



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 199

DATA : 07/02/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Buffa

MATERIA : Energetica
Prof. Del Tin

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

Prof. G. Del Tin

giovanni.deltin@polito.it

5 C.f.u.

Esercitatore Prof. S. Casuso

rehabione.casuso@polito.it

Esame: orale su lezioni ed esercitazioni

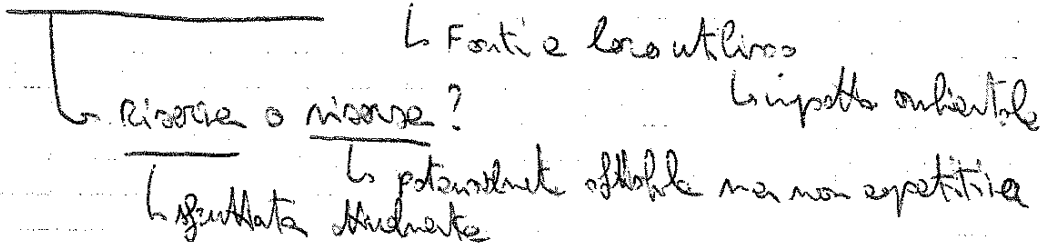
* C'è tutto il corso (tutti gli argomenti)

Testo completo: Comini-Cattella-Cioce, "ENERGETICA GENERALE", SGE Padova

Testo di supporto: Poli-Gregoris, "Termodinamica", Lencioni & Belle (Torino)

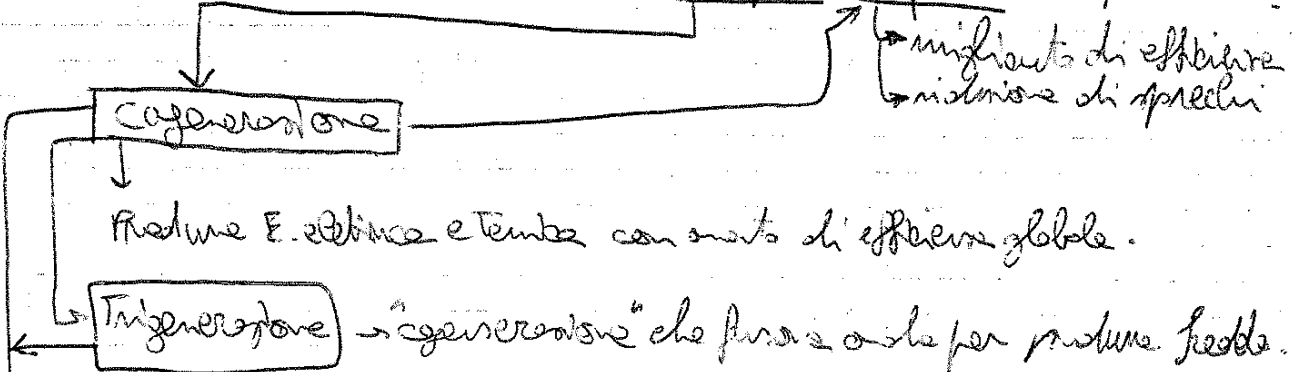
↳ non necessario ma di solito ~~si~~ si usa per tendenze quindi in qualche caso un testo o degli...

1) - Fonti energetiche → Bisogni ed evoluzione di essi



In Italia: 85% di E primaria è importata (media europea = 72%)

↳ necessarie tecniche di recupero e risparmio di E primaria



↳ Vantaggi: a parità di E prodotta (effetto utile) la resa del ~~35%~~ 35% sale quasi al 80% quindi si ha energia a minor costo (senza meno E primaria) e ipotesi ambientale ridotta di conseguenze.

• In Italia c'è solo il recupero che se si usano tecniche di recupero (trigenerazione, cogenerazione) si ha anche una ~~risparmio~~ risparmio limitato

in termini di efficienza, quindi per ogni applicazione l'ideale sarebbe usare la fonte più prossima alle primarie (nel limite del possibile ambientale).

Ex: Boiler a gas: E termica \rightarrow problema di E chimica

Acqua \rightarrow Calore \rightarrow acqua calda
 ↳ calore disperso $\eta = \underline{\underline{30\%}}$ circa (ma è più alta)

• Boiler elettrico: (considera la comb. problema con gas)

E chimica \rightarrow E termica \rightarrow E meccanica \rightarrow E elettrica \rightarrow E termica

$\eta = 36 \div 40\%$

$\eta = 99\%$ (ci sono un

$\eta_{tot} = 0,9 (0,36 \div 0,4) = \underline{\underline{0,324 \div 0,36\%}}$

Pa' di perdite di calore...)

Quindi è chiaro che se uso 36 litri di gas per produrre acqua calda rispetto al Boiler elettrico, uso tanto gas quante ne userei per produrre se col Boiler a gas.

Questa considerazione è un po' eccessiva perché l'energia elettrica può essere prodotta con fonti più economiche del gas (nucleare, gas termico, solare, nucleare) e con minor inquinabilità (solare, eolico...) Però la tendenza è che l'energia termica non venga forse fare più trasferimenti del dovuto.

2) Cogenerazione: E elettrica + E termica

3) Trigenerazione: " + " + E. Frigorifera
 ↳ anche è utile il calore di calore. non è utile per scaldare gli ambienti ma può essere usato per raffreddare...

① Energia idraulica → energia potenziale di acqua → E elettrica

Acqua a valle → sale → vapora → condensa in turbine → viene a monte ...

• molto efficace come sistema di accumulo → acqua pompata in Baem ad alta quota di notte quando c'è energia in eccesso e di giorno scende e mette in moto turbine per la produzione di energia elettrica.

② Alonerosa

molto usata in piccoli impianti idroelettrici, conviene se l'approvvigionamento viene vicino, e costa a livello locale

↓
è usata in zone

le Marche (molto da depuratore e da Marche).

③ Gradienti termici nei Mari - le superfici e più calde

• DT piccolo ma in più usate per produrre energia anche se con efficienza bassa.

④ Maree : se le maree sono molto forti si possono realizzare impianti simili a quelli idroelettrici, le maree sono regolari quindi abbastanza prevedibili.

~~⑤ Geotermia : geotermia termica del terreno (profondità più grande = più caldo non usata). La terra a una certa profondità ha sempre una certa temperatura. Si possono realizzare impianti geotermici.~~

⑥ Termoelettrici da rifiuti (salighi urbani)
↳ celle a combustibile

completamente in grado di sfruttare se ne produce sempre ...

Esempi:

Carbone: durata 200 o 400 anni (200 anni nelle cokerie meno bene che non in usi, o 2 anni nelle "cokerie" = 400 anni)

Petróleo: 40-50 anni

* gas naturale: 60-70 anni

→ [costo 30 anni fa, col costo di tecnologia si sono tutti "giocati" nuovi...]

Il costo dipende da:
- Qualità (potere calorifico) (min' costo più costoso)
- Durata della fonte (letta = più costosa)
- Alternative disponibili a prezzi convenienti (se ce ne sono e sono chiari)

* In Italia si usano i vecchi giacimenti esauriti come depositi in quanto come usare + la il gas in parte a causa del fatto che non pagano il prezzo effettivo ma la parte del T. il... come questi usano tutto ciò che si paga e poi integrare col resto...

3) Fonti Quasi inesauribili (non sono però rinnovabili)

Sono fonti che non si rinnovano in tempi brevi ma che si esauriscono nell'arco di tempi molto lunghi, sono di natura nucleare.

① Geotermia → E. geotermica

Deriva da finzioni nucleari nel nucleo della terra.

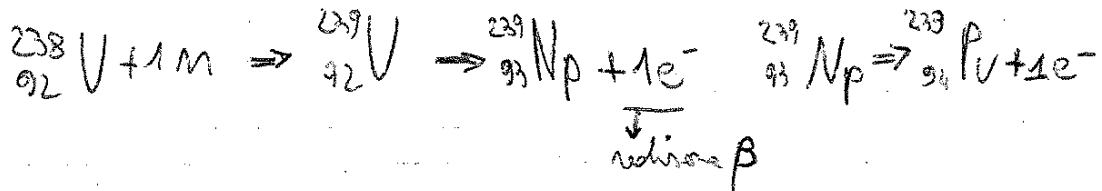
② Fissione nucleare (Uranio, Plutonio, Torio) non sono infiniti...

Uranio: in natura ha 2 isotopi
 $\left\{ \begin{array}{l} 235 \text{ fissile (in natura circa } 0,7\% \text{)} \\ 238 \text{ fertile (in natura è quasi tutto)} \end{array} \right.$
 $U^{235} \rightarrow 2$ MeV per ogni fissione

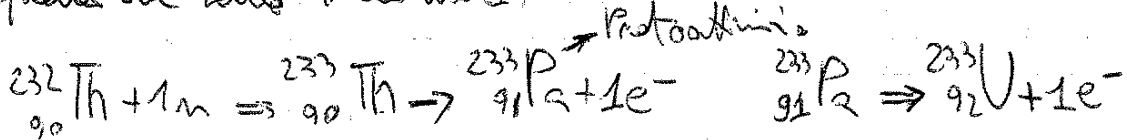
MeV netto uso UO_2 (combustibile di Uranio) come "combustibile nucleare", fornito del 3-4% di U^{235} , e il resto U^{238} , tutto il resto è

7

La reazione di antineutrino è utile



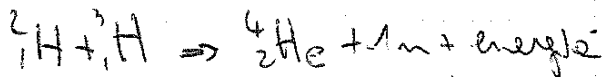
E quella del Torio (meno usata)



e' U 233 e' un isotopo molto più utile.

L'antifissione parte di una mente e Torio quasi integro, con da poter definire la filia Quasi inestinguibile.

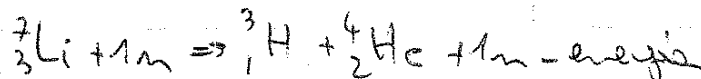
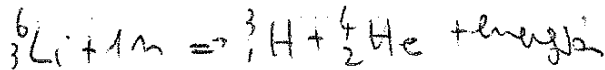
⊙ Fusione Nucleare → unione di due nuclei ex natura - elio



deuterio + tritio = elio

Esperimento recente circa $1 \cdot 10^8 \text{ K}$

Terzo e' parte fanno rete di antineutrino anche qui le altre tracce nell'elio non si trovano (le altre e' nell'acqua di mare).



