

# 2° Principio della Termodinamica

Freccia temporale  $\longleftrightarrow$

invertibile?

Time reversal

Microscopico e meccanica Newton

→ Sì

→ Macroscopicamente NO

Origine storica

Rivoluzione industriale

calore  $\rightarrow$  lavoro

macchine a vapore

- centrali elettriche

Vicversa

- Frigoriferi

- Pompe di calore

# Principi della termodinamica

ZERO: Due sistemi in equilibrio termico con un terzo sistema sono in equilibrio termico fra loro

PRIMO:  $U_f - U_i = Q - W$

↑  
funzioni STATO

↑ scambi / sist. - ambiente  
dipendono dalla particolare transf

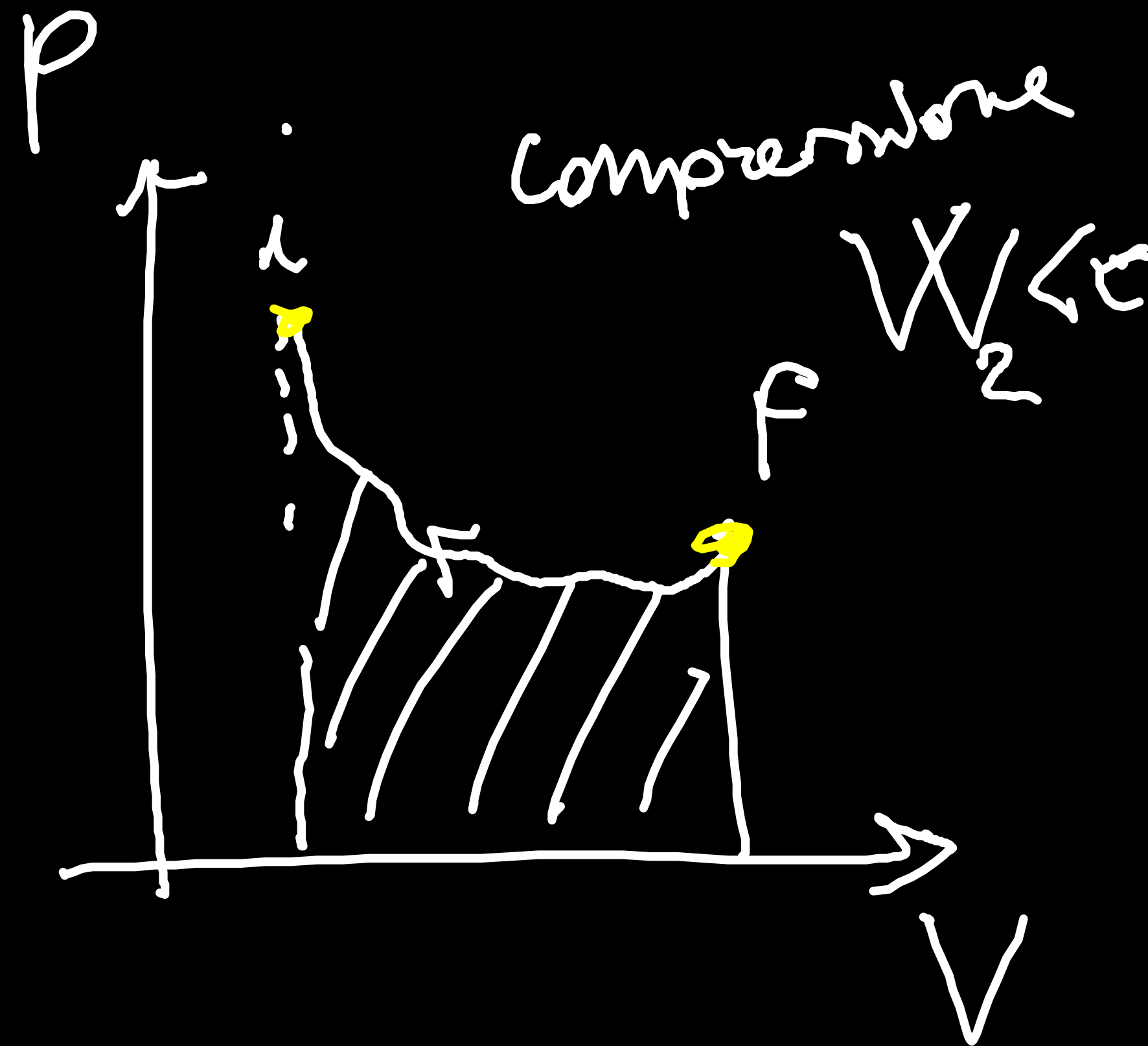
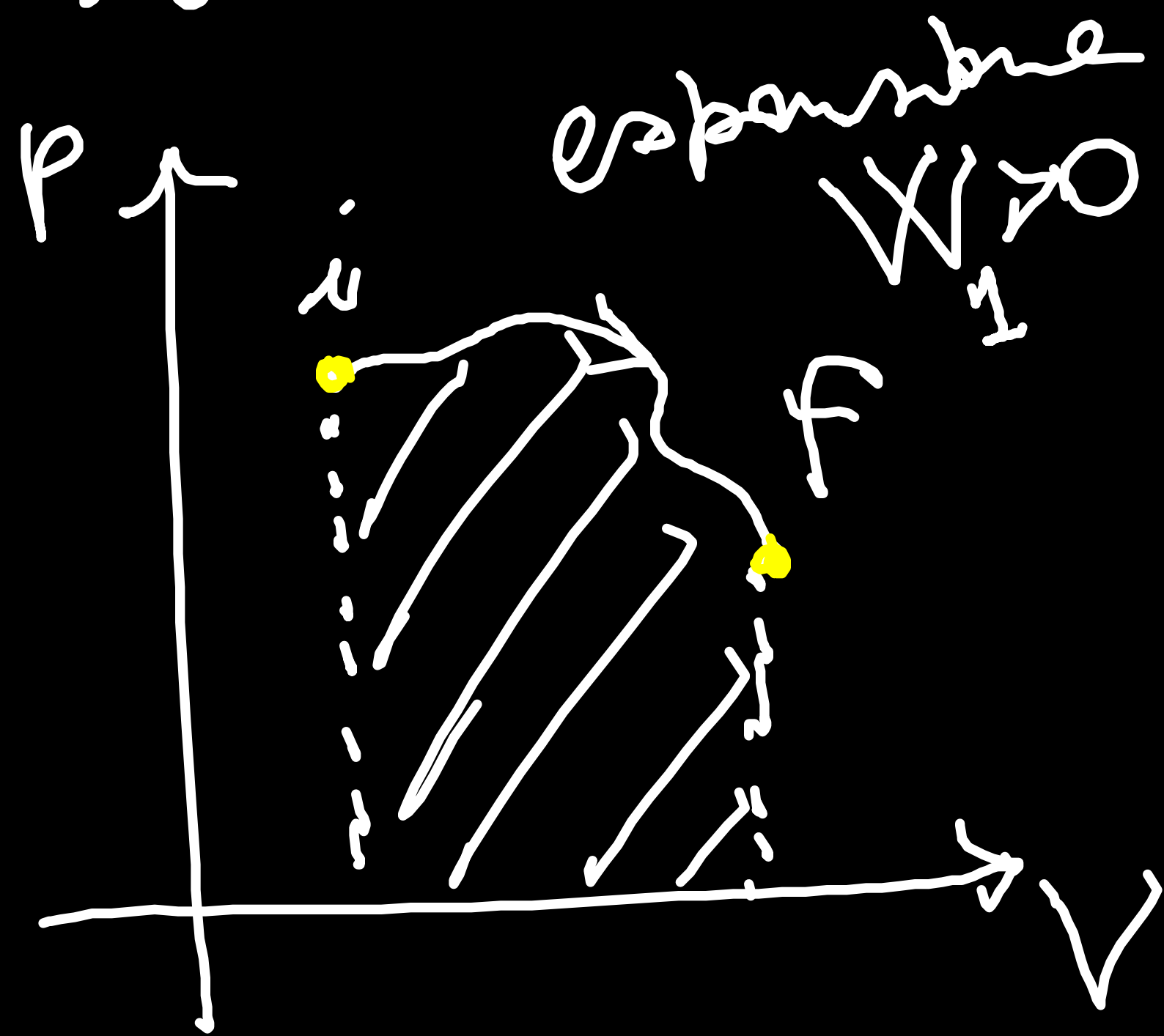
Ci interessa non un singolo processo  
ma processi che possono ripetersi ciclicamente

