

LA COGENERAZIONE

**CORSO DI GESTIONE DELL'ENERGIA E DEI SISTEMI
ENERGETICI – PROFESSORE DAVIDE ALBERTI**

ING. ADRIANO CARRARA

DEF. TECNICA:

COGENERARE SIGNIFICA PRODURRE CONTEMPORANEAMENTE PIÙ FORME DI ENERGIA, SOLITAMENTE CALORE DI PROCESSO ED ENERGIA ELETTRICA.

DEF. SECONDO LA NORMATIVA:

"COGENERAZIONE È LA PRODUZIONE COMBINATA DI ENERGIA ELETTRICA E CALORE ALLE CONDIZIONI DEFINITE DALL'AUTORITÀ PER L'ENERGIA ELETTRICA E IL GAS, CHE GARANTISCANO UN SIGNIFICATIVO RISPARMIO DI ENERGIA RISPETTO ALLE PRODUZIONI SEPARATE."

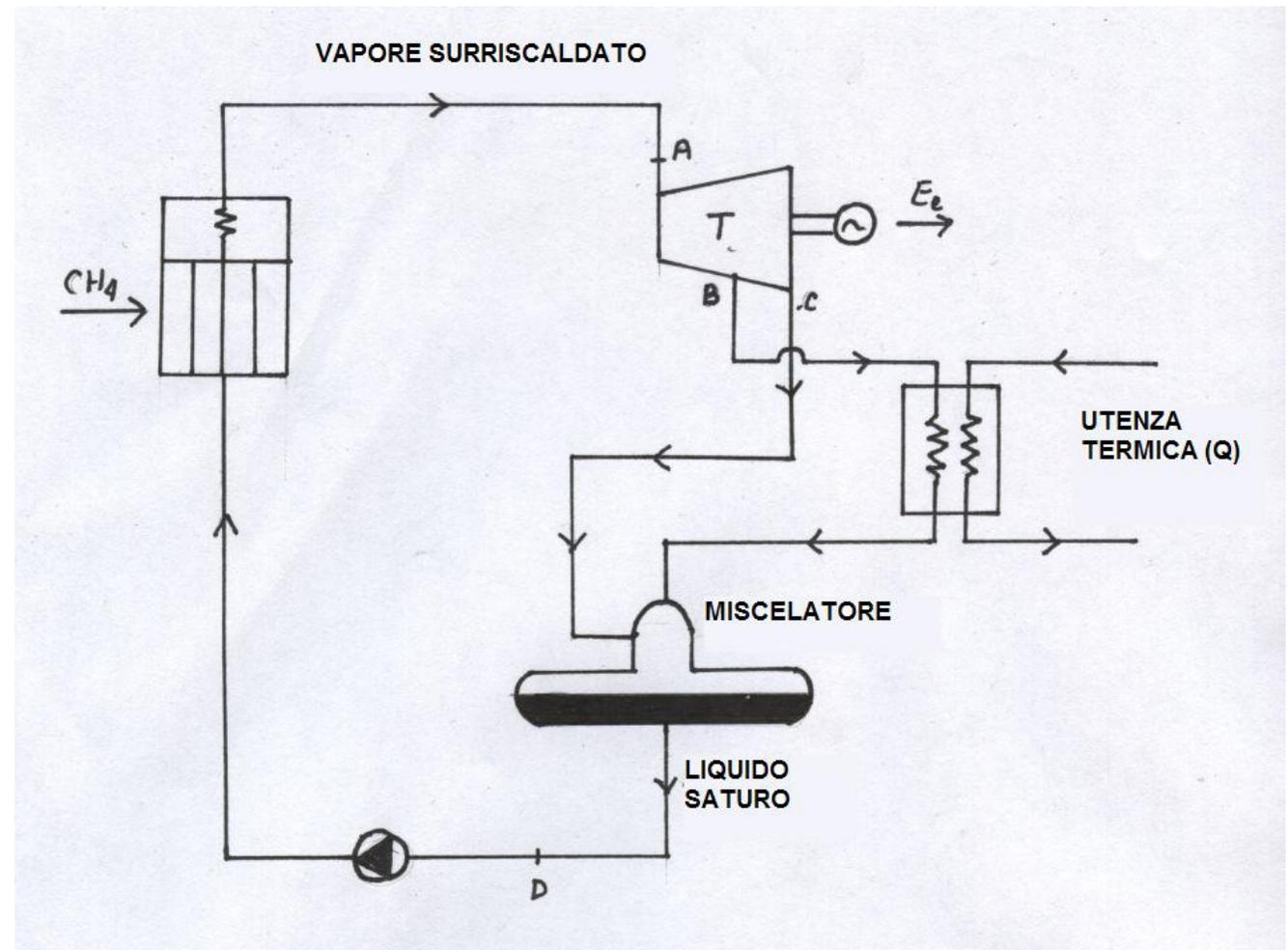
VANTAGGI DELLA COGENERAZIONE

- **MINORI COSTI IN ENERGIA ELETTRICA E PRODUZIONE DI CALORE**
- **MINORI COSTI DEL GAS PER L'ALIMENTAZIONE DELL'IMPIANTO (SGRAVI FISCALI)**
- **INCENTIVI ECONOMICI (DECRETO MARZANO CERTIFICATI VERDI)**
- **CERTIFICATI BIANCHI**

CONSIDERAZIONI TERMODINAMICHE

AFFINCHÉ UN IMPIANTO COGENERATIVO SIA TALE VI DEVE ESSERE UNA STRETTA CORRELAZIONE TRA LA GENERAZIONE DI POTENZA ELETTRICA E TERMICA.

ESEMPIO: IMPIANTO COGENERATIVO CON TURBINA A VAPORE IN CONTROPRESSIONE



RENDIMENTO DI PRIMO PRINCIPIO

$$\eta_i = \frac{\text{RISULTATO_UTILE}}{\text{SPESA_ENERGETICA}}$$

CONSIDERIAMO UN IMPIANTO COGENERATIVO CHE GENERA:

- POTENZA ELETTRICA P_{el}
- POTENZA TERMICA P_{th}

I PRINCIPIO T.D.



$$P_{ch} = P_{el} + P_{th} + P_{diss}$$

RENDIMENTO ELETTRICO

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{P_{ch}}$$

RENDIMENTO TERMICO

$$\eta_{th} = \frac{P_{th}}{P_{ch}}$$

DOVE:

- P_{ch} POTENZA TERMICA LIBERATA DALLA COMBUSTIONE DEL COMBUSTIBILE
- P_{diss} POTENZA DISPERSA (DISSIPATA O CEDUTA ALL'AMBIENTE ESTERNO)

RENDIMENTO DI PRIMO PRINCIPIO

RENDIMENTO DI PRIMO PRINCIPIO PER UN IMPIANTO COGENERATIVO

$$\eta_I = \frac{P_{el} + P_{th}}{P_{ch}}$$

CALCOLANDO IL RENDIMENTO DI PRIMO PRINCIPIO DI DUE DIVERSI IMPIANTI COGENERATIVI È POSSIBILE CONFRONTARLI IN TERMINI DI EFFICIENZA.

MA IL RENDIMENTO DI PRIMO PRINCIPIO È UTILE AL FINE DI CONFRONTARE DUE IMPIANTI SOLO SE QUESTI UTILIZZANO E PRODUCONO LE STESSA FORME DI ENERGIA.

RENDIMENTO DI SECONDO PRINCIPIO

SI DEFINISCE *RENDIMENTO DI SECONDO PRINCIPIO* IL RAPPORTO TRA IL RISULTATO UTILE EFFETTIVAMENTE OTTENUTO E QUELLO CHE SI SAREBBE OTTENUTO SE IL PROCESSO FOSSE STATO REVERSIBILE.

$$\eta_{II} = \frac{\text{RISULTATO_UTILE}}{\text{RISULTATO_UTILE_PROCESSO_REVERSIBILE}}$$

RENDIMENTO DI SECONDO PRINCIPIO PER UN IMPIANTO COGENERATIVO

$$\eta_{II} = \frac{P_{el} + \eta_{cc} P_{th}}{P_{ch}}$$

- DOVE η_{cc} è IL RENDIMENTO DI CARNOT

RENDIMENTO DI SECONDO PRINCIPIO

η_{cc} È IL RENDIMENTO DI UN CICLO DI CARNOT REALIZZATO TRA UNA SORGENTE A TEMPERATURA PARI ALLA TEMPERATURA DI INVIO DEL CALORE ALL'UTENZA, CHE PER SEMPLICITÀ CONSIDEREREMO COSTANTE, E PARI A T_h , ED UNA GENERICA TEMPERATURA DI RIFERIMENTO T_0 , PARI SOLITAMENTE A 25°C O A 0°C.

$$\eta_{cc} = 1 - \frac{T_0}{T_h}$$

IL PRODOTTO $\eta_{cc} \times P_{th}$ È PARI ALLA MASSIMA POTENZA MECCANICA OTTENIBILE FORNENDO LA POTENZA TERMICA P_{th} IN INPUT AD UN CICLO DI CARNOT, OPERANTE TRA LE TEMPERATURE T_h E T_0 .

PER ESEMPIO, TRA DUE IMPIANTI CON PARI *RENDIMENTO DI PRIMO PRINCIPIO*, IL CALCOLO DEL RENDIMENTO DI SECONDO PRINCIPIO PREMIA QUELLO CHE PRODUCE PIÙ ELETTRICITÀ. D'ALTROCANTO ANCHE SUL PIANO ECONOMICO È FONDAMENTALE TENER CONTO DEL DIVERSO VALORE "MONETARIO" (EURO/MJ) DELL'ENERGIA ELETTRICA RISPETTO AL CALORE.

INDICE DI RISPARMIO ENERGETICO

NE IL RENDIMENTO DI PRIMO PRINCIPIO NE IL RENDIMENTO DI SECONDO PRINCIPIO CI FORNISCONO INFORMAZIONE ALCUNA SULLA CONVENIENZA DI REALIZZARE UN IMPIANTO COGENERATIVO, CHE GENERI UNA POTENZA ELETTRICA P_{el} ED UNA POTENZA TERMICA P_{th} , RISPETTO ALLA POSSIBILITÀ DI UTILIZZARE DUE DISTINTI IMPIANTI, UNO ELETTRICO, PER GENERARE LA MEDESIMA POTENZA ELETTRICA ED UNO TERMICO, PER GENERARE LA MEDESIMA POTENZA TERMICA.

IL VANTAGGIO DERIVANTE DALLA COGENERAZIONE IN TERMINI DI RISPARMIO ENERGETICO, CIOÈ MINOR COMBUSTIBILE UTILIZZATO A PARITÀ DI POTENZA ELETTRICA E TERMICA GENERATA, RISPETTO ALLA REALIZZAZIONE DI DUE DISTINTI IMPIANTI, UNO ELETTRICO ED UNO TERMICO, SI EVINCE ATTRAVERSO IL CALCOLO DELL'INDICE DI RISPARMIO ENERGETICO, IRE.

INDICE DI RISPARMIO ENERGETICO

SI DEFINISCE INDICE DI RISPARMIO ENERGETICO, IRE, IL RAPPORTO TRA IL RISPARMIO DI ENERGIA PRIMARIA CONSEGUITO DALLA SEZIONE DI COGENERAZIONE, RISPETTO ALLA PRODUZIONE SEPARATA DELLA STESSA QUANTITÀ DI ENERGIA ELETTRICA E TERMICA, E L'ENERGIA PRIMARIA RICHIESTA DALLA PRODUZIONE SEPARATA.

$$IRE = 1 - \frac{E_c}{\frac{E_e}{\eta_{es} \times P} + \frac{E_{t,civ}}{\eta_{ts,civ}} + \frac{E_{t,ind}}{\eta_{ts,ind}}}$$

- E_c È L'ENERGIA PRIMARIA DEI COMBUSTIBILI UTILIZZATI DALL'IMPIANTO COGENERATIVO NEL CORSO DELL'ANNO SOLARE;
- E_e È LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA NETTA DELL'IMPIANTO COGENERATIVO, ED È PARI ALLA QUANTITÀ DI ENERGIA ELETTRICA LORDA PRODotta NELL'ANNO SOLARE, DIMINUITA DELL'ENERGIA ELETTRICA DESTINATA AI SERVIZI AUSILIARI;
- E_t È LA PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA UTILE DELL'IMPIANTO COGENERATIVO ED È DEFINITA COME LA QUANTITÀ DI ENERGIA TERMICA UTILE PRODotta NELL'ANNO SOLARE E UTILMENTE UTILIZZATA A SCOPI CIVILI O INDUSTRIALI.