} il neutro m/b e' quello
della reazione $\Delta + \text{T} = \text{He}$

La fusione e' difficile, non e' ancora utilizzabile come fonte di energia perché ne sono più di quante ne produce a causa delle difficoltà di contenere i reattori senza contenere i neutroni ma con ~~metalli~~ metalli attivi (cerchio magnetico).

⊙ LENS → non si sa bene cosa sia, però che ~~non~~ che siano reattori a bassa energia (con energia nucleare reattori) ma non è certo se sono di rete elettrica o chimica. [9]

Questi settori sono una coltella W_2 anche se al 3/4 % di U^{235} che a fine vita del coltella (circa 1 anno e non) riprende questo del tutto, e restano una serie di isotopi radioattivi, U^{238} , U^{235} (max 1% ...), Pt^{239} , ecc.

Coltella esente si riprende:

sempre U , Pt , come chimica; sempre U e Pt
 ↳ gestione utile

scorie: sono le scorie perché degli isotopi nucleari prodotti sono trattati per pochi anni o meno lunghi... sono l'intero problema che non è stato ancora risolto ed è un problema grave

Fonte utile: uranio { mancano (dopo essere stato aperto chimico di) plutonio
 } creare Max
 ↳ U^{235} e Pt^{239} di molto di usare non sono finite

Problema del Max:

Plutonio è più economico ma più problematico dell'uranio perché anche a livello globale produce calore e lo serve a fare scorie nelle scorie di decessato che sono quasi affidate (uso di energia...)

Sosteni di George: In un sistema nucleare deve essere ridotti e migliorati l'uso dell'alto, un sistema che intenerisce dare poter entro le finanze del reattore e le finanze di reattori

Bechi gonfi e Fukushima: Tentato fare la centrale e non ci sono giorni dani, Tsunami fanno i generatori Atomici che distruggono l'ignoto di affidato di energia che può è dato molto più a quanto di Tenere
 => Fine del secolo ...

Altra classificazione per le fonti di energia:

Fonti: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Primarie} = \text{disponibili in natura (ex sole, vento, petrolio...)} \\ \text{Secondarie} = \text{usate tal quali negli impianti, derivate da primarie} \\ \text{(ex energia elettrica)} \end{array} \right.$

Non sempre le fonti primarie si usano tal quali negli impianti:

o Petrolio necessita di raffinazione
 1 tonnellata $\approx 137 \text{ kg} = 159 \text{ litri}$

- Gasolio
- Cherosene
- Benzina
- GPL
- gas Bomba destan
- gasfolla destan (Poltine...)

o Sole \rightarrow luce e/o energia elettrica (Eolico)

L'energia termica \Rightarrow luce e/o energia elettrica \Rightarrow luce e/o energia elettrica

L'energia disponibile presso una fonte si misura in tep o tec
 (tonnellata equivalente di petrolio / tonnellata equivalente di carbone).

Potenza calorifica inferiore del petrolio: $H_i = 10'000 \text{ kcal/kg}$

$$\boxed{1 \text{ tep} = H_i}$$

\downarrow
 tutti i prodotti della combustione
 secondo stato gassoso (vapore)

$$\boxed{1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ}}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ tep} = 10^3 \cdot 10'000 \approx 10^7 \text{ kcal} = 10^7 \cdot 4,186 \text{ kJ}$$

H_i del carbone $\approx 7'000 \text{ kcal/kg}$

$$1 \text{ tec} = 10^3 \cdot 7 \cdot 10^3 = 7 \cdot 10^6 \text{ kcal} = 0,302 \cdot 10^6 \text{ kJ}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ tec} \approx 0,7 \text{ tep}$$

• Metano ($H_i = 50,7 \frac{MJ}{kg}$ e $n_i da \frac{2,75 kg CO_2}{kg metano}$)

mi serve $\frac{41,9}{50,7} kg$ di Metano ~~metano~~

e produce $\frac{41,9}{50,7} \cdot 2,75 kg$ di $CO_2 = \underline{2,27 kg}$ di CO_2

Quindi l'ambiente produce il Metano e il metano, rispetto del Petrolio che a sua volta è rispetto del carbone.

Ora che se considero i Tep, l'equivalente sono:

1 Tep di carbone $\Rightarrow 4,6 t$ di CO_2

1 Tep di Petrolio $\Rightarrow 3,14 t$ di CO_2

1 Tep di Metano $\Rightarrow 2,3 t$ di CO_2

N.B. La CO_2 Non è l'unico inquinante, in quanto il carbone usato è l'aria atmosferica captata da O_2 e N_2 :

O 23,2 % wt 21 % vol

N 76,8 % wt 79 % vol

\Rightarrow mi serve anche e in presenza di ossigeno \Rightarrow formare ossidi di azoto dell' NO_x che sono gas serra molto più.

[Dal 2008 i consumi di gas sono sempre in aumento, hanno molto ma l'entropia e ora sono stabili, la cosa di cui è la crisi...

Le emissioni sono colte di conseguenza...

Problemi dei cl. forti : Δ CO₂, NO_x

Ente il 2020 : da Protocollo di Kyoto :

- ridurre i consumi di energia del 20%
- \rightarrow le emissioni di CO₂
- crescita del 20% la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Nucleare \approx 6%

Rinnovabili in generale 6-7% $\left\{ \begin{array}{l} \text{biomasse} \\ \text{geotermie} \\ \text{PSC (impianti solari)} \end{array} \right.$

Eolico \approx 0,2%

Solare \approx 0,1% \rightarrow Tempe, Fotovoltaico, Termoelettrico

CO₂ nell'atmosfera : 1860 \rightarrow 296 P.P.M (dati 1992 miliardi)
 2007 \rightarrow 330 P.P.M

Consumatori di Fossili fossili :

- USA 23% tot (4,6% della popolazione mondiale)
 - Cina 14% tot (20% della popolazione mondiale)
 - Russia 6,25% tot
 - Giappone 5% tot (risorsa dell'energia \approx Italia, lo sviluppa il nucleare per quel motivo)
 - India 3,7% tot (è lo 1 miliardo di persone nel)
 - Germania 3,7% tot
 - Francia 2,5% tot
 - Gran Bretagna 2,2% tot
 - Corea del Sud 2,1% tot
 - Brasile 1,8% tot
 - Italia 1,8% tot
- 1 Chiese consume \approx 1 Tera/anno
 - 1 Europeo consume \approx 4 Tera/anno
 - 1 Americano consume \approx 8 Tera/anno

11

Combustibili fossili

- USI
- Combustione (Edini → E termica → E meccanica → E elettrica) $\eta \sim 36-40\%$
 - Combustione in celle (Edini → E elettrica) [Eletrolita a parete] $\eta \sim 70\%$
E letica per ossigeno

Petrolio

Formato da idrocarburi C_xH_y + tracce di H_2O

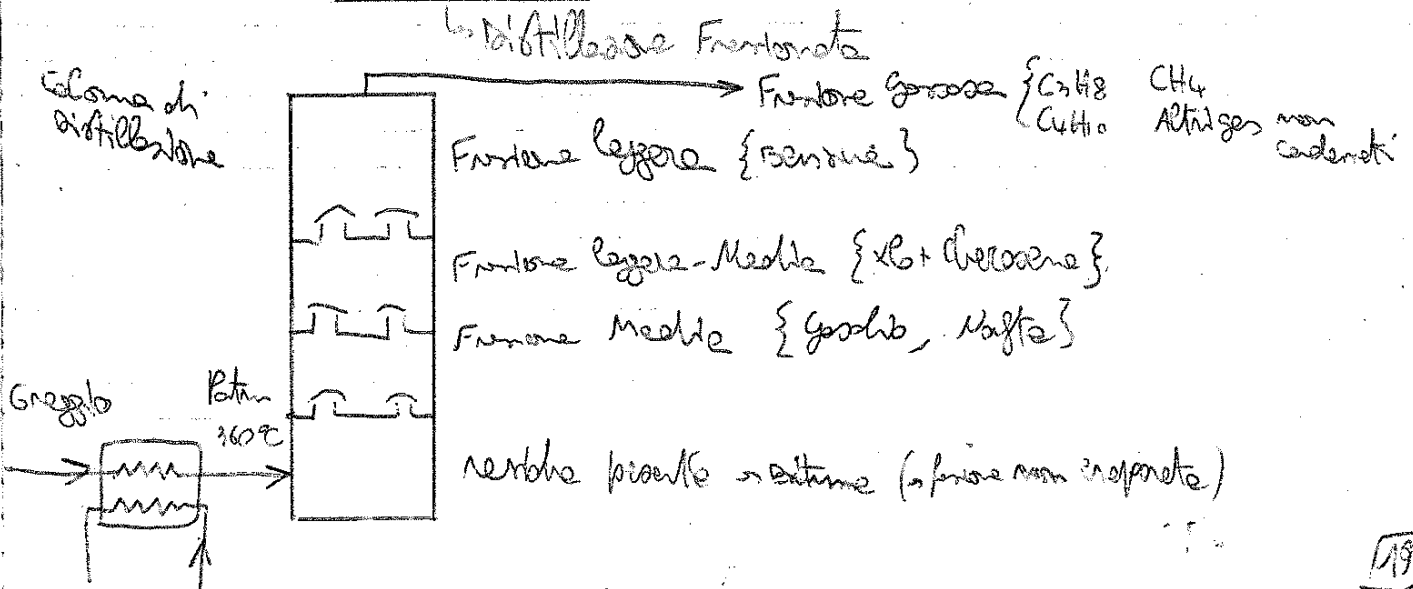
- Ceneri organici
- H ossigenati
- H zolfozati
- sabbia

Valore commerciale del greggio: cause:

- GAI di estrazione → Trivello → mica a rifonore / a rifonore
Profondità del pozzo e locazione di esso { Mare / Terrestre
- GAI di trasporto: { Scazzolo / Strettezza } Difficoltà da esso e nel caso di scazzolo, numero di stati da attraversare.
- Denata: denata' base = Base (poco Base e tanto greggio)
- Tenore di zolfo: lo zolfo è inerte e non ha catalizzatori, all'atto che quindi il petrolio che contiene lo zolfo meno.

