



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 519

DATA: 16/04/2013

A P P U N T I

STUDENTE: Filippi

MATERIA: Energetica

Prof. Barbero

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

ENERGETICA

ENERGIA - Capacità di un corpo di compiere lavoro
 - Tutto ciò che può essere trasformato in energia termica a bassa temperatura.

L'unica forma di energia utile all'uomo è quella che si evolve.

Nel momento in cui una qualsiasi forma di energia "stazionaria" non ha utilità pratica.

I principi di Termodinamica

$$dq + dl = dh + \sum_1^n E_i$$

\downarrow \swarrow
 dh varie forme di energia

ENERGIA **Chimica** primaria, forma di energia insita nei legami tra atomi all'interno delle molecole

Mecanica **Cinetica** primaria, corpo che si muove ad una certa velocità.

Potenziale primaria, dipende dalla distanza di un corpo dal centro di gravità.

Elettrica secondaria, legata al movimento di una carica in un campo elettrico

Nucleare primaria, ottenuta attraverso i legami tra particelle subatomiche.

Elettromagnetica primaria, correlata all'esistenza di un campo elettromagnetico

Solare secondaria, prodotta.

IEA Agenzia Internazionale dell'energia.

Si occupa del monitoraggio di costi, trasporti, produzione e ramificazioni dell'energia.

CCS Catturare e Stoccare CO_2 .

Prevede una serie di tecnologie per stoccare CO_2 .

La cattura può avvenire: Subito dopo la combustione.

Bruciando con O_2 e non con l'aria.

Pogliendo la CO_2 prima della combustione

Gassificando C, si producono H_2 e CO .

Lo stoccaggio: Deposito in caverne o roccie.

Biofissazione, alghe sottoposte a CO_2 , la assorbono e producono reattivi utili.

Mineralizzazione della CO_2 in gesso.

La Filiera

È l'insieme di tutte le attività inerenti l'energia: produzione, trasporto, uso e post-uso.

Anche nel caso di energie rinnovabili o a produzione di CO_2 nulla, la filiera alza il livello, in quanto della CO_2 può essere prodotta, per esempio, nel trasporto.

L'industria impiega circa un terzo delle risorse nazionali quasi tutte in forma di energia elettrica.

Essa, invece, in Italia viene usata raramente come fonte di riscaldamento a causa dell'elevato costo. In paesi quali la Francia in cui l'energia elettrica costa poco, invece, c'è un massiccio uso civile.

MONDO

Nel 2010 sono stati impiegati circa 12000 Mtp

Nel periodo 2000-2010 l'uso del carbone è aumentato da solo quasi quanto l'uso di tutte le altre fonti di energia messe assieme, in buona parte a causa dell'improvvisa crescita industriale di paesi emergenti quali la Cina.

Il Medio Oriente, invece, produce il 40% del Metano mondiale e il 60% del petrolio e Gas Naturali liquidi, mentre Carbone e Uranio sono equamente diffusi in tutto il mondo

Risorsa Tempo di esaurimento

Metano \cong 60 anni

Petrolio e GPL \cong 40 anni

Carbone \cong 130 anni

Uranio \cong 80 anni.

} tempi misurati a stima e senza tener conto dell'aumento della domanda.

Tipi di Rocce

Sedimentarie - Clastiche; dovute all'erosione. In seguito al trasporto, i frammenti si depositano e si compattano in rocce uniche, ma dotate di pori (10-20-30%)

Carbonati: poco porosi, quindi frantumabili.

Argille: costituite da piani sfaldabili ^{tra} i quali l'acqua può penetrare più facilmente.

Ambienti Sedimentari

Accumuli di sedimenti a forma conoidale o creati in seguito a sistemi fluviali parti a 7 Km di profondità.

FORMAZIONE DEI GIACIMENTI

Sommaria tutto ci dev' essere stato un accumulo organico in acque poco profonde quali laghi, paludi, o a riva del mare. In seguito tali accumuli vengono ricoperti da sedimenti e spinti in profondità dove il calore e la pressione provocano trasformazioni chimico fisiche sul composto.

Nei secoli l'arricchimento si disperde creando così gas ed olio.

Alto spesso il risultato "migra" dalla roccia madre, prendendo posto nei pori delle rocce circostanti e sostituendo, in parte, l'acqua ^{originale} contenuta e formando in presenza di una superficie impermeabile all'idrocarburo.

Spesso si possono avere dimensioni esterne enormi, anche grandi quanto il Nord Italia.

INDIVIDUAZIONE

Vengono provocate delle onde sonore di cui si analizzano la frequenza di ritorno e si può, quindi, realizzare un'immagine del sottosuolo dalla cui elaborazione si ottiene un modello nel quale si individuano eventuali fluidi.

RECUPERO

Primario Si sfrutta la pressione e l'espansione naturali per l'estrazione
Per i gas η del 90%
Per i liquidi $\eta \approx 5\%$

Secondario
Migliorato

aggiunti

Viene iniettata acqua che oppone la pressione sull'olio.
 $\eta \approx 40-50\%$

Ettavia la minore viscosità dell'acqua fa sì che si estragga principalmente la stessa creando un loop infinito.

Assistito

Successivamente di CO_2 nei giacimenti di olio pesante (viscoso) di diminuzione la viscosità. Oppure si inietta la viscosità dell'acqua.

Per l'olio così si ossida sprigionando calore e diventando meno denso.

Ettavia è un processo molto costoso a causa degli ingenti volumi impiegati.

RISERVE

Certe Già impiegate

Probabili Zone in cui si pensa di individuare idrocarburi

Possibili Zone in cui si può pensare di trovare idrocarburi.

Le riserve possono aumentare in seguito ad un miglioramento tecnologico, di conoscenza finanziaria (prezzo maggiore).

Giacimenti Non Convenzionali:

Sabbie bituminose

Proce che contengono fluidi non mobili.

Sabbie impregnate di olio

CBM (Coal Bed Methane) la roccia madre contiene gli idrocarburi.

Franta mediante l'uso di acqua, il metano contenuto ne fuori esce per diffusione.

Light Gas Bassa permeabilità, necessita di un gran numero di pozzi.

GAS NATURALE

Composizione nel Mondo

| | |
|---------------|----------|
| Metano CH_4 | 97-99% |
| C_nH_m | 0-1,5% |
| CO_2 | 0-0,5% |
| N | 0,4-0,6% |
| H_2O | 0,08% |

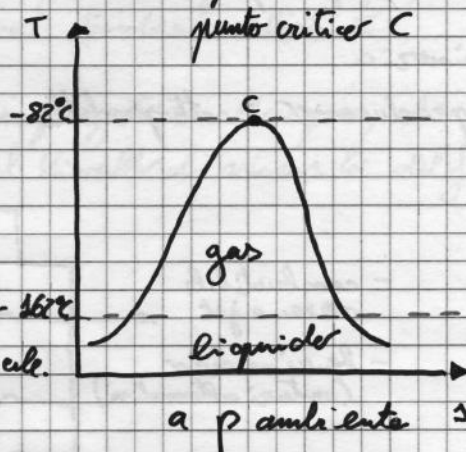
GPL gas facilmente liquefabile che, pertanto, occupa piccoli volumi. Ha densità maggiore dell'aria. Se si prevede l'uso di metano a fini energetici, può essere sostituito dall'aria pregranata che ha caratteristiche intermedie e permette l'uso di impianti a metano.

Trasporto

Su terra mediante gasdotti, metanodotti.

Su mare se mantenuti allo stato liquido

da distribuzione per metanodotto avviene a 5 atm che scende a 2200 Pa per l'uso domestico o a $10-20 \cdot 10^3$ Pa per user industriali.



Caratteristiche

- Densità minore dell'aria, pertanto una sua fuga va verso l'alto.
- Infiammabile.
- Contenuto energetico: si libera per combustione di un'unità di volume di metano.

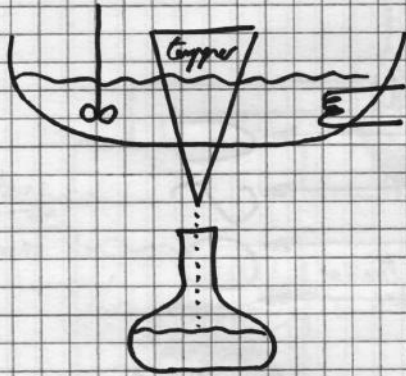
Perché aeriforme, si utilizzano i metri cubi normali m^3_N che implicano $p = 1 \text{ bar}$ e $T = 0^\circ C$

- Potenza calorifica (inferiore): $H_i = 8700 \frac{\text{kcal}}{m^3_N}$
- È inodore, incolore ed inodore. Si mescola all'aria per renderlo rintracciabile.
- Industriale: forni.
- Civile: riscaldamento e cucine.
- Utilities: centrali termoelettriche.
- Trasporto: solo con l'uso di bombole a 200 atm che lo mantengono liquido per diminuire il volume.

Pro

- Costo difficilmente 50_m
- Poco inquinante

Grado Engler (°E)



Considerando una vaschetta piena ^{di un fluido} d'acqua dotata di un tappo, una resistenza ed un agitatore.

Si fa arrivare l'acqua il fluido ad una temperatura uniforme di circa 50°C.

