



Comune di Paternò Regione Siciliana



PATERNO'

3 Maggio 2013

Biblioteca comunale, Via Monastero 4



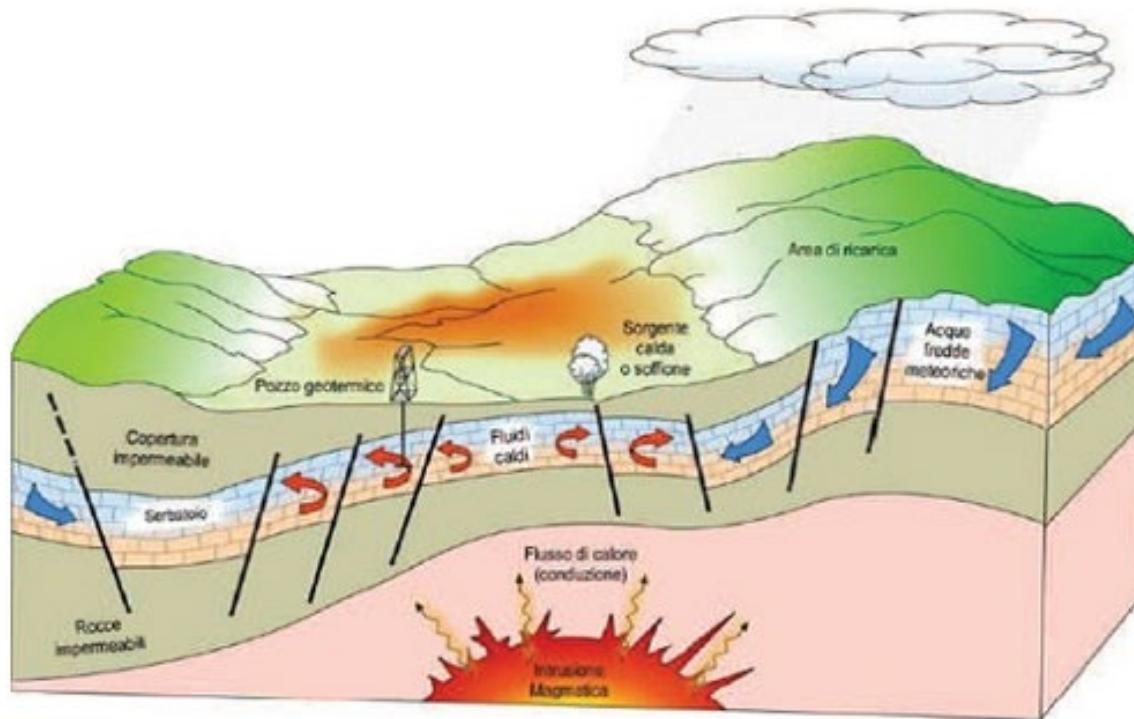
Comune di Paternò

# Efficienza e sviluppo dei sistemi binari per la produzione geotermica

Prof. Ing. Giuliano Cammarata

# I sistemi geotermici

I sistemi geotermici costituiscono una risorsa energetica non di tipo statistico. Esse sono dislocate su tutto il territorio nazionale quasi equamente.



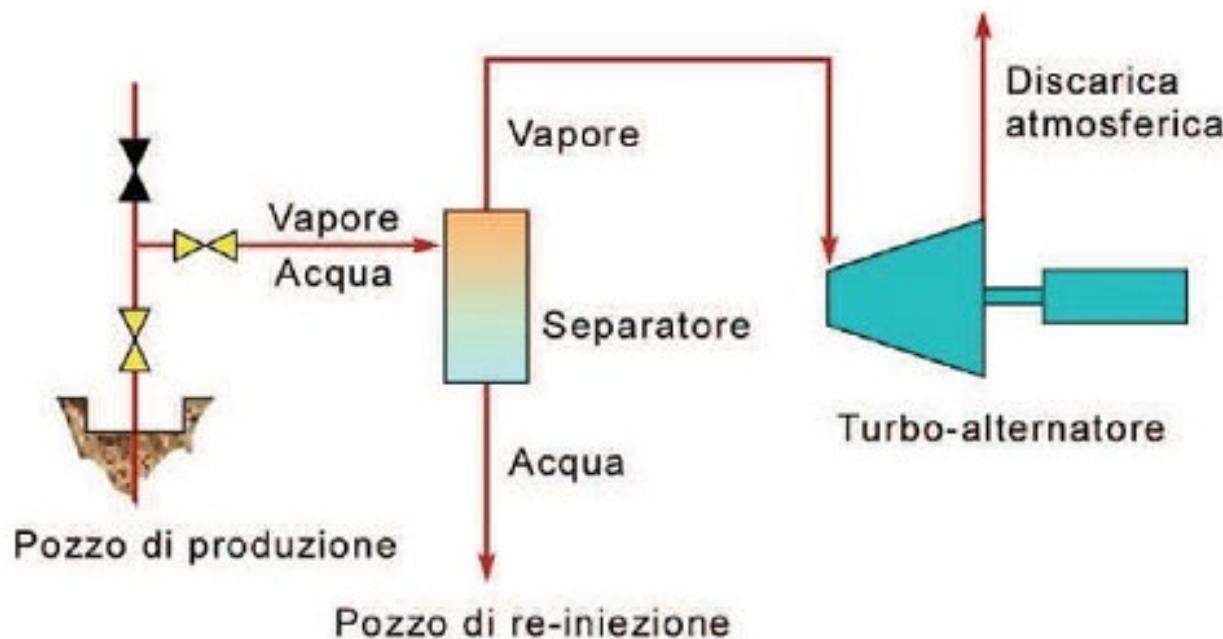
# Classificazione dei sistemi geotermici

Gli impianti geotermici sono suddivisi in funzione della temperatura massima raggiunta dal fluido di scambio geotermico:

1. Sistemi ad alta entalpia quando  $t > 150 \text{ } ^\circ\text{C}$
2. Sistemi a media entalpia quando  $90 < t < 150 \text{ } ^\circ\text{C}$
3. Sistemi a bassa entalpia quando  $t < 90 \text{ } ^\circ\text{C}$

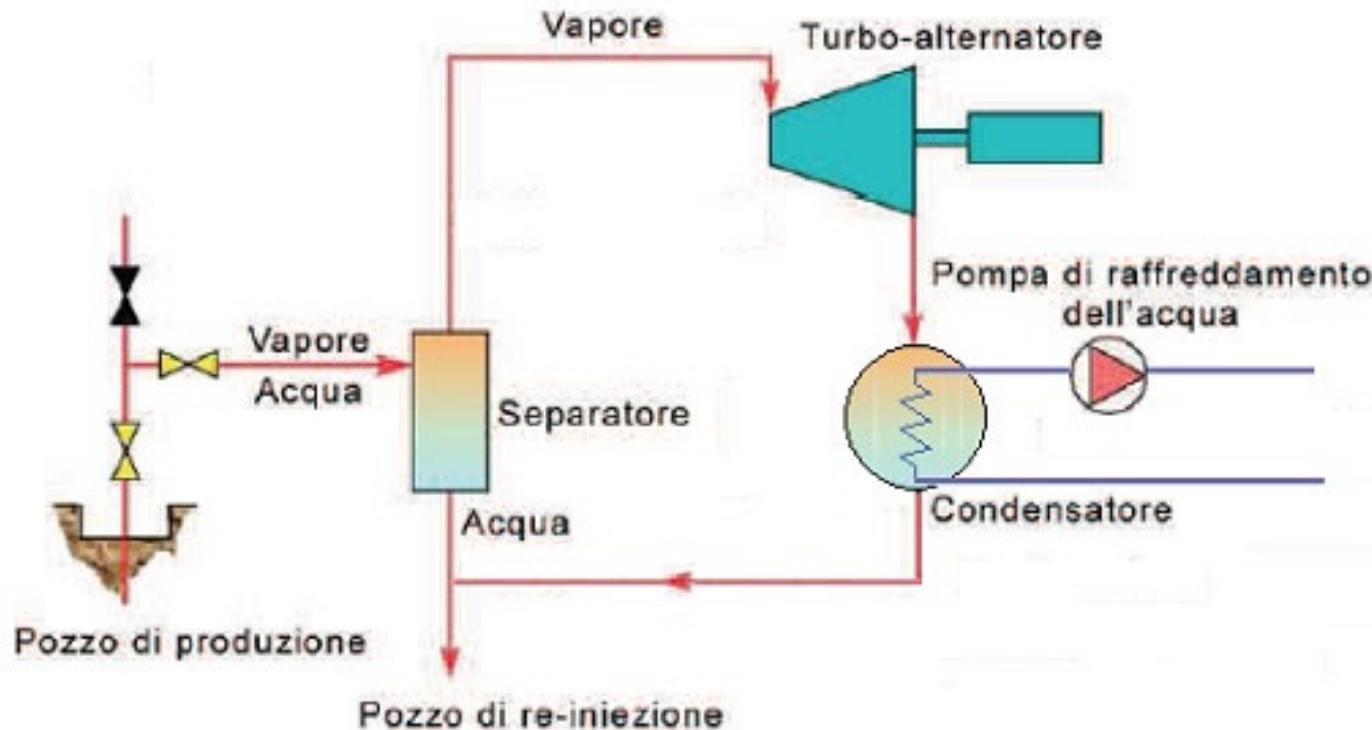
# Sistemi ad alta entalpia

Nei sistemi ad alta entalpia si hanno veri e propri impianti di potenza con schemi dipendenti dalla qualità del sito geotermico. In figura seguente si ha un sistema a contropressione.