INDICE DI RISPARMIO ENERGETICO

• P È UN COEFFICIENTE CHE RAPPRESENTA LE MINORI PERDITE DI TRASPORTO E DI TRASFORMAZIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA CHE GLI IMPIANTI COGENERATIVI COMPORTANO QUANDO AUTOCONSUMANO L'ENERGIA ELETTRICA AUTOPRODOTTA, EVITANDO LE PERDITE ASSOCIATE AL TRASPORTO DI ENERGIA ELETTRICA FINO AL LIVELLO DI TENSIONE CUI GLI IMPIANTI STESSI SONO ALLACCIATI O QUANDO IMMETTONO ENERGIA ELETTRICA NELLE RETI DI BASSA O MEDIA TENSIONE, EVITANDO LE PERDITE SULLE RETI, RISPETTIVAMENTE, DI MEDIA E ALTA TENSIONE.

$$p = \frac{p_{immessa} \times Ee_{immessa} + p_{autocons.} \times Ee_{autocons.}}{Ee_{immessa} + Ee_{autocons.}}$$

Livello di tensione cui é allacciata la sezione	$p_{immessa}$	$p_{autocons}$
BT (bassa tensione)	1-4,3 / 100	1-6,5 / 100
MT (media tensione)	1-2,8 / 100	1-4,3 / 100
AT/AAT (alta e altissima tensione)	1	1-2,8 / 100

LIMITE TERMICO

SI DEFINISCE LIMITE TERMICO, LT , IL RAPPORTO TRA L'ENERGIA TERMICA UTILE ANNUALMENTE PRODOTTA, E_t , E L'EFFETTO UTILE COMPLESSIVAMENTE GENERATO SU BASE ANNUA DALL'IMPIANTO COGENERATIVO.

$$LT = \frac{E_t}{E_e + E_t}$$

CONDIZIONI PER IL RICONOSCIMENTO DELLA COGENERAZIONE

SI DEFINISCE COGENERAZIONE UN SISTEMA INTEGRATO DI PRODUZIONE COMBINATA DI ENERGIA ELETTRICA O MECCANICA E DI ENERGIA TERMICA CHE, A PARTIRE DA UNA QUALSIVOGLIA COMBINAZIONE DI FONTI PRIMARIE DI ENERGIA E CON RIFERIMENTO A CIASCUN ANNO SOLARE, SODDISFI ENTRAMBE LE CONDIZIONI CONCERNENTI IL RISPARMIO DI ENERGIA PRIMARIA E IL LIMITE TERMICO QUI DI SEGUITO RIPORTATE.

AI FINI DEL RICONOSCIMENTO DELLA COGENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA E CALORE L'INDICE DI RISPARMIO ENERGETICO, IRE, NON DEVE ESSERE INFERIORE AD UN CERTO VALORE MINIMO, CHE INDICHEREMO CON IRE_{MIN} , CHE, FINO AL 31 DICEMBRE 2005, VIENE FISSATO PARI A:

- 0,050 PER LE SEZIONI ESISTENTI;
- 0,080 PER I RIFACIMENTI DI SEZIONE;
- 0,10 PER LE SEZIONI DI NUOVA REALIZZAZIONE;

CONDIZIONI PER IL RICONOSCIMENTO DELLA COGENERAZIONE

NEL CALCOLO DELL'IRE È
NECESSARIO CONOSCERE
IL RENDIMENTO
ELETTRICO MEDIO
ANNUO, I CUI VALORI
SONO RIPORTATI IN
TABELLA:

Taglia di riferimento, in MWe, ai fini della determinazione del parametro η_{es}	Gas naturale, G.P.L., G.N.L., gasolio	Olio combustibile, nafta	Combustibili solidi fossili, coke di petrolio, orimulsion	Rifiuti solidi organici, inorganici e biomasse
< 0 = a 1 Mwe	0,38	0,35	0,33	0,23
> 1 - < 0 = a 10 MWe....	0,40	0,36	0,34	0,25
> 10 - < 0 = a 25 MWe....	0,43	0,38	0,36	0,27
> 25 - < 0 = a 50 MWe....	0,46	0,39	0,37	0,27
> 50 - < 0 = a 100 MWe....	0,49	0,39	0,37	0,27
> 100 - < 0 = a 200 MWe....	0,51	0,39	0,37	0,27
> 200 - < 0 = a 300 MWe....	0,53	0,39	0,37	0,27
> 300 - < 0 = a 500 MWe....	0,55	0,41	0,39	0,27
> 500 MWe....	0,55	0,43	0,41	0,27

CONDIZIONI PER IL RICONOSCIMENTO DELLA COGENERAZIONE

NEL CASO DI SEZIONI DI PRODUZIONE COMBINATA DI ENERGIA ELETTRICA E CALORE CHE UTILIZZINO N COMBUSTIBILI, IL VALORE DEL RENDIMENTO ELETTRICO MEDIO ANNUO È PARI A:

$$\eta_{es} = \frac{\eta_{es,C1} \times E_{c,C1} + \eta_{es,C2} \times E_{c,C2} + \dots + \eta_{es,CN} \times E_{c,CN}}{E_{c,C1} + E_{c,C2} + \dots + E_{c,CN}}$$

DOVE:

- C_i È IL COMBUSTIBILE $C_{i-ESIMO}$;
- $E_{c,Ci}$ È L'ENERGIA PRIMARIA DEL COMBUSTIBILE $C_{i-ESIMO}$ ANNUALMENTE IMMESSO NELLA SEZIONE;

CONDIZIONI PER IL RICONOSCIMENTO DELLA COGENERAZIONE

IL RENDIMENTO TERMICO NETTO MEDIO ANNUO È PARI A:

- 0,8 PER UTENZE CIVILI ($\eta_{th,civ}$)
- 0,9 PER UTENZE INDUSTRIALI ($\eta_{th,ind}$)

CONDIZIONI SUL LIMITE TERMICO (LT):

IL LIMITE TERMICO, LT, NON DEVE ESSERE INFERIORE AL VALORE MINIMO LT_{MIN} CHE, FINO AL 31 DICEMBRE 2005, VIENE FISSATO PARI A 0,150. NEL CASO DI SEZIONI DI NUOVA REALIZZAZIONE CHE SODDISFINO LA CONDIZIONE DI IRE_{MIN} MA NON SODDISFANO LA CONDIZIONE PER IL LIMITE TERMICO LT È AMMESSA L'ESENZIONE DAL PREDETTO OBBLIGO PER LA QUOTA DI ENERGIA ELETTRICA CHE SODDISFA IL LIMITE TERMICO DI 0,150.

CLASSIFICAZIONE DEGLI IMPIANTI COGENERATIVI

GLI IMPIANTI COGENERATIVI POSSONO ESSERE SUDDIVISI IN TRE MACROFAMIGLIE:

1. IMPIANTI CON TURBINA A VAPORE

- **IMPIANTI A VAPORE CON TURBINA A CONTROPRESSIONE;**
- **IMPIANTI A VAPORE CON TURBINA A CONTROPRESSIONE E
CONDENSAZIONE.**

2. IMPIANTI CON TURBINA A GAS

- **IMPIANTI COMBINATI A RECUPERO SEMPLICE;**
- **IMPIANTI COMBINATI CON TURBINA A VAPORE A CONTROPRESSIONE;**
- **IMPIANTI COMBINATI CON TURBINA A VAPORE A CONDENSAZIONE;**
- **IMPIANTI COMBINATI CON TURBINA A VAPORE E INIEZIONE DI VAPORE.**

3. IMPIANTI CON MOTORI DIESEL O A CICLO OTTO

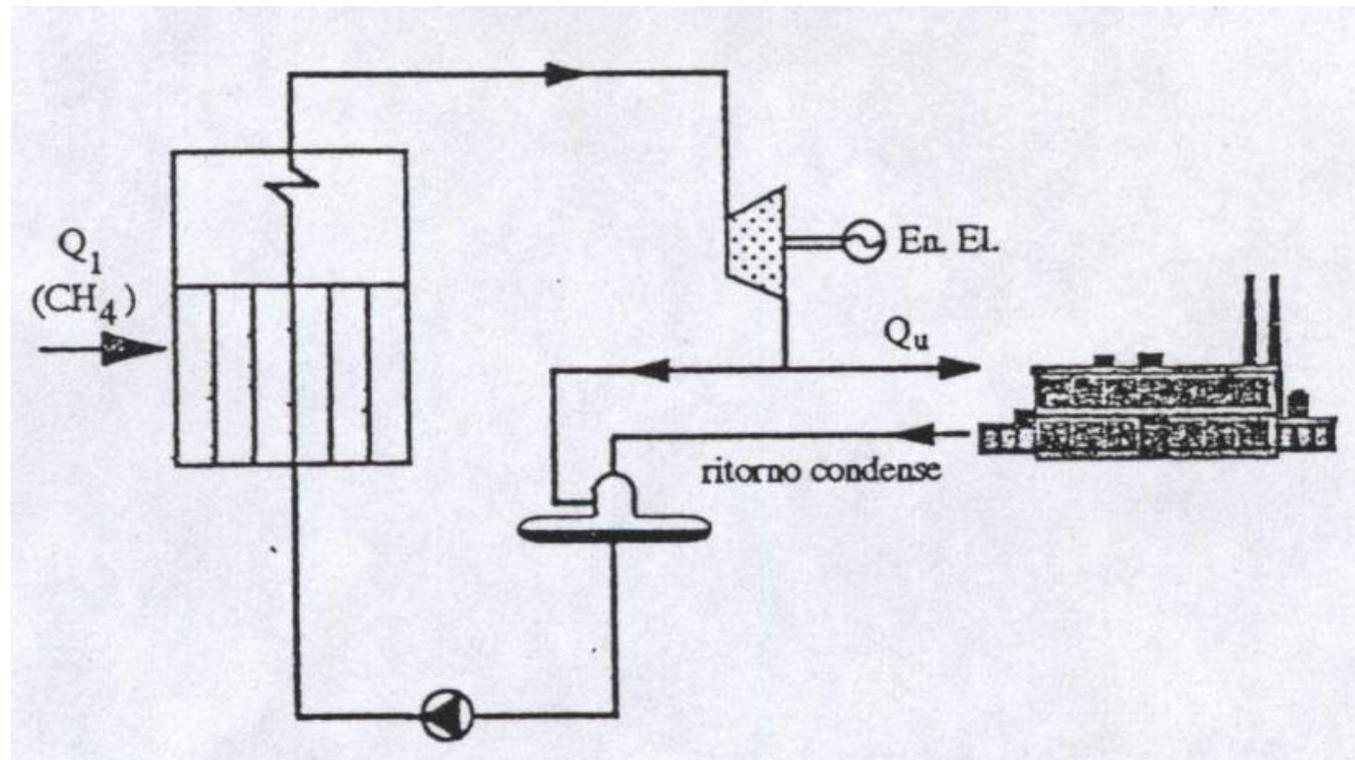
IMPIANTI CON TURBINA A VAPORE

a. IMPIANTI A VAPORE CON TURBINA A CONTROPRESSIONE

SCHEMA D'IMPIANTO

TIPICO DEI SETTORI:

- CARTACEO
- CHIMICO
- PETROLCHIMICO



IMPIANTI CON TURBINA A VAPORE

CICLO RANKIN

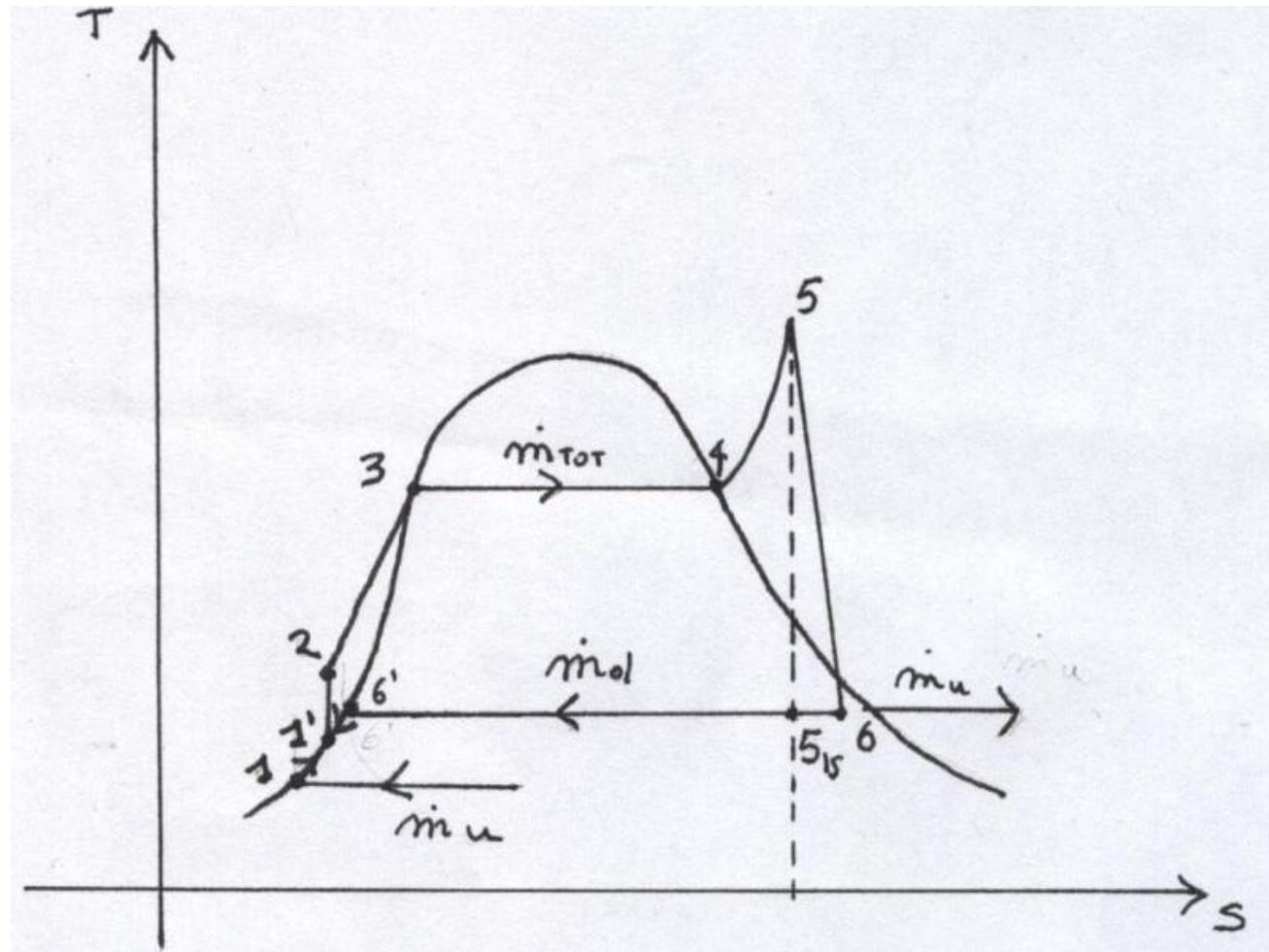
- PUNTO 5

$40 < P < 90 \text{ bar}$

$400 < T < 500 \text{ }^\circ\text{C}$

- PUNTO 6

$3 < P < 10 \text{ bar}$

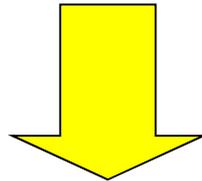


IMPIANTI CON TURBINA A VAPORE

CONSUMI SPECIFICI ESTREMAMENTE BASSI:

$$1.1 < C_{sp} < 1.5$$

IN QUANTO L'UNICA PERDITA DI ENERGIA È COSTITUITA DAL CALORE DEI FUMI DI COMBUSTIONE AL CAMINO.



COSTO DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA È MOLTO BASSO, NELL'ORDINE DEI

$$0,0139 \div 0,0149 \text{ euro/kWh.}$$

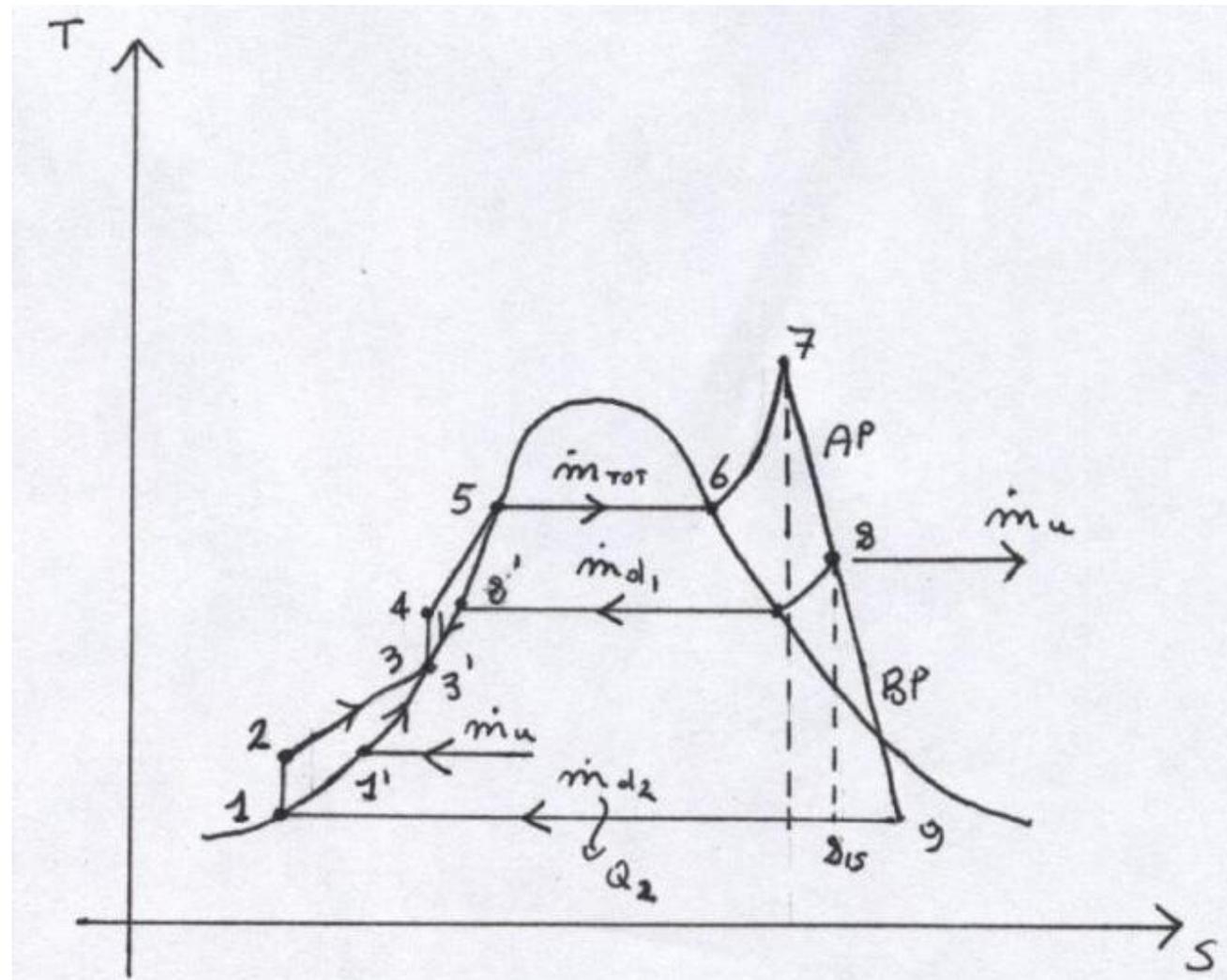
INOLTRE GLI IMPIANTI A VAPORE CON TURBINA A CONTROPRESSIONE PRESENTANO COSTI D'INVESTIMENTO NON ELEVATI, CON UN TEMPO DI RITORNO DELL'INVESTIMENTO DI 2-3 ANNI.

IMPIANTI CON TURBINA A VAPORE

CICLO RANKIN

• PUNTO 8

$$3 < P < 10 \text{ bar}$$



IMPIANTI CON TURBINA A VAPORE

CONFRONTO TRA I DUE SCHEMI D'IMPIANTO

VANTAGGI DELL'IMPIANTO A VAPORE CON CONDENSAZIONE:

- **MAGGIORE POTENZA ELETTRICA GENERATA A PARITÀ DI POTENZA TERMICA FORNITA ALL'UTENZA**

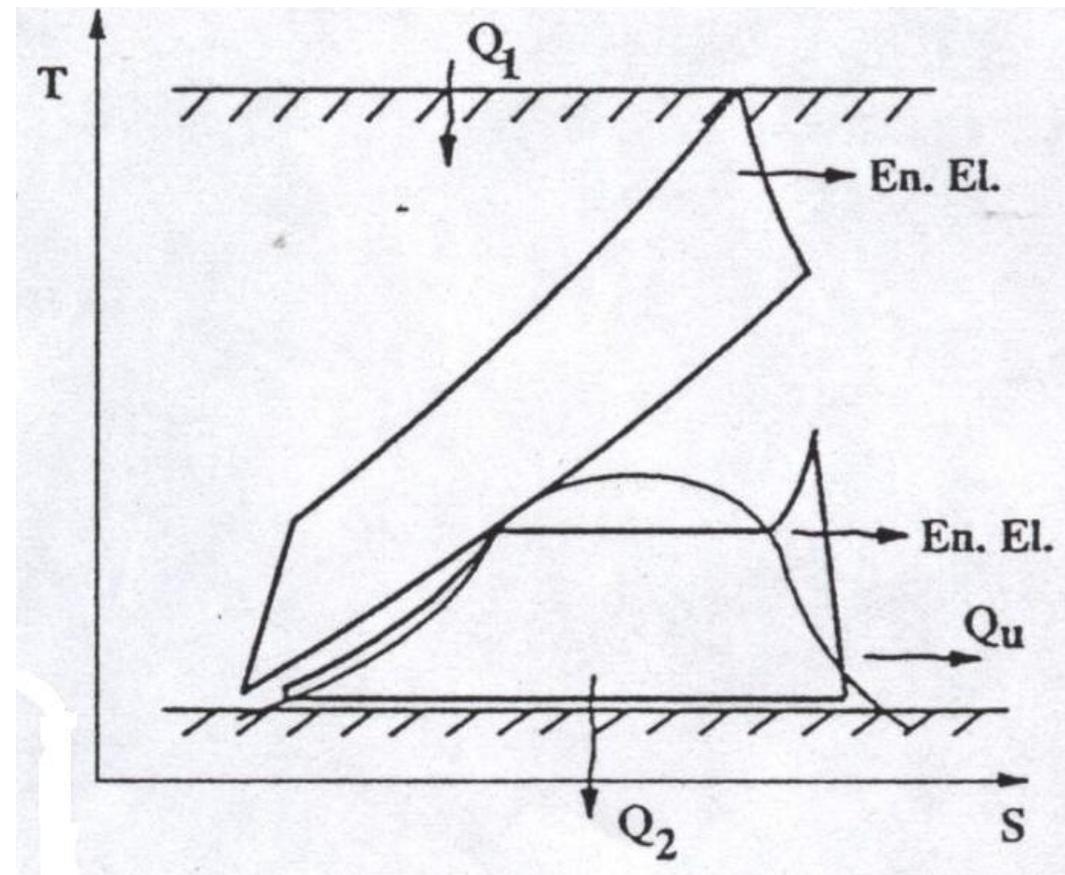
SVANTAGGI DELL'IMPIANTO A VAPORE CON CONDENSAZIONE:

- **MAGGIORI COSTI D'IMPIANTO**
- **MAGGIORI CONSUMI SPECIFICI (CAUSA PERDITA DEL CALORE DI CONDENSAZIONE)**

IMPIANTI CON TURBINA A GAS

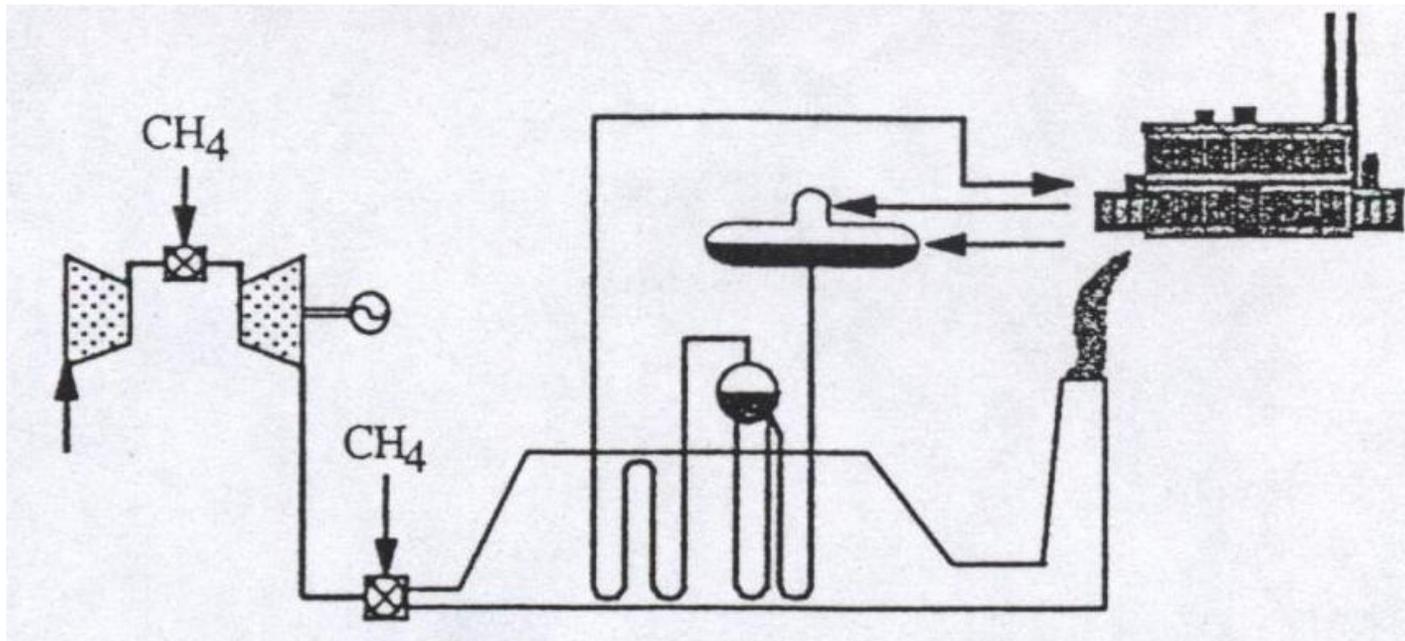
CICLO A GAS

- COMPRESSIONE ARIA A $12 \div 30$ bar
- TEMPERATURA CAMERA DI COMBUSTIONE $1100 \div 1300^{\circ}\text{C}$
- TEMPERATURA GAS USCITA TURBINA $470 \div 500^{\circ}\text{C}$