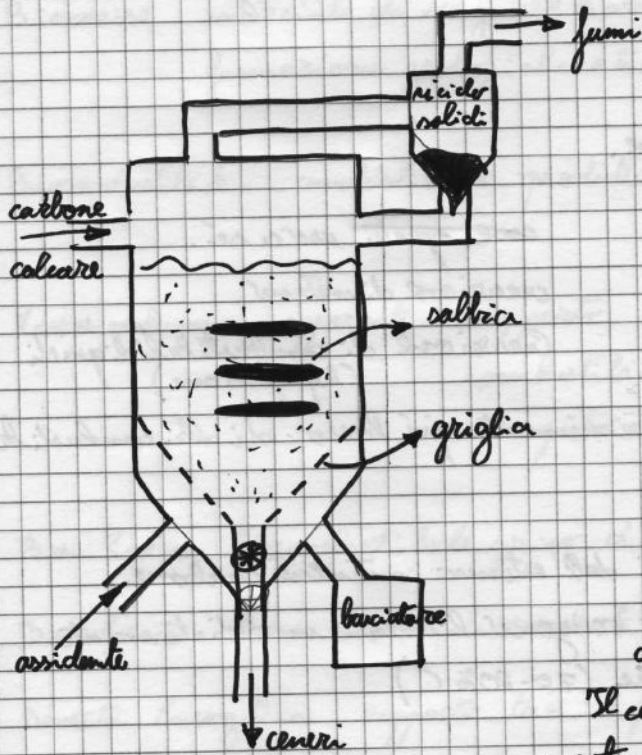
Una volta tolto il tappo si misura il tempo t_f impiegato dal fluido a riempire un contenitore standard sottostante.

$$\nu_{\text{°E}} = \frac{t_f}{t_{\text{H}_2\text{O}}}$$

considerato rispetto al tempo impiegato con l'acqua, il grado engler determina il livello di viscosità del fluido.

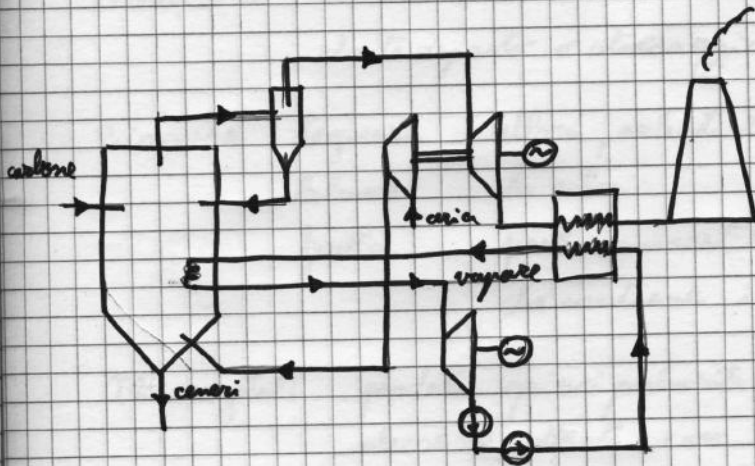
$$\text{H}_2\text{O} \quad 1^\circ\text{E} = 5$$

Tecnologia Letto Fluidico



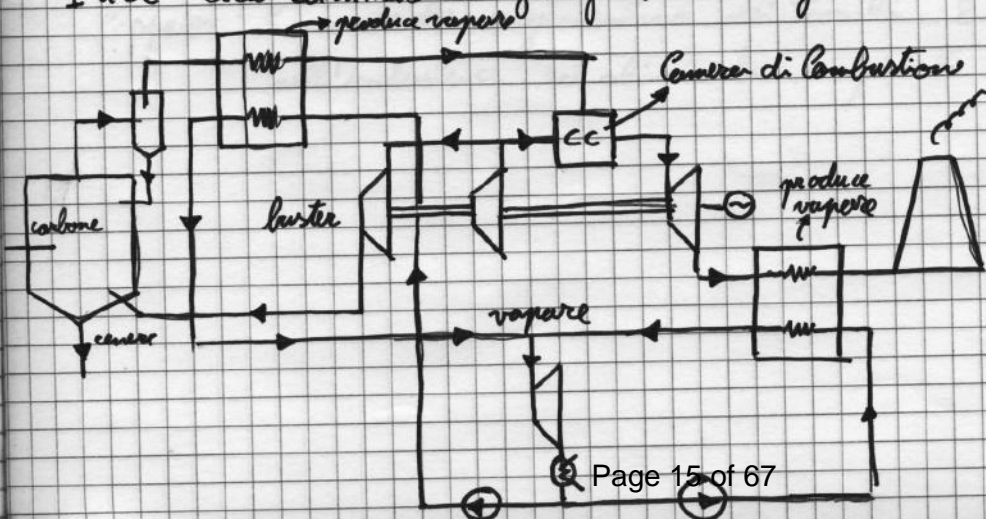
All'interno della struttura è posta della sabbia a granula sufficientemente grossa per non cadere all'interno delle griglie.
 L'aria viene fatta entrare in quantità di ossidante e fa galleggiare la sabbia che di vento incandescente grazie al bruciatore.

Viene quindi inserito il carbone che galleggia sulla sabbia e può così offrire il massimo della superficie all'ossidante; bruciando quasi tutto.
 Il calceare invece è inserito per bloccare eventuali fuoriuscite di SO_2 ed SO_3 .



Ciclo della combustione del Carbone

I GCC Ciclo Combinato con Gassificazione Integrata



gassificatore a letto fluido

BIOHASSE

Biomasse materiale di origine biologica, esclusi materiali rinvenuti in formazioni geologiche e trasformati in fossile,

Biocombustibile combustibile prodotto dalla lavorazione delle biomasse.

Massa volumica apparente rapporto tra una determinata massa di un combustibile solido ed il volume di un recipiente riempito con tale combustibile.

Base Secca biocombustibile privo d'acqua.

Base Secca senza cenere biocombustibile senza acqua né cenere.

Densità Energetica rapporto tra il potere calorifico inferiore ed il volume apparente.

Dureabilità resistenza di un combustibile a rompersi per sollecitazioni da trasporto o stoccaggio.

Biomasse legnose alberi, arbusti e cespugli.

Erbae da erba.

frutta parte commestibile di un albero o di un arbusto che contiene i semi.

Oli vegetali prodotti principalmente da frutti e semi di piante oleose o ottenuti con metodi chimici applicati su altre fonti di biomassa.

Lippato Sminuzzatura grossolana dei tronchi. È usato principalmente nell'industria ed alimenta impianti da 4-5-10 MW.

- ③ - 225 °C punto di infiammabilità
- 290 °C sviluppo di calore
- 300 °C sviluppo culmine della combustione
- 400 °C Combustione.
- 800 °C incenerimento, termine combustione.

Umidità

$$U_d = \frac{m_{u1} - m_{u2}}{m_{se}}$$

$$U_{eq} = \frac{m_{u1} - m_{u2}}{m_{u1}}$$

m_{u1} massa umida
 m_{se} massa secca

Umidità sul secco

Umidità sul tale e quale

Affinché avvenga una buona combustione serve un $U_{eq} < 30\%$

Contenuto Energetico

Lignina 25 $\frac{MJ}{kg}$ Cellulosa 16,7 $\frac{MJ}{kg}$

H_i : dipende molto da quanta H_2O è contenuta nel volume.

$$H_i = \frac{(16,7 \cdot (100 - U_{eq}) - 2,44 \cdot U_{eq})}{100} \frac{MJ}{kg}$$

2,44 Quantità di calore necessaria all'evaporazione dell'umidità.

BIOCOMBUSTIBILI

- ① Bioetanolo
- ② Olio Vegetale
- ③ Biodiesel

① Alcol etilico prodotto da fermentazione di zuccheri ed amidi.

Seconda generazione: prodotto da cellulosa.

Terza generazione: prodotto da alghe.

E100: etanolo 100% senza acqua.

Miscelati con benzina: $E X = X\%$ di etanolo $(1-X)\%$ di benzina.

Forma Solvata E96: 4% di acqua.

Viene denaturato (aggiunta di piccole dosi di altre sostanze) affinché non sia ingerito.

Problema poiché i vegetali utili alla produzione di energia servono all'alimentazione si sta sperimentando con vegetali lignei, che però occupano spazi altrimenti utili ad altre coltivazioni, pertanto si cerca di sfruttare coltivazioni di alghe.

Biogas biocarburanti gassosi, miscela di metano (70-75% del totale), CO_2 , idrogeno solfato.

Se materiale organico è sottoposto a fermentazione anaerobica avviene principalmente produzione di metano.

Si ottiene da liquami animali, scarti agricoli vegetali e animali, rifiuti urbani, coltivazioni apposite che però competono con l'alimentazione.

Combustione.

Reazione esotermica di ossidazione di un combustibile (solido o volatile, in tal caso si sprigiona una fiamma).

Solo raramente si recupera l' O_2 dall'aria presente nell'aria.

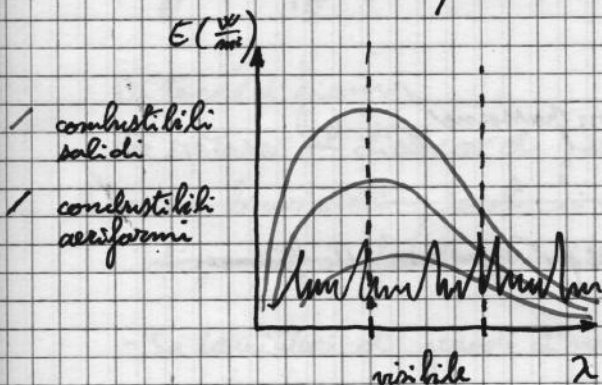
La massima temperatura raggiunta nella combustione non emette nello spettro visibile.

La fiamma è la zona in cui avviene il gas della combustione aeriforme.

Fiamma: vengono classificate in base alla luminosità. I gas emettono poco nello spettro visibile e producono una fiamma oscura.

Le candele producono fiamme molto luminose poiché hanno un combustibile solido e le fiamme sprigionate contengono C_2 .

Le particelle solide si comportano come corpi neri mentre gli aeriformi hanno un comportamento anomalo.



