

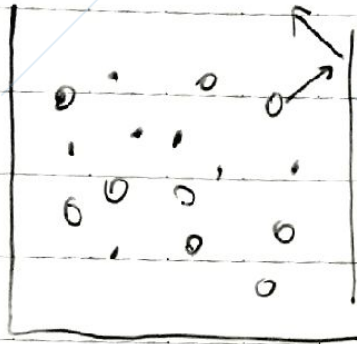


Mo Tu We Th Fr Sa Su

# Aria come gas perfetto

↳ 21%  $O_2$  → 32  
 79%  $N_2$  → 28

massa molecolare



$$pV = nRT$$

la pressione alle pareti  
 è dovuta alle particelle  
 di gas che casualmente  
 vanno a sbattere sopra

se ci sono  
 2 gas  
 ↓  
 sovrapp. efficaci

## Legge di Amagat

$O_2$	$N_2$
$0,21 m^3$	$0,79 m^3$
$1 \text{ Atm}$	$1 \text{ Atm}$

con pressioni uguali

Se ci sono dei  
 gas perfetti e si  
 mischiano mantengono  
 le stesse proprietà  
 (aria)

## Legge di Dalton

$1 m^3 O_2$	$1 m^3 N_2$
$0,21 \text{ Atm}$	$0,79 \text{ Atm}$

stessi volumi

stessa cosa:  
 calcolo le 2 masse  
 e lo sommo



2

Mo X We Th Fr Sa Su

No. FISICA TECNICADate 22.10.19CS

$$\begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 \text{ O}_2 \\ 0,21 \text{ Atm} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ m}^3 \text{ N}_2 \\ 0,79 \text{ Atm} \end{array}$$

pressione aria

$$0,21 \cdot 101325 \cdot 1 =$$

$$= m_{\text{O}_2} \frac{8314 \cdot 273}{32}$$

$$\downarrow \\ m_{\text{O}_2} = 0,1300$$

$$0,79 \cdot 101325 \cdot 1 =$$

$$= m_{\text{N}_2} \cdot \frac{8314 \cdot 273}{28}$$

$$\downarrow \\ m_{\text{N}_2} = 0,987$$

$$\Rightarrow m_A = 0,987 + 0,1300 = 1,287 \text{ kg}$$

$$\rho_A(273\text{K}) = \frac{m}{V} = 1,287 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Oss.

Per 21% di  $\text{O}_2$  e 79%  $\text{N}_2$   
 si parla di percentuali volumetriche,  
 o percentuali di pressioni parziali.

$$p_A V_A = m_A R_A T_A$$

$$101325 \cdot 1 = 1,287 \cdot \frac{8314}{M_{\text{mol aria}}} \cdot 273$$

 $M_{\text{mol aria}}$ 

massa molecolare

$$M_{\text{mol aria}} = 0,21 \cdot M_{\text{mol O}_2} + 0,79 \cdot M_{\text{mol N}_2}$$

In generale

$$pV = nRT \quad \rightarrow \quad p = \frac{n}{V}$$

$$p = pRT$$

$$pT = \frac{p}{R}$$

Per l'aria a diverse temperature:

$$p_{273} \cdot 273 = p_{298} \cdot 298$$

$$1,287 \cdot \frac{273}{298} = 1,18 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Quindi abbiamo visto che l'aria può essere considerata come un gas perfetto.