Uso del petrolio

Il greggio che non è utilizzabile, dopo l'ESTRAZIONE si procede anche alla RAFFINAZIONE



• Dopo i litolati altri:

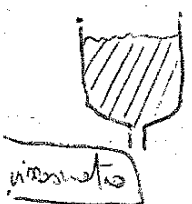
- Gas condensabili → G.P.L. (gas di petrolio liquefatto)
- Alciliati leggeri → Benzina per autotrazione
 - Nafta Vergine (Base per volutra petrolchimica)
 - Carburante (AVIO) → esente per tubi aeronautici
- Frazioni Pesanti e medie : → Gasolio (usato nei Motori Diesel e negli impianti di riscaldamento)
 - Cherosene (più leggero del gasolio) usato (usato nelle tubi turbine e quello tubi aeronautica)

- Frazioni Pesanti (mescolate con più o meno gasolio):

→ alcilati ~~pesanti~~ (Nafta): usati negli impianti di riscaldamento e nelle centrali termoelettriche

contenuto di grasso ↓ Valore calorifico	→ <u>fluridromi</u> : viscosità a 50°C < 3°E
	→ <u>fluridi</u> : " " " tra 3 e 5°E
	→ <u>Semifluridi</u> : " " " tra 5 e 7°E
	→ <u>Densi</u> : " " " > 7°E

Viscosità: grado Engler ⇒ rapporto di effluvio da un certo viscosimetro (di 200 g del liquido nelle condizioni di prova) e il tempo di effluvio dello stesso volume d'acqua a 20°C omogeneo dello stesso viscosimetro.



$$\left[\frac{T_{deg \text{ liquido prova}}}{T_{deg \text{ H}_2\text{O } 20^{\circ}\text{C}}} = \text{°E} \right]$$

Tenore di zolfo: (più è alto meno l'idrocarburo è pregiato)

Lo zolfo è contenuto nei residui di raffinazione e negli idrocarburi pesanti (oli), e cresce con la diminuzione del contenuto di gasolio degli stessi oli. Gli ATZ (alto tenore di zolfo): pentole di zolfo max 3% (4% negli oli densi) ma gli ATZ sono Banditi dell'UE, si possono solo usare i BTZ che hanno una percentuale di zolfo non oltre 1% (Basso tenore di zolfo)

② Combustore nei bruciatori

- Bruciatore ha 2 funzioni:
- atomizzazione (preparazione del combustibile)
 - ottenere miscelato tra combustibile e carburante
 - mantenere la forma stabile nel tempo considerando anche le caratteristiche della camera di combustione.

Atomizzatore:

è il componente più importante del bruciatore, può essere:

- **Mechanical** (prepara il combustibile con velocità costante un disco che ruota a velocità)
 - (prepara il combustibile attraverso il processo idrodinamico, con un soffio fedele proveniente da un ugello di diametro ridotto)
- **Pneumatico**: Combustibile viene a loro pressione in ugelli cilindrici all'esterno del fluido nebulizzante (H₂O oppure aria). Il combustibile esce dagli ugelli e entra in contatto col fluido che lo spinge in minuscola goccia.

② Combustore nei motori

motori principali: cielo Otto
Cielo Diesel

→ altri tipo motore: motore Wankel (rotativo)

* Si nota il numero di giri (RPM) e il numero di giri (RPM) per motore

Cielo Otto (accensione comandata): l'accensione della miscela è data da una scintilla,

il carburante usato è la benzina con potere antidetonante elevato con due entiere autoaccensione a causa di OHP (nei motori diesel)

il rapporto di espansione (es. 8,5/1) e di fronte temperature.

Potere antidetonante: aggiunta di Alchil tetraetil (ora in disuso) di etere o Metano (Benzina Verde)

Altri carburanti usabili: G.P.L. e metano, Metano, Etano; ma sono usati solo marginalmente.

Cielo Diesel: accensione causata da un alto di temperatura durante la compressione adiabatica. Il carburante usato è il Gasolio (maggioremente H₂O e Alchil) con buona capacità di autoaccensione. (numero di giri) ~~...~~

Del legno si può estrarre Metano ma è poco utile a parte nelle fuel cell perché è relesso e una perdita di energia nell'oblio, se non è bruciato, può inquinare come la Benzina... il Metano può essere usato come la Benzina o nelle fuel cell idonee (littate in seguito).

Propulsione Elettrica

Vantaggi: nessuna emissione di gas inquinanti e inquinamento termico, il rumore è più contenuto (a pari potenza).

Problemi: Energia elettrica ha alto costo e per produrre si usano spesso fonti fossili \Rightarrow perdita di efficienza dai "retaggi" (N.B. l'acquisto delle centrali a pari potenza è inferiore a tutta l'energia coperta (vedi)).

Gas naturale

Reddito	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	N ₂	CO ₂	altro	H ₂	H ₂ S
GN (Italia)	98,6	-	-	1,4	-	-	35,4	39,4
GN (Algeria)	81,3	0,9	0,4	14,3	0,9	2,2	31,6	35,2
CH ₄ puro	1000					-	35,8	39,9

[Della molecola di gaspropano [Benzoni in volume percentuali] e H₂/H₂S [MJ/m³]

Il Gas naturale, data l'alta presenza di Metano è l'obscuro meno inquinante. Il tipo avere inferiore gasosa (temp. C₂H₆ = -82,6°C, H₂ di ebollizione = 16,5°C), quello liquido solo via mare.

Fileira gas naturale:

- Approvvigionamento (estrazione e importazione (da Algeria, Russia, Algeria))
- Trasporto e deposito
- Stoccaggio
- Distribuzione e vendita

valori tipici di composizione (percentuali di massa) e poteri calorifici (MJ/kg)

Carbone	[C]	[H]	[O+N]	[S]	[H ₂ O]	[Ceneri]	H _i	H _s
Torbe	0,35	0,05	0,22	0,01	0,24	0,13	12,3	14,2
Ligniti	0,50	0,04	0,15	0,02	0,18	0,11	19,2	20,6
Litantraci	0,78	0,04	0,06	0,01	0,04	0,07	31,5	32,4
Antraciti	0,85	0,03	0,03	0,01	0,02	0,06	31,0	31,5

Uso del carbone

L'uso energetico del carbone è caratterizzato da: $\left\{ \begin{array}{l} \text{• Stato solido} \\ \text{• Massa non bruciabile di} \\ \text{• ceneri e residui incombustibili} \end{array} \right.$

Stato solido: \rightarrow difficoltà di trasporto
 \rightarrow combustione separata

Costo di linea ed il gas: \rightarrow combustione separata da vendita di gas e sottoprodotti dei fumi

Detto ciò, si deduce che il carbone risulta di uso solo in situazioni molto controllate (ex. generatori di vapore), senza mai vedere il carbone.

ultimamente si sta cercando di ridurre e controllare il costo del carbone.

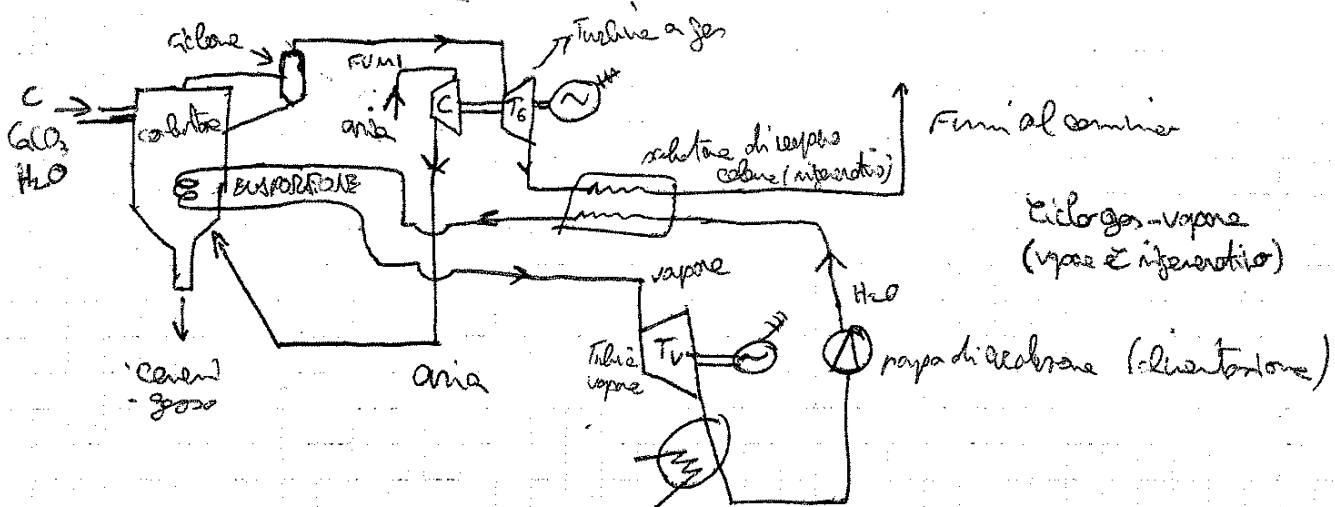
È possibile anche avere idrocarburi solidi o liquidi del carbone sottoposto a processi di liquefazione e gassificazione.

Combustore tecnologico:

- Stufa a griglia (alimentazione manuale e automatica) per poteri con diametro tra 3 e 5 cm, il carbone viene da sotto. momento di notevole eccesso d'aria a causa del loro rapporto superficie/volume.
- Im Bruestofen per il "Polverino di carbone" ossia carbone finemente polverizzato (max 1 mm di diametro), l'eccesso d'aria può essere ridotto; i bruestofen usati sono simili a quelli usati. 29

molto efficientemente data la velocità di quest'ultima (circa 1-2 m/s)

Schéma impianto completo (è un ciclo gas e vapore ...)



