

# TERMODINAMICA APPLICATA

## Lezione #1 – 29 settembre 2025



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale



# Docenti A.A. 2025-2026

**Stefano Bortolin**

**tel. 049 827 6729 e-mail: [stefano.bortolin@unipd.it](mailto:stefano.bortolin@unipd.it) (ore 72)**

## Laboratorio

**Ing. Nima Irannezhad**

**E-mail: [nima.irannezhad@phd.unipd.it](mailto:nima.irannezhad@phd.unipd.it)**



# Moodle

**La pagina del corso nella piattaforma Moodle (Macroarea STEM) è attualmente aperta.**

*Iscrizione con password se Auto Enrol non disponibile:  
TA\_AA\_2025-2026*



# Programma

## Richiami di termodinamica, con applicazioni alla LIQUEFAZIONE DEI GAS CRIOGENICI

- a) **TERMODINAMICA DELL'ARIA UMIDA**
- b) **TRASMISSIONE DEL CALORE**
- c) **GASDINAMICA**



# Programma

- a) **TERMODINAMICA DELL'ARIA UMIDA** Grandezze caratteristiche e diagrammi psicrometrici. Trasformazioni. Principi di trasporto di massa e processi di scambio per contatto diretto tra acqua ed aria umida: lavatori adiabatici, torri evaporative, deumidificazione. Condizionamento dell'aria. Condizioni di benessere. Ciclo di condizionamento estivo ed invernale.

**TESTI: A. Cavallini, L. Rossetto, A. Zarrella. Aria Umida: teoria ed applicazioni. Progetto ed. 2020**, Padova: paragrafi: 1.1, 1.2, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.1 fino a pag. 69, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, Appendice A, Appendice B, Appendice C, eccetto esercizio 6. Diagrammi h-x, x-h dell'aria umida.



# Programma

## b) TRASMISSIONE DEL CALORE Conduzione: Il problema della barra.

Superfici alettate. Conduzione in regime variabile: corpi a resistenza interna trascurabile (testo Bonacina et al. par. 4.7, 4.8, 5.2). Convezione forzata: formule pratiche per moto laminare e turbolento, variazione della pressione (testo Rossetto et al., Cap. 1). Trasmissione globale del calore: coefficiente globale di scambio, differenza di temperatura media efficace, metodo efficienza – NTU (cap.10 del testo Bonacina et al., Cap. 2 testo Rossetto et al.). Scambiatori tubo in tubo (Rossetto et al., Cap. 2). Scambiatori a piastre (Rossetto et al., Cap. 3). Scambiatori a fascio tubiero (Rossetto et al., Cap. 6). Scambiatori alettati gas-liquido, con alette circolari e continue (Rossetto et al., Cap. 4, eccetto par. 4.12). Introduzione alla condensazione e alla vaporizzazione. Dimensionamento di un condensatore a fascio tubiero (dispense).

### TESTI:

- **L. Rossetto, A. Cavallini, S. Bortolin, A. Diani. Heat Transfer and Thermofluid Dynamics – Part I. Edizioni Libreria Progetto Padova.**
- **C. Bonacina, A. Cavallini, L. Mattarolo. Trasmissione del calore. Cleup ed. Padova.**

**Dispense su Moodle.**



# Programma

c) **GASDINAMICA** Velocità del suono. Numero di Mach. Moto isoentropico in condotti a sezione variabile: ugello convergente. Onde d'urto normali: equazioni fondamentali. Moto adiabatico con attrito in un ugello, rendimenti. Moto adiabatico con attrito in condotti a sezione costante (Fanno). Moto di Rayleigh con scambio termico.

TESTI: **A. Cavallini, M. Sovrano, S. Mancin, L. Rossetto**  
**Elementi di Gasdinamica, Progetto, Padova, 2012**: cap.1 tutto, cap. 2 paragrafi 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, cap. 3 tutto, par. 4.1 – 4.6, par. 5.1, 5.2, 5.3.



# Programma

## Introduzione alla LIQUEFAZIONE DEI GAS CRIOGENICI

**TESTI: A. Cavallini, L. Mattarolo. Termodinamica Applicata. Cleup ed. Padova:** par. 7.6, eccetto eq. 7.47- 7.52 ; par. 12.12 da pag. 441 a pag.446, reperibile **su Moodle**.





# Laboratorio: scambiatore a piastre liquido-liquido

- Facoltativo
- Presso i laboratori (DII sede V, corpo E) via Venezia 1
- Gli studenti e le studentesse si dovranno iscrivere e inoltre dovranno frequentare i corsi di formazione in materia di sicurezza.
- Vale 1/30 al max se consegna la relazione corretta