Gas perfetti

$$pV = nRT$$

quando  $c_v$  è cost. si dice GAS IDEALE

1°  $p \propto T$        $Q - L = \Delta U$        $U = U(T)$

$$\Delta u = \int c_v dT$$

$$\Delta U = n c_v \Delta T$$

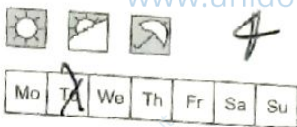
$$\Delta u = c_v \Delta T$$

$$du = c_v dT$$

in unità specifiche

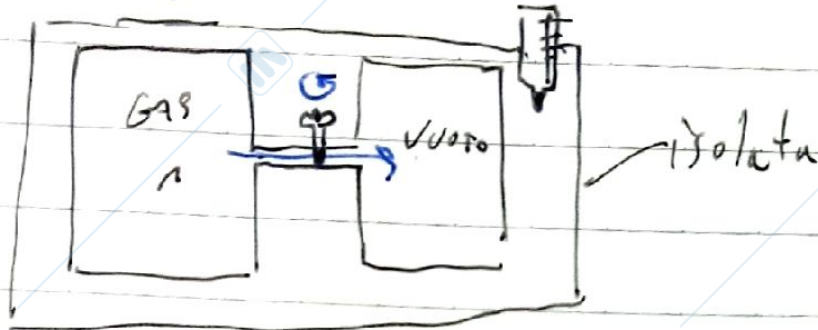
differenziale

$$c_v = \frac{\partial u}{\partial T}$$



## Esperimento Joule

↳ Vogliamo dimostrare che  $U(T)$



• Il gas all'inizio si trova tutta da una parte a una certa pressione e una temperatura  $T_1$

→ • Aperto il rubinetto o lascio che il gas si espanda e raggiunga l'equilibrio di pressione e temperatura

↳ Alla fine trovo  $T_2 = T_1$

Globalmente non c'è stato scambio di energia

$$Q_{IN} - L_{OUT} = \Delta U_{12} \quad \text{gas}$$

$T_1 = T_2$  non varia il volume del sistema  $\Rightarrow \Delta U_{12} = 0$



Date 22 10 19

Il volume del gas è cambiato, ma  $\frac{\partial U}{\partial V} = 0$

La pressione è cambiata, ma  $\frac{\partial U}{\partial p} = 0$  | non dipende

→  $\Delta U_{12}$  dipende solo dalla temperatura

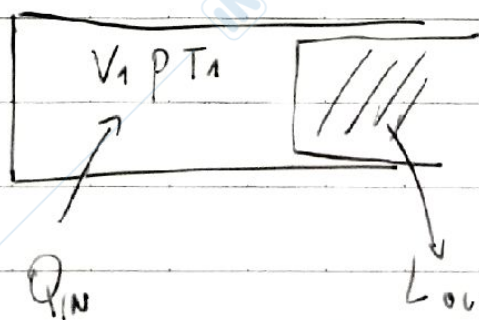
## Entalpia

Definita come  $H = U + pV$

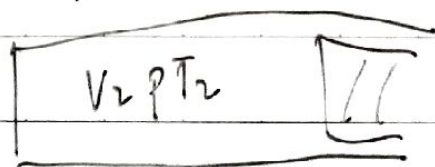
→ è la mix di energia interna e pressione e volume

È una grandezza estensiva → specifica =  $h = \frac{H}{m}$

È utile perché:



$$\begin{aligned} L_{OUT} &= F \cdot \Delta x \\ &= p \cdot A \cdot \Delta x \\ &= p \Delta V_{12} \end{aligned}$$



$$\Delta U_{12} = \int_1^2 m c_v dT = m c_v \Delta T_{12}$$

$$\Rightarrow Q_{IN} = \Delta U + L_{OUT}$$



6

Mo	X	We	Th	Fr	Sa	Su
----	---	----	----	----	----	----

$$L_{out} = p(V_2 - V_1) = p \frac{nR}{p} (T_2 - T_1)$$

$$pV = nRT$$

$$L_{out} = \frac{nRT}{p}$$

$$Q_{in} = \Delta U + L_{out} = n c_v \Delta T_{12} + n R \Delta T_{12}$$

$$= n \underbrace{(c_v + R)}_{c_p} \Delta T_{12}$$

In generale osserviamo che:

$$Q - L = \Delta U$$

$$Q = \Delta U + L$$

$$= \Delta U + p \Delta V$$

$$= \Delta H$$

$\Delta H$

ci serve quando

✓ analizziamo un gas  
a pressione costante

$$H = U + pV$$

$$H = U(T) + nRT$$

$$\rightarrow H(T)$$

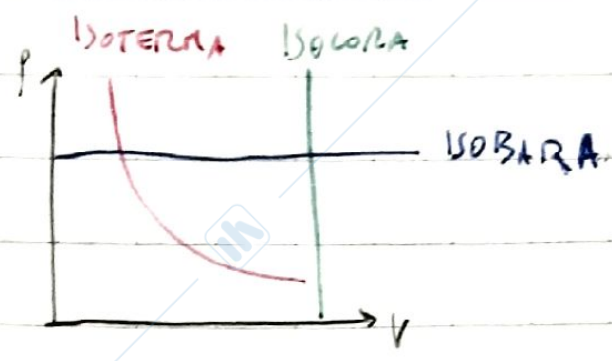
← per un gas  
perfetto

$$\Delta H = n c_p \Delta T$$

$$\xrightarrow{\text{diff.}} dH = n c_p dT$$

$$\downarrow$$

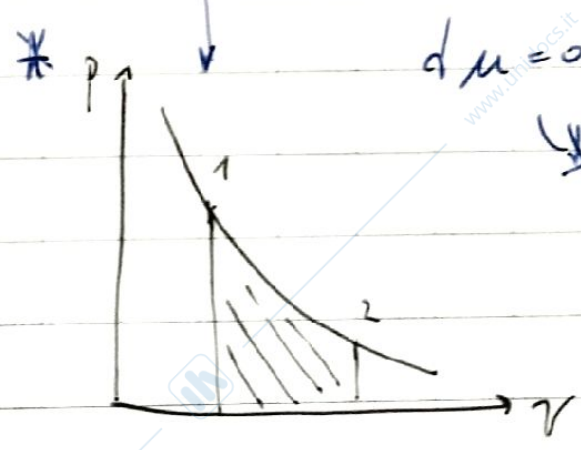
$$dh = c_p dT$$



$\Delta u$  e  $\Delta h$   
valgo ho scrivo  
 $c_v \Delta T$  e  $c_p \Delta T$

$p = \text{cost}$	$\Delta h$	$p \Delta v$	$c_v \Delta T$	$c_p \Delta T$
$V = \text{cost}$	$c_v \Delta T$	0	$c_v \Delta T$	$c_p \Delta T$
$T = \text{cost}$	$* = *$	0	0	0
	$q$	$l$	$\Delta u$	$\Delta h$

Unità Specifiche



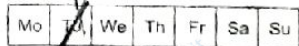
$d\mu = 0$   
 $\Rightarrow d\eta = dl$

$dl_{out} = p dv$

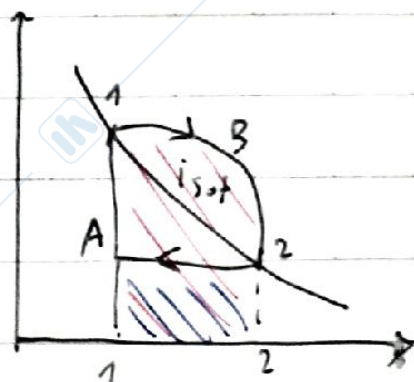
Se  $v$  aumenta  
 $dv$  è positivo

$dl_{12} = \int_{v_1}^{v_2} p dv$   $\left. \begin{matrix} pV = RT \\ (dl_{in} = -p dv) \end{matrix} \right\}$

$\Rightarrow dl_{12} = RT \ln \frac{v_2}{v_1}$



Disponiamo di acqua



1 → 2

percorso:

A

isot

B

	$\Delta U$	$L$	$Q$
A	0	$<$	$\leftarrow$
isot	0	$\ln \frac{V_2}{V_1}$	$\leftarrow$
B	0	$>$	$\leftarrow$

→ Calore e lavoro dipendono dal percorso,  
non sono funzioni di stato

↓  
non sono differenziali esatti

$$\hookrightarrow \delta q - \delta l = dU$$

↓ integrianti

$$Q - L = \Delta U$$



Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
----	----	----	----	----	----	----

# Entropia

Definiamo l'entropia  $S$  come:

$$dS = \frac{dQ_{in}}{T}$$

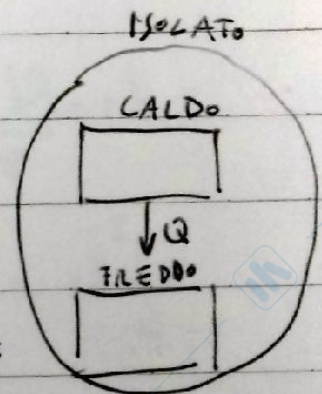
- L'entropia è una funzione di stato
- L'entropia si può generare
- È una grandezza estensiva  $\xrightarrow{\text{specifica}} s = \frac{S}{m}$