Fiamma in moto laminare $Re \ll 20000$

Fiamma in moto turbolento $Re \gg 20000$

Esistono dei limiti di composizione all'interno del quale avviene la combustione.
 Se c'è troppo combustibile o troppo comburente cioè non è possibile.

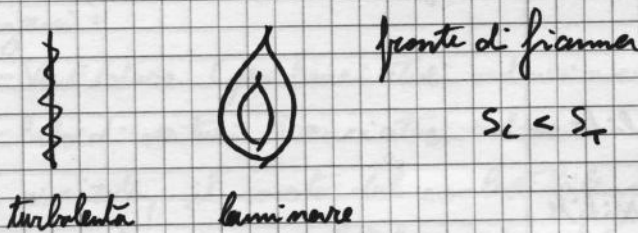
Aria stechiometrica quantità di aria minima necessaria alla combustione.

In genere si considera accettabile una combustione se si completa in 10 secondi.
 A tal fine si inserisce più ossigeno del dovuto al fine di avere certezza di combustione. In genere da 5 al 45% in più di aria.

Temperatura di accensione temperatura minima per l'innesco della reazione comburente-combustibile.
 Circa 400-500 °C

Temperatura di infiammabilità temperatura minima a cui un combustibile evapora in modo sufficiente da creare una miscela infiammabile.

Fiamme



turbolenta

laminare

Portata bruciata $v_{pff} S_0 = K$

$v_{pff} \approx 374$ m/s velocità rappresentativa della combustione
 (non esiste fisicamente)

$$v_{pff} S_1 = v_{pff} S_L$$

Distacco di fiamma

Per evitare il distacco di fiamma si attuano vari metodi:

- In bruciatori piccoli si diminuisce la portata con ugelli di piccole dimensioni sfruttando l'effetto di quenching * due propine dopo *
- In bruciatori di grandi dimensioni il distacco è sempre possibile, ma viene evitato ricorrendo alla miscela in conti iniezione altrimenti servirebbero tubi di grandi dimensioni non economici.
 Si pone un disco nella camera di combustione che genera nel fluido di grandi portate



14) Depurazione dei fumi

Depuratori

15) Scarico dei fumi

Camini

BRUCIATORE

Parte dell'impianto compresa tra il preriscaldatore e la camera di combustione ed è alimentato da fluidi o polveri di combustibile solidi. Se è alimentato da combustibile a temperatura grassa (biomasse, rifiuti) presenta un organo aggiuntivo (griglia) ed è chiamato sistema di combustione.

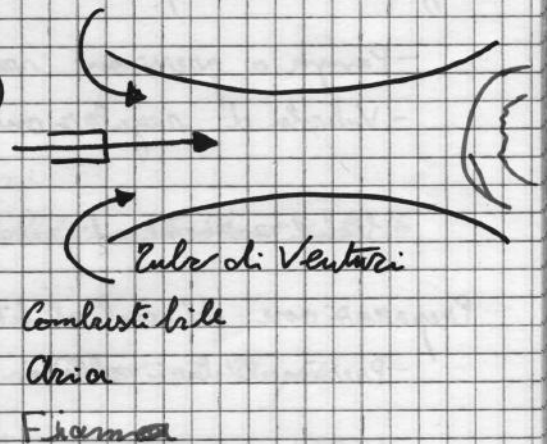
Può essere composto da un unico blocco, o da più parti distinte.

La parte finale è nota come testa di combustione e può essere singola o multipla.

Alimentazione dell'aria di combustione in camera di combustione

Organi:

- Ventilatore (per bruciatori ad aria soffiata)
- Tubo di venturi. Bruciatori ad aria aspirata, il moto del combustibile provoca una depressione nel tubo, aspirando aria dall'esterno.



Regolazione della portata d'aria

- Organi:
- serranda (diminuisce l'area di passaggio)
 - Tubo di venturi

Regolazione

Quello aperto presenta un rapporto fisso tra aria e combustibile

Quello chiuso si regola la portata in funzione di un valore desiderato.

riciclo gas caldi

Si fa avvenire un riciclo dei gas caldi nella parte finale del bruciatore grazie ad un disco deflettore, non nei bruciatori a bassa NO_x .

* Nei bruciatori ad aria premiscelata il distacco si evita limitando la velocità della miscela aria combustibile *

Ottimizzazione dell'impatto ambientale

La presenza di ossigeno e calore provoca la formazione di NO_x

Ci sono vari modi per evitarla o limitarla:

- Raffreddare la fiamma coi fumi di scarico
- Returnng Technology: si fa avvenire la combustione con poco ossigeno ottenendo dei fumi con molti incombusti.
Successivamente si fa bruciare con molta aria migliorando temperature inferiori.
- Air staging: si usa poco combustibile ma tanta aria ottenendo una fiamma fredda.

Apparecchiature di sicurezza del bruciatore

Si controlla la presenza o l'assenza della fiamma con:

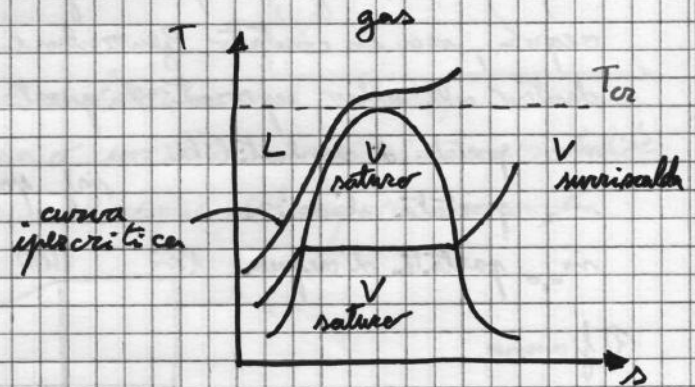
- foto resistenza (solo con combustibili liquidi e solidi), controllano solo la fiamma luminosa.
- fotocellule UV, per fiamme poco luminose, si scaricano col tempo
- elettrodi a ionizzazione, solo con i gas i quali vengono ionizzati.
- termocoppia, se la fiamma è accesa, la termocoppia si riscalda e per effetto Peltier fa circolare corrente e tiene aperta la valvola

FUMI CALDI

Possono essere usati

di zetta mente $\left\{ \begin{array}{l} \text{Turbo gas (riscaldati altri condotti)} \\ \text{Cicli Otto e Diesel} \\ \text{Applicazioni termiche industriali (forni ed essicatori)} \end{array} \right.$

~ 98% dei fluidi termovettori sono acqua.



indirettamente $\left\{ \begin{array}{l} \text{scambiatore} \\ \text{acqua} \\ \text{Ciclo Rankine} \\ \text{Uso industriale} \\ \text{Riscaldamento} \end{array} \right.$

Acqua Serve per il riscaldamento o in applicazioni industriali.

liquida Per l'utenza servono 80° , mentre per impianti serve acqua a temperature maggiori di 100°C , cosa possibile solo per pressioni maggiori di quella ambiente.

Ciò è possibile nelle caldaie ad acqua calda pressurizzata.

In alcuni impianti si recupera una parte del vapore d'acqua ottenendo un rendimento apparentemente maggiore di 1.

Vapore Per uso industriale. Si ha produzione di vapore il più vicino possibile freddo al titolo unitario, in genere tra il 98 e il 99%. $x = \frac{m_{vs}}{m_v + m_e}$

Non vengono usati nelle turbine e sono prodotti nei generatori di vapore a vapore saturato.

Vapore Difficile da ottenere. Uso primario nei cicli Rankine. Servono surriscaldato temperature molto alte.

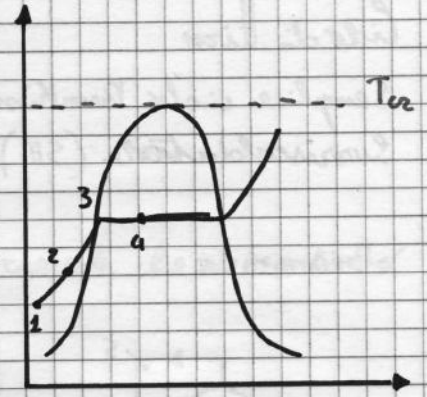
Nella trasformazione c'è una grossa perdita di energia e i fumi escono dall'impianto ad una temperatura leggermente superiore a quella di entrata dell'acqua.

L'aumento di rendimento è sempre legato al recupero di energia altrimenti inutilizzata.

L'acqua entra nell'impianto in fase 2.

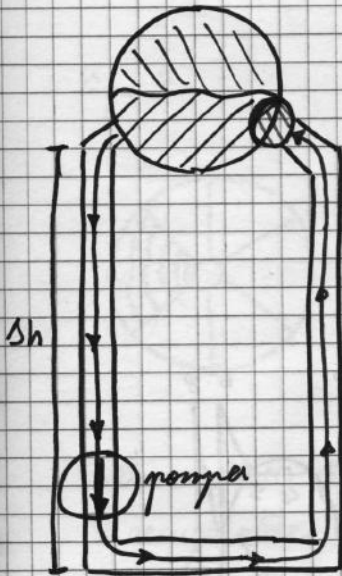
Essa presenta un economizzatore che parte T_2 a T_3 con basse pressioni poiché riscalda calore dai fumi.

Arrivati ad un titolo del 15%, il tubo è quasi (in volume) di vapore. Al 30% il vapore aderisce al fondo tubo facendolo esplodere.



Il titolo viene sempre mantenuto tra il 10 ed il 20%.

Per far evaporare tutto il liquido si usa o un tubo in acciaio inossidabile che è resistente quanto costoso; o si separa l'acqua dal vapore con uno strumento detto cilindro separatore.



Liquido

Vapore a titolo 15%

Separatore

Sistema a circolazione naturale

Funziona solo fino a 160 bar.