Il link per iscriversi si troverà nella cartella Laboratorio in Moodle

In Media Gallery video di descrizione del laboratorio



# REFPROP e mini REFPROP

- Programma per il calcolo delle proprietà termodinamiche e di trasporto dei fluidi

mini-REFPROP - Version 10.0

<https://trc.nist.gov/refprop/MINIREF/MINIREF.HTM>

- The mini-REFPROP program is a free sample version of the full REFPROP program (located at [www.nist.gov/srd/refprop](http://www.nist.gov/srd/refprop)) and is meant for use as a teaching tool in the introduction of thermodynamics to students. It contains a limited number of pure fluids (water, CO<sub>2</sub>, R134a, nitrogen, oxygen, methane, propane, helium, hydrogen, and dodecane), along with air as a pseudo-pure fluid. It also allows mixture calculations of a 50/50 molar mix of nitrogen and methane or of a 79/21 molar mix of nitrogen and oxygen for teaching vapor-liquid equilibrium (VLE). Please note carefully that the 79/21 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> mixture is not meant for air calculations, but as a teaching tool to study composition changes as the mixture passes through the two phase. For actual air properties, please select Substance/Pseudo-Pure Fluid/Air when running the GUI.

- [MINIREF.EXE](#)

- To install the program, right-click on the file below and select "Save Target As..." Place this file in a temporary directory (which is not labeled Refprop), then run the executable to install mini-REFPROP to your hard drive.



# Esami

- L'esame consta di due parti: soluzione di un **esercizio** numerico, 3 domande di **teoria**.
- Le sessioni d'esame sono 2: invernale (2 appelli+ 1 preappello (esercizio+teoria)), estiva (2 appelli: 1 a luglio e 1 a settembre). Nella sessione invernale possono essere affrontate al massimo 2 prove.
- Lo studente è ammesso alla parte di teoria del preappello se supera la parte di esercizio numerico.
- Lo studente dovrà presentarsi all'esame con un documento universitario valido e con carta d'identità o patente non scadute.
- E' necessario riportare a penna il proprio nome e cognome su tutti i fogli ricevuti. Tutti i fogli devono essere riconsegnati (inclusi i testi).
- Durante lo svolgimento dell'esercizio numerico si possono consultare testi, dispense e appunti, mentre durante lo svolgimento della parte di teoria non si può ovviamente consultare alcun testo. Non è ammesso l'uso di PC, telefoni cellulari, orologi.
- Ricordarsi di portare la calcolatrice per lo svolgimento dell'esercizio numerico.



# Esami

• Il voto finale è costruito per il 50% dalla valutazione dell'esercizio numerico e per il 50% dalla valutazione dell'elaborato scritto che sviluppa almeno tre argomenti di teoria indicati dal docente.

• Esempio

• Numerico 30/30

• Teoria 26/30

• Laboratorio 1/30

• Voto finale  $(30+26)/2 + 1 = 29$



# APPELLI

## Preappello

Esercizio: da definire (novembre-dicembre 2025) aula M1

Teoria: da definire (gennaio 2026)

## Appelli:

- **28 gennaio 2026 ore 14:00 aula M9-M10**
- **18 febbraio 2026 ore 14:00 aula M9-M10**
- **1 luglio 2026 ore 9:00 aula M9-M10**
- **1 settembre 2026 ore 9:00 aula M9-M10**
- Gli studenti possono sostenere solo due appelli scegliendo tra:
  - Preappello
  - 28 gennaio 2026
  - 18 febbraio 2026



# DEFINIZIONI

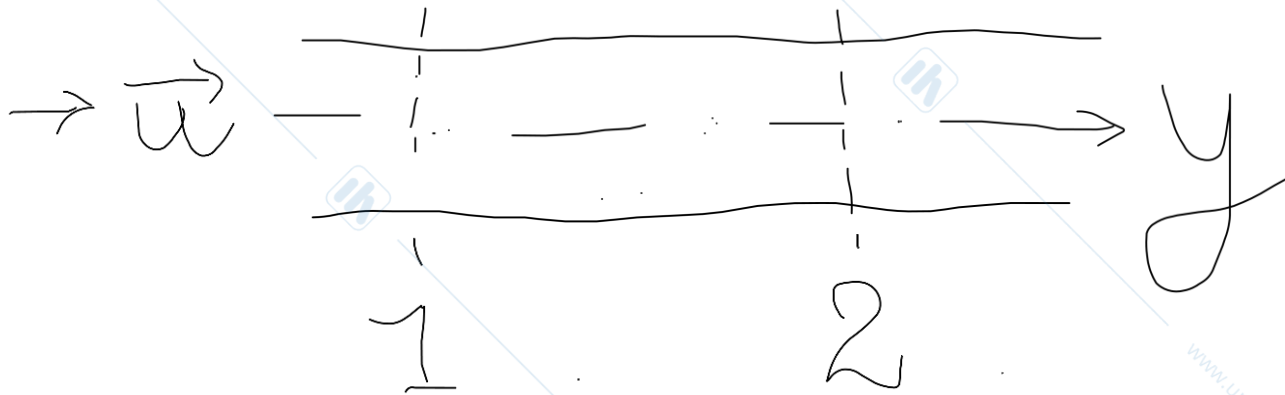
Sistema aperto, privo di effetti elettrici e di reazioni chimiche e nucleari in regime permanente o stazionario con moto monodimensionale

- Sistema aperto: con passaggio di materia attraverso la superficie di controllo
- Regime permanente o stazionario: la velocità  $u$ , la pressione  $p$  e la temperatura  $T$  non variano nel tempo  $\tau$ .
- In caso contrario regime variabile
- Moto di un fluido in tubo: se in ogni sezione piana normale all'asse i parametri dinamici e termodinamici del fluido sono uniformi si parla di moto monodimensionale. Si considerano i valori medi delle proprietà ( $u$ ,  $p$ ,  $T$ , densità  $\rho$ ) nelle sezioni normali del condotto.