Se la velocità è ad alta pressione (vedi schema) Condensatore
 Si può definire un ciclo gas-vapore "non combinato" in quanto lo stesso colore ^{combustore} ~~colore~~ apporta per entrambi i cicli ma non è un vero e proprio gas-vapore in quanto il calore dei fumi è usato solo come rigeneratore, non per scaldare direttamente il vapore ...

Attenzione

Processo usato da molto tempo, consente di ottenere coke, gas di città, altri sottoprodotti utili a partire dal carbone fossile (in genere litantrace). È un processo di riduzione in assenza d'aria, attraverso il quale si ottiene due

- feni separati:
 - { for coke = coke
 - { for gasosa: H_2, CO_2, CO, CH_4

↳ Gas di ~~città~~ ^{città} (gas città) non più distribuito nelle città ma usato per produrre energia elettrica.

Sottoprodotti: catrame, ammoniaca, nitrato di ammonio, ~~benzene~~ benzene, pece.

Da 1000 kg di litantrace otteniamo:

COKE *	700 kg	Solfato d'ammonio	9 kg
Scorie di Coke	45 kg	Benzene gesso	14 litri
Catrame gesso	41 litri	Gas di città	140 Nm^3
Acqua ammoniacale (NH_3 2%)	114 litri		

* $H_1 = 30,2 \text{ MJ/kg}$ $H_2 = 30,5 \text{ MJ/kg}$

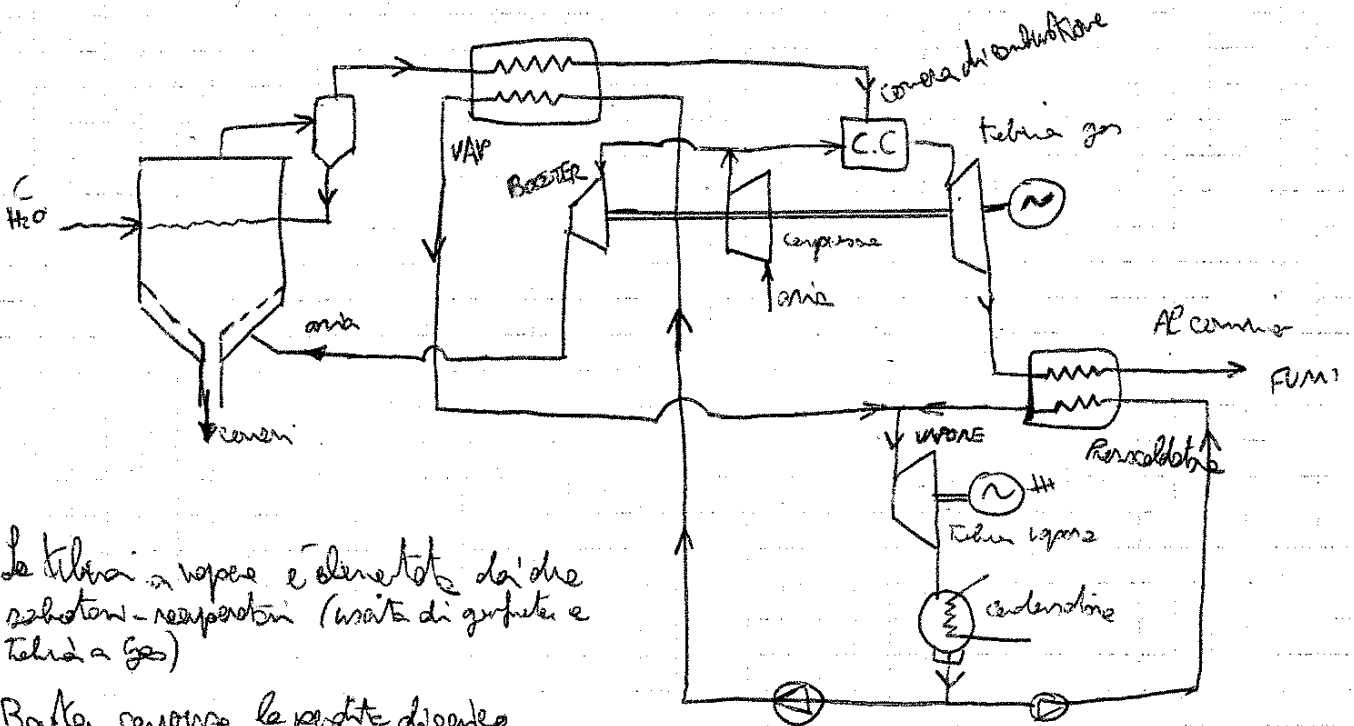
Le reazioni precedenti di cui sono Steam Reforming (conversione mediante vapore) e Shift (spostamento).

Problema: nei gas di sintesi sono anche presenti vapori di alcuni elementi inquinanti: H_2S , NH_3 , HCN , ..

Soluzione: si effettua la miscela recuperando calore e tabulando le perdite e ~~...~~ acidi solforici, ammoniacale e HCN (NH_3 e HCN sono solo tracce)

La tecnologia di "Pulizia dei fumi" è analoga a quella usata in tutti gli impianti che lavorano con altri fumi "sporchi". [A. B. B. in seguito]

Gas di sintesi \Rightarrow uso energetico degli stessi \Rightarrow sistemi impiantabili diverse



La tubina a vapore è alimentata da due reattori - recuperatori (acqua di glicole e tubina a gas)

Butta a ripulire le perdite di calore aggiuntive dell'intero gas

Idrogeno: (gasifera con idrogeno - etilolo)

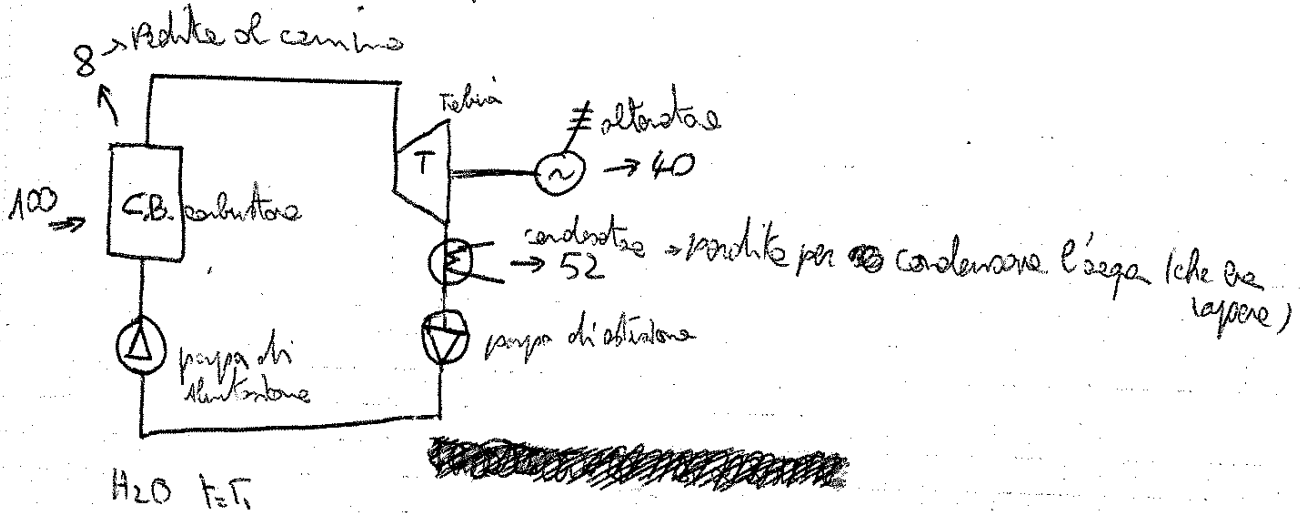


\rightarrow problema del calore la reazione avviene a 1. Bar

La reazione è polimerica metano

Esempio:

Centrale elettrica con $\eta = 40\%$



~~Il problema è che...~~

~~Il problema è che...~~

$\delta \rightarrow$ sono le perdite al camino (i fumi sono caldi) direttamente nell'aria. Acque di condensation più del fume a 20°C e miste in esso a $25-30^\circ\text{C}$, quindi scalda il fume.

Adh, giunta di energia per il vapore, 52 per il fume, 40 convertite in energia elettrica \Rightarrow 60 unità di energia e calore che va diretto nell'ambiente.

Ma quanto posso scaldare un fume?

LEGGE Merli:

nel punto di scambio delle acque calde H_2O del fume non deve essere superiore a 35°C . Ma a 100 m a valle dell'opera di restituzione ΔT tra prima del centrale e lì deve essere Max 3° .

\Rightarrow conseguenza \Rightarrow in estate è probabile anche che la centrale scaldi dove sono volute rispetto all'inverno.

\Rightarrow Si rende necessario l'uso di condensatori raffreddati ad aria che "preaffreddano" il fluido di processo (che un po' η ...)

Esempio:

Centrale da 1000 MW

$$\eta = 0,33 \quad (33\%)$$

Il condensatore deve maltrarre circa 2000 MW = $2 \cdot 10^3$ kW termici

$$C_p H_2O = 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$\Delta T = 8^\circ \text{max} \quad (T_{in} - T_{out}) \text{ del condensatore} \quad 2 \cdot 10^3 \text{ kW} = C_p W_1 (T_{in} - T_{out}) = 4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K}$$

$$\Rightarrow W_1 = \frac{2000 \cdot 10^3}{4,18 \cdot 8} \approx 60 \cdot 10^3 \text{ kg/s} = 60 \frac{m^3}{secondo}$$

Se la portata del fiume non fosse $\frac{8}{3} W_1 = 8 \cdot 20 \frac{m^3}{s}$ allora si dovrebbe cercare a raffreddare attraverso ad altre (vedi la foto delle centrali nucleari, le ciminiere enormi delle quali esce fumo bianco che è acqua + vapore).