La densità maggiore dell'acqua liquida spinge il vapore con forza $F = h g \Delta \rho$

Non presenta pompe.

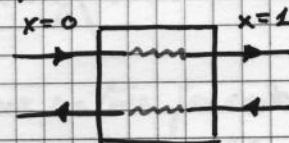
Circolazione assistita (Ciclo di La Mont)

Funziona fino a ~~190~~ 190 bar e funziona con l'ausilio di una pompa. Sopra i ~~190~~ 190 c'è il rischio di avere anche vapore nella condotta in discesa.

Impianto ad attraversamento forzato

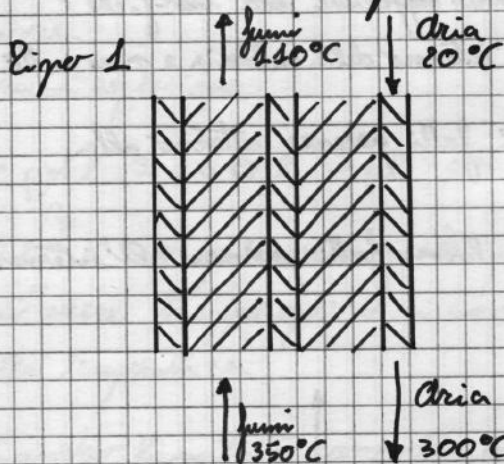
Per impianti oltre i 190 bar.

Si utilizza uno scambiatore montato solo in quel punto con acciaio inossidabile



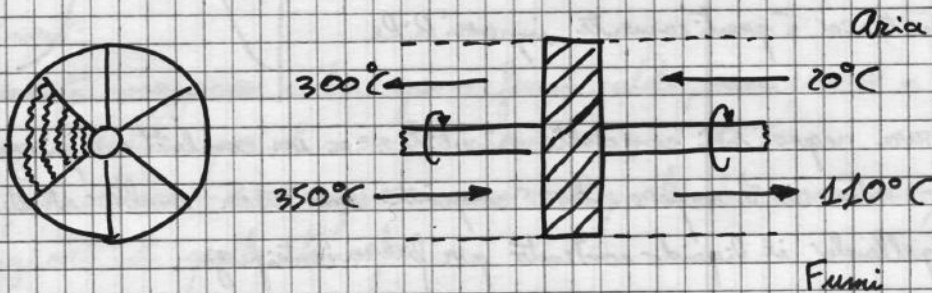
Recuperatore / Pre-riscaldatore

Ce ne sono di due tipi.



Fasci di tubi controcorrente che si scambiano calore.

Figura 2



Filtro rotante che viene prima scaldato per metà dai fumi caldi.

Il recuperatore ruota partendo la parte calda a contatto con l'aria fredda, cedendo calore, e successivamente torna a contatto dei fumi e ricomincia il ciclo.

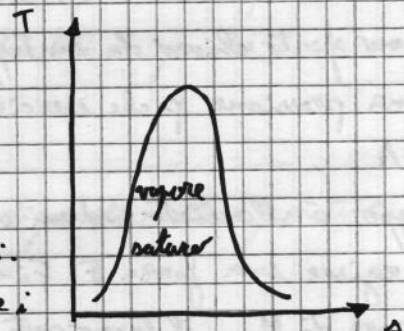
Generatore di vapore saturo

In teoria il vapore saturo potrebbe arrivare fino alla pressione massima ma viene tenuto sotto i

10-12 bar per motivi meccanici e termodinamici.

La potenza degli impianti si aggira attorno tra i 95 e i

5 MW e tutto l'impianto funziona alla temperatura di funzionamento in esercizio (160-170°C)



Non si vuole che i fumi scendano sotto i 110°C per evitare fenomeni di condensazione, inoltre a T elevate (170°C) si possono usare impianti di recupero dell'energia che sostengono.

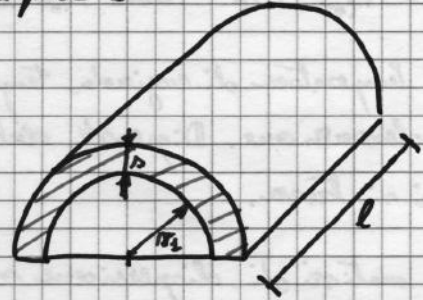
Un esempio di generatore di vapore è la locomotiva.

Consideriamo metà dell'involucro in cui ci sono liquido e vapore.

Forza di espansione

$$F = p d l \leq 2 \delta l \Rightarrow p R = \delta$$

perché R non può essere molto piccolo ed δ non può essere troppo spesso ci sono dei limiti sulla pressione e, di conseguenza, sulla temperatura.



Un Diametro limitato comporta una camera di combustione piccola che, perciò, aveva una bassa potenza.

Nel tubo-forno ci sono delle griglie per recuperare la dilatazione termica.

Residui

La portata maggiore si ha per i fumi caldi, con acqua a 140°C circa.

L'acqua calda per il riscaldamento serve ad 80°C.

L'acqua a 120°-130°C per rimanere liquida dev'essere sottoposta a pressioni maggiori di quella atmosferica.

Caldaie Condizionali

Una volta erano fatte in ghisa, ora in acciaio.

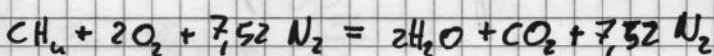
Caldaia con bruciatore ad aria soffiate

Per metri di bruciatore non vanno in pressione, ma vengono comunque contenute per resistere fino a 5 atm per metri ideati in pochi bruciatori che fare con alte colonne d'acqua.

La quantità di vapore d'acqua contenuto nei fumi dipende dalla quantità di idrogeno contenuto nel combustibile:

Se liquido è di circa il 40%

Se gassoso è di circa il 20%



$$PCI = 36,56 \text{ MJ/m}^3$$

$$PES = 38,3 \text{ MJ/m}^3$$

$$\Delta p_c = 3,79$$

\Rightarrow un metro cubo di metano produce due metri cubi d'acqua.

$W_{can} = m_f c_{p,f} (T_u - T_a)$ potenza persa dal camino

potenza termica persa al camino perché $T_u \rightarrow T_e$

W_p potenza persa alle pareti

W_{dir} potenza persa per vari motivi.

$P_{can} = \frac{W_{can}}{W_D}$ Perdita al camino

$P_p = \frac{W_p}{W_D}$ Perdita alle cammine pareti

$\eta_u = \frac{W_u}{W_D}$ Rendimento utile

$\eta_c = 1 - P_{can}$ Rendimento di combustione *quando i fumi scottano alla caldaia*

Perdite di energia

$W_D = W_u + W_{can} + W_p + W_{dir}$

di veder tutto per W_D

$1 = \eta_u + P_{can} + P_p + P_{dir}$

legata ai calcoli operati nel processo.

Vengono considerati trascurabili

Regolazione ON-OFF (bruciatore monostadio)

τ = tempo di utilizzo

τ_{on} = tempo di accensione

τ_{off} = tempo da spegnere

$\tau = \tau_{on} + \tau_{off}$

$W_m = W_{n, max} \frac{\tau_{on}}{\tau}$

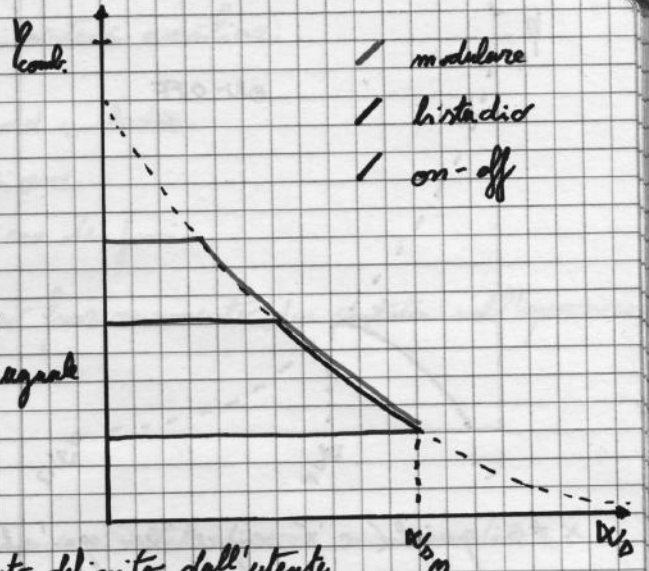
Per avere un buon rendimento bisogna che τ_{on} e τ_{off} siano il più simili possibili e che non siano troppo brevi per non far rompere le macchine, né troppo lunghi e non se ne apprezzano i vantaggi.

$$P_{com} = \frac{W_{com}}{W_D} = \frac{m_p c_p (T_u - T_i)}{W_D}$$

A causa della perdita al combure η_c non riaci mai unitari.

Negli impianti moderni si vuole ottenere un η_c di circa 0,90, ma anche una potenza spesa uguale al 100%

$W_{D,m} = 100\%$ potenza spesa nominale
potenza massima nell'impianto definito dall'utente



Nel caso di un bruciatore ON-OFF, η_c è sempre corrispondente a quello che si ha con $W_D = W_{D,m}$

Se si usa una modulante si ha rendimenti maggiori.