Esempio pistone

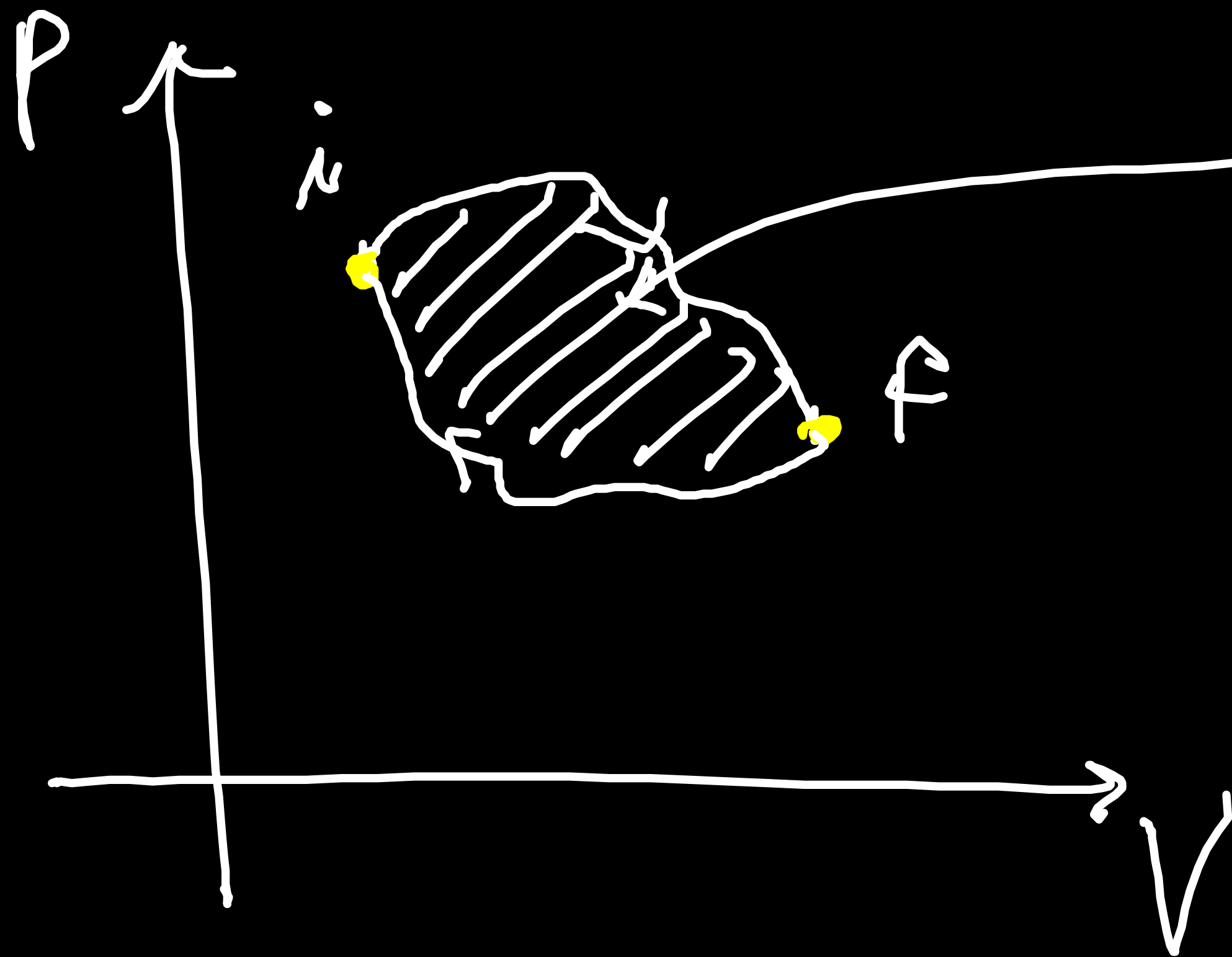
piano

Clapeyron

$p-V$



Lavoro netto:  $W = W_1 + W_2$



per 1° princ

$$\Delta U_{\text{ciclo}} = 0$$

$$W = Q$$

In moderna centrale termoelettrica

$Q_c$

$Q_H$

$\Rightarrow$  max  $Q_c$  solo 40%  
è trasformato in lavoro netto

Rendimento delle macchine termiche  
SISTEMA

→ Fluido di lavoro che "ciclo" nel SISTEMA

→ Ci sono sempre almeno 2 temperature  
negli scambi di calore con l'ambiente

temperatura più alta per assorbire calore  
" " " " base per smaltirlo

Per semplicità SOLO due TEMPERATURE