2° P&T:  $S$  di un sistema isolato non può diminuire

$$\hookrightarrow \Delta S \geq 0$$

$\rightarrow \Delta S$  misura irreversibilità:

- $\Delta S > 0$  REALE, IRREVERSIBILE
- $\Delta S = 0$  REVERSIBILE
- $\Delta S < 0$  IMPOSSIBILE



$\Delta S$  per i gas dipende da  $T, P, v$

$$Q - L = \Delta U$$

$$dq - dl = du$$

$$-p dv = c_v dT$$

$$dS = \frac{dq}{T}$$

$$dS = \frac{dq}{T}$$

$$dq = T dS$$

$$\hookrightarrow T dS = \frac{p dv}{T} + c_v \frac{dT}{T}$$

$$dS = R \frac{dv}{v} + c_v \frac{dT}{T}$$

$$p v = R T$$

$$\frac{p}{T} = \frac{R}{v}$$

$$\int_1^2 dS = \int_1^2 R \frac{dv}{v} + \int_1^2 c_v \frac{dT}{T}$$

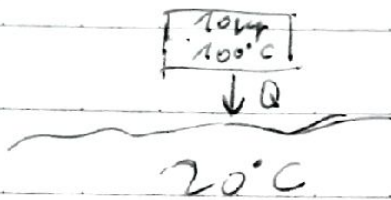
$$\Delta S_{12} = R \ln \frac{v_2}{v_1} + c_v \ln \frac{T_2}{T_1} \rightarrow \text{per gas perfetti}$$

↓  
variabile di stato

Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
----	----	----	----	----	----	----

Esercizi

- ①  $F_c$   $m = 10 \text{ kg}$   $T_{F_c} = 100^\circ\text{C}$   $C_{p,c} = 500$   
 $\Delta S_{tot}?$   
 $A_{c,Ac}$   $m_A = \infty$   $T_{Ac} = 20^\circ\text{C}$   
 lago  $\rightarrow$  la  $T$  del lago cost. a costante



$$\Delta S_{tot} = \Delta S_{F_c} + \Delta S_{Ac}$$

$$Q_{IN,Ac} = - Q_{IN,F_c} = 10 \cdot 500 (30) = 400000 \text{ J}$$

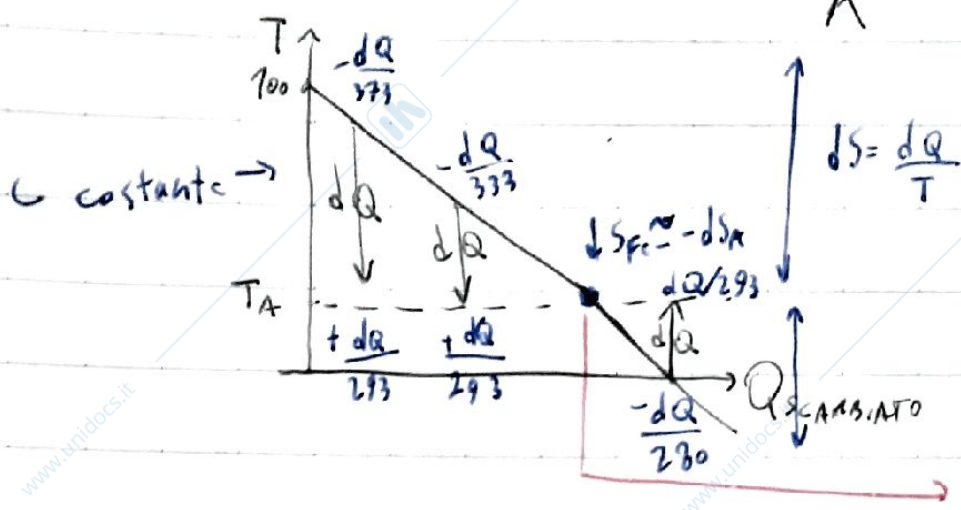
$[kg] \quad [kg \cdot K] \quad [K] \quad \text{45 cente}$