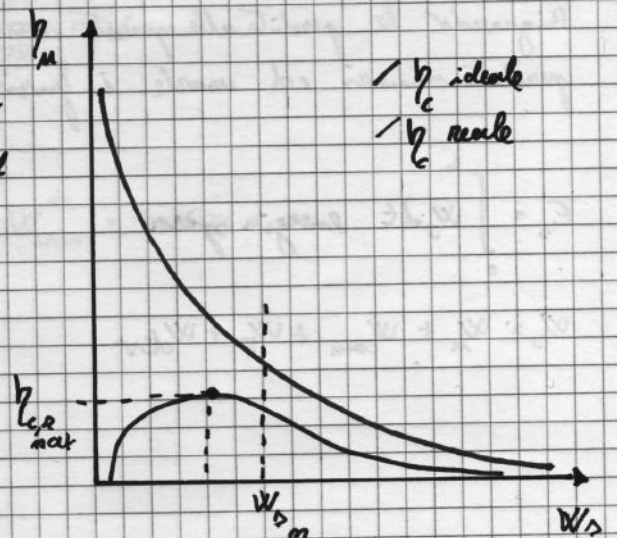
Per l'installazione degli impianti si usano i due tipi in funzione del lower costo di installazione, pertanto nei piccoli impianti si usa il metodo ON-OFF, in quelli grandi il metodo modulare.

$$\eta_u \neq \eta_c \Rightarrow \eta_u + P_{com} + P_p = 1 \Rightarrow \eta_u = \underbrace{(1 - P_{com})}_{\eta_c} - P_p \Rightarrow \eta_u = \eta_c - P_p$$

P_p dipende unicamente dalla temperatura dell'acqua

Rendimenti reali ed ideali

$W_{D,m}$ viene scelto leggermente maggiore di quello con η_c massime in modo da avere W_D e η_u il più alti possibile.



↳ grandi impianti presentano spesso anche dei sistemi ausiliari:

- Ventilatori per l'aria del combustore
- Pompe per la circolazione
- Ventilatori per l'estrazione dei fumi.

L'energia elettrica impiegata per il loro funzionamento ha contributo nell'equazione delle potenze spese.

Ci sono due modi:

$$\eta = \frac{W_M - W_{aux}}{W_D}$$

$$\eta = \frac{W_M}{W_D + W_{aux}}$$

Danno risultati diversi, ma in sostanza simili.

Si può considerare di utilizzare un preriscaldatore d'aria:

Es.

$$W_D = 100 \text{ kW}$$

$$W_M = 80 \text{ kW}$$

$$W_P = 2 \text{ kW}$$

$$W_{com} = 18 \text{ kW}$$

Si vuole portare W_{com} a $W_{com}^* = 6 \text{ kW}$ grazie ad un preriscaldatore d'aria.

$$\Rightarrow W_{pa} = W_{com} - W_{com}^* = 12 \text{ kW}$$

$$\Rightarrow W_D^* = W_D - W_{pa} = 88 \text{ kW} \Rightarrow W_D = W_D^* + W_{pa}$$

$$\eta = \frac{W_M}{W_D} = \frac{80}{100} = 0,80 \quad \eta^* = \frac{W_M}{W_D^*} = \frac{80}{88} \approx 0,91$$

$\Rightarrow W_P$ aumenta, ma poco

$$W_D = \eta^* + W_P + W_{com}^* \Rightarrow W_P = W_D - \eta^* - W_{com}^* = 3 \text{ kW}$$

ETI

È legato al sistema di scambio Terra-atmosfera-spazio mediante l'immissione di CO_2 , NO_x , SO_x e polveri

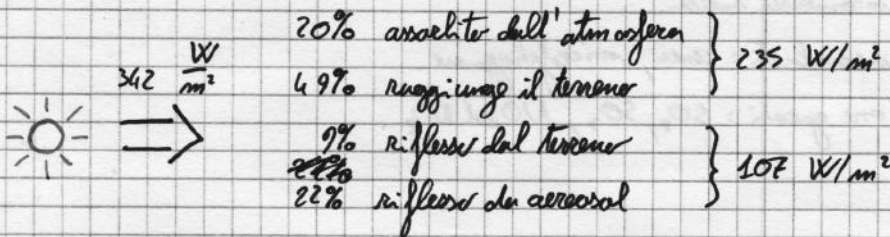


Se non ci fossero i gas serra, composti dal 60% da acqua, si avrebbe una temperatura media globale di $-70^\circ C$

Effetto Serra Artificiale

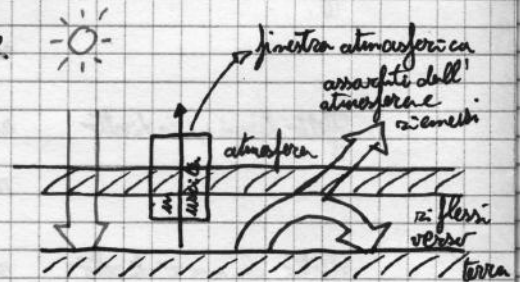
- 50% CO_2
- 15% metano
- 35% principalmente a gas impropriati in sistemi frigoriferi

I gas serra non irradiano calore non lo trasmettono nello spazio esterno, inoltre non riflettono mai (scatter. neg.)



Equilibrio Terra

- 24 $\frac{W}{m^2}$ viene restituito all'atmosfera mediante convezione.
- 78 $\frac{W}{m^2}$ provocano l'evaporazione.
- 50 $\frac{W}{m^2}$ viene emesso nell'atmosfera
- 40 $\frac{W}{m^2}$ viene emesso nello spazio esterno
- 168 $\frac{W}{m^2}$ raggiunge il terreno



L'atmosfera si comporta come un corpo nero per molte delle lunghezze d'onda del calore dal sole.

I gas serra non reagiscono con le λ alte emesse dal sole, queste raggiungono, quindi, il terreno che emette a sua volta radiazioni a λ alto da vengono invece riflessi dai gas serra.

| Contaminanti | Fonti | Effetto |
|---|--|---|
| SO ₂ | Antropico. Combustione di carbone, gasolio, olii combustibili. Centrali Elettriche | Pioggie acide, irritante per occhi e mucose |
| CO | Antropico. Traffico veicolare a basso movimento | Sistema nervoso e cardiovascolare danneggiati. |
| NO ₂ | Antropico. Industrie, impianti di riscaldamento, traffico a movimento veloce. | Irritante, contribuisce alla costituzione di smog fotochimico. |
| O ₃ | Antropico. Non ha fonti dirette, si forma da reazioni fotochimiche da ossidi di azoto e sostanze organiche volatili. | Nella troposfera (< 10 km di quota) è un componente dello smog fotochimico. Irritante per occhi e mucose. Alterazioni respiratorie. Danni alla vegetazione. |
| Polveri Totali | Antropico. Tutti i processi di combustione | Danni diversi a seconda della sostanza d'origine e della dimensione delle particelle. Apparato respiratorio e cardiovascolare Leucemia. |
| C ₆ H ₆ : benzene | Antropico. Traffico Veicolare | |
| Piombo | Antropico. Traffico Veicolare, combustione rifiuti, processi industriali | Sistema nervoso e cardiovascolare, danni cerebrali, infertilità, abilitività. |

SO₃ è presente in piccolissime tracce

NO si trasforma molto rapidamente in NO₂, riflette la maggior parte di NO_x prodotti
o NO.

Se invece si permette all'acido di fuoriuscire, esso si agglomera in aerosol di H_2SO_4

Se SO_2 si disperde nell'aria.

Se si usano carburanti con zolfo si può:

- desolfazione del combustibile \Rightarrow si fa solo nei gasoli poiché difficile e costoso.
- Si inseriscono delle sostanze in camera di combustione che assorbono gli ossidi di zolfo.
- desolfazione dei fumi: costoso, si usa solo nei grandi impianti.

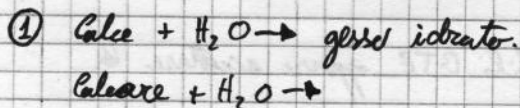
I combustibili BTZ sono vietati in città poiché si vanno ad aggiungere ad altre fonti di inquinamento.

Desolfazione Desulfurazione dei fumi

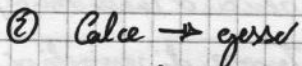
- ③ Ad umido = si iniettano sostanze miscelate con acqua nei fumi di scarico
- ⑤ A secco = non si miscela con acqua.

In alcuni casi si inietta della calce ottenendo del gesso.

Gli impianti con questo metodo producono energia, ma costano di più, ma il basso prezzo degli combustibili con zolfo compensa.



Raggi fino al 90% di SO_2 . Crea incrostazioni incrostazioni allungando a pulizie frequenti.



I materiali rimangono solidi, ma si hanno comunque problemi nel raccogliervi. Ha un'efficienza minore.

Desulfazione durante la combustione

Si inietta calce idrata nella camera di combustione: a $1200 - 1300^\circ C$ la calce espelle acqua e diventa calce che reagisce con SO_2 creando gesso.

PM 10

Polveri il cui diametro medio è minore di $10\mu\text{m}$

Diametro medio equivalente: diametro della sfera che avrebbe lo stesso volume del granellino

Sono emesse dagli impianti termici.

Sono dannose per il sistema respiratorio: più piccole sono le polveri e più in profondità penetrano nel corpo.

Da 7 a $10\mu\text{m}$ tendono a formarsi nel naso e nella bocca e nella faringe.

Più piccole possono arrivare alla trachea, bronchi primario e secondari.

Effetti sulla salute: possono essere acuti, quindi a breve termine, o cronici.

Le PM 10 non derivano dal metano, ma dai combustibili liquidi quando si ha una combustione critica cioè molto veloce come nei motori a combustione interna alternativi.

3 sistemi industriali a nafta ne creano un po'. Quelli a carbone sono disastrosi.

Non serve più fermare la formazione ma si può fermarla.

Nei grandi impianti si usano dei filtri.

Riguardo le auto:

- a benzina: marmitta catalitica ferma gli inquinanti e produce poche PM 10
- a Diesel: si usano filtri ma dopo un po' si intasano e devono essere puliti benei anche le parti che attraversano l'iniettamento di una maggiore quantità di combustibile che alza la temperatura del motore. Oppure si usano catalizzatori che permettono combustioni a temperature inferiori, ma spesso sono composti da zolfo.