nell'ambiente

DUE sorgenti di calore

SERBATOI

$T_C$

$$Q_C > 0$$

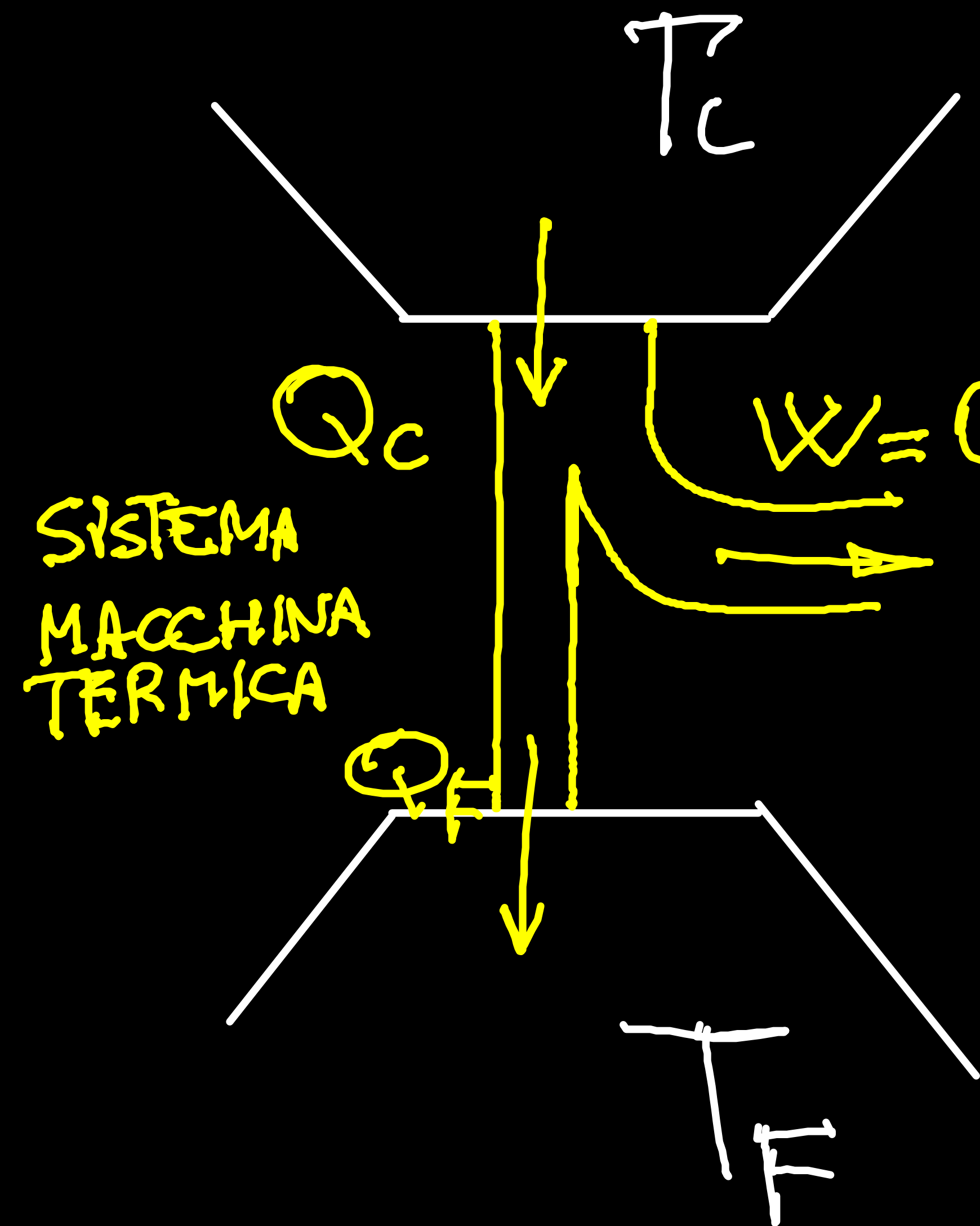
$T_F$

$$Q_F < 0$$

Calore netto scambiato

$$Q = Q_C + Q_F = Q_C - |Q_F|$$





per 1° princ.

in un ciclo  $\Delta U = 0$  netto

$$W = Q$$

$$W = Q_C - |Q_F|$$

$Q_C$  è energia in ingresso

$W$  è energia "utile" in uscita

Posso definire rendimento

$$\eta = \frac{W}{Q_C} = \frac{Q_C - |Q_F|}{Q_C} = 1 - \frac{|Q_F|}{Q_C}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_c} = \frac{Q_c - |Q_f|}{Q_c} = 1 - \frac{|Q_f|}{Q_c}$$

