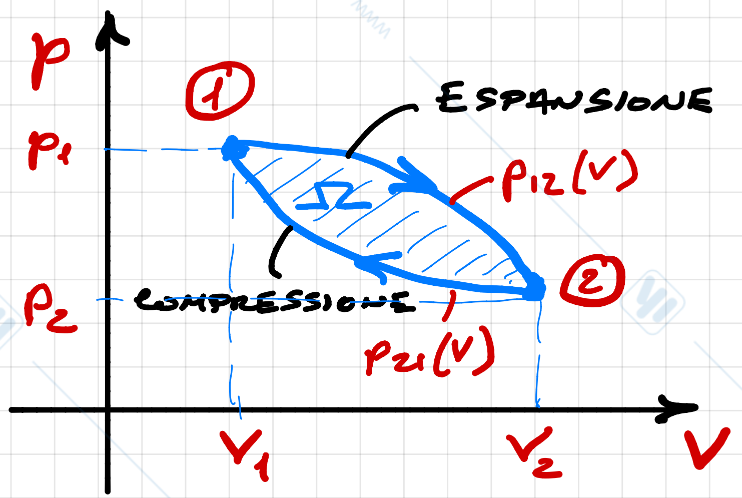


- LAVORO IN UN SISTEMA pVT



$$\boxed{\delta L = -p\overbrace{A}^{F}\underbrace{dx}_{dV} = -p\,dV}$$

- ESEMPIO



$$L_{12} = \int_{V_1}^{V_2} -p_{12}(V)\,dV < 0$$

$$L_{21} = \int_{V_2}^{V_1} -p_{21}(V)\,dV = \int_{V_1}^{V_2} p_{21}(V)\,dV > 0$$

$$L_{121} = L_{12} + L_{21} =$$

$$= \int_{V_1}^{V_2} \left(p_{21}(V) - p_{12}(V)\right) dV < 0$$

$\Longrightarrow$ IL SISTEMA COMPIE LAVORO SULL'AMBIENTE PROPORZIONALE ALL'AREA DI Ω

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

- PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA (SISTEMA CHIUSO)

. LUNGO UN CICLO TERMODINAMICO RISULTA:

$$\boxed{L + Q = 0}$$

$\Longrightarrow$ ESISTE UNA FUNZIONE DI STATO E (ENERGIA INTERNA) TALE CHE, PER OGNI TRASFORMAZIONE,

$$L + Q = \Delta E$$

PER TRASFORMAZIONI INFINITESIME:

$$\delta L + \delta Q = dE$$

DIFFERENZIALI NON ESATTI

DIFFERENZIALE ESATTO, CIOÈ

$$dE = \frac{\partial E}{\partial p} dp + \frac{\partial E}{\partial V} dV$$

- PRIMO PRINCIPIO (SISTEMI pVT)

$E = E(p,V,T)$ $\qquad dE = \delta L + \delta Q$ $\qquad \delta L = -p\,dV$

$\Longrightarrow dE = -p\,dV + \delta Q$

$$\boxed{\delta Q = dE + p\,dV}$$

- IN TERMINI SPECIFICI (DIVIDENDO PER LA MASSA m) $\Longrightarrow$ $\boxed{\delta q = de + p\,dv}$

- IN TRASFORMAZIONI ISOCORE $\delta Q = dE$ o $\delta q = de$

- ENTALPIA

$\boxed{H = E + pV}$ FUNZIONE DI STATO

- PER TRASFORMAZIONI INFINITESIME:

$$dH = dE + d(pV) = \delta L + \delta Q + d(pV) =$$
$$= -\cancel{pdV} + \delta Q + \cancel{pdV} + Vdp =$$
$$= \delta Q + Vdp$$

$$\Longrightarrow \boxed{\delta Q = dH - Vdp}$$

- IN TERMINI SPECIFICI:

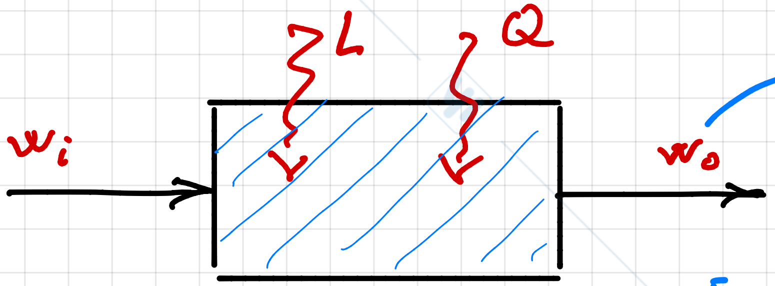
$h = e + pv = e + \frac{p}{\rho}$ (ρ DENSITÀ $[kg/m^3]$)

$$\boxed{\delta q = dh - vdp}$$

- IN TRASFORMAZIONI ISOBARE $\delta Q = dH$ o $\delta q = dh$

- PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA (SISTEMA APERTO)

PORTATA IN [kg/s]



PORTATA OUT [kg/s]

N.B. è per sistemi aperti, quindi devo tener conto della massa che entra e che esce che può avere un energia totale entrante dversa da quella del sistema, così anche per la massa uscente, inoltre i volumetti entranti compiono del lavoro entrando e uscendo

ENERGIA TOTALE $E_t = E + E_k + E_p$

EN. INTERNA; EN. CINETICA; EN. POTENZIALE

$E_k = \frac{1}{2} m v^2$ — v VELOCITÀ

$E_p = mgz$ — z QUOTA

- CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA (TRASF. INFINITESIMA)

$$dE_t = dE + dE_k + dE_p = \delta L + \delta Q + dE_{t_i} - dE_{t_o} + \delta L_i - \delta L_o$$

lavoro meccanico aggiuntivo (ad es. organo rotante)

calore entrante

differenza tra energia totale in e out per effetto delle portate in e out

tiene conto del lavoro compiuto dal fluido in e del lavoro che fa il fluido uscendo

- CAPACITÀ TERMICA

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \qquad [J\,K^{-1}]$$

Q — CALORE FORNITO

ΔT — VARIAZIONE DI T

- IN UNA TRASFORMAZIONE INFINITESIMA:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}$$

- IN TERMINI SPECIFICI:

$$c = \frac{\delta q}{dT}$$

CALORE SPECIFICO $[J\,K^{-1}\,kg^{-1}]$

- CALORI SPECIFICI (SISTEMI pVT)

- CALORE SPECIFICO A PRESSIONE COSTANTE $c_p = \left(\frac{\delta q}{dT}\right)_p = \left(\frac{dh}{dT}\right)_p$

- CALORE SPECIFICO A VOLUME COSTANTE $c_v = \left(\frac{\delta q}{dT}\right)_v = \left(\frac{de}{dT}\right)_v$

- NOTA: IN GENERALE c_p E c_v POSSONO DIPENDERE DA p, V, T

- Calori specifici (gas ideale)

$$pv = RT \qquad \left(\frac{de}{dv}\right)_T = 0$$

$$\Longrightarrow de = \cancel{\left(\frac{de}{dv}\right)_T dv} + \left(\frac{de}{dT}\right)_v dT = \underbrace{\left(\frac{de}{dT}\right)_v}_{c_v} dT = c_v\, dT$$

$$\boxed{e = c_v T}$$

- INOLTRE:

$$\delta q = de + p\,dv = c_v\, dT + p\,dv$$

$$\boxed{c_p} = \left(\frac{\delta q}{dT}\right)_p = c_v + p\left(\frac{dv}{dT}\right)_p = \boxed{c_v + R}$$

NOTA:

$$pv = RT$$

$$\left(\frac{dv}{dT}\right)_p = \frac{R}{p}$$

- INFINE

$$h = e + pv = e + RT$$

$$dh = de + R\,dT = c_v\, dT + R\, dT = c_p\, dT$$

$$\boxed{h = c_p T}$$

- CALORE SPECIFICO NEI SOLIDI E LIQUIDI

$\rho = \frac{1}{v} = \text{cost.}$ INCOMPRIMIBILITÀ

- L'ENERGIA INTERNA e È FUNZIONE SOLO DI T

$c = \frac{\delta q}{dT} = \frac{de}{dT}$ CALORE SPECIFICO

$$\boxed{e = cT}$$