IMPIANTI CON TURBINA A GAS

a. IMPIANTO COMBINATO A RECUPERO SEMPLICE

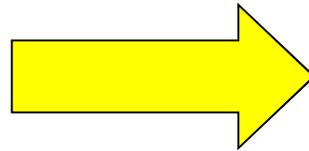


- TUTTA LA POTENZA ELETTRICA È GENERATA DAL LATO GAS
- IL LATO A VAPORE GENERA ESATTAMENTE IL VAPORE RICHIESTO DALL'UTENZA
- LA COMBUSTIONE AVVIENE IN ECCESSO D'ARIA

IMPIANTI CON TURBINA A GAS

PERCHÉ LA POST-COMBUSTIONE

COMBUSTIONE IN CONDIZIONI
STECIOMETRICHE

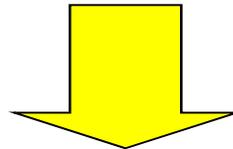


MAX TEMPERATURA DEI
PRODOTTI DI COMBUSTIONE

ESEMPIO:



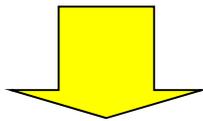
I LIMITI DI RESISTENZA TERMICA DELLE PALETTE (LIMITI TERMICI DEI
MATERIALI + SOLLECITAZIONI MECCANICHE)



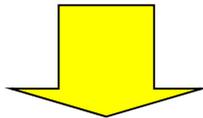
LIMITE ALLA TEMPERATURA MAX A CUI SI PUÒ PORTARE I GAS COMBUSTI
(ECESSO D'ARIA)

IMPIANTI CON TURBINA A GAS

**MISCELA RICCA (ECESSO
DI COMBUSTIBILE)**

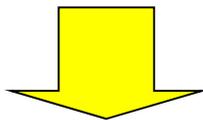


**OSSIDAZIONE INCOMPLETA
DEL COMBUSTIBILE**



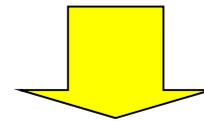
**INCOMBUSTI E OSSIDO DI
CARBONIO**

CH_4 CO CO_2 H_2O

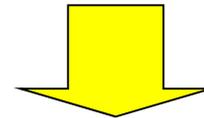


MINORE T

**MISCELA MAGRA (ECESSO
D'ARIA)**



**PRESENZA DI UNA MAGGIORE
QUANTITÀ DI INERTI (O_2 ED N_2)**

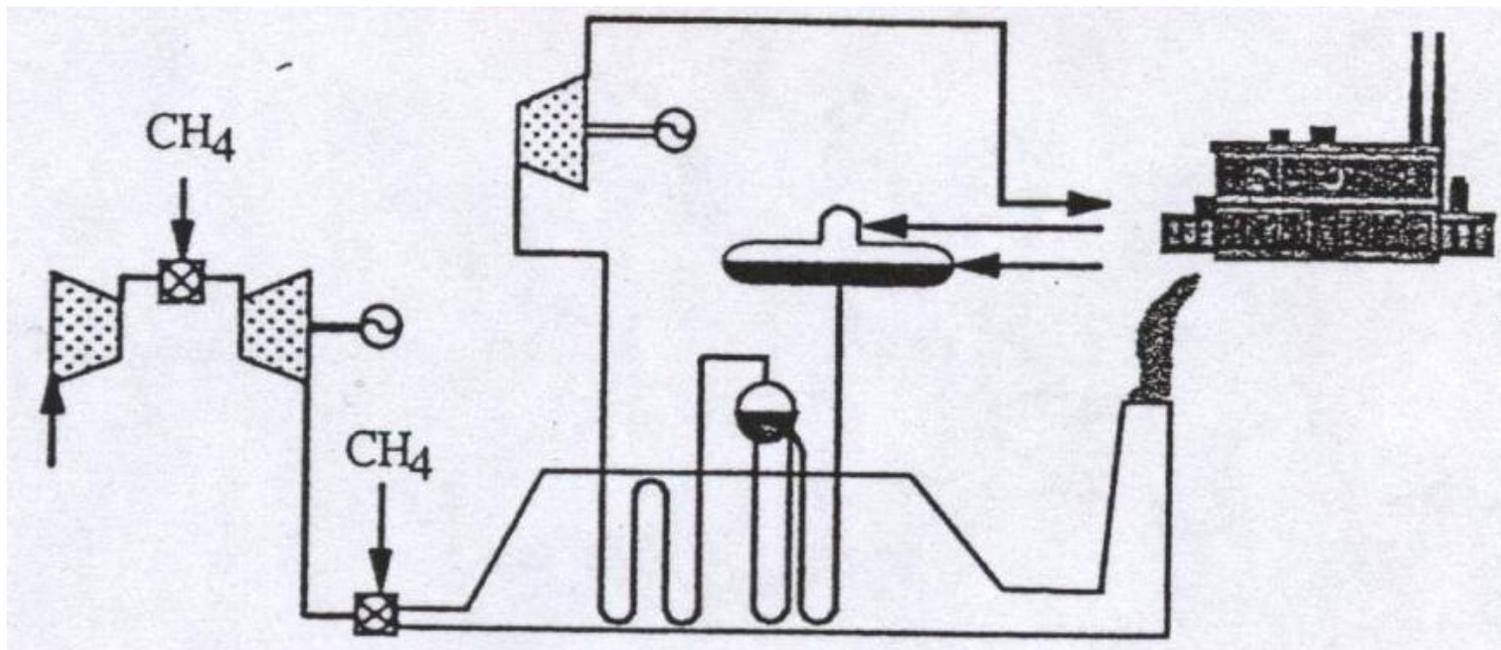


MINORE T

**I GAS IN USCITA DALLA TURBINA
CONTENGONO OSSIGENO UTILIZZABILE PER
BRUCIARE ULTERIORE COMBUSTIBILE IN UN
POSTCOMBUSTORE PERMETTENDO DI
RIALZARE LA T AL FINE DI GENERARE UNA
MAGGIORE PORTATA DI VAPORE TRAMITE LA
CALDAIA A RECUPERO.**

IMPIANTI CON TURBINA A GAS

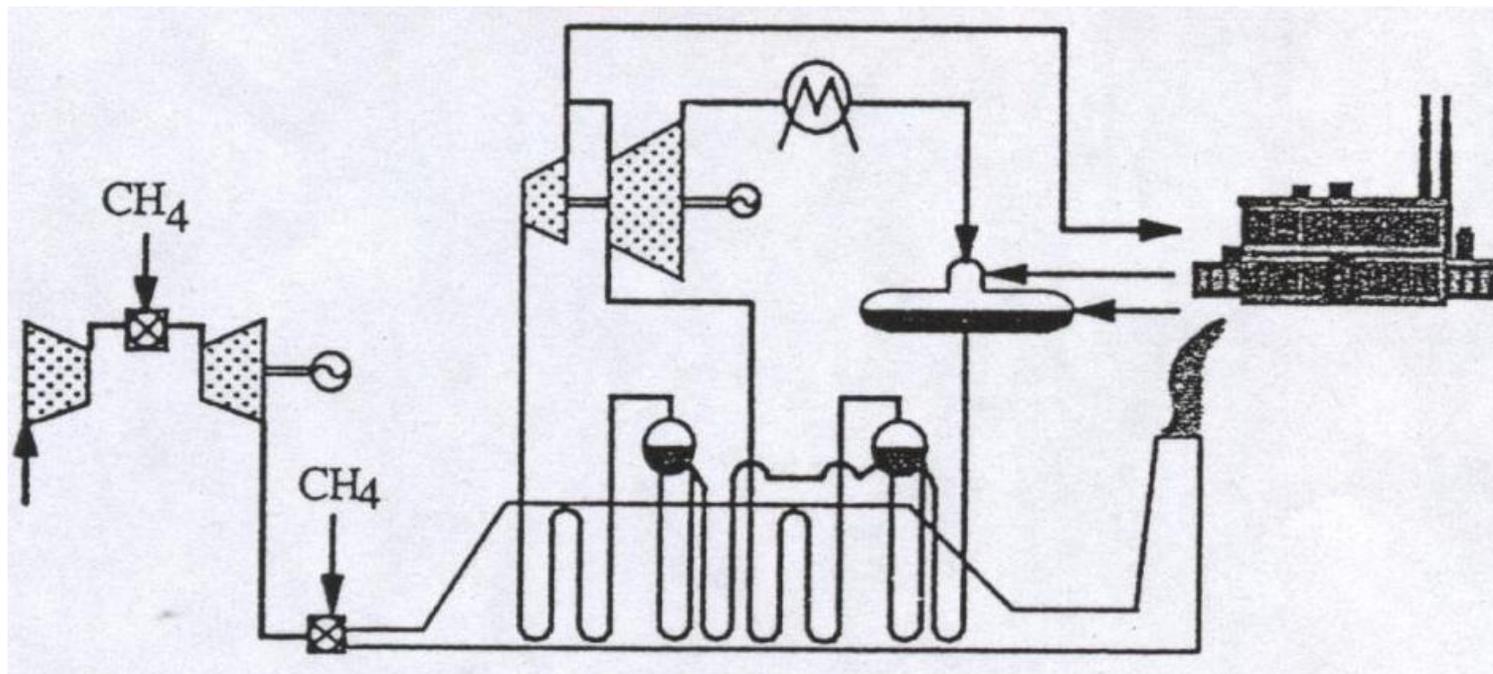
b. IMPIANTO COMBINATO CON TURBINA A VAPORE A CONTROPRESSIONE



- LA POTENZA ELETTRICA È GENERATA SIA DAL LATO GAS CHE DAL LATO VAPORE
- IL VAPORE VIENE GENERATO A $40 < P < 70 \text{ bar}$ $450 < T < 500^\circ\text{C}$