VEDREMO

nel  
migliore dei  
casi

$$1 - \frac{|J_f|}{|J_c|}$$

→ aumenta riducendo  $|Q_f|$   
rispetto  $Q_c$

Es. 19.1

Centrale termoelettrica  $\eta = 35\%$

Potenza elettrica  $P = 1 \text{ GW} = 1 \cdot 10^9 \text{ W}$

→ stimare scambi di calore 1h caldaie  
condensatore

$$W = P \Delta t = 1 \cdot 10^9 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 3.6 \cdot 10^3 \text{ s} = 3.6 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

$$Q_c = \frac{W}{\eta} = \frac{3.6 \cdot 10^{12} \text{ J}}{0.35} \approx 10 \cdot \text{TJ}$$

$$|Q_F| = Q_c - W \approx 6.4 \text{ TJ}$$

# Secondo Principio enunciato Kelvin-Planck

matematicamente  $\eta_{\max} = 1$  100%

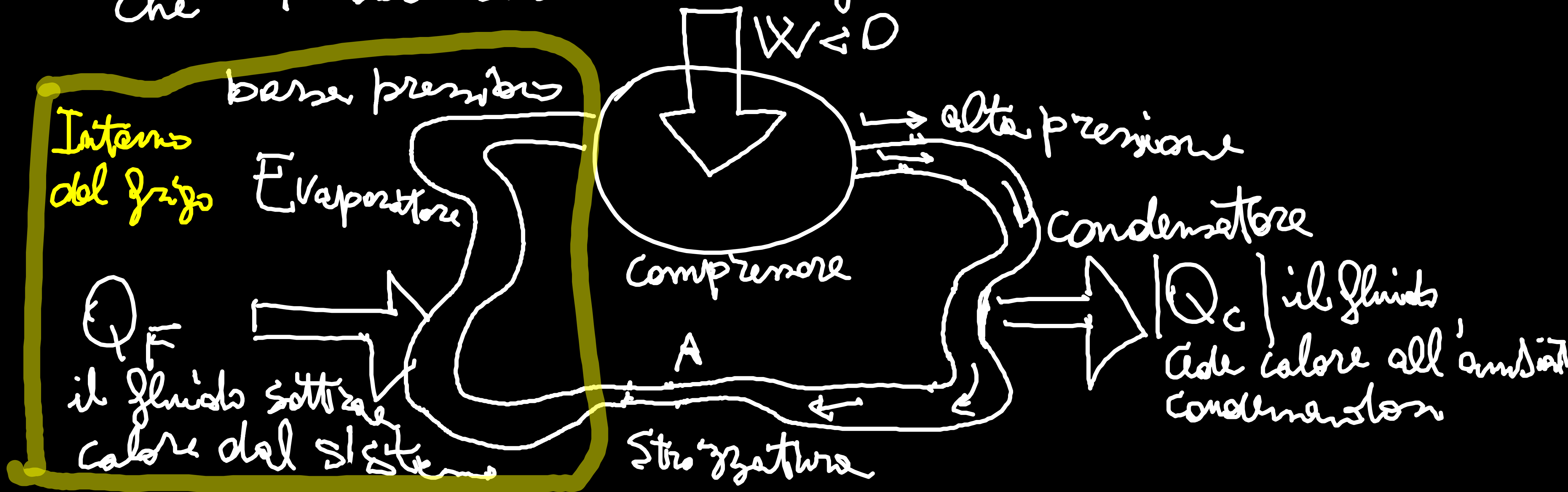
Solo per  $\frac{|Q_F|}{Q_C} \rightarrow 0$   $|Q_F| \rightarrow 0$