# DEFINIZIONI

•moto monodimensionale : Si considerano i valori medi delle proprietà ( $u$ ,  $p$ ,  $T$ , densità  $\rho$ ) nelle sezioni normali del condotto. Ci si riferisce ad un'ascissa lineare lungo l'asse del tubo, con orientazione equiversa al vettore velocità  $\vec{u}$ .



# EQUAZIONE DI CONTINUITA' (o di conservazione della massa)

Regime permanente, moto monodimensionale

$$\dot{m} = \text{costante} = \rho_1 A_1 u_1 = \rho_2 A_2 u_2$$

$$\rho_1 = f(T_1, p_1) \quad \rho_2 = f(T_2, p_2)$$

$$\dot{m} = \rho_1 A_1 u_1 = \rho_2 A_2 u_2 = \rho_1 \dot{V}_1 = \rho_2 \dot{V}_2$$

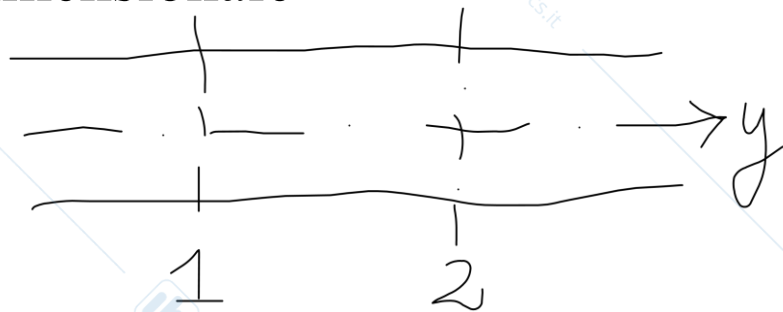
$$\dot{m} = \rho_1 A_1 u_1 = \rho_2 A_2 u_2 = A_1 G_1 = A_2 G_2$$

$$\text{Se } A_1 = A_2 = A \quad \rho_1 u_1 = \rho_2 u_2 = G = \frac{\dot{m}}{A}$$

$\dot{m}$  portata di massa [ $\text{kg s}^{-1}$ ]

$$G \text{ portata specifica } [\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}] = \frac{\dot{m}}{A} = \rho u$$

$$\dot{V} \text{ portata volumetrica } [\text{m}^3 \text{ s}^{-1}] = \frac{\dot{m}}{\rho} = u A$$



Aria fluisce in un condotto a sezione costante  $A$  con una portata di massa pari a 1 kg/s. Il regime è stazionario ed il moto monodimensionale. La massa molecolare dell'aria è 28,97 kg /kmol.

Al punto 1 la pressione è 2 bar, temperatura  $T_1=300$  K, velocità  $u_1=3$  m/s. Determinare la portata volumetrica al punto 1 e l'area della sezione.

Al punto 2 la pressione è 1 bar e  $T_2=290$  K. Determinare la portata volumetrica al punto 2 e la velocità al punto 2.

$$\dot{m} = \text{costante} = \rho_1 A_1 u_1 = \rho_2 A_2 u_2$$

$$p v = R T$$

$$v_1 = R T_1 / p_1 = 8314 \cdot 300 / (2 \cdot 10^5) = 0,4305 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{volume specifico}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{v_1} = 2.323 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V}_1 = \text{portata volumetrica [m}^3 \text{ s}^{-1}\text{] nel punto 1} = \frac{\dot{m}}{\rho_1} = \frac{1}{2.323} = 0.4305 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$A = \frac{\dot{V}_1}{u_1} = \frac{0.4305}{3} = 0.1435 \text{ m}^2$$

$$v_2 = R T_2 / p_2 = 8314 \cdot 290 / (1 \cdot 10^5) = 0,8323 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{volume specifico}$$

$$\rho_2 = \frac{1}{v_2} = 1.202 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V}_2 = \text{portata volumetrica [m}^3 \text{ s}^{-1}\text{] nel punto 2} = \frac{\dot{m}}{\rho_2} = \frac{1}{1.202} = 0.8323 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

$$u_2 = \frac{\dot{V}_2}{A_2} = \frac{0.8323}{0.1435} = 5.8 \text{ m/s}$$

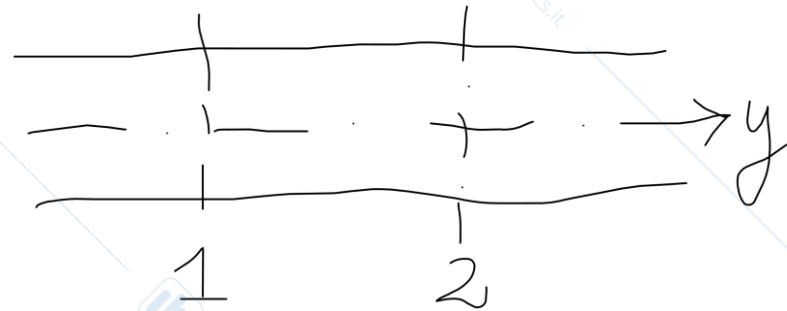
# EQUAZIONE DI CONTINUITA' (o di conservazione della massa)

$$\dot{m} = \rho_1 u_1 A_1 = \rho_2 u_2 A_2$$

cioè, in termini differenziali:

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{du}{u} + \frac{dA}{A} = 0$$

ove con A si è indicata l'area della sezione normale del tubo di flusso.



$$m = (\rho u A)$$

$$d m = d(\rho u A)$$

$$0 = d\rho (u A) + du (\rho A) + dA (u \rho)$$

$$0 = \frac{d\rho (u A) + du (\rho A) + dA (u \rho)}{\rho u A}$$



# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

$$\delta Q = dh + \frac{du^2}{2} + g \cdot dz + \delta L' = 0$$

oppure in termini finiti :

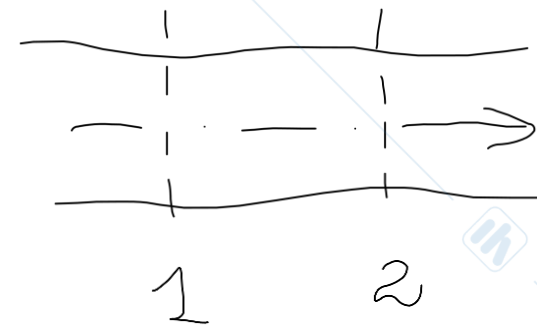
$$Q_{12} = h_2 - h_1 + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) + L'_{12}$$

$Q_{12}$ : calore scambiato tra la sezione 1 e la sezione 2 del tubo di flusso dall'unità di massa di fluido, con l'usuale convenzione per il segno;

$z$ : quota rispetto ad un piano orizzontale di riferimento. L'asse  $z$  è orientato in senso contrario a quello del vettore accelerazione di gravità  $g$ .

$L'_{12}$ : lavoro "con deflusso" scambiato tra la sezione 1 e la sezione 2 del tubo di flusso dall'unità di massa di fluido. Vale la convenzione sul segno usuale.

$h$  entalpia specifica,  $u$  velocità



# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

## Esempio 1

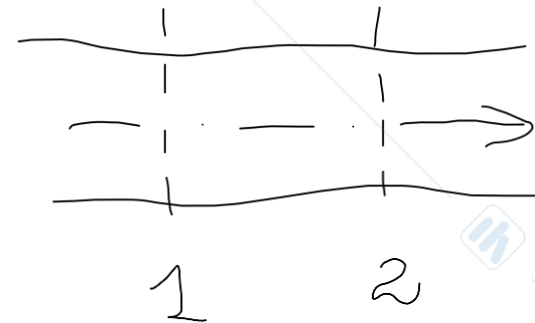
Aria gas ideale  $k=1.4$ ,  $c_p=1005 \text{ J/(kg K)}$

$$L'_{12}=0, (z_2 - z_1)=0.$$

$$u_1=0, u_2=200 \text{ m/s.}$$

$$T_1=273 \text{ K}, T_2=300 \text{ K}$$

$$Q_{12} = 1005 (300 - 273) + (200 \cdot 200)/2 - 0 = 27135 + 20000 \quad [\text{J/kg}] \quad \text{Il termine cinetico non è trascurabile}$$



## Esempio 2

Aria gas ideale  $k=1.4$

$$L'_{12}=0, (z_2 - z_1)=0.$$

$$u_1=0, u_2=2 \text{ m/s.} \quad \text{come nei canali d'aria}$$

$$T_1=273 \text{ K}, T_2=300 \text{ K}$$

$$Q_{12} = 1005 (300 - 273) + (2 \cdot 2)/2 - 0 = 27135 + 2 \quad [\text{J/kg}] \quad \text{Il termine cinetico è trascurabile}$$



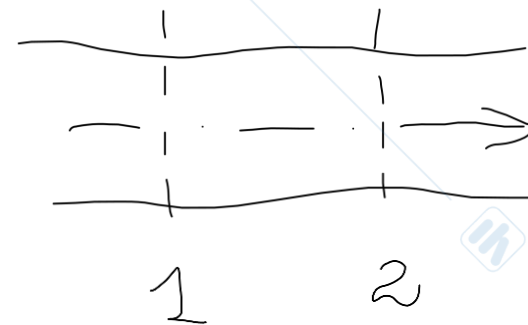
# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

## Esempio 3

Acqua,  $p=1$  atm,  $T_1=280$  K,  $T_2=300$  K,  $c_p=4186$  J/(kg K)

$L'_{12}=0$ ,  $(z_2 - z_1)=0$ .