IMPIANTI CON TURBINA A GAS

c. IMPIANTO COMBINATO CON TURBINA A VAPORE A CONDENSAZIONE

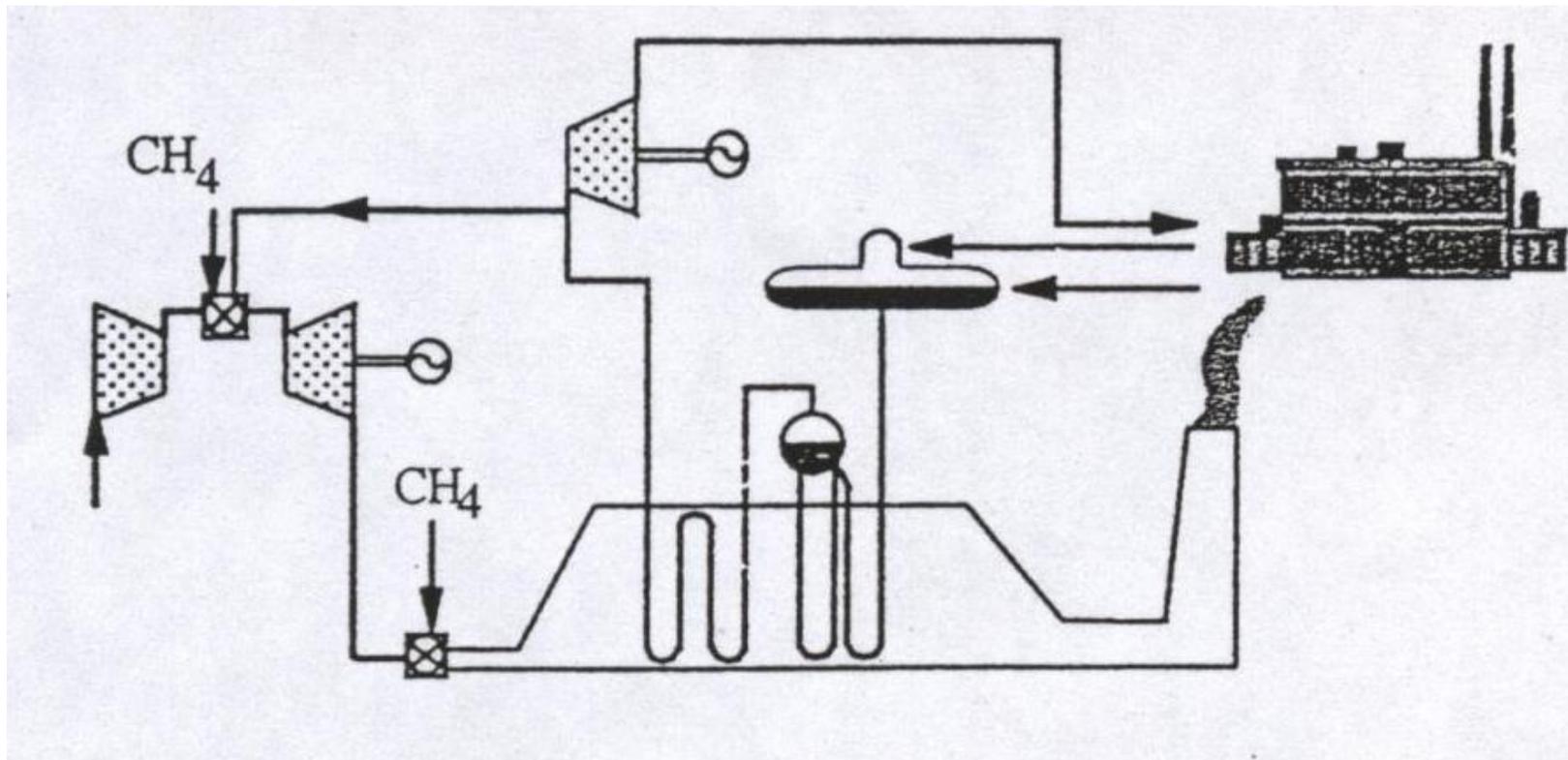


PERMETTE DI OPERARE CON UNA PORTATA DI VAPORE MAGGIORE DI QUELLA RICHIESTA DALL'UTENZA, L'ECESSO DI VAPORE È INVIATO AD UNA TURBINA DI BASSA PRESSIONE.

SI HANNO DUE TURBINE, A VALLE DELLE QUALI SI TROVA UN CONDENSATORE, SOLITAMENTE COLLEGATO AD UNA TORRE DI RAFFREDDAMENTO.

IMPIANTI CON TURBINA A GAS

d. IMPIANTO COMBINATO CON INIEZIONE DI VAPORE

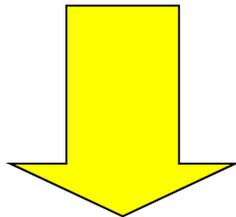


IMPIANTI CON MOTORI

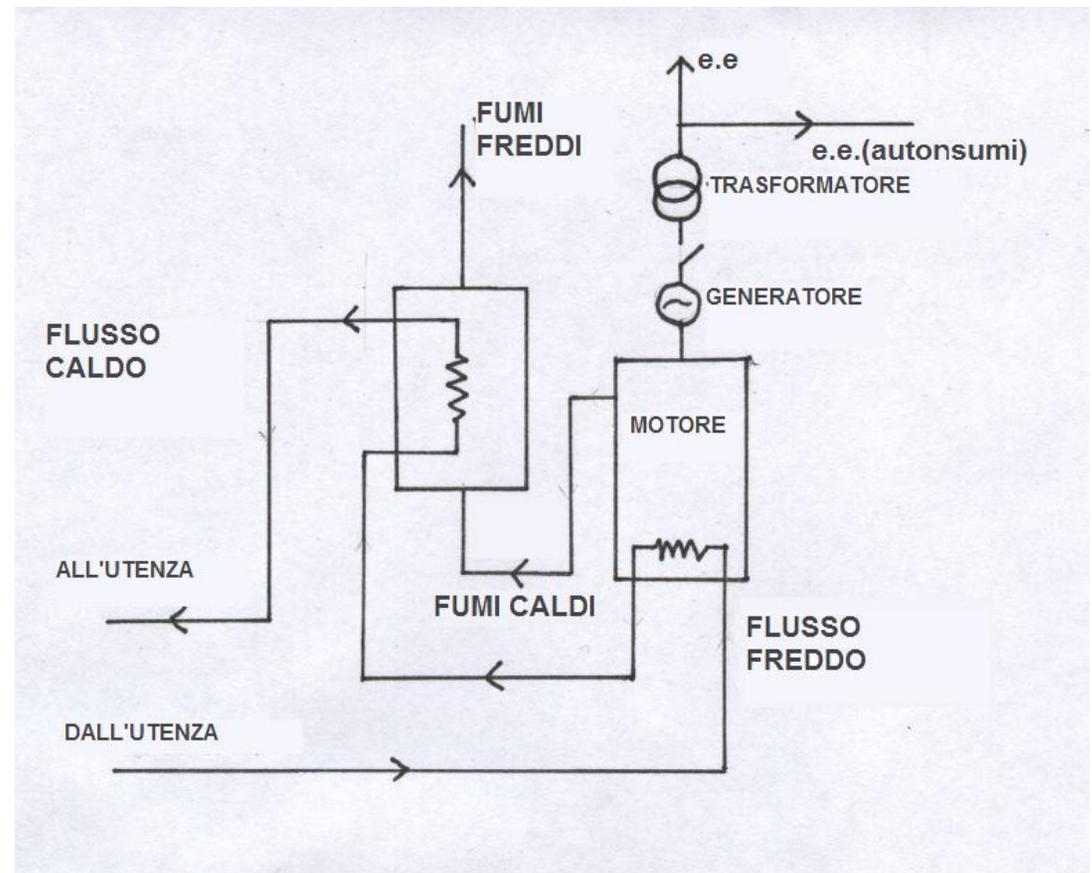
a. MOTORI DIESEL

E' POSSIBILE RECUPERARE CALORE:

- DAI GAS DI SCARICO ($400 < T < 420 \text{ } ^\circ\text{C}$);
- DALL'ACQUA DEL CIRCUITO DI RAFFREDDAMENTO ($T \sim 90 \text{ } ^\circ\text{C}$);



IMPIANTI COMBINATI DI PICCOLA TAGLIA



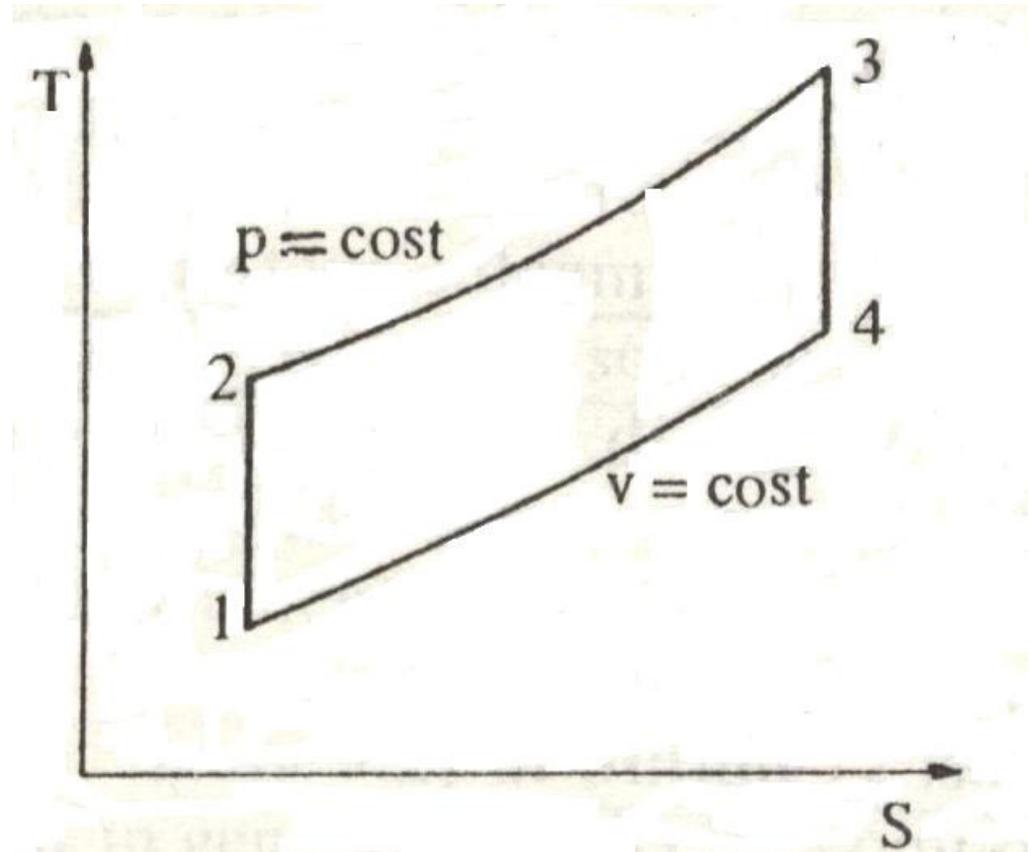
IMPIANTI CON MOTORI

IL CICLO DIESEL

IL CICLO DIESEL E' CARATTERIZZATO DA 4 FASI:

1. COMPRESSIONE ADIABATICA ($Q=0$)
2. COMBUSTIONE L'UNGO UNA ISOBARA ($P=cost.$)
3. ESPANSIONE ADIABATICA ($Q=0$)
4. SCARICO LUNGO UN' ISOCORA ($V=cost.$)

$T_3 \sim 1500^\circ\text{C}$



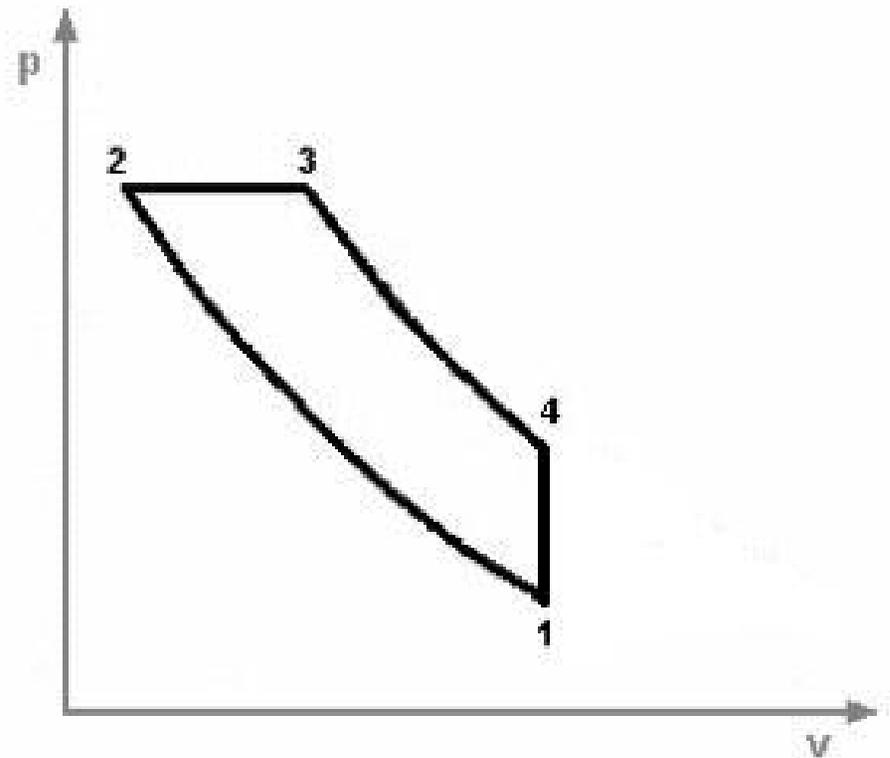
IMPIANTI CON MOTORI

IL CICLO DIESEL

IL CICLO DIESEL E' CARATTERIZZATO DA 4 FASI:

1. COMPRESSIONE ADIABATICA ($Q=0$)
2. COMBUSTIONE L'UNGO UNA ISOBARA ($P=\text{cost.}$)
3. ESPANSIONE ADIABATICA ($Q=0$)
4. SCARICO LUNGO UN' ISOCORA ($V=\text{cost.}$)

$T_3 \sim 1500^\circ\text{C}$



IMPIANTI CON MOTORI

NOTE SUL FUNZIONAMENTO DEI MOTORI DIESEL

DUE TIPI DI MOTORI DIESEL:

- A DUE TEMPI (CICLO COMPLETATO IN DUE CORSE DELLO STANTUFFO)

- PRIMO TEMPO: ESPANSIONE E LAVAGGIO CON ARIA;