Inquinamento chimico (dell'aria)

↳ 8° age di raffreddamento non viene contenuta dagli inquinanti

Deriva da processi di combustione e dipende dal contenuto di sostanze inquinanti nei combustibili di partenza nonché dal rapporto C/H.

→ Combustione completa → nei fumi solo CO_2 e H_2O (è l'ideale e solo fatto da C/H)

rispetto le
oblaste per
inquinanti (es zolfo)

↓
 CO_2 ⇒ gas serra ⇒ causa della lippitudine
(inquinamento termico indiretto)

→ Combustione incompleta (come spesso accade nelle particelle)

⇒ esce del CO (monossido di carbonio) che è un idrocarburo incoloro, se inalato si lega all'emoglobina in modo stabile ⇒ CARBOSSIEMOGLOBINA, di conseguenza il sangue non porta più ossigeno verso le cellule ⇒ morte

È inoltre un potente gas serra ma ha effetti terribili come il CO_2 e molto più presto qualitativamente.

Normative

- Zolfo: max tenore di zolfo nei combustibili
- $0,3\% \div 7-10\%$ nel carbone
 - $< 1\%$ diesel BTZ
 - $0,3\% \rightarrow 0,03$ Gasolio

[specifiche nei impianti deve essere più pulito possibile se non mi è difficile togliere i fumi a dovere.]

Nei fumi:

- contenuto di SO_2
- $< 400 \text{ mg/Nm}^3$ impianti con potenza $> 500 \text{ MW Termici}$
 - $< 100 \text{ mg/Nm}^3$ " " $< 50 \text{ MW Termici}$

Problema delle emissioni: Inchi e Cina sono in crescita e hanno molto carbone, la nostra superficie è crescente quasi libero secondo mi stupisco ...

In Italia (in solo giorni dell'uso di CH_4)

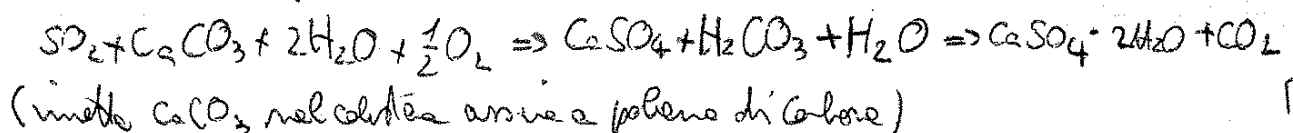
- 60% dovuto a centrali termiche [dato non preciso visto il cambio di vecchi impianti a olio con impianti a Gas naturale]
- 30% da industrie (vario tipo ma non energetica)
- 10% vari dotti, civili, ~~trasporti~~ trasporti

Come ridurre:

- trattamento del combustibile (il "pulisco")
- trattamento diretto al combustibile* \rightarrow meno oneroso del post-trattamento
- trattamento dei fumi (Desolfurazione)

* combustione a letto fluido è un metodo valido

nelle col a letto fluido si usa anche la reazione



NO_x più comuni

"in PAC"

N_2O Ossido di Azoto (~~ossido~~ monossido di diazoto)

NO ossido di Azoto (monossido di Azoto)

NO_2 biossido di Azoto (Pentossido di Azoto) (ipossalite)

↳ responsabile dell'"atmosfera grigia" nelle grandi città

• CH_4 : Brevi scala temporale, non ha azione paria ma nei fum c'è NO_x , quindi si formano NO_x termici.

• Di comb. Alibi a base di idrocarburi, possono contenere (molto pochi) NO_x già "preformati".

• Color Diesel e Otto, gli idrocarburi (gasolio e benzina) contengono N, quindi ~~alle~~ le onde dei NO_x da combustione (molto meno rispetto ai NO_x termici.).

Chi lo emette?

• 25% centrali termoelettriche

• 50% trasporti (i motori sono le centrali più piccole...)

• 25% le altre soluzioni (non piante energetiche ex caldaie domestiche)



in presenza di Vapore Acqueo: $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3$ → H^+ acido
 ossidabile nitroso acido nitrico \downarrow
 → dannoso per la vegetazione.

Limiti di emissione

~ 200 mg/Nm^3 impianti > 500 Mw termici

~ 650 mg/Nm^3 impianti < 50 Mw termici

di disturbo che ostacola la combustione e favorisce la formazione di NO_x .
 → nei nuovi carburatori (DLN=2 / Low NO_x) carburatore e
 venturatore sono premiscelati e la combustione migliora, NO_x quasi
 risolto in quanto la combustione dell'idrocarburo è completa e
 quella dell'ossigeno.

3) Combustione a più stadi

1) eccesso di combustibile → T_{fiamma}
 ↳ poco O → NO_x scarso

2) mancanza la miscela e l'eccesso d'aria limita la T, con
 conseguente formazione di pochi NO_x

4) Riciccolo di gas di scappa

I gas di scappa limitano T ma con meno perdite termiche per il riciccolo
 in parte H_2O , si ottiene la cosiddetta "combustione senza fiamma",
 onde distribuite in un volume più ampio della fiamma classica.

Riduzione di NO_x dai fumi

- Riduzione catalitica con Radici → termici
- Riduzione catalitica selettiva → "SCR" → catalisi elettrolitiche o campo in punti fumi grandi.
 ↳ SELECTIVE CATALYTIC REDUCTION
 ↳ uso di predotti ammoniacali



↳ con l'uso di catalizzatori (catalisi Metalliche)

questo trattato (SCR) è efficace tra 300 e 400°C

limite di emissione di NO_x (Unione Europea): $200 - 300 \frac{mg}{Nm^3}$ ^{micro}
 ↳ a seconda del combustibile usato

- terre: temperatura superficiale media = 288°C quindi emette radiazioni nel campo infrarosso: $\lambda_{\text{max}} = \frac{3000}{288} = \dots > 10 \mu\text{m}$ [tra 15]

Se sulla superficie terrestre la T resta costante vuol dire che tutto ciò che arriva viene riassorbito, e le radiazioni solari e terrestri interagiscono con l'atmosfera con delle differenze:

- Radiazione solare: l'atmosfera e soprattutto i gas sono quasi trasparenti a quelle lunghezze d'onda
- Radiazione terrestre: la troposfera riflette in parte quel tipo di radiazione

La T è invariata negli anni per vari motivi ma senza gas serra sarebbe circa -15°C (non si sarebbe formata la vita).

Venire: atmosfera di CO_2 densa (alta pressione) e Motore:
la temperatura superficiale è circa 700°K

Gas Serra più importanti

- CO_2 e H_2O quantitativamente
- CH_4 , N_2O , SF_6 , O_3
- quelli che fanno male sono ~~tra i gas serra~~ l'ozono (O_3)

- PFC = perfluorocarburi
 - CFC = clorofluorocarburi
 - HFC = idrofluorocarburi
 - HCFC = idroclorofluorocarburi
- } Fluidi Frigoriferi
(ex Freon...)

O_3 è un ossidante instabile e molto reattivo quindi si spara e si lega a quei "sparti" \rightarrow nasce lo strato di ozono nella stratosfera.

Tecnologie per ridurre CO₂

Puntello non rinflettibile

- Decarbonazione dei combustibili usati nelle centrali (il CH₄ è ridotto al Max...)
- Cattura della CO₂ post combustione = CCS (Carbon capture and storage)

↳ Esperimenti in corso :

- Caricchio dei fumi (solventi amminici)
- Assorbimento in materiali (cediti, carboni attivi...)
- Membrane selettive porose ⇒ osmosi
- Separazione CO₂ dal resto per liquefazione della stessa (CROSEMA)

Nel 1997 i paesi sviluppati hanno sottoscritto il protocollo di Kyoto

- entro il 2012, ridurre le emissioni del 5% rispetto al 1990 (oggi ne è circa a +20%...)
- aumento del 20% l'uso di energie rinnovabili

Esempio di calcolo di Emissioni CO₂

Centrale di punto talle alimentata a olio combustibile

$$\eta = 0,39 = 39\%$$

$$P_{elettrica} = 4.600 \text{ MW}_e$$

$$H_i = 41,9 \text{ MJ/kg}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 3,14 \text{ kg di CO}_2 \\ \text{1 kg di olio} \end{array} \right.$$

$$q [\text{MW}_{bruci}] = \dot{m}_c \cdot H_i = \frac{W_{el}}{\eta} = \frac{4.600}{0,39} = 6154 \text{ MW}_{bruci}$$

(potenza del combustibile (in massa))

$$\dot{m}_c = \frac{q}{H_i} = \frac{6.154 \cdot 10^9 [\text{W}]}{41,9 \cdot 10^7 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 147 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{CO}_2 \Rightarrow 3,14 \cdot 147 = 462 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (\text{potenza massima di CO}_2 \dots)$$

⇒ fattore di carico reale = 0,7 [il punto è sotto al 70% della capacità...]

$$\Rightarrow 0,7 \cdot 462 \cdot \frac{86400}{\text{giorno}} \cdot \frac{365}{\text{anno}} = 1 \cdot 10^9 \frac{\text{kg}}{\text{anno}} \cong 10 \cdot 10^7 \frac{\text{T}}{\text{anno}}$$

Col carico al 70% (media), le CO₂ prodotte è $10 \cdot 10^7 \frac{\text{T}}{\text{anno}}$

(47)

$$P = \sum_{k=1}^n q_k \left(1 - \frac{T_A}{T_k}\right) + \sum_{i=1}^m \dot{m}_i \left[(h_{i,e} - h_{i,u}) - T_A (S_{i,e} - S_{i,u}) \right] + \sum_{i=1}^m \dot{m}_i \left(\frac{v_{i,e}^2 - v_{i,u}^2}{2} \right) + \sum_{i=1}^m \dot{m}_i g (z_{i,e} - z_{i,u}) - T_A \Delta S_{irr}$$

- ΔS_{irr} = generazione di entropia a causa di irreversibilità - (Attivi)

Se ΔS_{irr} è minimo (debiti o per trasformazioni reversibili), P è max

$T_A \Delta S_{irr}$ = perdita di potenza nelle trasformazioni reali

→ $P_p = T_A \Delta S_{irr} = T_A \Delta S_{generata}$ Teorema di Gouy-Stodola

↓
Tappotabile (dolo morto)

Loss Power

N.B.: Se tutte le fonti di energia che usi in favore di T_A sono alla stessa temperatura T_A , non ottengo bene perché qualche quantità di calore a $T = T_A$ e nella exergo nulla.