$u_1=0$ ,  $u_2=2$  m/s. come nei tubi degli scambiatori di calore



$$Q_{12} = 4186 (300 - 280) + (2 \cdot 2)/2 - 0 = 83720 + 2 \quad [\text{J/kg}] \quad \text{Il termine cinetico è trascurabile}$$

## Esempio 4

Acqua,  $p=1$  atm, *vaporizza da liquido saturo a vapore saturo secco*  $L'_{12}=0$ ,  $(z_2 - z_1)=0$ .

$u_1=1$ ,  $u_2=10$  m/s. come nei tubi degli scambiatori di calore

$r$  = calore latente = 2256,8 kJ/kg = entalpia del vapore saturo secco  $h_2$  - entalpia del liquido saturo  $h_1$  alla pressione di 1 atm

$$Q_{12} = 2256800 + (99)/2 = 2256800 + 49,5 \quad [\text{J/kg}] \quad \text{Il termine cinetico è trascurabile}$$



# Titolo x del vapore

Si dice *titolo del vapore* il rapporto fra la massa del vapore e la massa totale della miscela (liquido + vapore)

$$x = \frac{m_V}{m_V + m_L} = \frac{m_V}{m}$$

$$m h = m x h_v + (1 - x) h_L$$

$$x = \frac{m_V}{m} = \frac{h - h_L}{h_v - h_L} = \frac{s - s_L}{s_V - s_L} = \frac{v - v_L}{v_V - v_L}$$

$h_L$  entalpia del liquido saturo alla pressione  $p$ ,  $h_v$  entalpia del vapore saturo secco alla pressione  $p$

$v$  volume specifico,  $s$  entropia specifica,  $h$  entalpia specifica



### Esempio 5

Acqua,  $p=1$  atm costante, *vaporizza da vapore umido a titolo  $x=0.2$  a vapore saturo secco.*

$$L'_{12}=0, (z_2 - z_1)=0.$$

Trascuriamo il termine cinetico

$r$  = calore latente = 2256,8 kJ/kg = ( entalpia del vapore saturo secco  $h_v$  – entalpia del liquido saturo  $h_L$  ) alla pressione di 1 atm

Titolo  $x$ :

$$m h = m x h_v + (1 - x) h_L \quad m$$

$$x = \frac{m_v}{m} = \frac{h - h_L}{h_v - h_L} = \frac{s - s_L}{s_v - s_L} = \frac{v - v_L}{v_v - v_L}$$

$h_L$  entalpia del liquido saturo alla pressione di 1 atm,  $h_v$  entalpia del vapore saturo secco alla pressione di 1 atm

$$Q_{12} = h_2 - h_1 + \frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + L'_{12}$$

$$L'_{12} = 0 \quad ; \quad \frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \text{ trascurabile}$$

Se  $p$ = costante, il calore latente  $r$  e l'entalpia del liquido saturo  $h_L$  sono costanti

$$h_2 - h_1 = x_2 r + h_L - x_1 r - h_L = (x_2 - x_1) r$$

$$Q_{12} = 2256800 (1 - 0.2) = 2256800 \cdot 0.8 = 1805440 \quad [\text{J/kg}]$$



# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

## Esempio 6

R134a,  $p=1$  atm costante, *vaporizza da vapore umido a titolo  $x=0.2$  a titolo  $0.8$ .*

$$L'_{12}=0, (z_2 - z_1)=0.$$

Trascuriamo il termine cinetico

$r$  = calore latente = 217,16 kJ/kg = ( entalpia del vapore saturo secco  $h_v$  – entalpia del liquido saturo  $h_L$  ) alla pressione di 1 atm

$$Q_{12} = h_2 - h_1 + \frac{u_2^2}{2} - \frac{u_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + L'_{12}$$

$$h_2 - h_1 = x_2 r + h_L - x_1 r - h_L = (x_2 - x_1) r$$

$$Q_{12} = 217160 (0.8 - 0.2) = 2256800 \cdot 0.6 = 1302960 \quad [\text{J/kg}]$$