- SECONDO TEMPO: COMPRESSIONE INIEZIONE E ACCENSIONE;

- A QUATTRO TEMPI (CICLO COMPLETATO IN QUATTRO CORSE DELLO STANTUFFO)

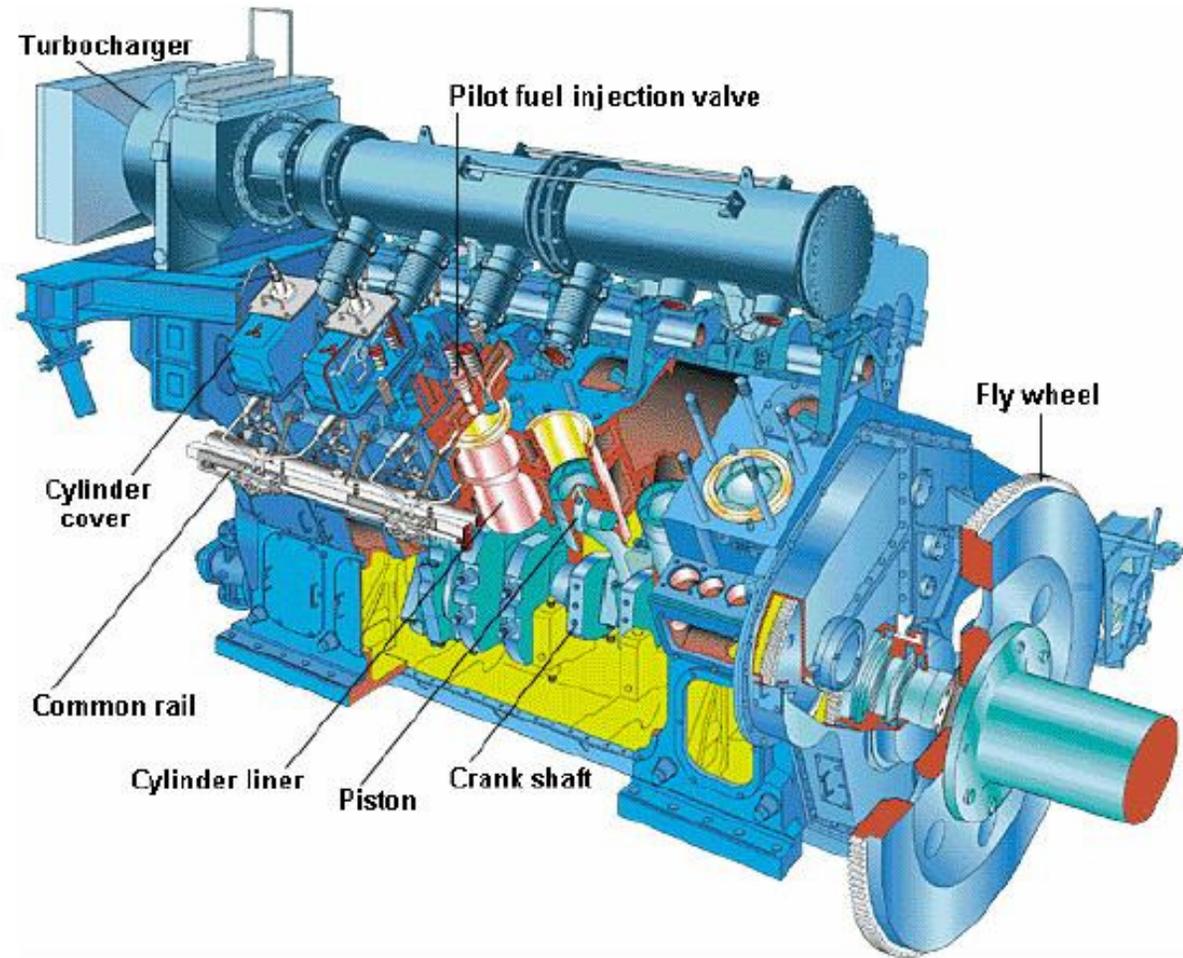
IL RAFFREDDAMENTO È EFFETTUATO TRAMITE UN CICLO CHIUSO, CON IL LIQUIDO DI RAFFREDDAMENTO A SUA VOLTA RAFFREDDATO:

- O CON ACQUA PRELEVATA DA UN FIUME
- O TRAMITE TORRI DI RAFFREDDAMENTO

SI HANNO RENDIMENTI DI GENERAZIONE ELETTRICA ATTORNO AL 42%.

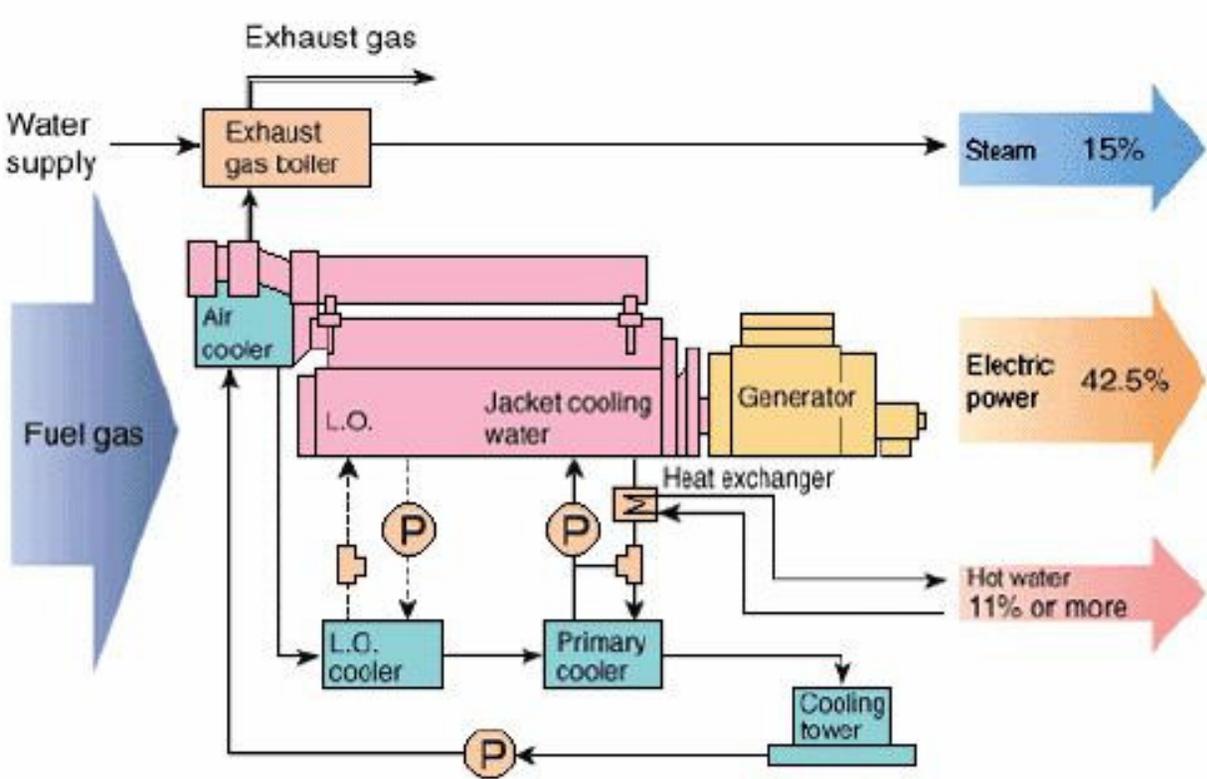
IMPIANTI CON MOTORI

SCHEMA DI UN
MOTORE DIESEL



IMPIANTI CON MOTORI

FLUSSI DI UN MOTORE DIESEL



IMPIANTI CON MOTORI

a. MOTORI A CICLO OTTO

VENGONO UTILIZZATI MOTORI A GAS NATURALE CON SOVRALIMENTATORE E FUNZIONANTI IN ECCESSO D'ARIA, PARI AL DOPPIO DEL RAPPORTO STECHIOMETRICO. SUL MERCATO SONO DISPONIBILI DUE CLASSI DI MOTORI:

- POTENZA DI 500-1000 kW, FUNZIONANTI A 1500 GIRI/MINUTO, CON RENDIMENTO DEL 35%;

- POTENZA DI 1500-3000 kW, FUNZIONANTI A 1000 GIRI/MINUTO, CON RENDIMENTO DEL 40%.

NEL CASO DI RECUPERO SOLO DEL CALORE DEI GAS COMBUSTI SI HANNO COSTI DELL'ENERGIA DELL'ORDINE DEI 0,0217-0,0243 EURO/kWH.

NEL CASO DI RECUPERO DEL CALORE DEI GAS COMBUSTI E DEL CALORE DELL'ACQUA DEL CIRCUITO DI RAFFREDDAMENTO SI HANNO COSTI DELL'ENERGIA DELL'ORDINE DEI 0,0145-0,0207 EURO/kWH.

IMPIANTI CON MOTORI

VANTAGGI MOTORI A CICLO OTTO RISPETTO ALL'USO DI TURBOGAS

- **RENDIMENTI ELETTRICI PIÙ ELEVATI NELLE TAGLIE COMPRESSE TRA I 500-3000 kW.**
 - **RENDIMENTO MOTORE A CICLO OTTO COMPRESO TRA IL 35-40%;**
 - **RENDIMENTO TURBINA A GAS COMPRESO TRA 20-26%.**

SVANTAGGI MOTORI A CICLO OTTO RISPETTO ALL'USO DI TURBOGAS

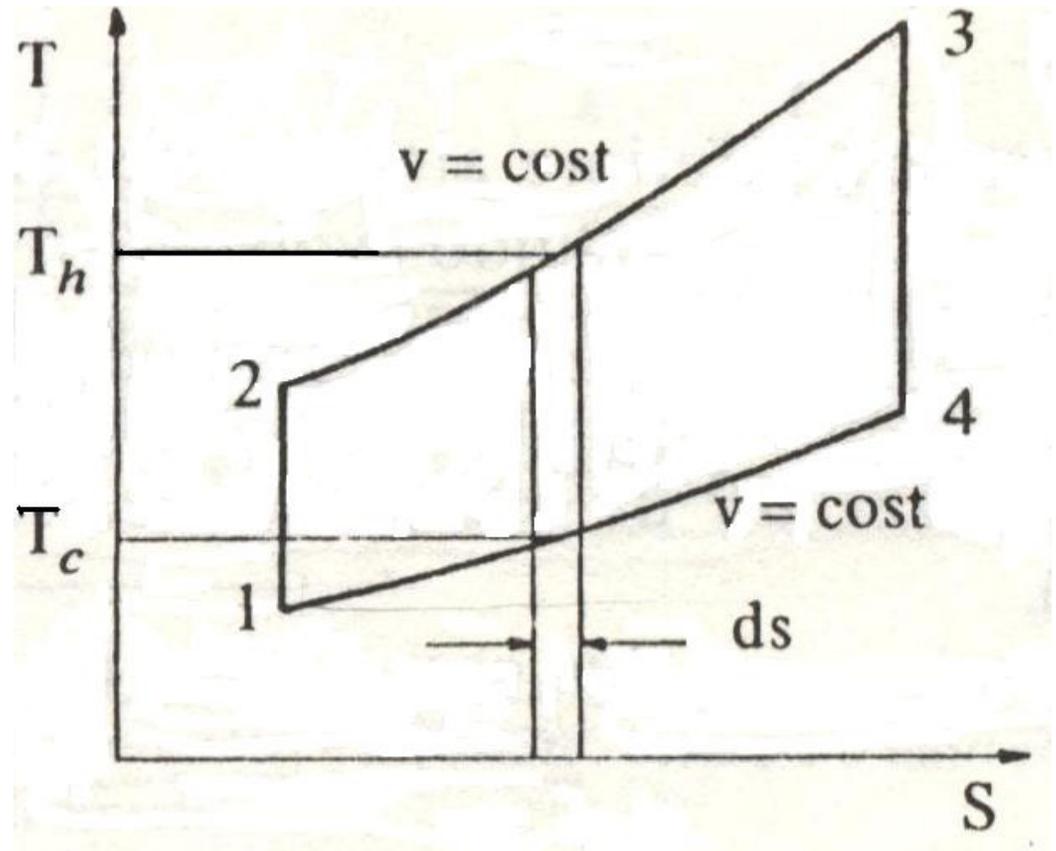
- **COSTI DI MANUTENZIONE PIÙ ELEVATI**
 - **SOSTITUZIONE ELEMENTI MECCANICI SOGGETTI AD USURA PER STRISCIAMENTO (PISTONI, FASCE, VALVOLE);**
 - **SOSTITUZIONE DELL'OLIO LUBRIFICANTE.**

IMPIANTI CON MOTORI

IL CICLO OTTO

IL CICLO OTTO E' CARATTERIZZATO DA 4 FASI:

1. COMPRESSIONE ADIABATICA ($Q=0$)
2. COMBUSTIONE L'UNGO UNA ISOCORA ($V=cost.$)
3. ESPANSIONE ADIABATICA ($Q=0$)
4. SCARICO LUNGO UN' ISOCORA ($V=cost.$)



VANTAGGI DELLA COGENERAZIONE

INCENTIVI FISCALI

AL PREZZO DI ACQUISTO DEL GAS NATURALE VANNO SOMMATE LE IMPOSTE, RIPORTATE NEL TESTO UNICO - DECRETO LEGISLATIVO 26 OTTOBRE 1995, N. 504, ALLEGATO 1 DEL TESTO DI LEGGE, CHE PER IL GAS METANO SONO PARI A:

- **0,012498 EURO PER METRO CUBO, PER IL GAS UTILIZZATO PER USI INDUSTRIALI;**
- **0,1733074 EURO PER METRO CUBO, PER IL GAS UTILIZZATO PER USI CIVILI.**

VANTAGGI DELLA COGENERAZIONE

CERTIFICATI VERDI

I CERTIFICATI VERDI (C.V.) COSTITUISCONO UNA FORMA DI INCENTIVAZIONE DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI.