# Sistemi ad alta entalpia

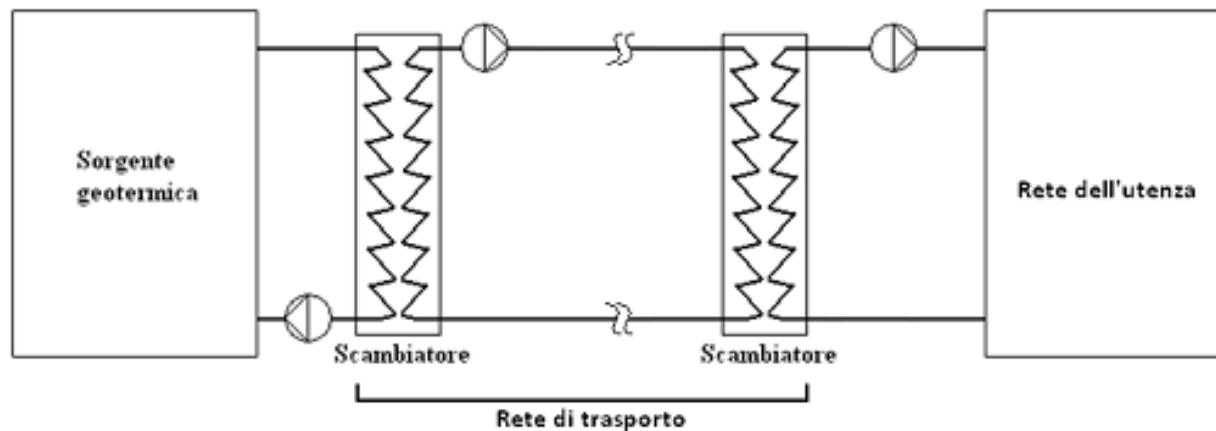
Si possono avere anche sistemi a condensazione classici degli impianti a vapore di potenza.



# Sistemi a media entalpia

I sistemi a media entalpia vengono utilizzati in genere per il **teleriscaldamento** e per la **produzione di energia elettrica** in impianti **ORC (Organic Rankine Cycle)** a piccole e medie potenze.

A tal proposito oggi sono disponibili in commercio macchine di **trigenerazione** che sono in grado di fornire contemporaneamente sia energia elettrica che caldo e/o freddo.



# Cicli termodinamici binari per la geotermia a media entalpia

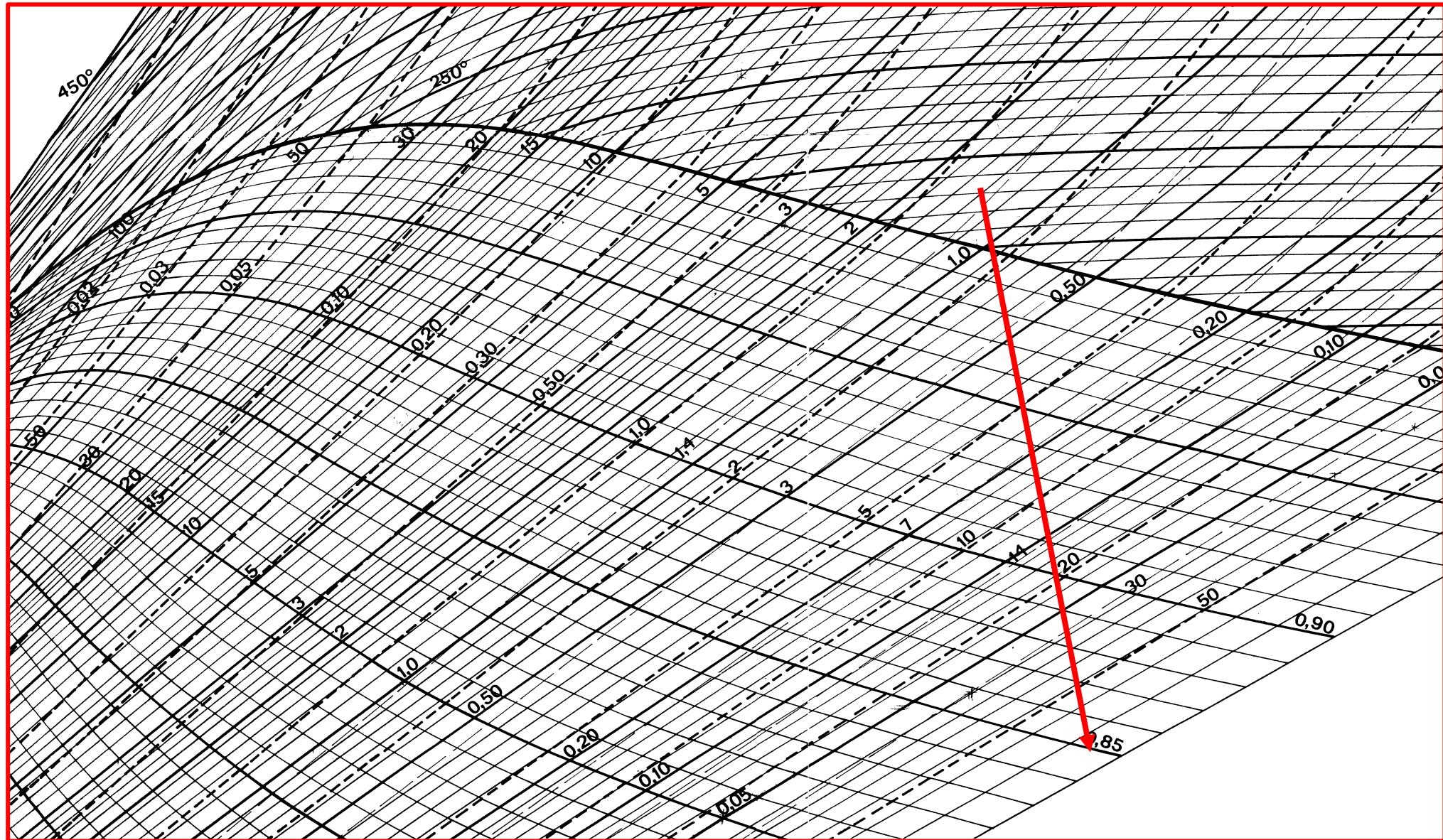
Per la geotermia a media entalpia l'utilizzo dei cicli Rankine a vapore classici con risulta conveniente a causa del **basso salto entalpico e dell'elevato titolo in uscita** delle turbine a vapore.

Un ciclo Rankine a vapore con temperatura di immissione di 120 °C avrebbe un rendimento termodinamico inferiore al 12-14% e cioè troppo basso per un investimento economicamente possibile.