$$Q_{IN,Ac} = - Q_{IN,F_c}$$

$$C_{p,c} \Delta S_{Ac} = \frac{Q_{IN,Ac}}{T_A} = \frac{400000}{20+273} = 1365 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{F_c} = \int_{100}^{20} dS = \int_{100}^{20} \frac{dQ}{T_{F_c}} = \int_{100}^{20} \frac{m_{F_c} C_{p,c} dT_{F_c}}{T_{F_c}} = 10 \cdot 500 \ln \frac{20}{100} = -1207$$

$$\Rightarrow \Delta S_{TOT} = 1365 - 1207 = 158 \frac{J}{K}$$



da qui in poi  
la variazione  
di entropia  
diminuirà

Esiste una  $T^*$  f.c.  $\frac{Q_{Fe}}{T^*} = \Delta S_{Fe}$  ?

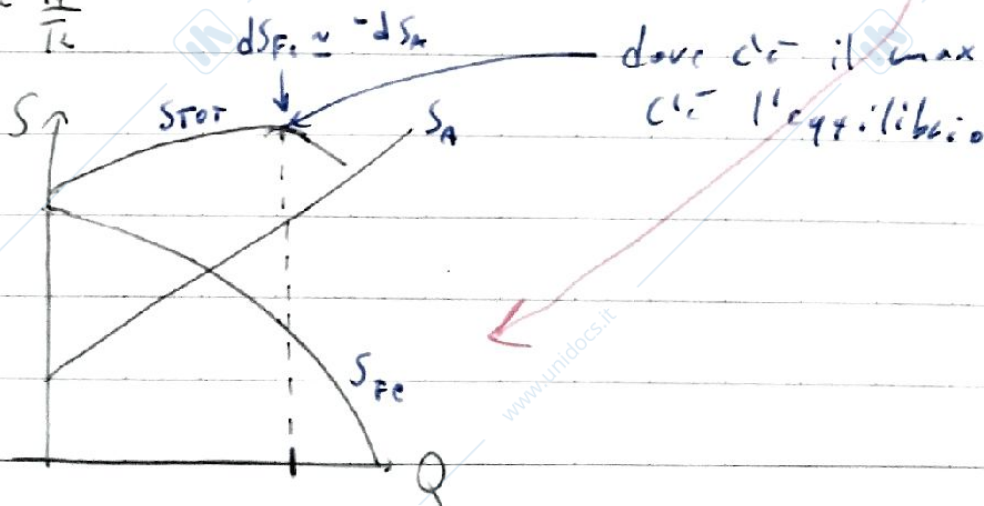
$$Q_{Fe} = mc(T_2 - T_1)$$

$$\Delta S_{Fe} = \int \frac{dQ}{T} = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$T^* = \frac{mc(T_2 - T_1)}{mc \ln \frac{T_2}{T_1}} = \frac{T_2 - T_1}{\ln \frac{T_2}{T_1}}$$

temperatura  
media  
logaritmica

$$T_{mc} = \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{T_1}{T_2}} \quad \text{vale se } c \text{ è costante}$$



dove c'è il max  
c'è l'equilibrio



Mo Tu ~~W~~ Th Fr Sa Su

No. FISICA TECNICA

Date 23.10.19

Volevamo trovare:

$$\Delta S_{\text{gas}} = \int ds = \int \frac{dq}{T}$$

$$1^{\circ} p dT \quad dq - dl = d\mu$$

$$T ds - p dv = \frac{c_v dT}{T}$$

$$p v = RT$$

$$\hookrightarrow ds = \frac{R}{v} dv + c_v \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S_{1,2} = R \ln \frac{v_2}{v_1} + c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\hookrightarrow S(V, T)$$