Se T_k invece è $> T_A$, la "qualità" dell'energia aumenta e posso definire l'energia utilizzabile prodotta da una quantità di calore Q , scelto per unità di massa di fluido di processo: $e_Q = Q \left(1 - \frac{T_A}{T_k}\right)$
vale exergo...

- L'energia meccanica (cinetica e potenziale) mi può sembrare exergo pure perché utilizzabile tal quale.
- L'energia interna e l'entalpia invece non sono esplicitamente usabili (controlli in base)

Semplifico il problema e considero un caso con un'unica portata (in e out):

$$P = q \left(1 - \frac{T_A}{T_1}\right) + h_e - h_u - T_A (S_e - S_u) + \frac{v_e^2 - v_u^2}{2} + g(z_e - z_u) - T_A \Delta S_{irr}$$

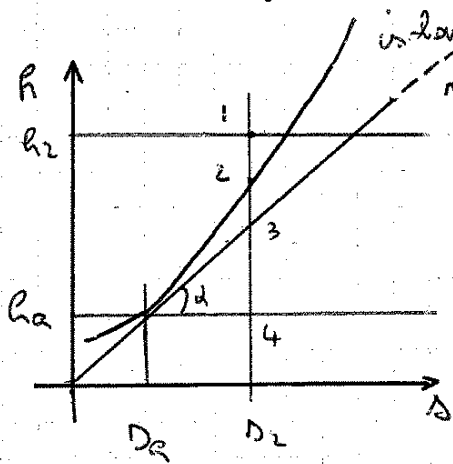
caso
considero
fluido stabile

Esaminare 2 casi { Processo ciclico
 { Processo con deflusso

Entalpia : $h \Rightarrow$ dipende da T , ~~non è~~ non è Esergia pura

$$dh = du + pdr + vdp = \underbrace{C_v dt}_{\text{energia interna dipende da } T} + \underbrace{pdr + vdp}_{\text{energia pura dipende da } T}$$

$[h = u + p \cdot v] \rightarrow$ con le derivate...
 Energia interna dipende da T .



$$\bar{13} = \bar{14} - \bar{34}$$

$$\bar{12} = \bar{13} - \bar{23}$$

$$\left(\frac{dh}{ds}\right)_{p=\text{cost}} = T$$

$$dq = du + pdr$$

$$h = u + pv$$

$$dh = du + vdp + pdr$$

se $T = \text{cost} : dh = dq \quad [= du + pdr]$

$$dq = Tds \Rightarrow dh = Tds$$

1 = entrata
2 = uscita

$$e = q \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) + \underbrace{h_1 - h_2 - T_0 (s_1 - s_2)}_{e_1 - e_2} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) - T_0 \Delta s_{\text{irr}}$$

ricordo che $e = h - T_0 s$

$$e = q \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) + \underbrace{(h_1 - T_0 s_1)}_{e_1} - \underbrace{(h_2 - T_0 s_2)}_{e_2} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) - T_0 \Delta s_{\text{irr}}$$

$$\Rightarrow \text{Quindi: } e = q \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) + e_1 - e_2 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) - T_0 \Delta s_{\text{irr}}$$

Energia vs Esergia

1) 1° principio: $q = h_2 - h_1 + e + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$

2) Esergia: $q \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) = e_2 - e_1 + e + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) + T_0 \Delta s_{\text{irr}}$
 \hookrightarrow eq. dell'energia semplice...

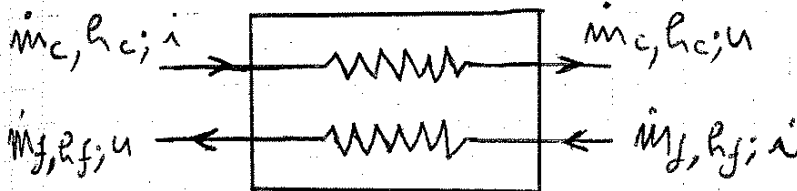
1) se 1° principio applica un'ipotesi retrologica dell'energia nella fonte
 fonte senza conseguenze grazie al'errore e' consistente in base, 51

Rendimenti:

η 1° principio: effetto utile / spesa \rightarrow secondo la eq del 1° principio

η 2° principio: Energia ottenuta / energia spesa \rightarrow secondo la eq del secondo principio

Condizioni base di realt a controcorrente:



c = caldo f = freddo
i = ingresso u = uscita

$$\dot{m}_c (h_{ci} - h_{cu}) = \dot{m}_f (h_{fu} - h_{fi})$$

come in un'isobara:
 $\Delta h = C_p \Delta T$
 $\Delta T = T_{max} - T_{min}$

$$\Rightarrow \dot{m}_c C_{pc} (T_{ci} - T_{cu}) = \dot{m}_f (T_{fu} - T_{fe}) \cdot C_{pf}$$

Considero fluido stesso ma caldo o freddo $\Rightarrow C_p$ e C stesso ($C_{pc} = C_{pf}$)

- Effetto utile = scaldare il fluido freddo
- Spesa = raffreddare fluido caldo

[. opera lungo trasformazioni isobare
 . considero calore adiabatico con ambiente]

$$\eta_1 = \frac{\dot{m}_f C_p (T_{fu} - T_{fi})}{\dot{m}_c C_p (T_{ci} - T_{cu})} = 1$$

Il calore passa da un fluido all'altro e riscalda i fluidi sono gli stessi, applico i C_p e lo dei ΔT uguali a pentola di zinco...

\Rightarrow Non considerare la qualit  del calore portandolo.

$$\eta_2 = \frac{\text{energia ottenuta}}{\text{energia spesa}} = \frac{\dot{m}_f [(h_{fu} - h_{fi}) - T_a (\Delta s_{fu} - \Delta s_{fe})]^*}{\dot{m}_c [(h_{ci} - h_{cu}) - T_a (\Delta s_{ci} - \Delta s_{cu})]}$$

$$= \frac{\dot{m}_f C_p [(T_{fu} - T_{fi}) - T_a \ln \frac{T_{fu}}{T_{fi}}]}{\dot{m}_c C_p [(T_{ci} - T_{cu}) - T_a \ln \frac{T_{ci}}{T_{cu}}]}$$

$< 1 \rightarrow$ senza spendere energia il calore non fa nulla non isobare,

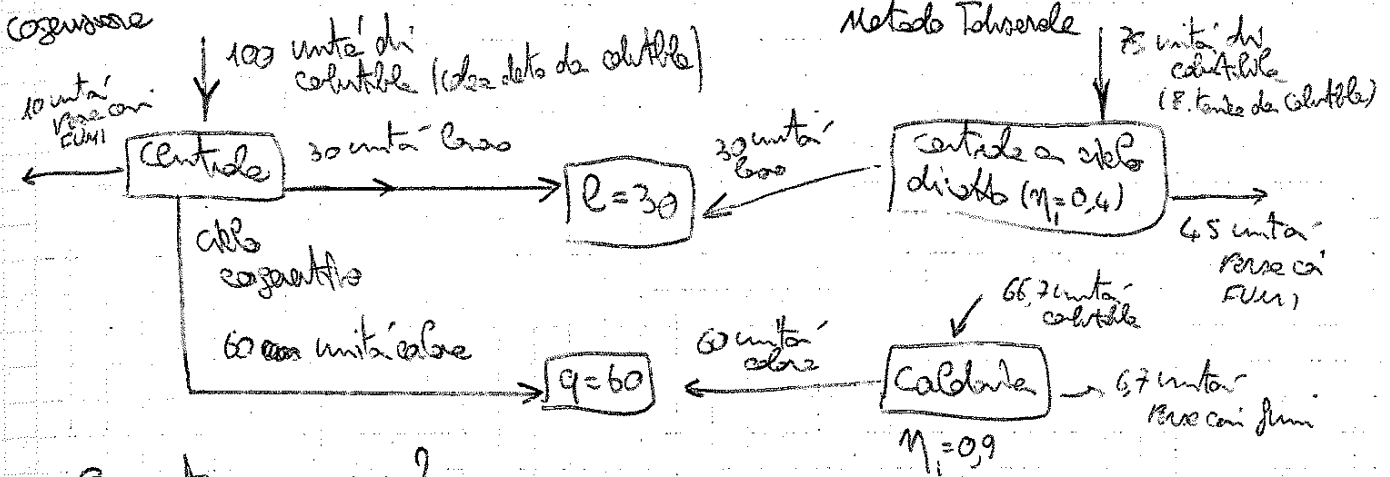
* se due fluidi sono allo stesso tempo (cio   dalla stessa sostanza), il calore non si sposta in nessun verso...

[Calore non va da caldo da freddo a caldo ...]

* Δs se ambiente   a T_a : $\Delta s = T_a \ln \left(\frac{T_{max}}{T_{min}} \right) \Rightarrow$ se lo   un fluido e se lo   me carboni di ipso e usata \Rightarrow   il Δs del fluido...

Cogenerazione

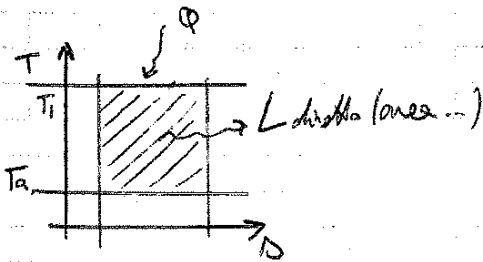
mi servono 30 unità di braso e 60 di calore per modulo di abitanti



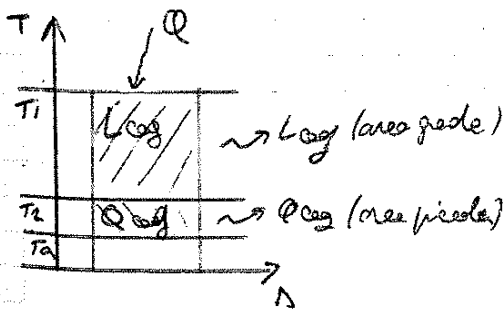
Quanto consumo?