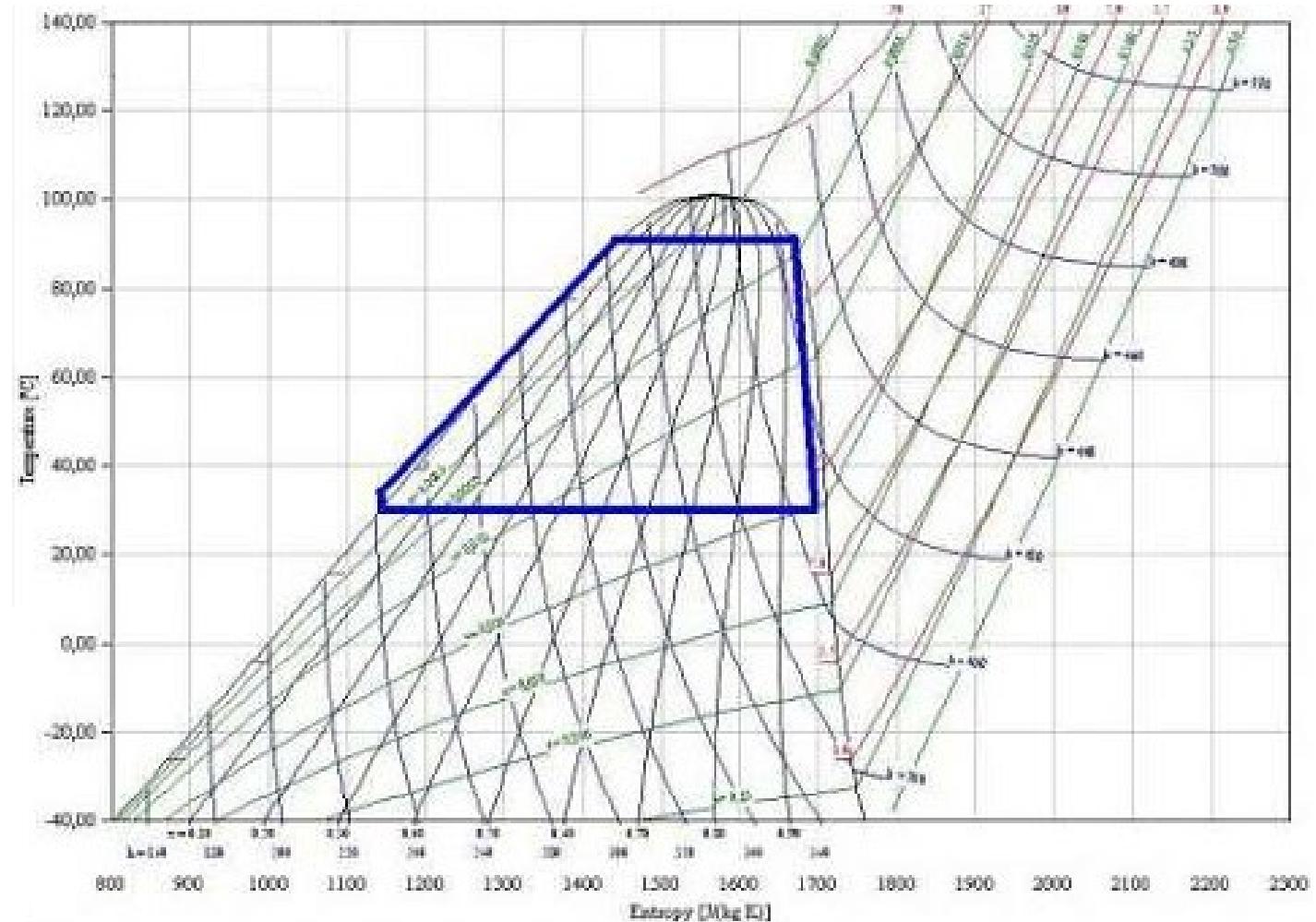
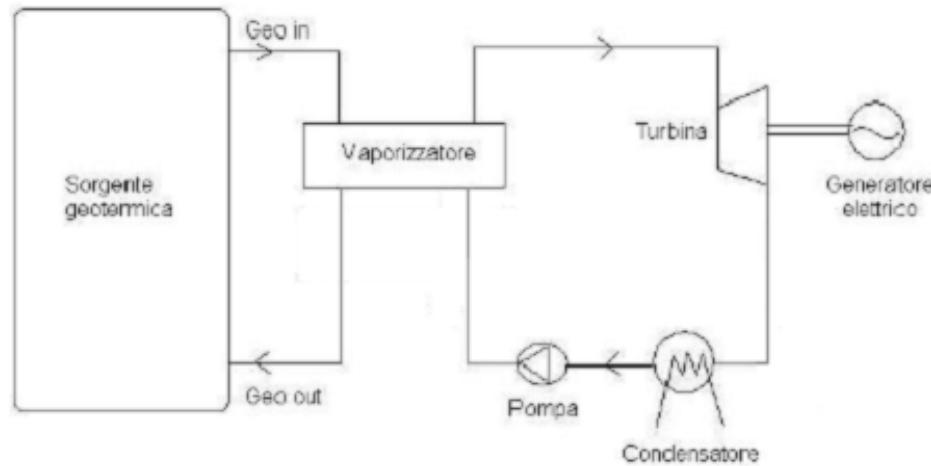
Oggi si utilizzano fluidi organici che presentano notevoli vantaggi rispetto al vapore acqueo. Gli impianti **ORC (Organic Rankine Cycle)** sono utilizzati per la produzione di energia elettrica in impianti a piccola e media potenza (**0.5÷5 MW**).

Questi impianti vengono anche detti a **ciclo binario** per la presenza di due fluidi, quello geotermico e quello di lavoro che compie il ciclo termodinamico.

# Diagramma di Mollier (h,s) per il vapore d'acqua

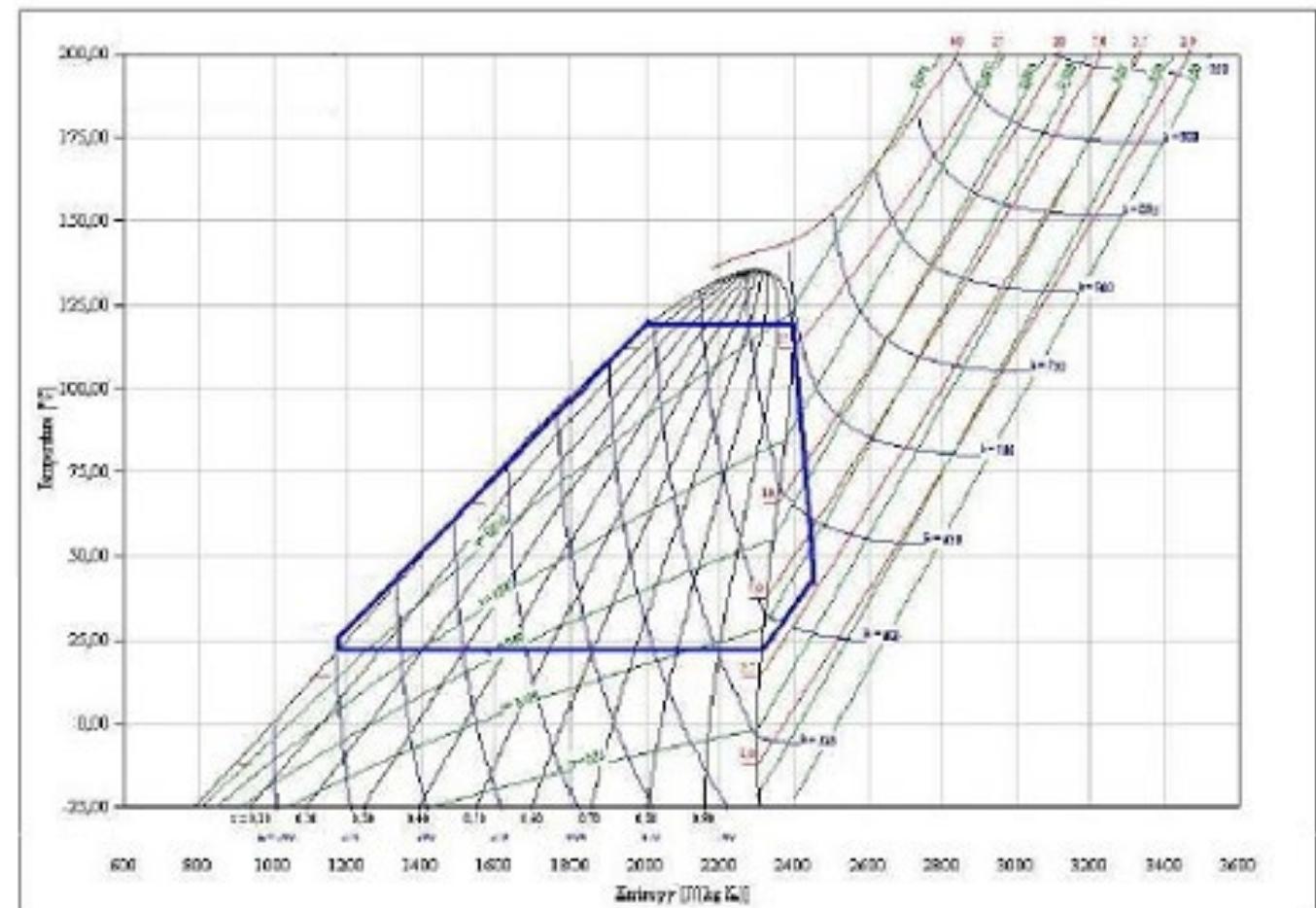
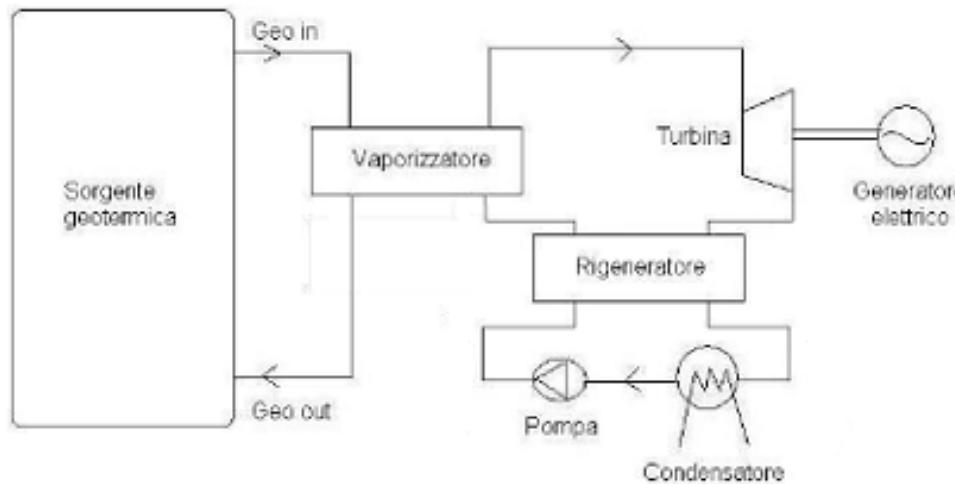