Se al posto di  $V$  abbiamo  $p$  e siamo  $p v = n R T$

oppure possiamo fare

$$h = \mu + p v$$

$$dh = d\mu + p dv + v dp$$

$$\text{da } dq - dl = d\mu$$



$$\hookrightarrow T ds - p dv = dh - p dv - v dp$$

$$ds = \frac{v dT}{T} - \frac{v dp}{T} \rightarrow \frac{v}{T} = \frac{R}{P}$$

$$ds = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

Assumendo:

$$ds = c_p \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}$$

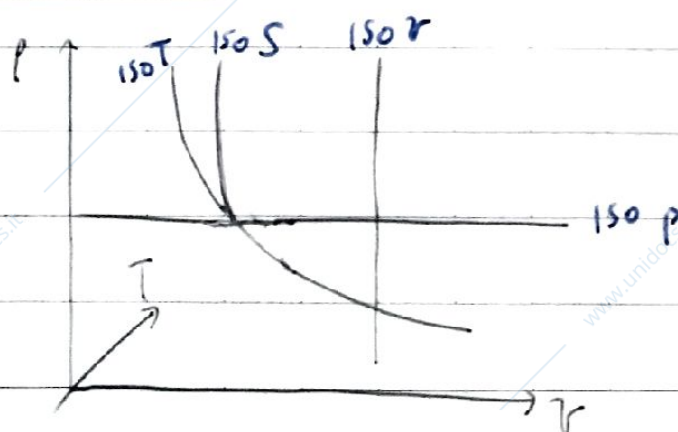
$$ds = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{P}$$

se  $dv \nearrow$   $s \nearrow$

$dp \downarrow$   $s \nearrow$

$dT \nearrow$   $s \nearrow$

Equazione isocritica di un gas perfetto



$$1s0S \Rightarrow \Delta S = 0 \quad dS = 0$$

$$dS = \frac{dQ}{T} \rightarrow dQ = 0$$

adiab.



5

Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
----	----	----	----	----	----	----

$$ds = c_p \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p} = 0$$

$$ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} = 0 \quad \text{H} \rho, c_p, c_v \text{ costanti}$$

$$c_p \frac{dT}{T} = R \frac{dp}{p}$$

$$c_p \frac{dT}{T} = -\frac{R}{c_v} \frac{dv}{v}$$

$$\frac{R}{c_p} \frac{dp}{p} = -\frac{R}{c_v} \frac{dv}{v}$$

$$\frac{dp}{p} = -\frac{c_p}{c_v} \frac{dv}{v}$$

$$\int_1^2 \frac{dp}{p} = -\gamma \int_1^2 \frac{dv}{v}$$

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = -\gamma \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = \ln \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^\gamma \quad \Rightarrow \quad \frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^\gamma$$

$$p_2 v_2^\gamma = p_1 v_1^\gamma$$

$$\Downarrow$$

$$p v^\gamma = \text{cost}$$

MONATOMICA  $\gamma = \frac{\frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R} = 1,67$

BIATOMICA  $\gamma = \frac{7}{5} = 1,4$

TRIATOMICA  $\gamma = \frac{8}{6} = 1,33$

Per fare il coppia  $p \cdot T$  e  $v \cdot T$  possiamo fare:

$$d_s = c_p dT - R \frac{dp}{p} = 0$$

$$c_p \frac{dT}{T} = R \frac{dp}{p}$$

$$c_p \ln \frac{T_2}{T_1} = R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{R}{c_p}}$$

$$TP^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \text{cost}$$

$$c_p = c_v + R$$

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

$$R = c_p - \frac{c_p}{\gamma}$$

$$\frac{R}{c_p} = 1 - \frac{1}{\gamma} = \frac{\gamma-1}{\gamma}$$

Stessa cosa per  $T$  e  $v$

$$da \quad ds = cv \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v} = 0$$