LEGGE 244/07 - LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI HA DIRITTO AL C.V. PER:

- GLI IN IMPIANTI ENTRATI IN ESERCIZIO O RIPOTENZIATI A PARTIRE DAL 1° APRILE 1999 FINO AL 31 DICEMBRE 2007, IL CERTIFICATO VERDE DURA 12 ANNI.**
- GLI IN IMPIANTI ENTRATI IN ESERCIZIO DOPO IL 01 GENNAIO 2008, IL CERTIFICATO VERDE DURA 15 ANNI.**

IL D. LGS. 79/99, ART. 11 - DAL 2002, PRODUTTORI E IMPORTATORI DI ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DA FONTI NON RINNOVABILI HANNO L'OBBLIGO DI IMMETTERE OGNI ANNO IN RETE UNA QUOTA DI ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA DA IMPIANTI ALIMENTATI DA FONTI RINNOVABILI. TALE QUOTA È PARI AL 2% DELL'ENERGIA ELETTRICA PRODOTTA O IMPORTATA DA FONTE NON RINNOVABILE NELL'ANNO PRECEDENTE, ECCEDENTE I 100 GWh/ANNO.

VANTAGGI DELLA COGENERAZIONE

CERTIFICATI VERDI

L'OBBLIGO PUÒ ESSERE SODDISFATTO ANCHE ATTRAVERSO L'ACQUISTO DI CV RELATIVI ALLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTI RINNOVABILI EFFETTUATA DA ALTRI SOGGETTI.

GME ORGANIZZA E GESTISCE IL MERCATO DEI CV.

VALORE ATTUALE C.V. = 100 €/MWh.

VANTAGGI DELLA COGENERAZIONE

CERTIFICATI BIANCHI O TITOLI EFFICIENZA ENERGETICA

I TITOLI DI EFFICIENZA ENERGETICA (TEE) SONO ISTITUITI DAI DECRETI 20 LUGLIO 2004 (D.M. 20/7/2004 ELETTRICITÀ, D.M. 20/7/2004 GAS) SUCCESSIVAMENTE MODIFICATI ED INTEGRATI CON IL D.M. 21/12/2007 DETERMINANTE GLI OBIETTIVI QUANTITATIVI NAZIONALI DI INCREMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA.

I TEE SONO EMESSI DAL GME A FAVORE DEI DISTRIBUTORI, DELLE SOCIETÀ CONTROLLATE DAI DISTRIBUTORI MEDESIMI E A FAVORE DI SOCIETÀ OPERANTI NEL SETTORE DEI SERVIZI ENERGETICI (ESCO) AL FINE DI CERTIFICARE LA RIDUZIONE DEI CONSUMI CONSEGUITA ATTRAVERSO INTERVENTI E PROGETTI DI INCREMENTO DI EFFICIENZA ENERGETICA.

I TEE HANNO UN VALORE PARI AD UN TEP E SI DISTINGUONO IN TRE TIPOLOGIE:

- 1) TIPO I, ATTESTANTI IL CONSEGUIMENTO DI RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA ATTRAVERSO INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI FINALI DI ENERGIA ELETTRICA;**
- 2) TIPO II, ATTESTANTI IL CONSEGUIMENTO DI RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA ATTRAVERSO INTERVENTI PER LA RIDUZIONE DEI CONSUMI DI GAS NATURALE;**
- 3) TIPO III, ATTESTANTI IL CONSEGUIMENTO DI RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA ATTRAVERSO INTERVENTI DIVERSI DA QUELLI DI CUI AI PUNTI 1 E 2.**

VANTAGGI DELLA COGENERAZIONE

CERTIFICATI BIANCHI O TITOLI EFFICIENZA ENERGETICA

I DISTRIBUTORI DI ENERGIA ELETTRICA E DI GAS NATURALE POSSONO CONSEGUIRE GLI OBIETTIVI DI INCREMENTO DI EFFICIENZA ENERGETICA SIA ATTRAVERSO LA REALIZZAZIONE DEGLI OBIETTIVI DI RISPARMIO ENERGETICO CHE ATTRAVERSO L'ACQUISTO DI TEE.

Results of the Environmental Markets					
Green Certificates (CV)					
type - <input type="text" value="Type CV"/>	2006		2007		2008
weighted average price* (€/MWh)	144,23	98,19	96,88	96,88	103,60
no. of Green Certificates traded	9.813	22.392	588.011	588.011	699.623
value of Green Cert. traded (MWh)	50	1	1	1	1
value (million €)	70,77	2,2	56,96	56,96	72,48
updated as of 14 Oct 2009					

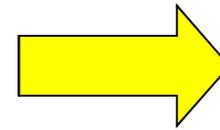
Energy Efficiency Certificates (TEE)			
sessions year 2009			
type	I	II	III
minimum price (€/toe)	74,00	72,60	72,00
maximum price (€/toe)	87,90	96,00	97,50
weighted average price (€/toe)	80,33	79,24	78,81
TEE traded	486.125	219.707	41.366
updated as of 13 Oct 2009			

COSTO DEL kWh

CONSIDERIAMO UNA CENTRALE ELETTRICA, FUNZIONANTE CON IL MEDESIMO COMBUSTIBILE DELLA CENTRALE COGENERATIVA, E GENERANTE LA MEDESIMA POTENZA ELETTRICA, P_{el} .

- η_{es} È IL RENDIMENTO ELETTRICO;
- $P_{ch,CE}$ È LA POTENZA CHIMICA NECESSARIA A GENERARE P_{el} .

$$\eta_{es} = \frac{P_{el}}{P_{ch,CE}}$$

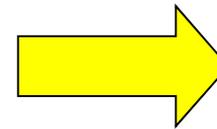


$$P_{ch,CE} = \frac{P_{el}}{\eta_{es}}$$

CONSIDERIAMO UNA CENTRALE TERMICA, FUNZIONANTE CON IL MEDESIMO COMBUSTIBILE DELLA CENTRALE COGENERATIVA, E GENERANTE LA MEDESIMA POTENZA TERMICA, P_{th} .

- η_{ts} È IL RENDIMENTO TERMICO;
- $P_{ch,C}$ È LA POTENZA CHIMICA NECESSARIA A GENERARE P_{th} .

$$\eta_{ts} = \frac{P_{th}}{P_{ch,C}}$$



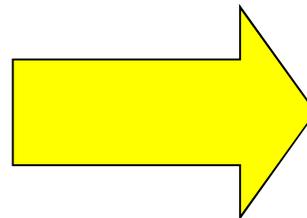
$$P_{ch,C} = \frac{P_{th}}{\eta_{ts}}$$

COSTO DEL kWh

SI DEFINISCE RENDIMENTO DI PRODUZIONE ELETTRICA, η_{pe} , IL RAPPORTO TRA LA POTENZA ELETTRICA GENERATA DALL'IMPIANTO COGENERATIVO E LA PARTE DI POTENZA LIBERATA DALLA COMBUSTIONE DEL COMBUSTIBILE CHE VIENE IMPIEGATA NELLA GENERAZIONE DI POTENZA ELETTRICA. SI TRATTA PERTANTO DI UN MODO DI MISURARE L'EFFICIENZA DELL'IMPIANTO COGENERATIVO NEL GENERARE POTENZA ELETTRICA.

$$\eta_{pe} = \frac{P_{el}}{P_{ch} - P_{ch,C}}$$

$$P_{ch,C} = \frac{P_{th}}{\eta_{ts}}$$



$$\eta_{pe} = \frac{P_{el}}{P_{ch} - \frac{P_{th}}{\eta_{ts}}}$$

COSTO DEL kWh

SI DEFINISCE CONSUMO SPECIFICO DI COMBUSTIBILE, C_{sp} , DELL'IMPIANTO COGENERATIVO:

$$C_{sp} = \frac{1}{\eta_{pe}} = \frac{P_{ch} - (P_{th}/\eta_{ts})}{P_{el}}$$

QUINDI SUPPONENDO CHE L'IMPIANTO DI COGENERAZIONE SIA ALIMENTATO CON UN COMBUSTIBILE AVENTE UN CERTO PCI, IL COSTO DEL kWh È PARI A:

$$C_{kWh} = C_{sp} \times \frac{860}{PCI} \times C_{comb.}$$

DOVE:

- $C_{comb.}$ È IL COSTO DEL COMBUSTIBILE IN euro/Nm³ O euro/kg;
- 1 kcal = (1/860) kW (PCI/860 SI USA NEL CASO IN CUI IL PCI SIA IN kcal PER PASSARE AI kWh)

COSTO DEL COMBUSTIBILE - METANO

CONTRATTI DI FORNITURA:

$$P = P_0 + a \times (I_t - I_0)$$

- P_0 , PREZZO BASE;
- I_0 , VALORE DELL'INDICE ENERGETICO ALL'ISTANTE INIZIALE (t=0);
- I_t , VALORE DELL'INDICE ENERGETICO ALL'ISTANTE t;

$$P_0 = P_{0,ind-rete} + P_{0,rete}$$

IL VALORE DI I_t VIENE RICALCOLATO OGNI TOT. MESI

$$I_t = a_1 \times \frac{(Gasolio_t)}{b_1} + a_2 \times \frac{(BTZ_t)}{b_2} + a_3 \times \frac{(Greggio_t)}{b_3}$$

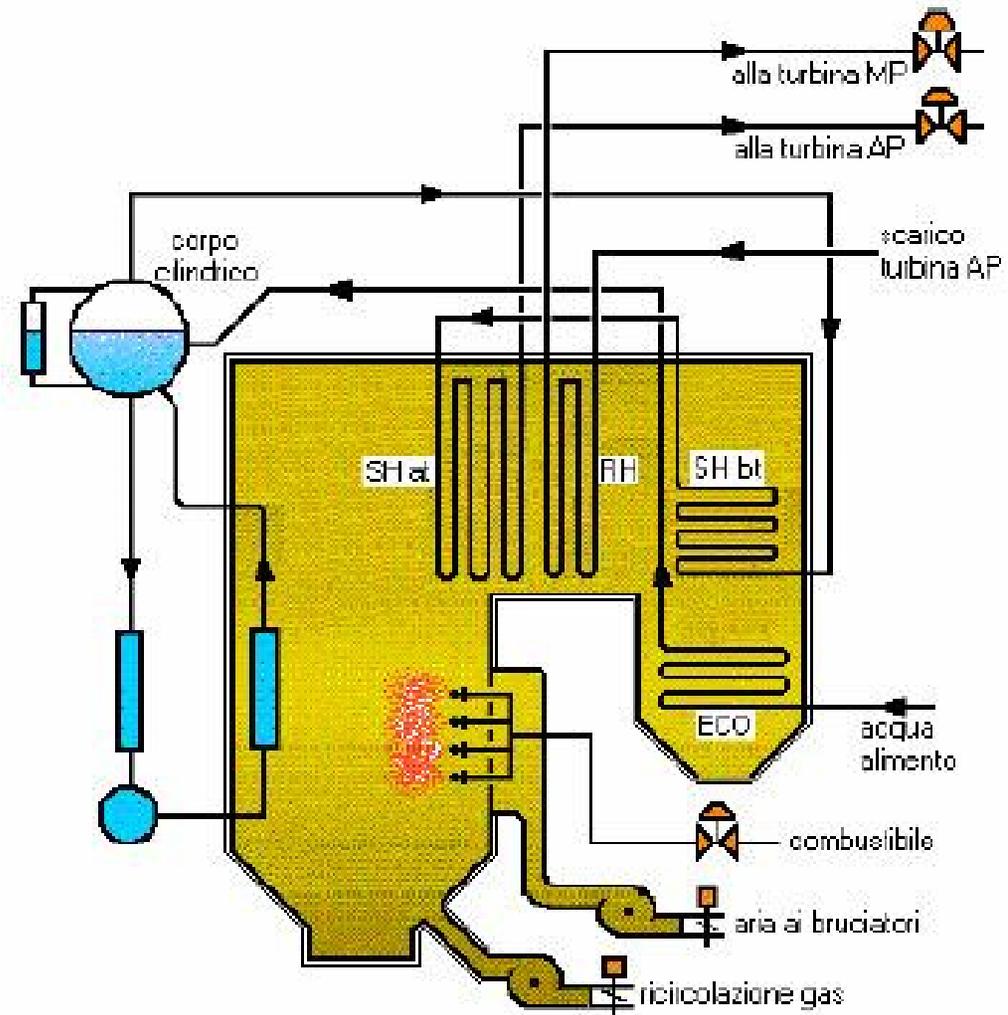
LE CALDAIE

FUNZIONI:

- TRASFORMARE ENERGIA CHIMICA IN TERMICA
- GENERARE VAPORE ALLE T E P DESIDERATE

LATO VAPORE:

- ECONOMIZZATORE (POSTO ALLO SCARICO DEI FUMI - $T \div 400^{\circ}\text{C}$)
- VAPORIZZATORE (INSTALLATO IN CAMERA DI COMBUSTIONE, DOVE LE T SONO MAGGIORI $\sim 2000^{\circ}\text{C}$)
- SURRISCALDATORE (POSTO A VALLE DELLA CAMERA DI COMBUSTIONE, DOVE LE T SONO INTERMEDIE, COMPRESSE TRA 400 E I 1000°C)



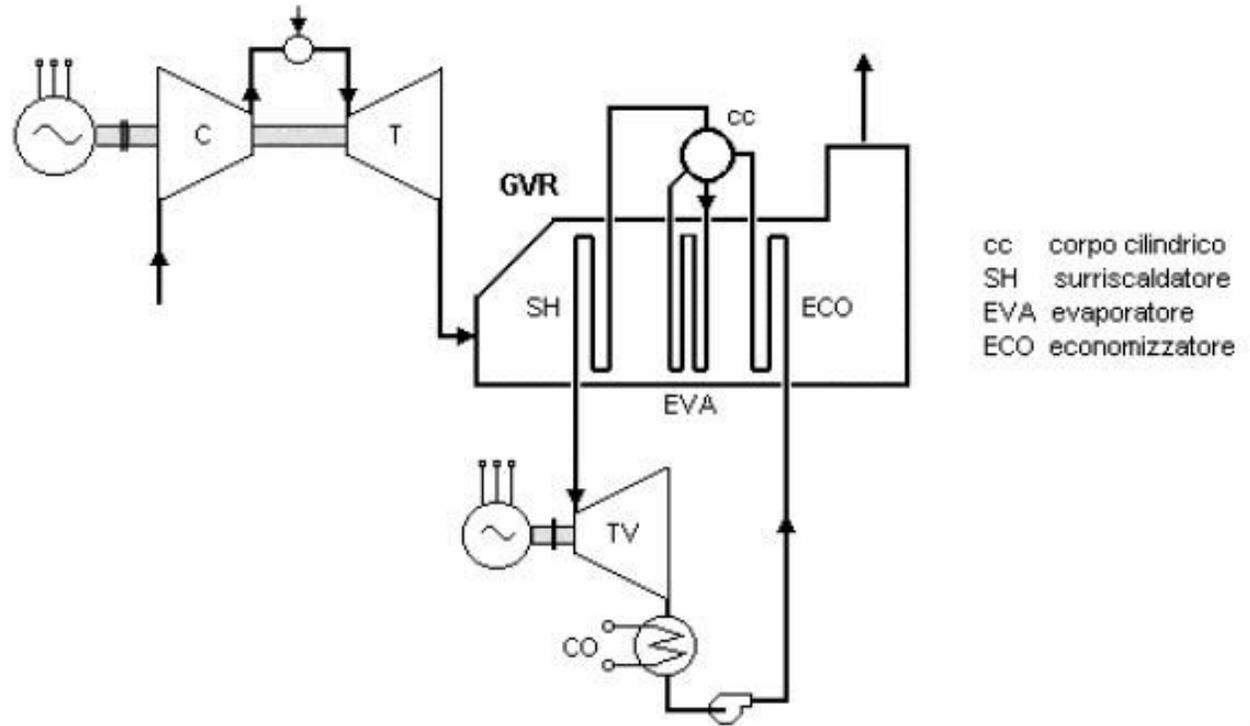
LE CALDAIE A RECUPERO

FUNZIONI:

- RECUPERARE IL CALORE ASSOCIATO AI FUMI IN USCITA DALLA TURBINA A GAS PER GENERARE VAPORE

LATO VAPORE:

- ECONOMIZZATORE (POSTO ALLO SCARICO DEI FUMI)
- SURRISCALDATORE (INSTALLATO, ALL'INGRESSO, DOVE LE T SONO MAGGIORI ~470-500 °C)
- EVAPORATORE (POSTO A VALLE DEL SURRISCALDATORE, DOVE LE T SONO INTERMEDIE)



IL CONDENSATORE

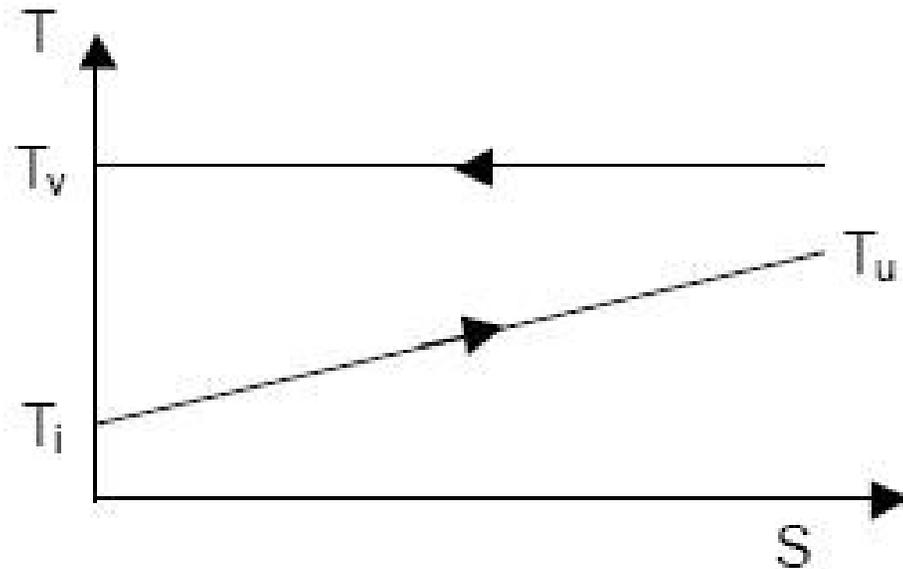
IL CONDENSATORE NON È ALTRO CHE UNO SCAMBIATORE DI CALORE A SUPERFICI.

INGRESSO:

VAPORE UMIDO PROVENIENTE
DALLA TURBINA

USCITA:

LIQUIDO SATURO DIRETTO ALLA
POMPA DI ALIMENTAZIONE DELLA
CALDAIA



IL CONDENSATORE

FUNZIONAMENTO:

- IL VAPORE UMIDO PROVENIENTE DALLA TURBINA PERCORRE IL CONDENSATORE ALL'ESTERNO DEI TUBI, AL CUI INTERNO CIRCOLA INVECE L'ACQUA DI RAFFREDDAMENTO.
- IL VAPORE QUINDI CONDENSA SULLA SUPERFICIE ESTERNA DEI TUBI, E IL CONDENSATO VIENE RACCOLTO IN BASSO, IN QUELLO CHE VIENE CHIAMATO POZZO CALDO.
- UNA POMPA DI ESTRAZIONE DELL'ACQUA PERMETTE DI METTERE IN CIRCOLO L'ACQUA CONTENUTA NEL POZZO CALDO, INVIANDOLA IN CALDAIA.
- L'ACQUA DI RAFFREDDAMENTO PUÒ ESSERE PRELEVATA DIRETTAMENTE DALL'AMBIENTE (LAGO, FIUME) E IVI REINTRODOTTA DOPO L'USO, AD UNA T MAGGIORE, SECONDO QUANTO PREVISTO DALLA NORMATIVA.
- UN'ALTRA POSSIBILITÀ È QUELLA DI UTILIZZARE UN CIRCUITO SEMICHIUSO IN CUI IL RAFFREDDAMENTO DELL'ACQUA DI RAFFREDDAMENTO AVVIENE IN TORRI DI RAFFREDDAMENTO.
- OPPURE UTILIZZO DI CONDENSATORI AD ARIA (NO ACQUA DI RAFFREDDAMENTO – OK PER IMPIANTI DI POTENZA LIMITATA)

IL CONDENSATORE

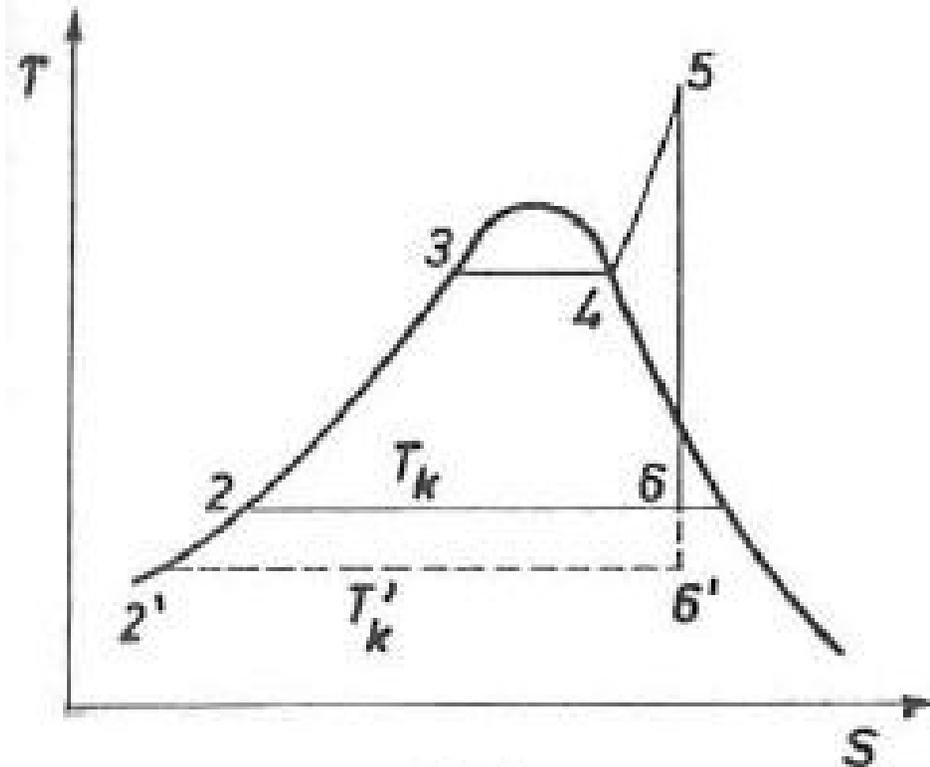
LA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE

UNO DEI PARAMETRI CHE INFLUENZA IL RENDIMENTO DEL CICLO È LA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE.

FISSATA LA TEMPERATURA DELL'ACQUA DI RAFFREDDAMENTO POSSIAMO:

- O AUMENTARNE LA PORTATA DI QUESTA;
- O AUMENTARE LE SUPERFICI DI SCAMBIO TERMICO TRA FLUIDO CALDO E FLUIDO FREDDO.

SE SI HANNO A DISPOSIZIONE GRANDI QUANTITATIVI D'ACQUA È POSSIBILE OTTENERE TEMPERATURE DI CONDENSAZIONE DELL'ORDINE DEI 20 °C.



IL CONDENSATORE

PRO E CONTRO DELL'ABBASSAMENTO DELLA TEMPERATURA DI CONDENSAZIONE



IMPIANTI CON TURBINA A VAPORE

LA CAVITAZIONE:

QUANDO UNA MISCELA DI LIQUIDO E VAPORE ENTRA ALL'INTERNO DI UNA POMPA, L'IMPROVVISO AUMENTO DI PRESSIONE, DOVUTO ALL'AZIONE DELLA POMPA STESSA, CAUSA L'IMPLOSIONE DELLE BOLLE DI VAPORE, CHE CONDENSANO QUASI Istantaneamente, L'ACQUA CIRCOSTANTE ANDRÀ AD OCCUPARE IL VOLUME LASCIATO LIBERO DALLE BOLLE. QUESTA IMPLOSIONE È ESTREMAMENTE RAPIDA E GENERA DELLE ONDE DI SOVRAPRESSIONE, CHE DANNEGGIANO LA POMPA.