Le PM 10 sono prodotte quasi solo dai motori Diesel e provocano danni tali da richiedere sistemi di abbattimento post-combustione anche con piccoli impianti.

NO_x

Sono sia NO che NO₂.

Gli NO₂ provocano danni agli esseri viventi e possono combinarsi con acqua e combi creare acido nitrico.

Si formano in tre modi:

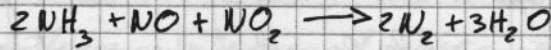
- diretto nella molecola del combustibile. Non si può impedire la formazione.
- NO_x PROMT: nella fiamma c'è un alto eccesso d'aria e con temperatura troppo alta
- NO_x TERMICI: permanenza dell'aria a temperature maggiori di 1200°C

Gli unici di cui si può impedire la formazione sono i termici, gli altri vanno abbattuti.

Se non si può evitare la formazione, bisogna ricorrere a dei Denitrificatori

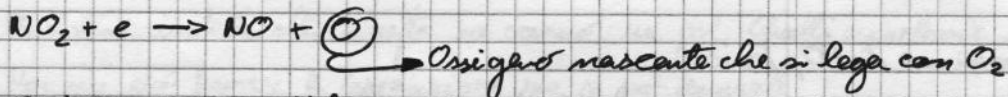
Impianti SCR

Agiscono sui fumi di combustione iniettando ammoniaca nei fumi che reagisce con gli NO_x ed emerge N_2 e H_2O

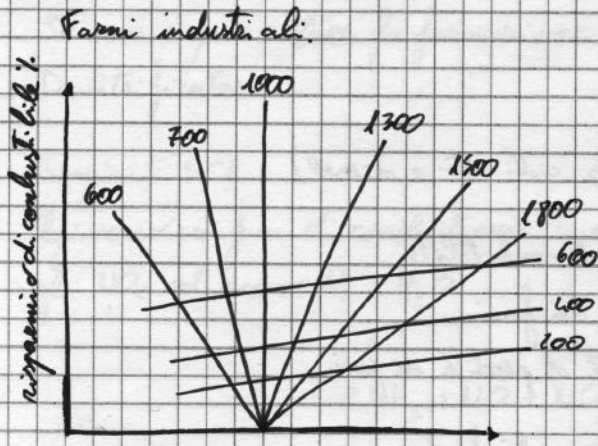


Ma i denitrificatori sono usati solo in impianti gasisti.

Gli NO_2 , inoltre, possono dare origine ad ozono e irradiati da luce ultravioletta nella parte alta della bassa dell'atmosfera.



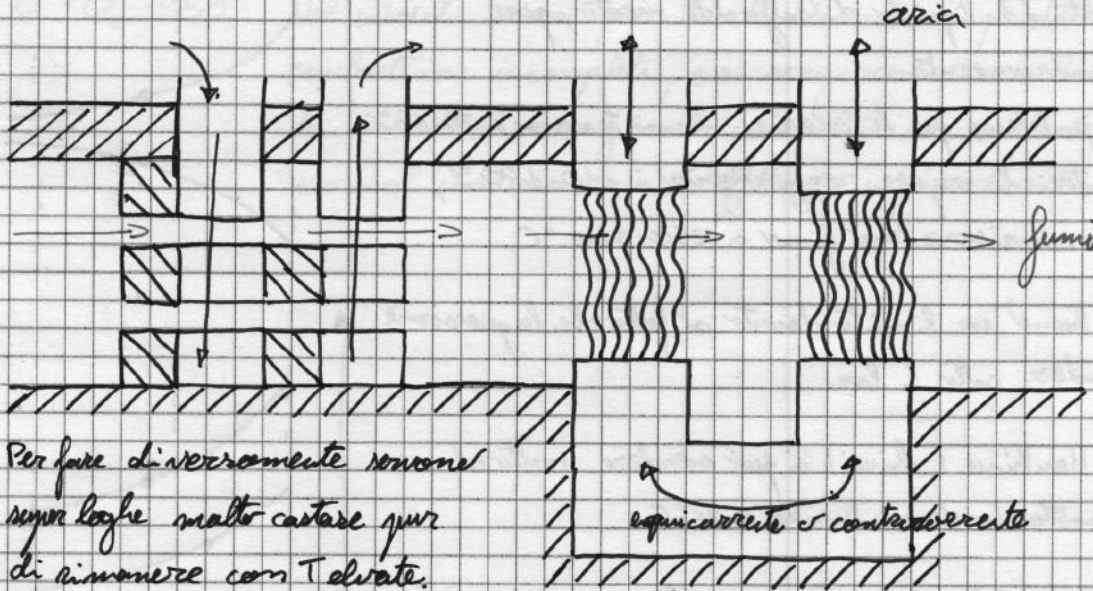
$\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3$ Nel caso di mancata presenza di idrocarburi prodotti dalla combustione incompleta, essi reagiscono con l' O_3 creando dei radicali che reagiscono con altri idrocarburi creando un aerosol con conseguente effetto di inquinamento fotochimico.



Temperatura di scaccio dei fumi senza recuperatore

Preiscaldamento d'aria in °C

La possibile presenza di incombusti nei fumi fa sì che la loro combustione all'interno di un recuperatore possa innescare la carbona combustione dell'impianto.
 Al fine di evitare tale evenienza si può proporre un sistema primo scappo di scambio fra l'aria ed i fumi uscenti dal forno costituito da una serie di tubi di fumo che si innalzano all'interno di un cassone dove è presente l'aria.



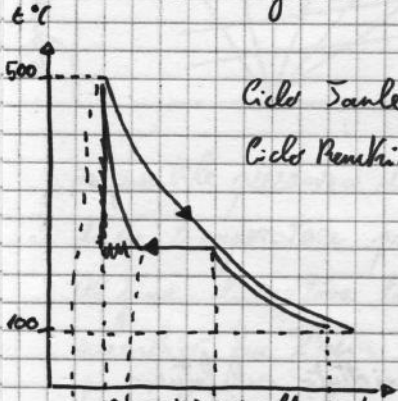
Per fare di veramente buoni
 super leghe molto costose per
 di rimanere con T elevate.

Se il recuperatore non basta allora si usa una caldaia o altro in modo da usare subito la temperatura dei fumi senza passaggi intermedi.

3 cicli combinati possono essere ex novo, cioè costruiti appositamente, e repowering, cioè ottenuti mediante impianti semplici già esistenti.

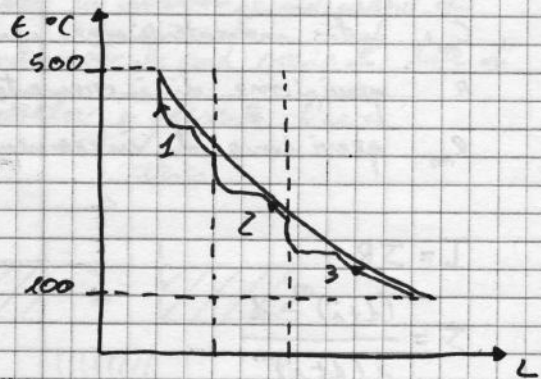
Ex novo si scalda il vapore senza fiamma. Il generatore di vapore riscalda i tubi di acqua senza uso di fiamme, perciò detto generatore di vapore di recupero.

La turbina a gas dev'essere più potente di quella a vapore, circa del doppio.



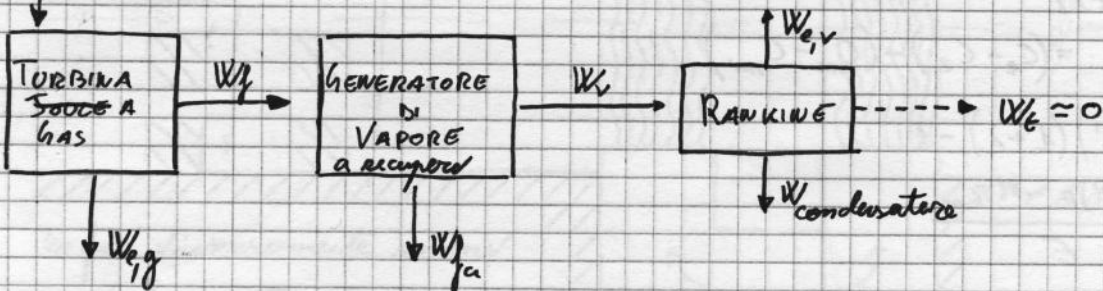
Ciclo Saule
Ciclo Rankine

Conviene fare moltissimi cicli Rankine con differenze di temperature minime in modo da seguire il più possibile la curva di Saule, ma non pretendere fare troppi in genere si opta per due.