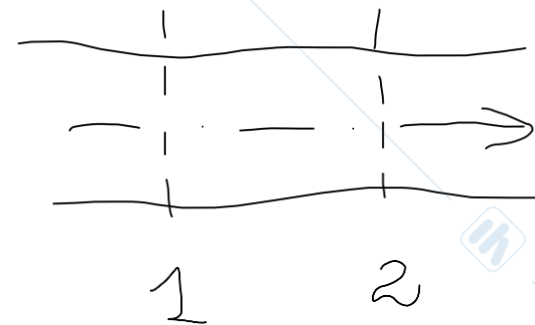


# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Flusso termico  $q_{12}$

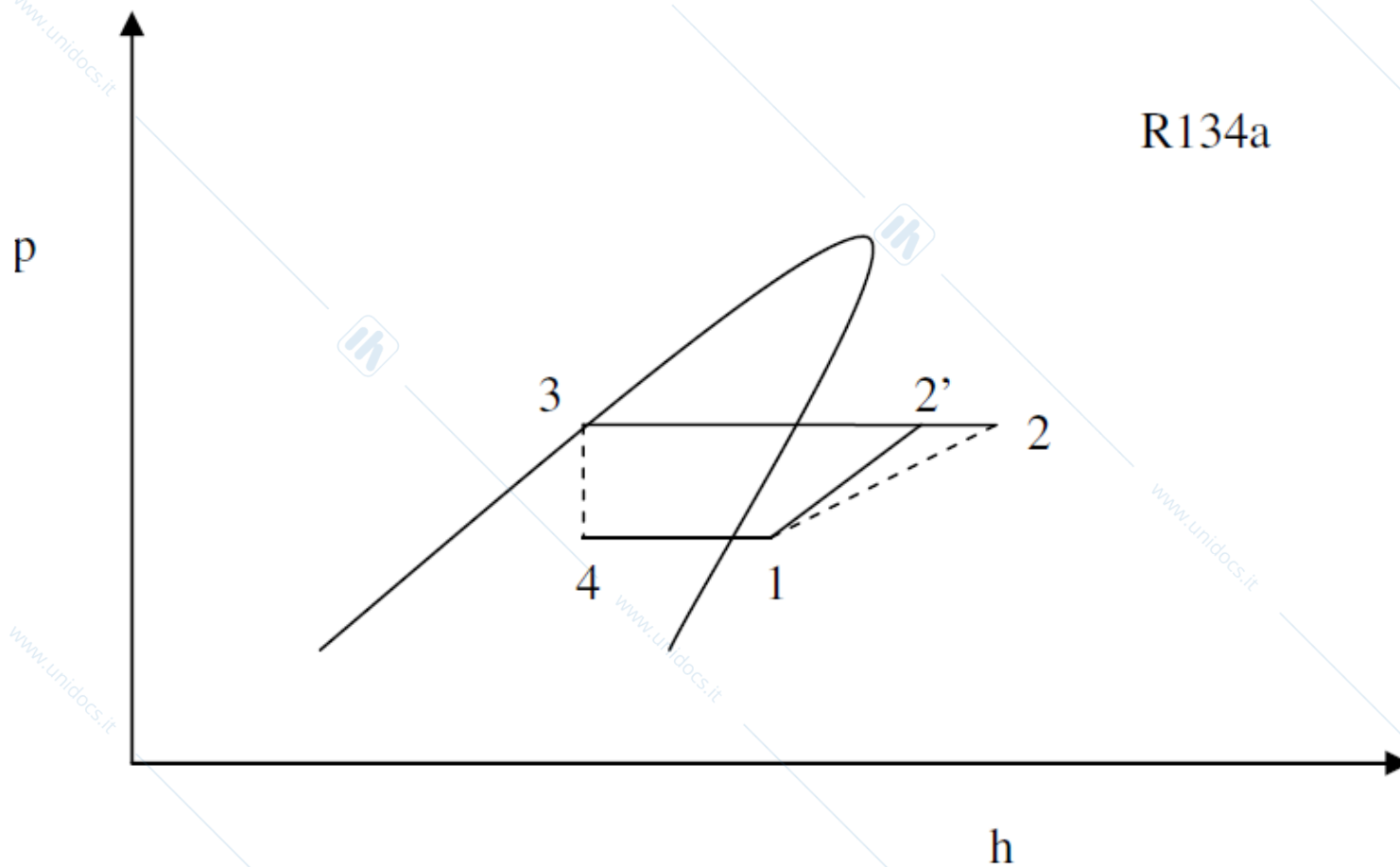
$$q_{12} = Q_{12} \dot{m} \text{ [W]}$$

$$= \dot{m} \left[ h_2 - h_1 + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) + L'_{12} \right]$$



# 1° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

## esempio ciclo inverso



**Table 3B Refrigerant Environmental Properties**

Refrigerant	Atmospheric Lifetime, years <sup>a</sup>	ODP <sup>b</sup>	GWP <sub>100</sub> <sup>a</sup>
CFC-11	45	1	4660
CFC-12	100	0.73	10 800
CFC-13	640	1	13 900
CFC-113	85	0.81	5820
CFC-114	190	0.50	8590
CFC-115	1020	0.26	7670
HCFC-22	11.9	0.034	1760
HCFC-123	1.3	0.01	79
HCFC-124	5.9	0.02	527
HCFC-142b	17.2	0.057	1980
HCFO-1233zd(E)	0.071	0.00034	1
HE-E170	0.015 <sup>b</sup>	0.00	1 <sup>b</sup>
HFC-23	222	0.00	12 400 (11 700) <sup>c</sup>
HFC-32	5.2	0.00	677 (650) <sup>c</sup>
HFC-125	28.2	0.00	3170 (2800) <sup>c</sup>
HFC-134a	13.4	0.00	1300 (1300) <sup>c</sup>
HFC-143a	47.1	0.00	4800 (3800) <sup>c</sup>
HFC-152a	1.5	0.00	138 (140) <sup>c</sup>
HFC-227ea	38.9	0.00	3350 (2900) <sup>c</sup>
HFC-236fa	242	0.00	8060 (6300) <sup>c</sup>
HFC-245fa	7.7	0.00	858
HFO-1234yf	0.029	0.00	<1
HFO-1234ze(E)	0.045	0.00	<1
HFO-1336mzz(Z)	0.07	0.00	2
PFC-116	10 000	0.00	11 100 (9200) <sup>c</sup>
PFC-218	2600	0.00	8900 (7000) <sup>c</sup>
C318	3200	0.00	9540 (8700) <sup>c</sup>
HC-290	0.034 <sup>b</sup>	0.00	5 <sup>b</sup>
HC-600		0.00	4 <sup>b</sup>
HC-600a	0.016 <sup>b</sup>	0.00	~20 <sup>b</sup>
HC-601a	0.009 <sup>b</sup>	0.00	~20 <sup>b</sup>
HC-1270	0.001 <sup>b</sup>	0.00	1.8 <sup>b</sup>
R-717		0.00	
R-744		0.00	1 (1) <sup>c</sup>