$$b) \quad T v^{\gamma-1} = cost$$

$$p v^{\gamma} = cost$$

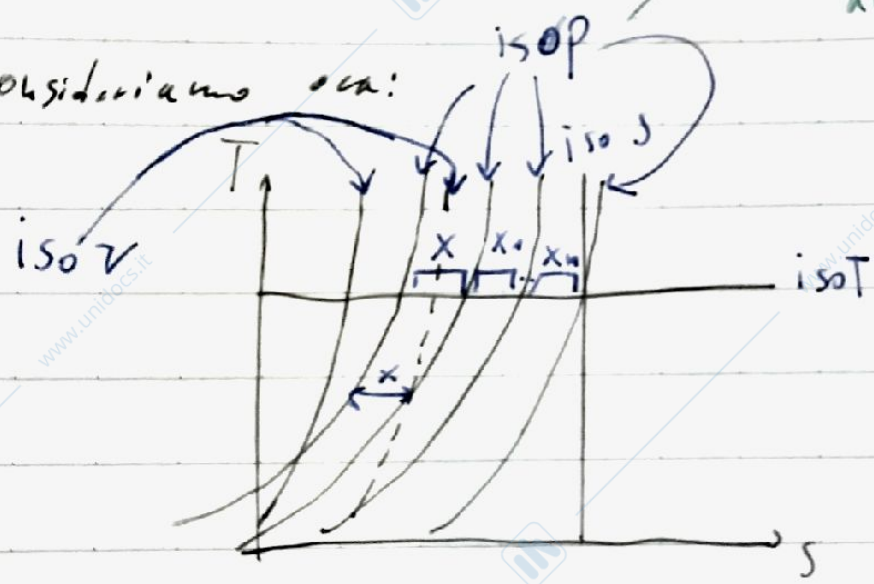
$$T p^{-\frac{\gamma-1}{\gamma}} = cost$$

$$T v^{\gamma-1} = cost$$

PER ADIABATICHE

se la pressione aumenta l'entropia cala

Consideriamo ora:



•  $iso P \quad ds = cp \frac{dT}{T} - R \frac{dp}{p}$   $\rightarrow$  è per isobara

$$b) \quad ds = cp \frac{dT}{T} \quad \rightarrow \quad s = \int cp \frac{dT}{T} = cp \ln T + cost$$

$T$   $cp$ -funz. della entropia + cost

$X_{1:n} \rightarrow T = \text{cost} \rightarrow dT = 0$       cost.

!  
Voglio  
quantificare  
la distanza  
tra le  
varie isobare

$$\int_n^2 ds = -R \int_n^2 \frac{dp}{P}$$

$$\Delta S_{12} = - \ln \frac{P_2}{P_1} R$$

(di + pochi  
è un integrale  
indefinito  
 $\rightarrow + \text{cost}$ )

a pari rapporto di  
pressione la distanza  
tra due isobare rimane  
uguale

ISOV

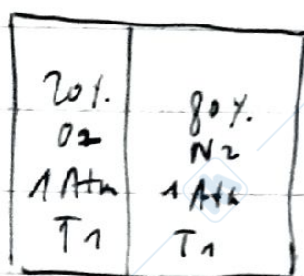
$$ds = \frac{cv dT}{T} + R \frac{dv}{v}$$

$$ds = \frac{cv dT}{T}$$

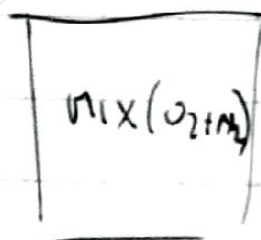
$$s = cv \ln T + \text{cost}$$

stessa cosa della distanza tra isobare

$$L > \dots \Delta s = +R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

es

Li lascio mescolare



$$\Delta S_{TOT} = \Delta S_{O_2} + \Delta S_{N_2}$$

$$Q - L = \Delta U = 0 \quad c_v \Delta T$$

$$m_{N_2} c_{v,N_2} \Delta T_{N_2} + m_{O_2} c_{v,O_2} \Delta T_{O_2} = 0$$

$$\Delta S_{O_2} = m_{O_2} \left( c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \right) = m_{O_2} \left( c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$T_1 = T_2$$

$$T_1 = T_2$$

$$= m_{O_2} \left( -R \ln \frac{0,2}{1} \right) = -m_{O_2} R \ln \frac{1}{5} > 0$$

$$\Delta S_{N_2} = m_{N_2} \left( -R \ln \frac{0,8}{1} \right) = -m_{N_2} R \ln \frac{4}{5} > 0$$

$$\Delta S_{TOT} > 0 \rightarrow \text{TRASF. IRREVERSIBILE}$$