3 cicli moderni hanno tre salti di pressione

$$W_g = \dot{m}_g H_i$$



$$W_{geg} = W_g \eta_g = \eta_g \dot{m}_g H_i \quad g = \text{gas}$$

$$W_f = W_g - W_{geg} = (1 - \eta_g) W_g$$

$$W_v = \eta_r W_f = \eta_r (1 - \eta_g) W_g$$

$$W_{e,v} = \eta_v W_v = \eta_v \eta_r (1 - \eta_g) W_g$$

$$\eta_{cond} = \frac{W_{geg} + W_{e,v}}{W_g} = \eta_g + \eta_r \eta_v (1 - \eta_g)$$

$$\eta_{cond} = 47\%$$

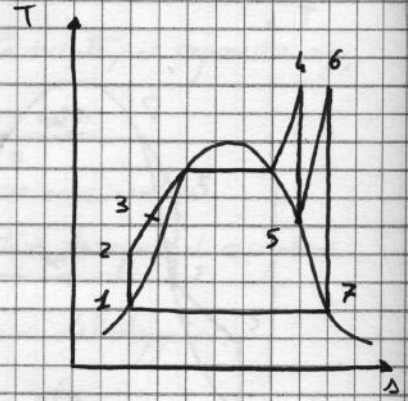
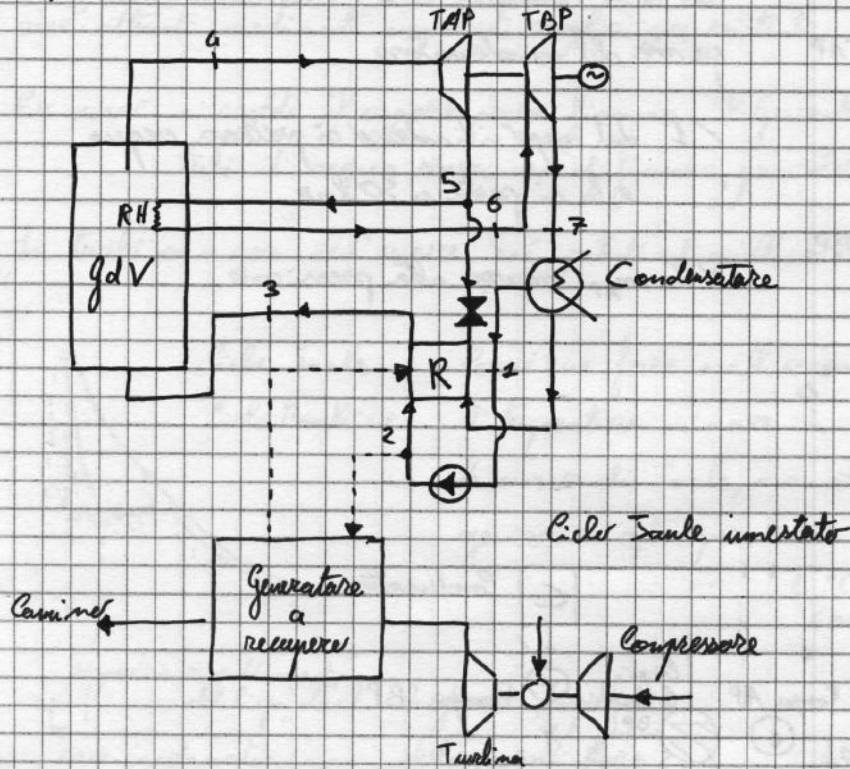
$$\eta_v = 30\%$$

$$\eta_g = 31\%$$

$$\eta_r = 78\%$$

dati reali

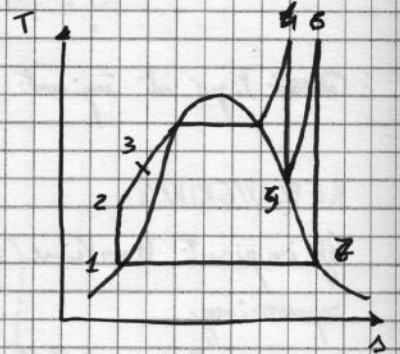
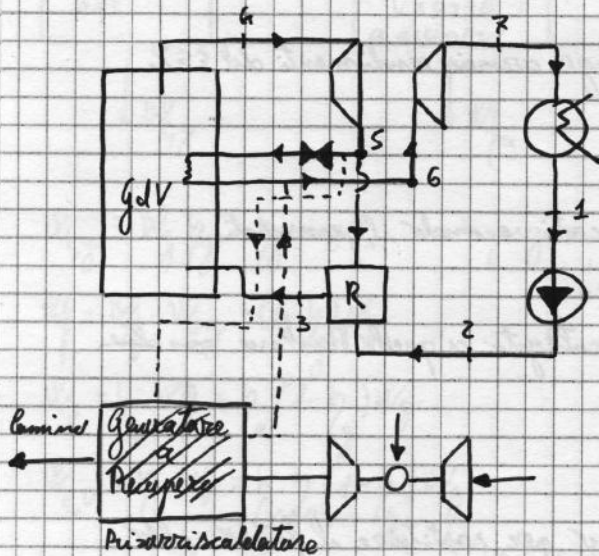
Impianto di base



Le valvole in di cui che quel condotto non viene più impiegato.

II Metodo

Si usa l'energia termica dei gas di scarico del ciclo Rankine per compiere un over-scaldamento del vapore. La potenza aumenta di circa il 20% e il rendimento dell'1-2%.



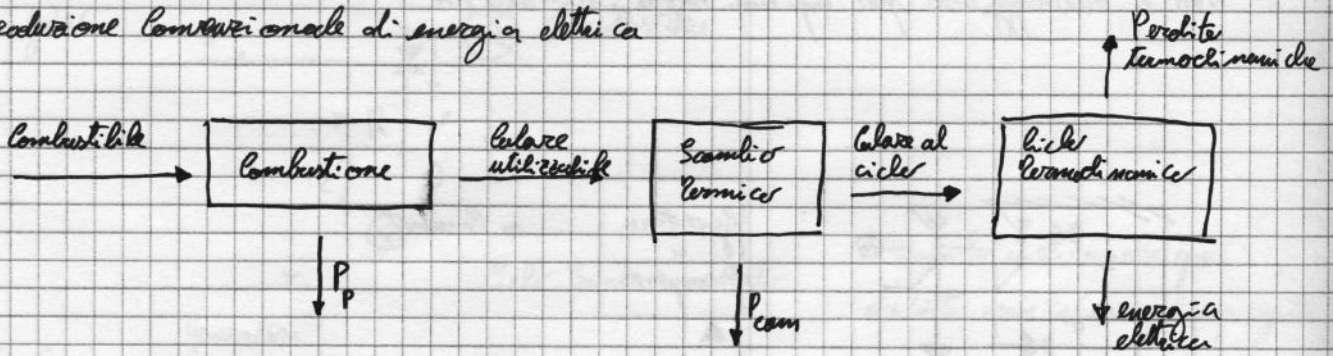
COGENERAZIONE

Produzione combinata di energia elettrica e termica.

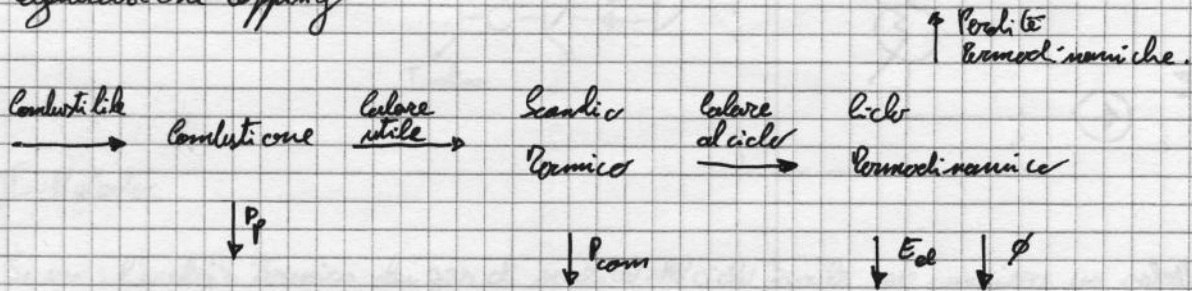
Tale produzione permette un notevole risparmio energetico con un conseguente miglioramento del rendimento dell'impianto.

Per tale ragione la cogenerazione è considerata una fonte rinnovabile.

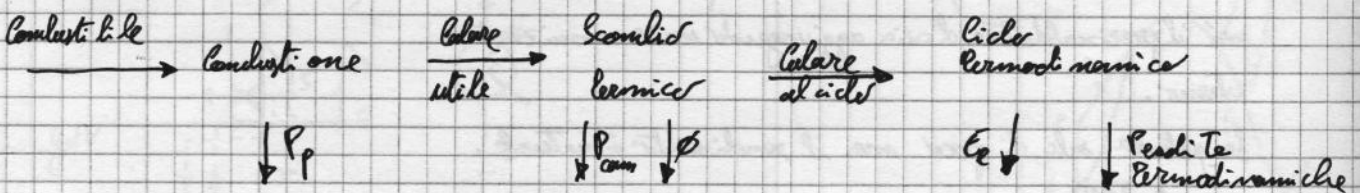
Produzione convenzionale di energia elettrica



Cogenerazione topping



Cogenerazione bottoming (poco usata)



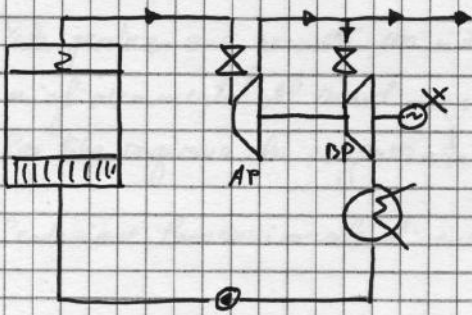
Rendimento

$$\eta = \frac{E_{cor} + Q_{cor}}{m_b H_i}$$

$$\Delta m H_i = \left(\frac{E_{cor}}{\eta_{el}} + \frac{Q_{cor}}{\eta_{te}} \right) - m_b H_i$$

$$PES = \frac{\Delta m H_i}{\frac{E_{cor}}{\eta_{el}} + \frac{Q_{cor}}{\eta_{te}}} = 1 - \frac{m_b H_i}{\frac{E_{cor}}{\eta_{el}} + \frac{Q_{cor}}{\eta_{te}}}$$