Sources: IPCC (2013).

<sup>a</sup>Atmospheric lifetimes and GWP<sub>100</sub>s from IPCC (2013) except where indicated.<sup>b</sup>From Table 2-7 of Calm et al. (2015)<sup>c</sup>GWP<sub>100</sub> values stipulated for reporting under Kyoto Protocol from Table 2-5 of Calm et al. (2015).**HFC**

# 1° PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

## esempio ciclo inverso

Si abbia un ciclo frigorifero a R134a. All'evaporatore il fluido frigorifero assorbe la potenza frigorifera  $q=100$  kW evaporando a  $5^\circ\text{C}$ .

La condensazione avviene a  $P=\text{costante}$  fino alla condizione di liquido saturo a  $43^\circ\text{C}$ .

Si trascurano le cadute di pressione lato R134a al condensatore e all'evaporatore per cui  $p_2=p_3$ ,  $p_4=p_1$ .

Inoltre il vapore all'uscita dell'evaporatore è surriscaldato di  $5^\circ\text{C}$ :

$$t_1 = t_{\text{evaporatore}} + 5^\circ\text{C} = 5 + 5 = 10^\circ\text{C}$$

dal diagramma del R134a o da REFPROP

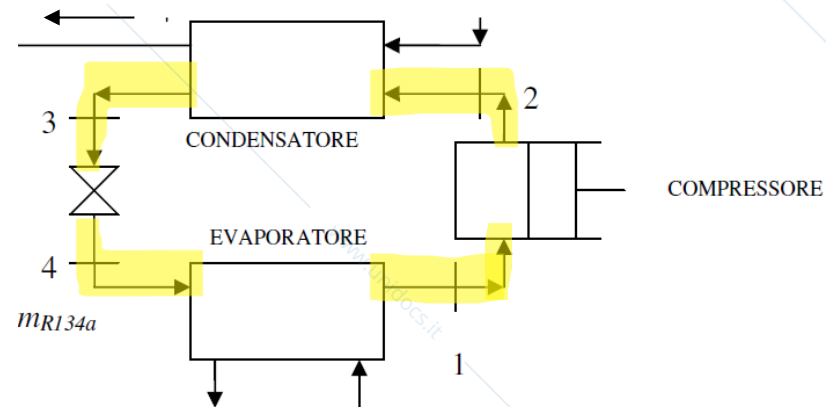
$$p_2 = p_3 = 1.101 \text{ MPa}$$

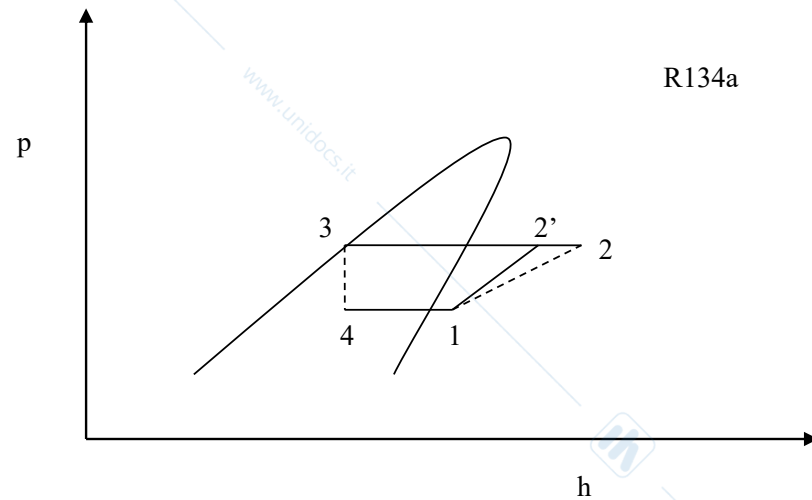
$$h_3 = h_4 = 260.865 \text{ kJ kg}^{-1}$$

$$p_4 = p_1 = 0.3497 \text{ MPa}$$

$$h_1 = 406 \text{ kJ kg}^{-1}$$

Il punto 2', intersezione dell'isoentropica 1-2' e dell'isobara 2-3 ha entalpia  $h_{2'} = 430 \text{ kJ kg}^{-1}$