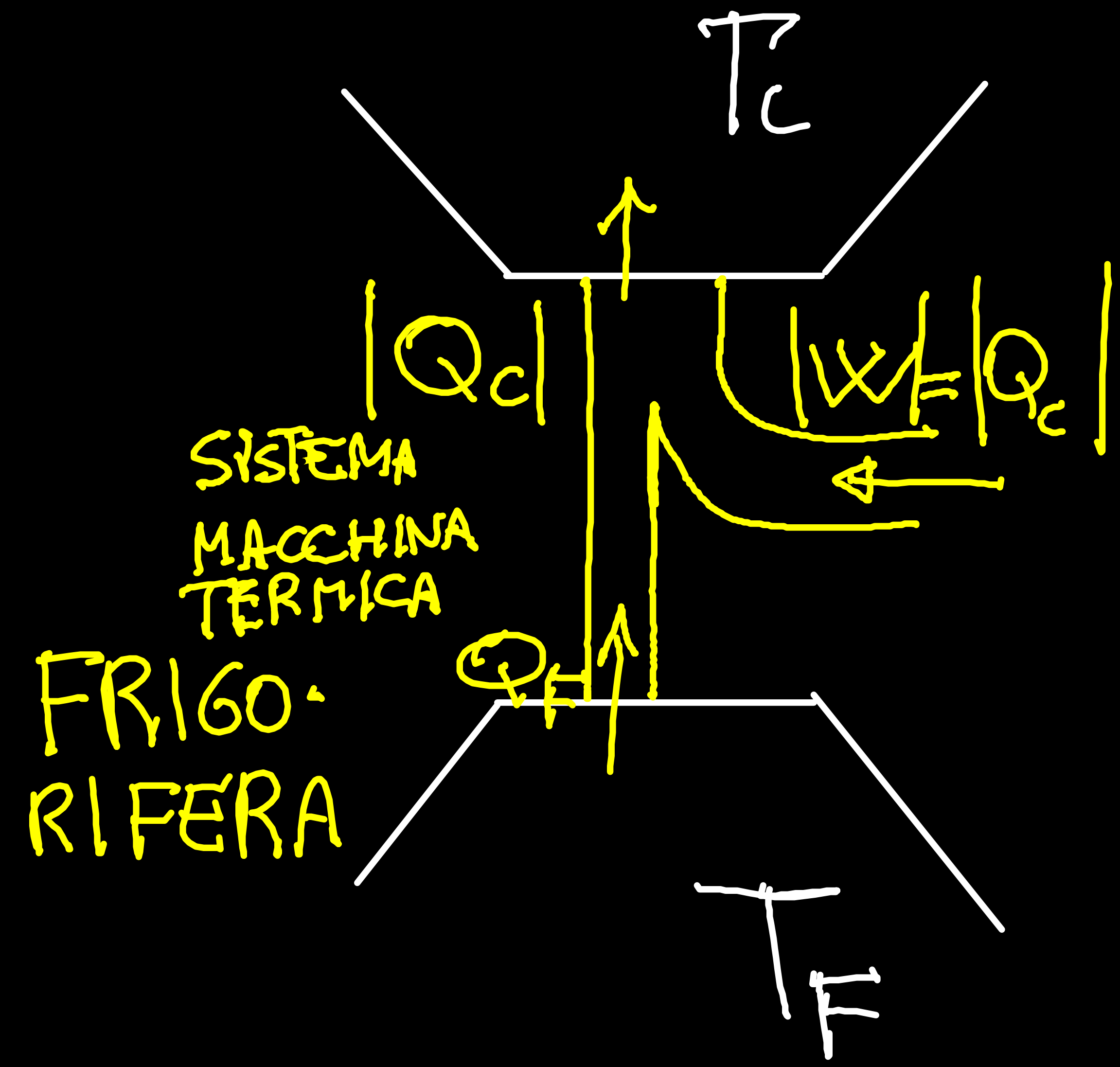
Experimentalmente  $\nearrow$  NO!  $W = Q_C$

Non è possibile realizzare un ciclo che sottragga calore ad una sorgente a temperatura uniforme e lo converta interamente in lavoro

Macchine frigorifere  $\rightarrow$  2° principio

dispositivi operano ciclicamente per  
strarre calore dal sistema in modo  
che  $T$  del sistema inferiore  $T_{\text{ambiente}}$ .





Come macchina termica "al contrario"

Qui conta  $Q_F$

mi conta  $W$

coefficiente di prestazione

$$K = \frac{Q_F}{|W|}$$

# Pompa di calore

1) In estate raffredda l'interno della casa riscaldando l'esterno

2) Inverno riscalda l'interno raffreddare l'esterno

in 2) la grandezza utile  $|Q_c|$   
ma pago sempre  $|W|$ , quindi def  $K_{PC} = \frac{|Q_c|}{|W|} > 1$

Enunciato 2° principio di Clausius

Non è possibile realizzare una

trasformazione ciclica il cui UNICO

risultato sia il trasferimento di

calore da  $T$  inferiore a  $T$  superiore

Commento: UNICO  $\Rightarrow$  deve fornire lavoro perché avvenga