# Ciclo Rankine tradizionale ORC



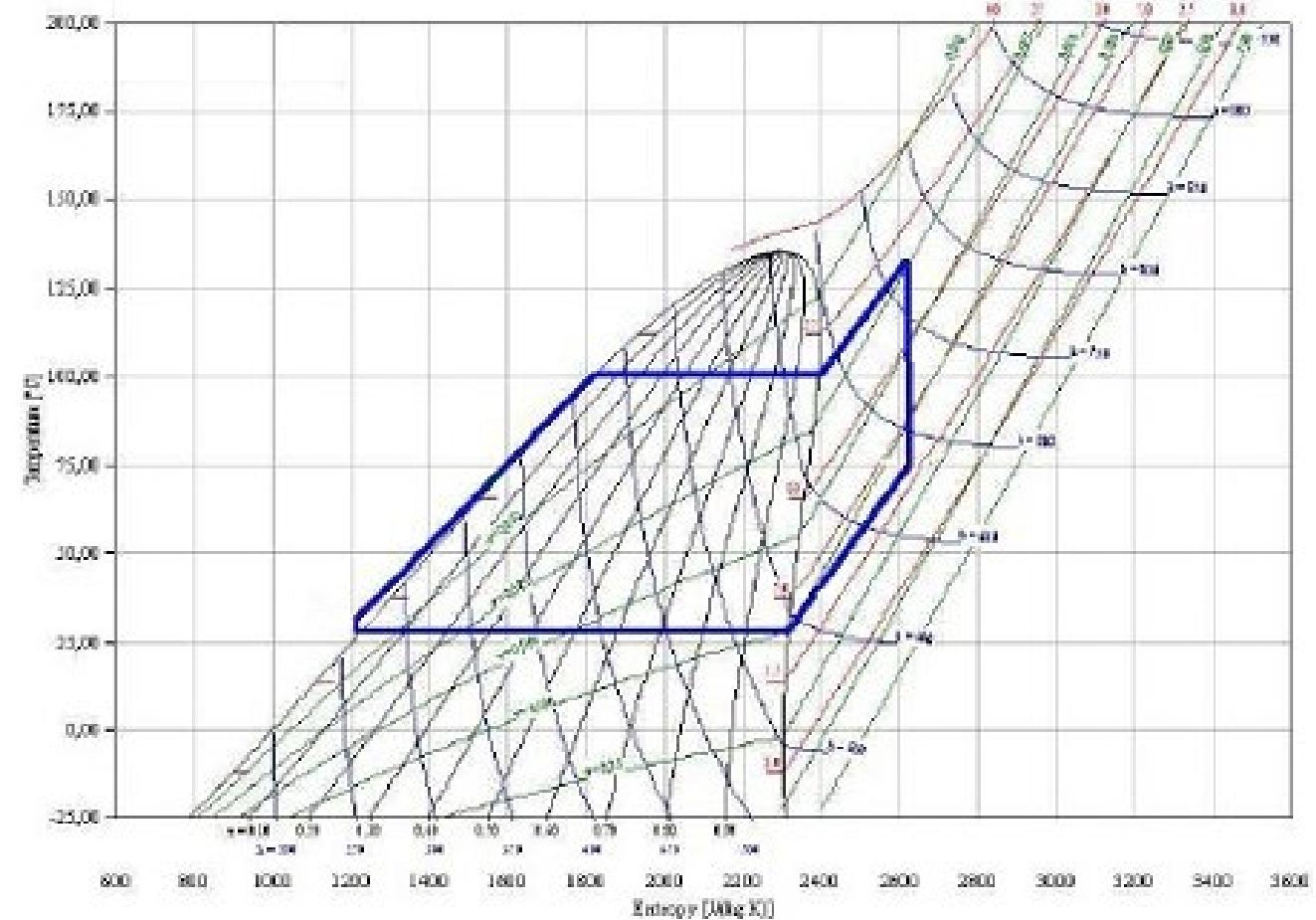
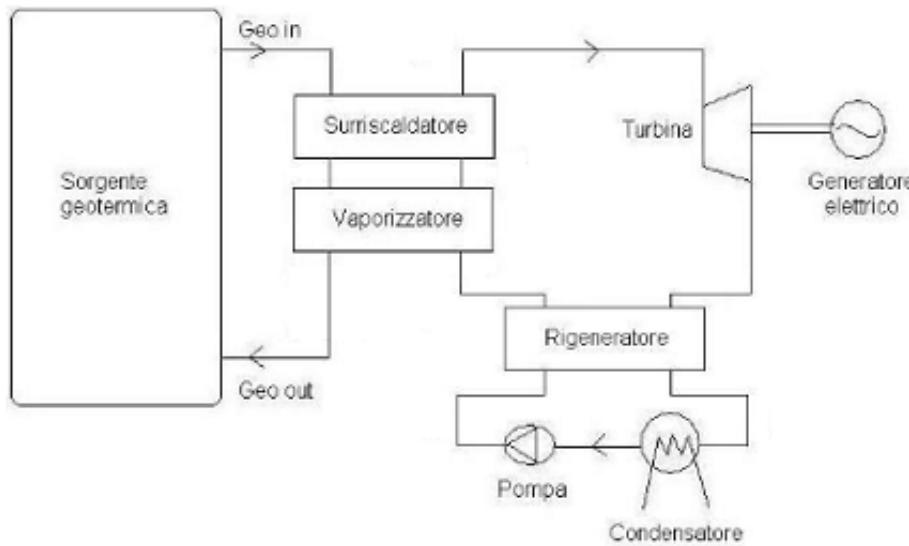
# Ciclo Rankine con rigenerazione ORC

La rigenerazione consente di  
Avere rendimenti termici più  
Elevati riducendo in parte le  
irreversibilità esterne.