- ciclo diretto più calore : effetto utile = [l=30 e q=60]
servono 75 + 66,7 = 141,7 unità di energia termica fornita dal combustibile.
 - ciclo cogenerato . effetto utile = [l=30 e q=60]
servono 100 unità di energia termica fornita dal combustibile
- ⇒ Con la cogenerazione lo risparmio 141,7 - 100 = 41,7 unità di energia termica da combustibile

Esercizio in gesso



Esercizio ciclo diretto = $L_{dir} = Q \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)$
 dove ϕ è l'area del ciclo... $\Theta = \text{eff. di conv.}$



Energia ciclo cogenerato = $L_{cog} + Q_{cog} \left(1 - \frac{T_a}{T_2}\right) =$
 $= \underbrace{(Q - L_{cog})}_{L_{dir}} \left(1 - \frac{T_a}{T_2}\right) + L_{cog} \left(1 - \frac{T_a}{T_2}\right) = Q \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)$
 $= Q - Q \frac{T_a}{T_1} + Q \frac{T_2}{T_1} - Q \frac{T_2 T_a}{T_1 T_2} = Q \left(1 - \frac{T_a}{T_1}\right)$

⇒ Considero Q, T₁, Tₐ uguali per entrambi i cicli e del pto di visto exergetico

Il che esige due rapporti:

Lo sceltore è isoboro...

$$e_u - e_i = (h_u - h_i) - T_a (s_u - s_i) = C_p [(T_u - T_i) - T_a \ln(T_u/T_e)]$$

$$\frac{e_u - e_i}{h_u - h_i} = 1 - \frac{C_p T_a \ln(T_u/T_e)}{C_p (T_u - T_e)} = *$$

[ingresso] $T_a = 273K$ $T_u = 90^\circ C$
 [uscita] $T_e = 60^\circ C$ $C_p = 4,18$

$$* = 1 - \frac{273 \ln[(273+90)/(273+60)]}{(90-60)} \cdot C_p = 1 - 0,78 = 0,22$$

Quindi per il rendimento exergetico complessivo

→ portata di H₂O da relazione
regenerativa

$$\eta_{II} = \frac{P_{ee} + P_{termica(exergetica)}}{\dot{m}_c e_c} = \frac{P_{ee} + \dot{m}_w (e_u - e_i)}{\dot{m}_c e_c}$$

↳ il valore exergetico del combustibile non è pari a H_i (energia chimica)
 ↳ Portata del combustibile

$$= \frac{P_{ee}}{\dot{m}_c H_i} + \frac{\dot{m}_w (e_u - e_i)}{\dot{m}_c H_i}$$

so che è 0,4

$$\frac{\dot{m}_w (h_u - h_i)}{\dot{m}_c H_i} = 40\% \Rightarrow \frac{\dot{m}_w (e_u - e_i)}{\dot{m}_c H_i} \cdot \frac{h_u - h_i}{h_u - h_i} = 0,22 \cdot \frac{\dot{m}_w (h_u - h_i)}{\dot{m}_c H_i}$$

0,22

0,4

$$\eta_{II} = 0,4 + 0,4 \cdot 0,22 = 0,49 \quad (\text{che è } > \text{ di } \eta_{non\ regenerative} = 0,4)$$

⇒ Il rendimento exergetico migliora, e i benefici aumentano quando il fatto che ripreso anche il combustibile che usava per produrre in caldaia il vapore superato (e la caldaia ha un rendimento exergetico limitato).

• Quanto il rendimento di 1° passo aumenta anche esso (se oltre η_{II} aumenta anche η_{I} ...)

$$\eta_I = \frac{40}{100} = 0,4 \quad \eta_{I\ con\ regenerative} = \frac{40}{100} + \frac{40}{100} = 0,8$$

[somma degli effetti utili]
 η_{tot}

\dot{m}_v = portata massica di vapore che dipende da \dot{Q} richiesta da utenze

$$\dot{Q} = \dot{m}_v (h_4 - h_0) \quad P_T = \dot{m}_v (h_3 - h_4) = \frac{\dot{Q}}{h_4 - h_3} (h_3 - h_4)$$

$\dot{m}_v = \dot{Q} / (h_4 - h_0)$ \dot{m}_c = portata calorifica H_i = potere calorifico inferiore del comb.

\dot{Q} = potenza termica in ingresso P_T = potenza elettrica in ingresso

$$\eta_{III} (= \eta_{ex}) = \frac{\text{Potenza energetica ottenuta}}{\text{Potenza energetica spesa}} = \frac{P_{elettrica} + P_{energetica di \dot{Q}}}{P_{energetica spesa}}$$

$$P_{el} = P_T - |P_A| = \dot{m}_v [(h_3 - h_4) - (h_1 - h_0)]$$

↳ valore della pompa ... ↳ la pompa di circolazione consuma un po' di potenza

$$P_{reg}(\dot{Q}) = \dot{m}_v (e_4 - e_0) = \dot{m}_v [(h_4 - h_0) - T_a (D_4 - D_0)]$$

$$P_{spesa} = \dot{m}_c e_c \hat{=} \dot{m}_c h_i = \frac{(h_2 - h_1) \dot{m}_v}{\eta_{II}(\text{gen di vapore})}$$

↳ η_{II} 10 e 15%

$$\eta_{III} = \frac{\dot{m}_v [(h_3 - h_4) - (h_1 - h_0)] + \dot{m}_v [(h_4 - h_0) - T_a (D_4 - D_0)]}{\dot{m}_c H_i}$$

↳ sarebbe più corretto $[\dot{m}_c e_c = (h_2 - h_1) / \eta_{II}(\text{gen di vapore})]$

- $h_1 - h_0$ = potenza ombra della pompa, perso non recuperata
- si suppone anche spesso che gli stadi 2 e 3 coincidono quando l'ingresso funziona a regime (reale cioè è meglio) [valori di potenza elettrica spenta]

Per un impianto reale tipo [vedi libro pag 308]

$$\eta_{III} = 0,402 \quad (\text{teorico})$$

$$(\eta_{III})_{\text{impianto reale}} = 0,312$$

→ le perdite energetiche nell'impianto reale sono maggiori che in quello ideale...

Sono possibili 3 condizioni di funzionamento dell'impianto

1) Produco solo potenza elettrica $P_E = \max$
 $Q = 0$; $\dot{m}_{estrazione} = 0$

2) Escludo la Turbina di Borna periferica (non lo condenserione)
 non va inerte al condenser, in tutto all'utenza... $\dot{m}_{cond} = 0$
 $\dot{m}_{est} = \max$
 $Q = \max$

3) Caso generale $\dot{m}_{cond} \neq 0$; $\dot{m}_{est} \neq 0$; $Q \neq 0$; $P_E \neq 0$...

• 1) $\dot{m}_{est} = 0 \Rightarrow Q = 0$ condensazione totale

$$P_T = P_{est} = \dot{m}_{cond} (h_3 - h_6) \quad \dot{m}_{cond} = \frac{P_T}{h_3 - h_6} = \frac{P_{cond}}{h_3 - h_6}$$

$$\dot{m}_{cond} = \dot{m}_{est}$$

N.B. \dot{m}_{cond} è quella ideale \rightarrow è pot. reale $\dot{m}_{cond} + \dot{m}_{oe}$

↳ fatto che fanno girare la turbina senza produrre bene nessuno (invece di ottenti).

• 2) $\dot{m}_{cond} = 0$ estrazione completa

$$P_T = P_E + Q \quad P_{est} = \dot{m}_{est} (h_3 - h_4) = P_{est} \text{ utile}$$

$$\dot{m}_{est} = \frac{P_{est}}{(h_3 - h_4)} \quad (\text{quella ideale}) \quad \dot{m}_{reale} = \dot{m}_{est} + \dot{m}_{oe}$$

$$Q_{est} = \dot{m}_{est} (h_4 - h_6) = P_{est} \text{ utile}$$

$M_{oe} > M_{oc}$ \rightarrow devo fare girare anche la Turbina di Borna periferica e visto che lei non ottenti...

3) $\dot{m}_{est} \neq 0$ $\dot{m}_{cond} \neq 0$ caso di funzionamento normale

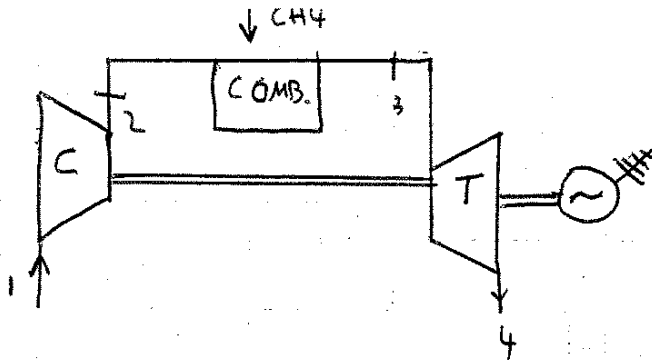
$$P_T = \dot{m}_{cond} (h_3 - h_6) + \dot{m}_{est} (h_3 - h_4)$$

$P_{t. termica} \qquad P_{t. meccanica} = P_{t. elettrica}$

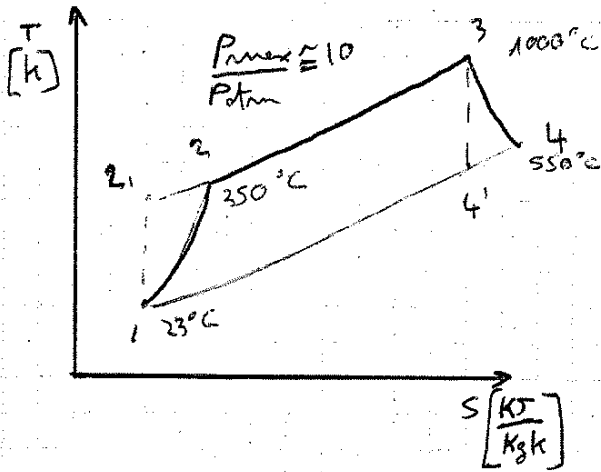
$$Q = \dot{m}_{est} (h_3 - h_4) \rightarrow \text{stessa termica all'utenza}$$

$$\dot{m}_{tot} = (\dot{m}_{est} + \dot{m}_{cond}) + \dot{m}_{oe}$$

↳ fatto che invece non ottenti...