Condensatore a spilloamento regolato

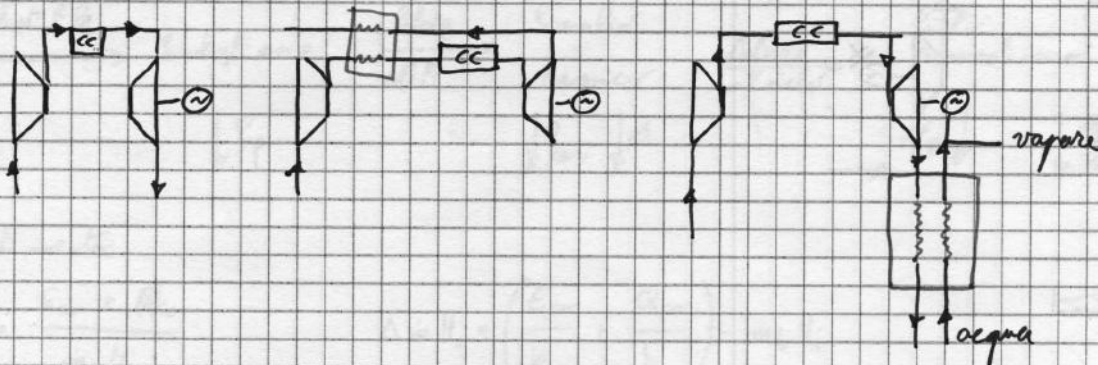


Cogenerazione con impianti a vapore

- PRO:
- Elevati Rendimenti di conversione
 - Alta affidabilità
 - Elevata disponibilità
 - Poca manutenzione
 - Combustibili poco pregiati

CONTRA

- Elevati costi di investimento
- Basso rendimento a bassi carichi
- Scarsa flessibilità
- Basso rapporto tra elettricità e vapore calore
- Elevata sensibilità del rapporto elettricità/calore all'attività del vapore



Il tele-riscaldamento usa una rete di condotti di varie dimensioni che, per quanto isolati, perdono il 4-5% dell'energia termica trasportata.

Si fa particolare attenzione a non mescolare l'acqua sanitaria e quella del tele-riscaldamento. È conveniente solo in presenza di un riscaldamento centralizzato.

Con grandi impianti oltre i 5 milioni di m^3 d'acqua si usa solo liquido preriscaldato, per quelli inferiori si usano anche acqua calda o altro.

Affinché l'energia termica sia utile, serve che la temperatura dell'acqua sia adeguatamente superiore a quella desiderata dall'utente.

Cicli frigoriferi (o frigoriferi) e pompe di calore

Si tratta di avere energia a bassa temperatura e che la si voglia tenere tale estruendo energia da essa e buttandola in luoghi a temperatura maggiore (ciclo frigorifero)

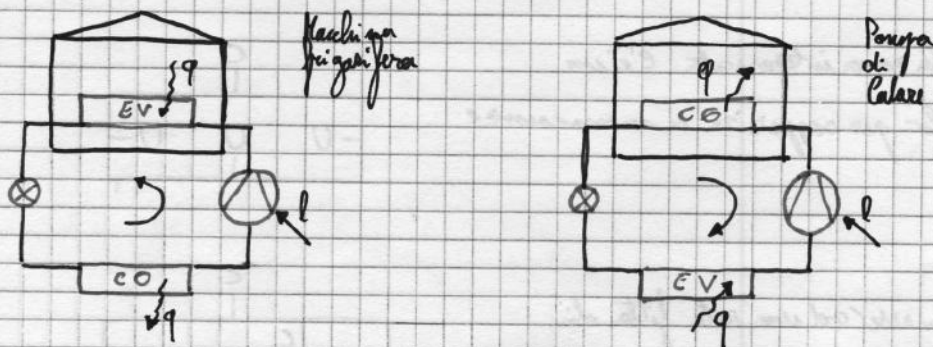
Oppure di voler estrarre energia da un corpo per riscaldare un altro a T maggiore (pompa di calore).

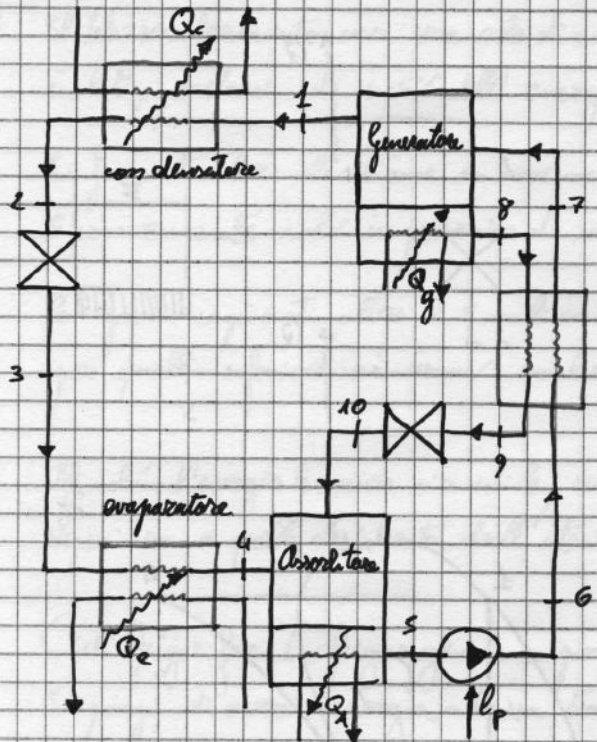
A tal fine bisogna ricorrere ai cicli inversi, i quali con un compressore convertono energia meccanica per spostare e riqualificare energia a bassa T .

È cicli ad assorbimento usano principalmente energia termica ad alta temperatura invece di quella meccanica (presente in piccole quantità)

Per decidere quale dei due cicli usare bisogna considerare il rendimento elettrico della rete ed il rendimento di un oggetto tradizionale (Es caldaia)

È cicli hanno un rendimento maggiore in corrispondenza di una minore differenza di temperatura, ma è, ovviamente, meno utile.





L'idea ad assorbimento
 Sostituisce il compressore al fine
 di usare calore invece di lavoro
 Si usa una miscela di acqua ed un
 altro sostanza, ad esempio NH_3 .
 La miscela viene portata al generatore
 di calore in cui si ha un' evaporazione
 parziale. Il vapore di ammoniaca viene
 portato al condensatore.
 Il condensatore viene quindi laminato
 da una valvola ad alto rapporto laminazione e
 viene quindi fatto evaporare.
 Nell'assorbitore si rimischia con il liquido
 che era rimasto nel generatore, ricco d'acqua.

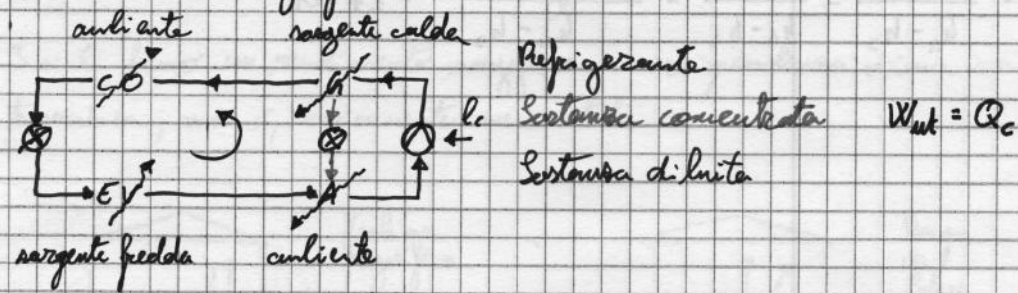
Affinchè il vapore d'ammoniaca si condensi si fa cadere calore ad un refrigerante
 la pompa fa riciclare il liquido ed il regenerator ne contiene i costi energetici.

Assorbendo l_p .

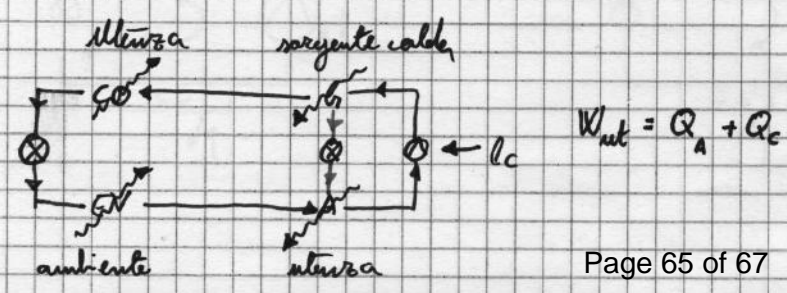
$$Q_c + Q_a = Q_g + Q_g \Rightarrow \frac{Q_{ev}}{T_{ev}} + \frac{Q_g}{T} = \frac{Q_c + Q_a}{T_a}$$

$$COP_{ass} = \frac{Q_{ev}}{Q_g + W_p} = \frac{Q_a}{Q_g} = \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_{gc}}\right) \left(\frac{1}{T_{ev}} - \frac{1}{T_a}\right)$$

Macchina Refrigerante



Pompe di Calore



Tipi di Celle a Combustione

- Celle PEM impiegate nei trasporti.
- Celle SOFC solid oxide fuel cell. Con un elettrolita ceramico solido.
- Celle MCFC Con elettrolita a sale fusi.

Cambiano in base allo ione trasportato (O^{2-} , H^{+}) e per le temperature di funzionamento.

Le celle a temperatura elevata possono essere usate per cogenerazione e nella generazione di energia elettrica, quelle a bassa temperatura per i trasporti.

H_2 è l'unico combustibile a bassa temperatura.

Bisogna pure considerare la tolleranza dei materiali rispetto agli inquinanti prodotti dalla cella, obbligando così a "pulire" certi combustibili.

Più connessione in serie di più celle a combustione.

Sistemi elettrolitici per l'accumulo di energia
d'energia prodotta in eccesso durante i periodi a basso carico (notte) può essere usata
usata per l'accumulo chimico, per esempio per la produzione di H_2 e di syngas

syngas = $H_2 + CO$ può essere trasformato in metano.