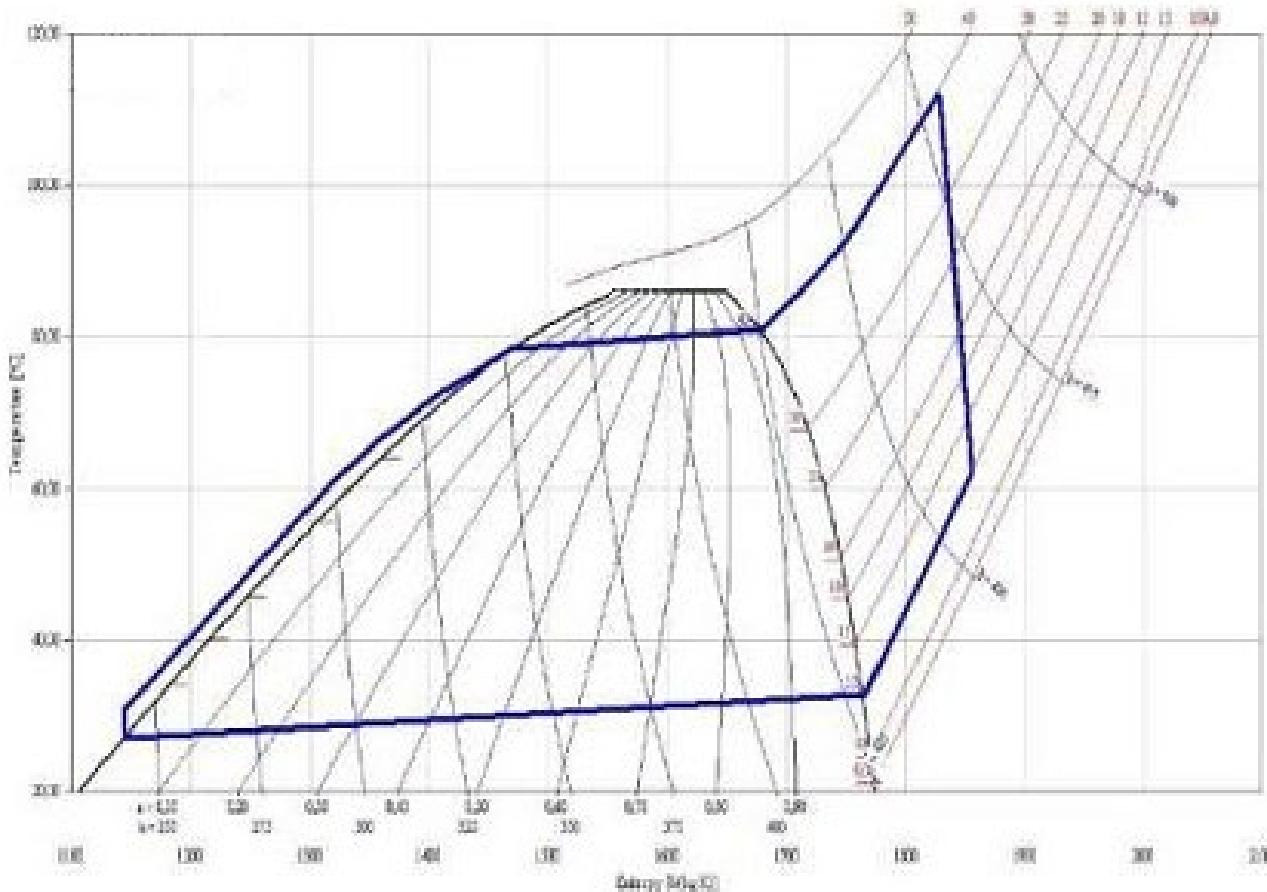
# Ciclo Hirn con rigenerazione ORC

Valgono le stesse considerazioni  
Del ciclo Rankine



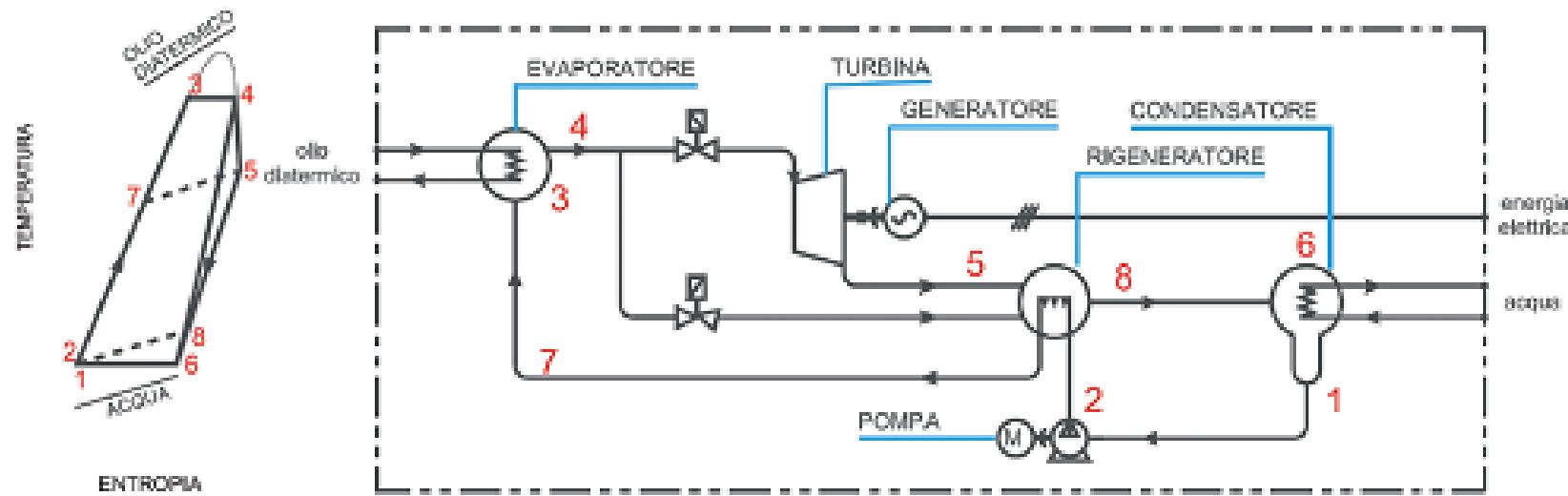
# Ciclo Kalina surriscaldato

Nel ciclo **Kalina** il fluido organico è una **miscela di acqua e ammoniaca** che presenta un punto di evaporazione variabile e quindi consentendo di incrementare l'area del ciclo



# Ciclo ORC con olio diatermico

I cicli ORC si basano su un ciclo Rankine chiuso, utilizzando come fluido di lavoro dei fluidi organici. Le unità ORC tipicamente utilizzate nella cogenerazione da biomassa e recupero di calore, impiegano come fluido di lavoro dei polisilossani; per applicazioni a bassa temperatura (geotermiche o recupero di calore), si preferisce invece l'utilizzo di fluidi refrigeranti o idrocarburi.



# Vantaggi dei cicli ORC

Rispetto alle tecnologie alternative (es. cicli a vapore), i principali vantaggi ottenuti con l'adozione di turbogeneratori di tipo ORC nel range 0,5 – 5 MWe sono:

1. **Alta efficienza della turbina (> 85%)**
2. Bassa sollecitazione meccanica della turbina, dovuta alla modesta velocità periferica
3. Basso numero di giri della turbina, tale da consentire il collegamento diretto del generatore elettrico alla turbina senza interposizione di riduttore di giri
4. Mancanza di erosione delle palette della turbina, dovuta all'assenza di formazione di liquido negli ugelli durante l'espansione
5. **Alta efficienza del ciclo** (specie in presenza di utilizzi cogenerativi)
6. Lunga vita di tutti i componenti (superiore a 20 anni)
7. Possibilità di funzionamento automatico senza supervisione (diversamente dalle macchine a vapore non è necessaria la presenza del fuochista patentato).

# Componenti di Impianto ORC

Le componenti principali di un impianto ORC sono le seguenti:

- 1. Pompa di circolazione**
- 2. Rigeneratore**
- 3. Evaporatore**
- 4. Turbina**
- 5. Condensatore**

Nel seguito verranno analizzate le singole componenti e le tipologie costruttive esistenti in commercio.

# Circolatore

Una pompa è un dispositivo meccanico usato per spostare liquidi o gas. Si intende normalmente per pompa il dispositivo usato per spostare liquidi, mentre si designa solitamente come compressore il dispositivo destinato allo spostamento di fluidi gassosi.



# Scambiatore di calore

Lo scambiatore di calore (o semplicemente scambiatore) è un componente in cui si realizza uno scambio di energia termica tra due fluidi a temperature diverse. In generale gli scambiatori sono sistemi aperti che operano senza scambio di lavoro, ovvero presentano un flusso di materia costante e una distribuzione di temperatura costante in condizioni stazionarie.



# Turbina

Una turbina è una turbomacchina motrice idonea a raccogliere l'energia cinetica e l'entalpia di un fluido ed a trasformarla in energia meccanica.



# Fluido di lavoro

I fluidi di lavoro, che possono essere utilizzati in centrali elettriche a cicli Rankine, sono quasi infiniti. Un'attenta scelta delle proprietà termodinamiche può portare ad un alto rendimento e a sistemi a basso costo. Più nello specifico un fluido di lavoro è preferibile quando:

1. la tossicità ed il pericolo di esplosione sono bassi
2. le caratteristiche di infiammabilità controllabili
3. ha buona stabilità al variare della temperatura
4. non è aggressivo verso i materiali impiegati per costruire l'impianto.

Fondamentale è senz'altro la temperatura massima raggiunta dal ciclo e, quindi, dal fluido di lavoro stesso. La temperatura massima di esercizio incide almeno su due parametri fondamentali per il fluido di lavoro:

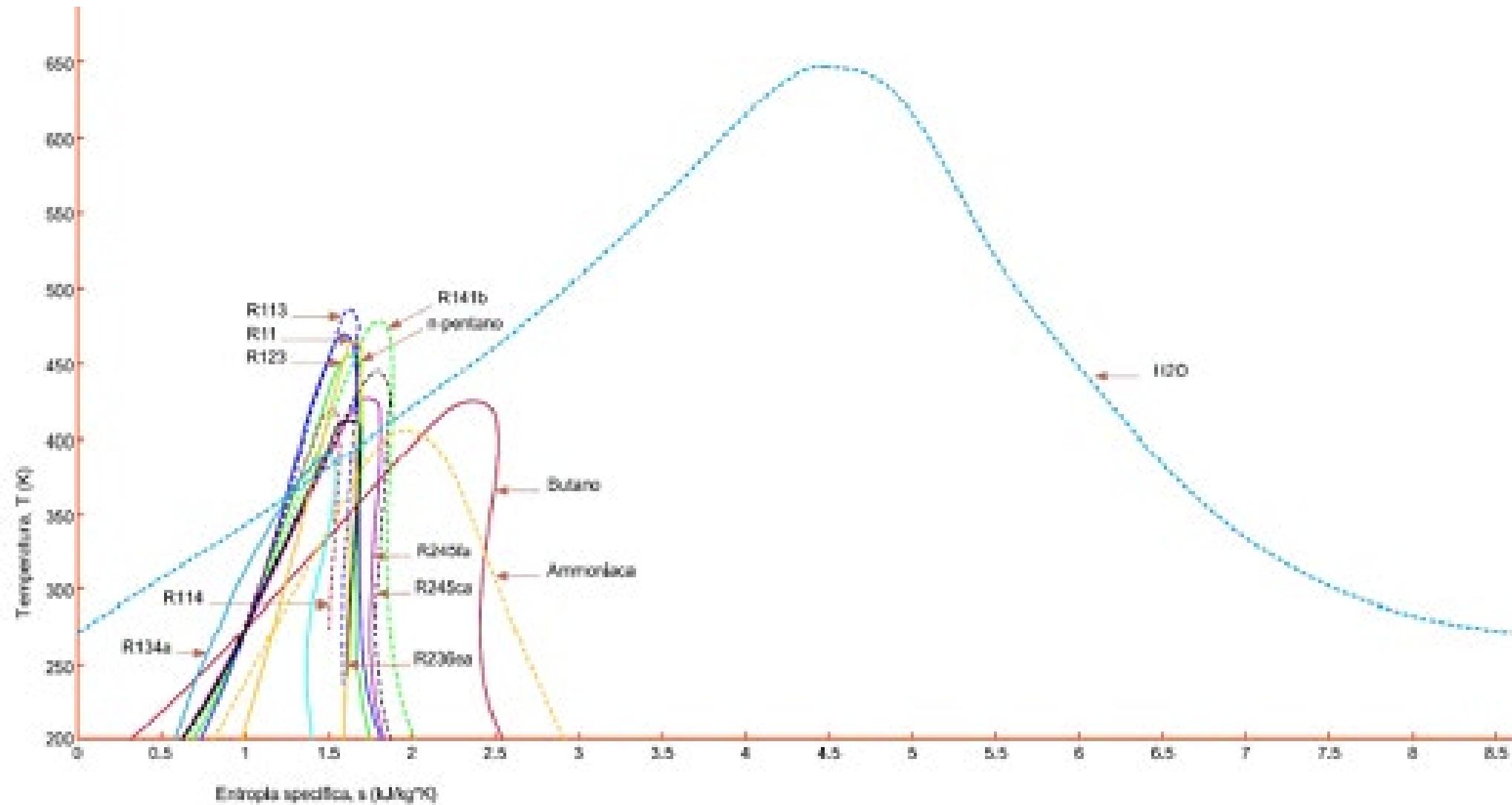
1. la stabilità termica
2. la stabilità termochimica.

Per stabilità termica si intende la resistenza a rottura dei legami chimici in un ambiente inerte.

# Fluido di lavoro

FLUIDO	MASSA MOLECOLARE [g/mol]	PRESSIONE CRITICA [MPa]	TEMPERATURA CRITICA [K]	TEMPERATURA VAPORIZZAZIONE [K]
Acqua	18	22,06	647	373
Ammoniaca	17	11,33	405,3	239,7
Isobutano	58,1	3,648	408,5	261,5
Butano	58,122	3,796	425,12	272,6
n-pentano	72,15	3,36	469,5	308
Benzene	78,14	4,9	562,2	353
Toluene	92,14	4,11	592	536
R134a	102	4,06	374,15	248
Etilbenzene	106,167	3,61	617	570
R141b	116,95	4,46	479,96	305,2
Propylbenzene	120,19	3,20	638	573
R12	121	4,13	385	243,2
R245fa	134,05	3,64	427,2	288,05
R245ca	134,05	3,925	447,57	298,28
Butilbenzene	134,22	2,89	661	573
R11	137	4,41	471	296,2
R236ea	152,04	3,502	412,44	279,34
R123	152,93	3,662	456,83	300,97
R114	170,92	3,257	418,83	276,74
R113	187	3,41	487,3	320,38

# Fluido di lavoro



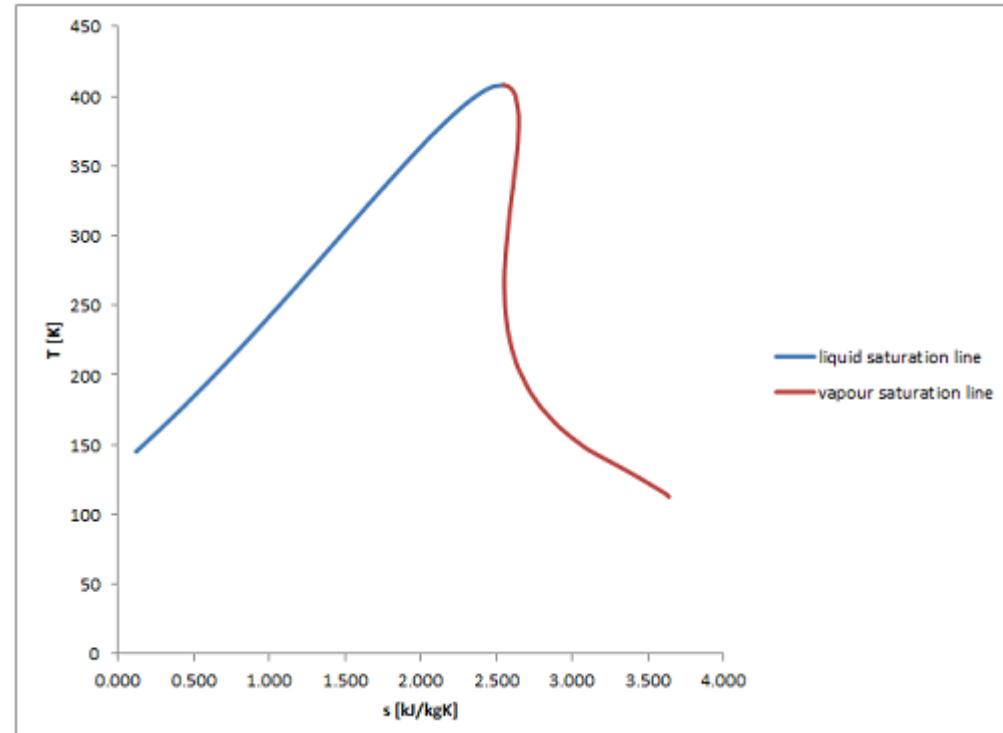
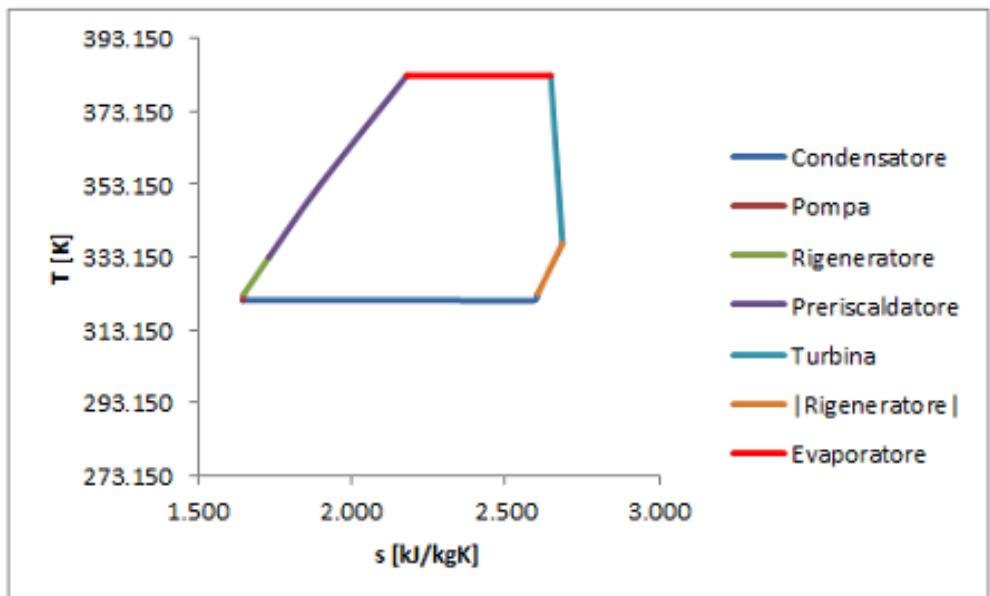
# Fluido di lavoro isobutano

Simulazione 1	T	T	Entropy
650 kPa   1002 kW	[C]	[K]	[kJ/kgK]
outPOMP-inRIG	49.920	323.070	1.650
outRIG-inPRE	59.940	333.090	1.731
	79.300	352.450	1.892
outPRE-inEVA	109.900	383.050	2.180
	109.900	383.050	2.236
	109.900	383.050	2.409
	109.900	383.050	2.495
outEVA-inTURB	109.900	383.050	2.648
outTURB-inRIG	63.750	336.900	2.685
outRIG-inCOND	49.920	323.070	2.605
	48.110	321.260	2.593
	48.110	321.260	2.322
	48.110	321.260	2.150
	48.110	321.260	1.978
	48.110	321.260	1.652
outCOND-inPOMP	48.110	321.260	1.646