Sia pari a 0.87 il rendimento isoentropico della compressione e  $h_{2'} = 430,58 \text{ kJ kg}^{-1}$

$$h_2 = h_1 + (h_{2'} - h_1) / \eta_{is,c} = 434.2 \text{ kJ kg}^{-1}$$

La portata di massa del fluido frigorifero è

$$m_{R134a} = q_{evaporatore} / (h_1 - h_4) = 100 / (406 - 260.9) = 0.689 \text{ kg s}^{-1}$$

Il flusso termico da scambiare al condensatore:

$$q_{condensatore} = m_{R134a} (h_2 - h_3) = 119.4 \text{ kW}$$



# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

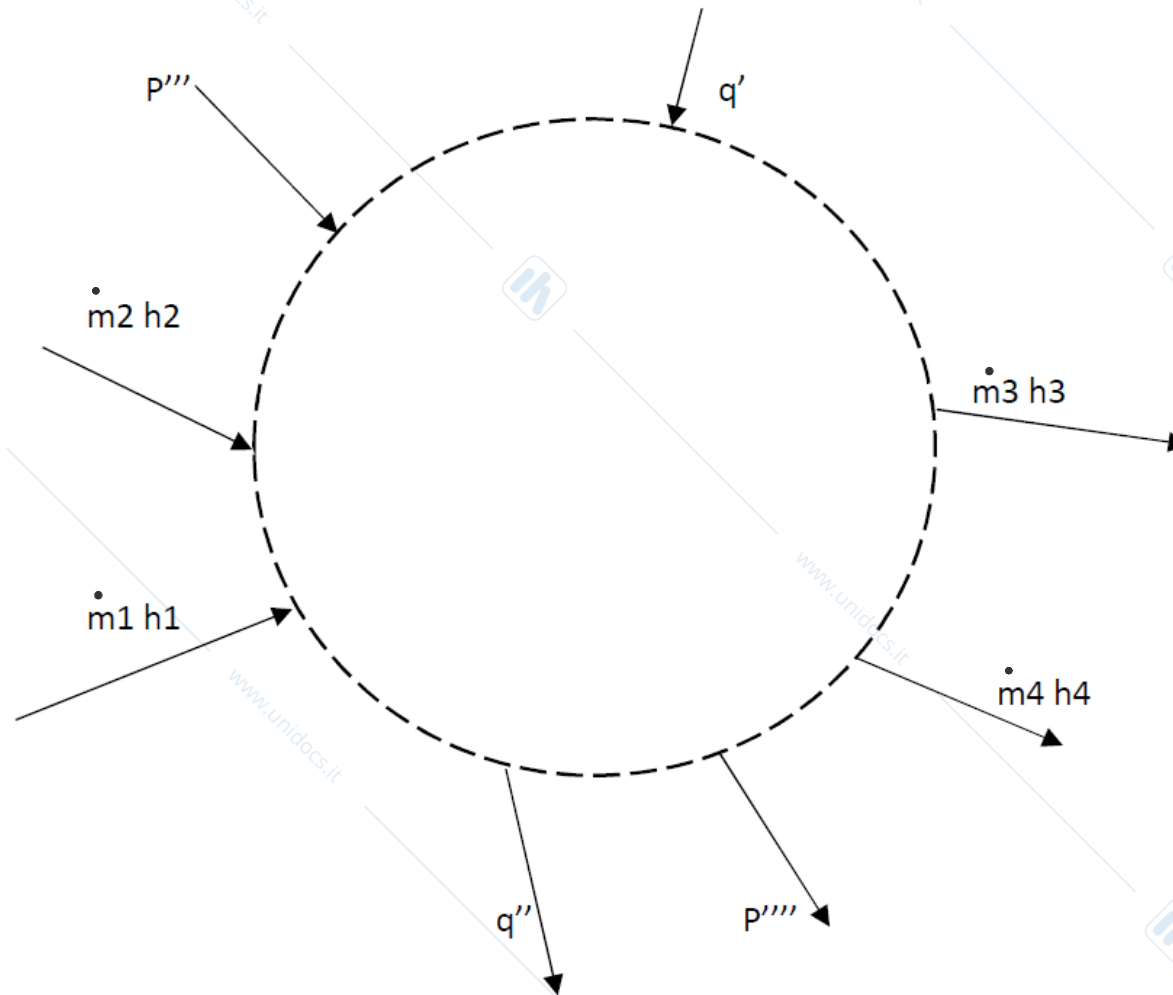
Superficie di controllo

$P$  potenza meccanica

$q$  flusso termico

$\dot{m}$  portata di massa

$h$  entalpia specifica



# PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

$$\begin{aligned} |q'| + |P'''| + \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_1 \frac{u_1^2}{2} + \dot{m}_2 \frac{u_2^2}{2} + \dot{m}_1 z_1 g + \dot{m}_2 z_2 g = \\ = |q''| + |P''''| + \dot{m}_3 h_3 + \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_3 \frac{u_3^2}{2} + \dot{m}_4 \frac{u_4^2}{2} + \dot{m}_3 z_3 g + \dot{m}_4 z_4 g \end{aligned}$$