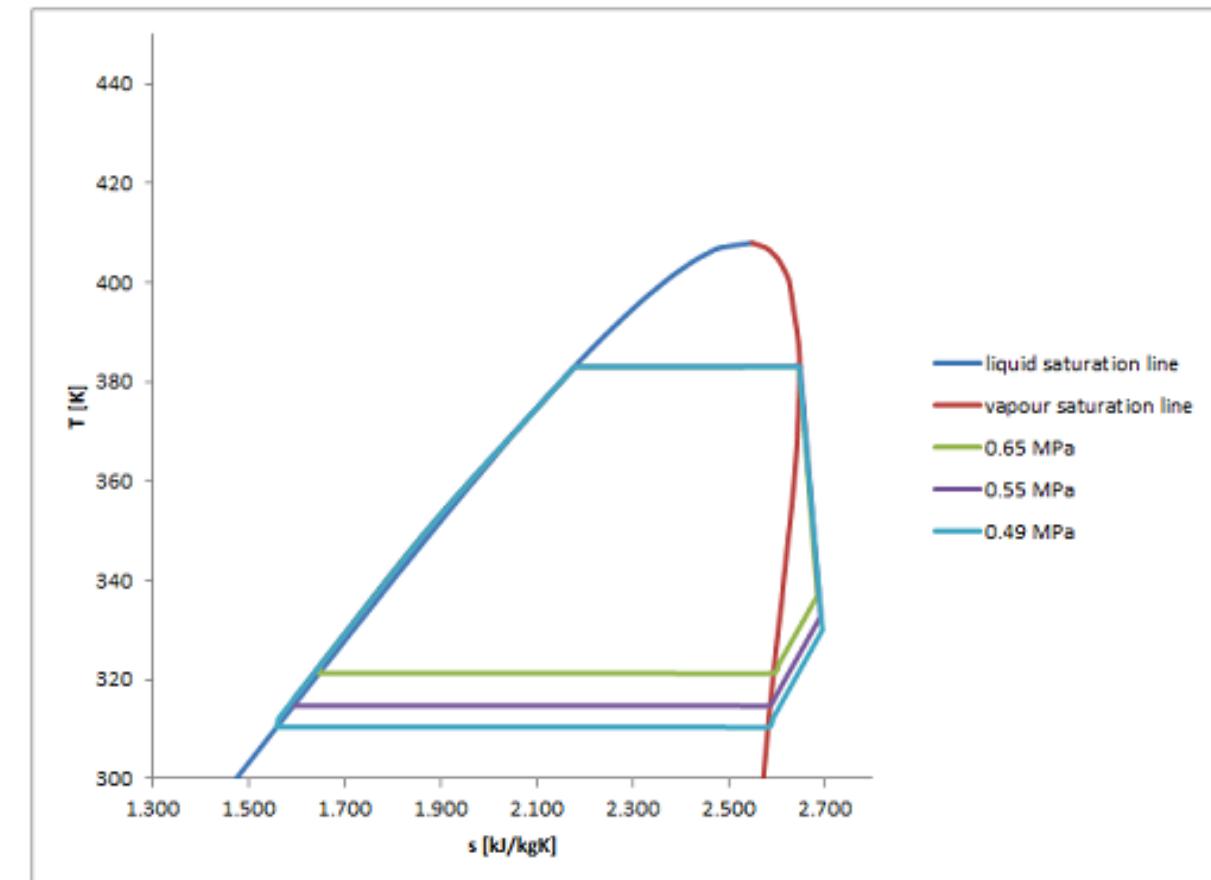
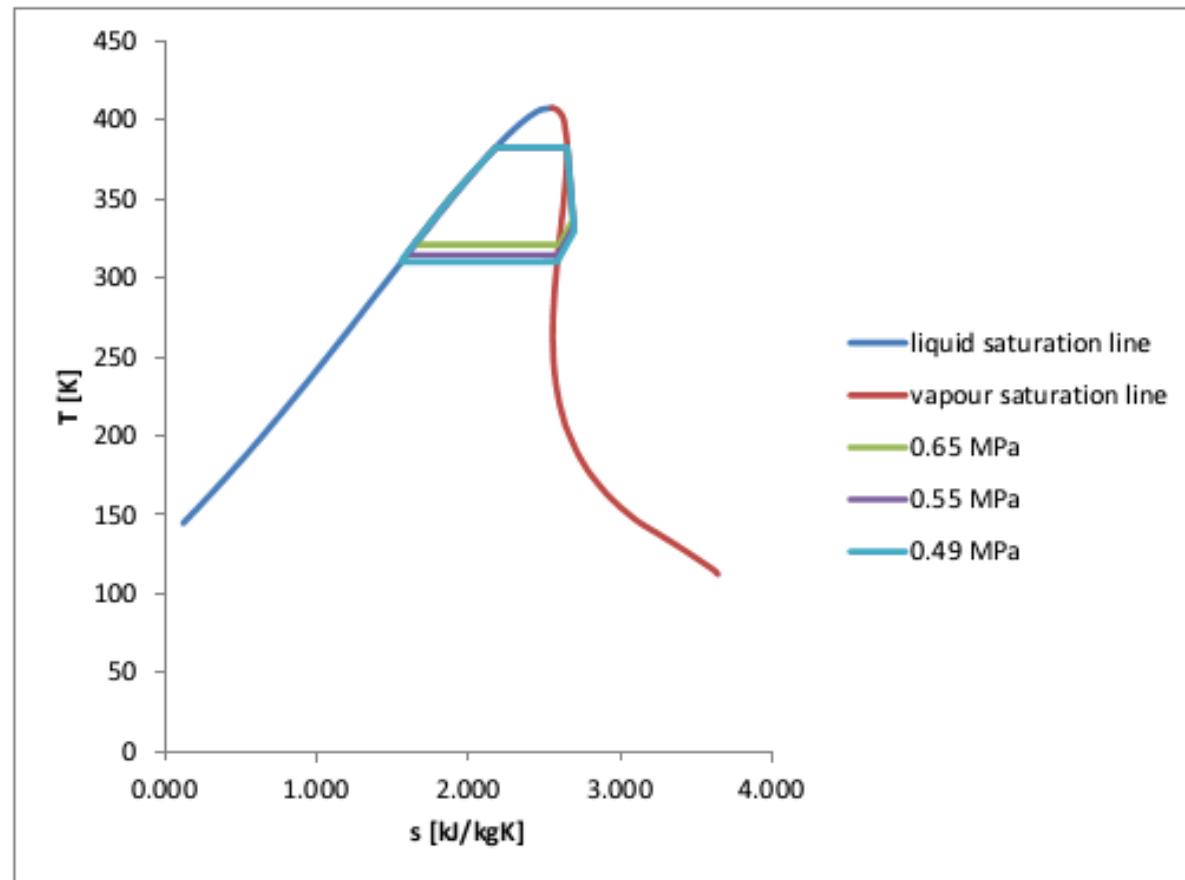
WATER_in	27.000	300.150	3.010
WATER_out	47.940	321.090	3.301

GEO_in	120.000	393.150	4.182
GEO_out	101.100	374.250	3.964

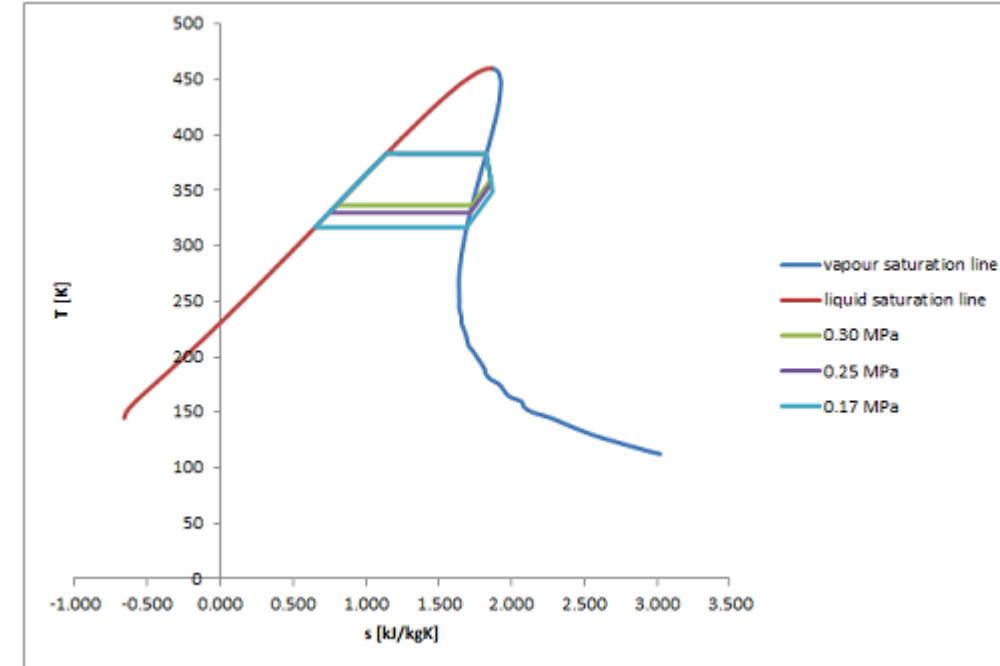
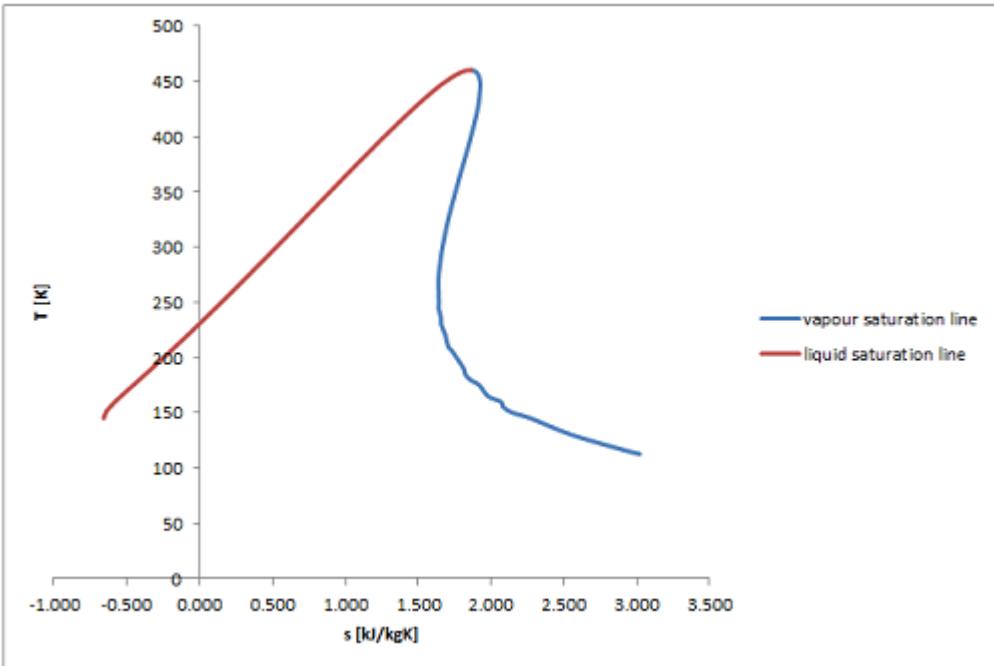
		T	s
Condensatore	in	323.070	2.605
		321.260	2.593
		321.260	2.322
		321.260	2.150
		321.260	1.978
		321.260	1.652
	out	321.260	1.646
Pompa	in	321.260	1.646
	out	323.070	1.650
Rigeneratore	in	323.070	1.650
	out	333.090	1.731
Preriscaldatore	in	333.090	1.731
		352.450	1.892
	out	383.050	2.180
Evaporatore	in	383.050	2.180
		383.050	2.236
		383.050	2.409
		383.050	2.495
	out	383.050	2.648
Turbina	in	383.050	2.648
	out	336.900	2.685
Rigeneratore	in	336.900	2.685
	out	323.070	2.605



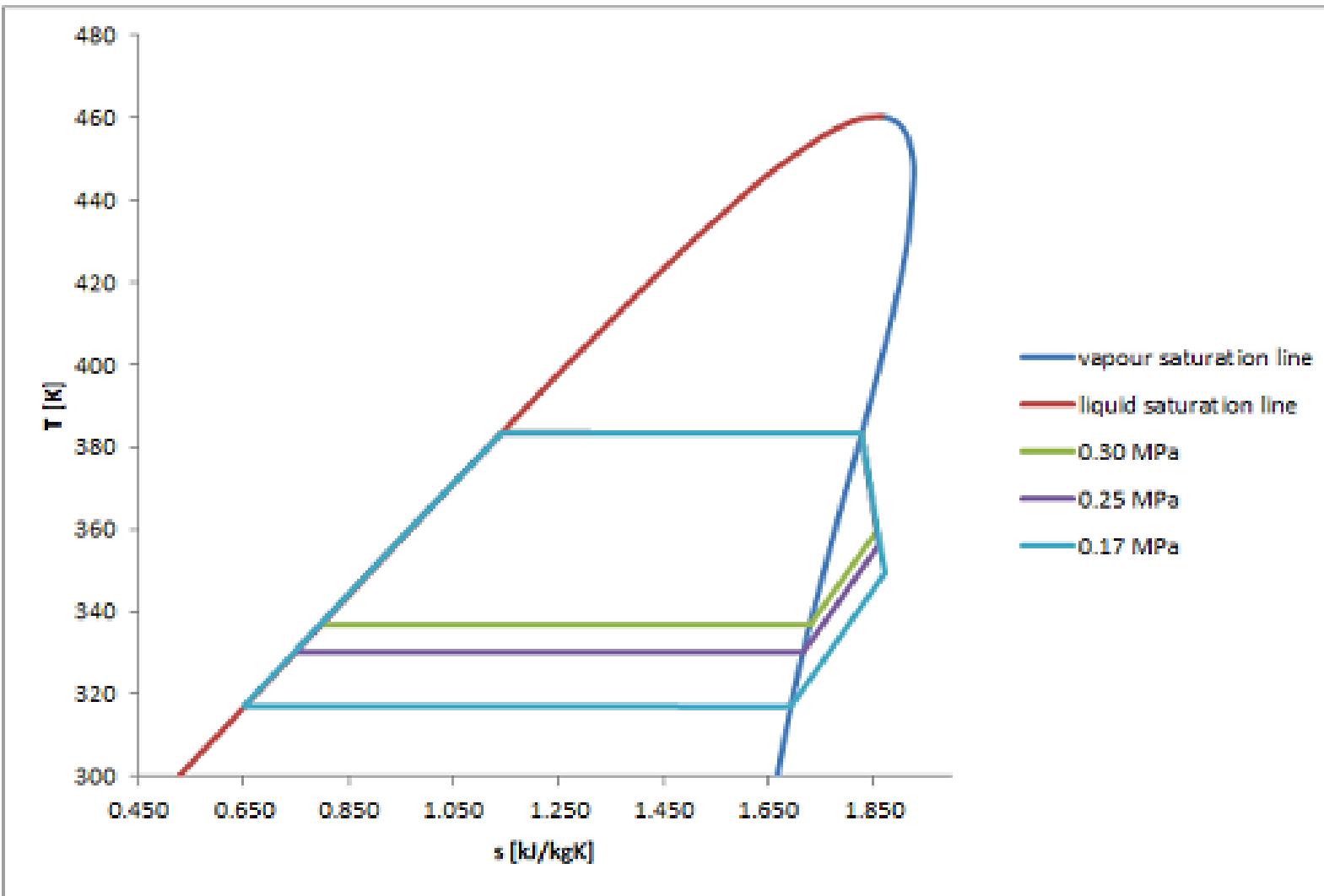
# Fluido di lavoro isobutano



# Fluido di lavoro isopentano

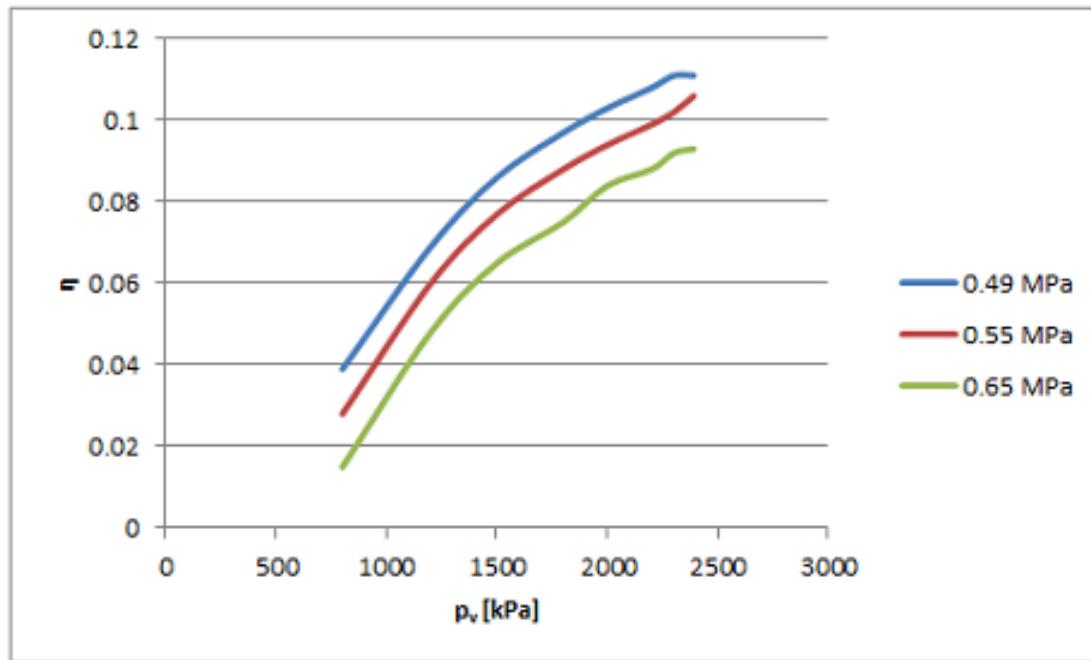


# Fluido di lavoro isopentano



# Andamento del rendimento in funzione della pressione di saturazione

Isobutano



Isopentano