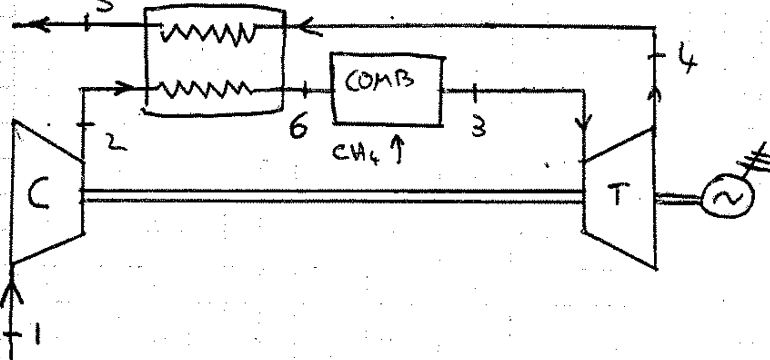
Ciclo aperto semplice
(Ciclo Joule semplice)



$\eta_{h,c} \approx \eta_{h,e} \approx 0,85$
 Coefficiente isentropico di compressione/espansione (nelle realtà - turbine a gas non sono $\eta=1$...)

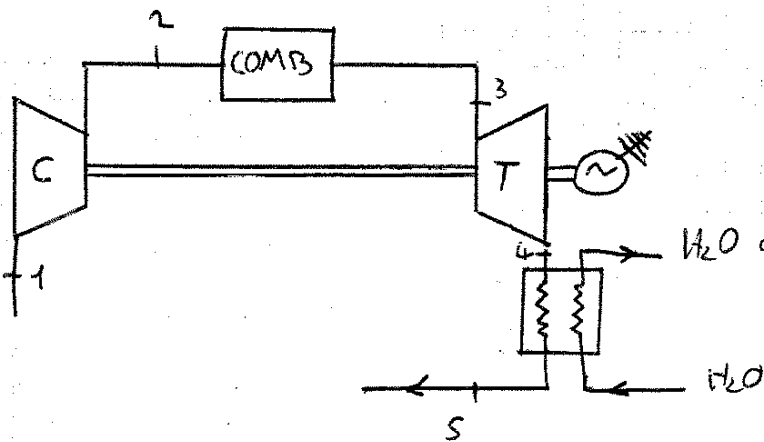
η_1 basso perché scende zero
 a 500-550°C, tutta dell'energia

Ciclo con Rigenerazione



$t_5 > t_2 \approx 350^\circ\text{C}$
 $t_5 \approx 150-200^\circ\text{C}$

Ciclo con Cogenerazione



H₂O a temperatura o vapore sovrano
 (Ciclo chiuso)

$T_5 > T_{\text{acqua}}$ (basta la prima uscita) per non danneggiare l'impianto e per evitare che migliori H₂O₂ nel camino

• Ciclo con rigenerazione

(48%)

$$\eta_{II} = \eta_{II} = \frac{P_T - P_C}{\dot{M} \cdot c_p} = \frac{\dot{M}_a c_p [(T_5 - T_4) - (T_2 - T_1)]}{\dot{M}_a c_p (T_3 - T_2)} = \frac{(T_5 - T_4) - (T_2 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \cong 0,28$$

• Ciclo cogenerativo

E_{effettivo} W_{AR} = P_T - P_C + energia del Q_{int}
 (energetica)

q_{max} = energia calorifica = M_c · H_i
 [M_{comb} = 1]

$$\dot{M}_a (e_4 - e_5) = \dot{M}_a c_p [(T_4 - T_5) - T_a \ln \left(\frac{T_4}{T_5} \right)]$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{M}_a c_p [(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1)] + \dot{M}_a c_p [(T_4 - T_5) - T_a \ln \left(\frac{T_4}{T_5} \right)]}{\dot{M}_c \cdot H_i} =$$

$$\dot{M}_c \cdot H_i = \dot{M}_a c_p (T_3 - T_2)$$

$$= \frac{(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1) + (T_4 - T_5) - T_a \ln \left(\frac{T_4}{T_5} \right)}{(T_3 - T_2)} \cong 0,48 \quad (48\%)$$

nel caso ideale in cui
 η_{cc, cogen} = 1...

η_{II, reale} = (port. M_{max} (calore cogenerativo)) = 0,75

$$\text{quindi} = \frac{(T_3 - T_4) - (T_2 - T_1) + 0,75 [(T_4 - T_5) - T_a \ln \left(\frac{T_4}{T_5} \right)]}{(T_3 - T_2)} \cong 0,39 \quad (39\%)$$

$$\eta_{II} = \frac{P_T - P_C + \dot{M}_a c_p (T_4 - T_5)}{\dot{M}_a c_p (T_3 - T_2)} = \eta_{II} + \frac{T_a \ln \left(\frac{T_4}{T_5} \right)}{T_3 - T_2} \cong 0,82 \quad (82\%)$$

Ciclo combinato gas-vapore

È un particolare tipo di ciclo a gas cogenerativo, nel quale il vapore che esce dalla turbina è usato per produrre vapore e mettere così in funzione un impianto a vapore

Vantaggi: alto rendimento (≈ 60%) (renduto elettrico...)

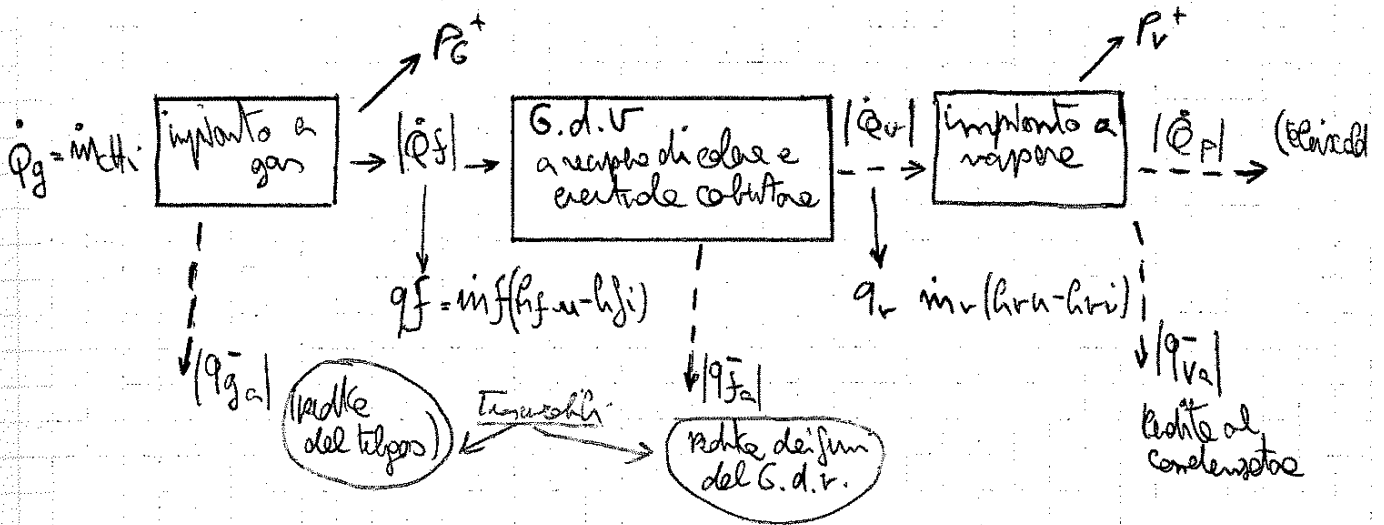
molto veloci nell'entrata e soprattutto del regime (meno di 1 ora)

Unico: Deve usare CH₄ come carburante

(65)

Esiste anche qualche impianto di questo tipo che fa solo cogenerazione e in questo caso il rendimento del 60% sale all'80-87% (contando solo sul η_{g1})

Analisi Energetica



se non c'è tele riscaldamento $q_p = 0$ e tutto il calore tende a scendere direttamente nell'ambiente tramite il condensatore.

$$P_g^+ = \eta_g \dot{m} h_i \quad \dot{Q}_f = \dot{Q}_g - P_g^+ \cong (1 - \eta_g) \dot{Q}_g$$

$$\dot{Q}_r = \eta_{ter} \dot{Q}_f = \eta_{ter} (1 - \eta_g) \dot{Q}_g \quad P_v^+ = \eta_r \dot{Q}_r = \eta_r \eta_{ter} (1 - \eta_g) \dot{Q}_g$$

$$\eta = \frac{P_g^+ + P_v^+}{\dot{Q}_g} = \frac{\eta_g \dot{Q}_g + \eta_r \eta_{ter} (1 - \eta_g) \dot{Q}_g}{\dot{Q}_g} = \eta_g + \eta_r \eta_{ter} (1 - \eta_g)$$

$$\eta_{tot} = \eta_g + \eta_r \eta_{ter} - \eta_r \eta_{ter} \eta_g = \boxed{\eta_g + \eta_r \eta_{ter} (1 - \eta_g)}$$

$r = \text{vapore}$
 $g = \text{gas}$
 $er = \text{espirato (gas di vapore)}$

* nell'impianto a vapore

Un eventuale ripartizione η_{tot} che antepone η_r ma dividibile η_{ter} poter non servirebbe l'ecosistema e usabile del camino più vecchio, η_{tot} non varrebbe, se si può tenere ripartire più η_g che che tutto come tele riscaldamento 67

Combinando che l'energia per i litigiosi processi, il risultato globale del frigo è molto basso nonostante l'efficienza delle pompe di calore sia alta [$\eta_{tot} < 40\%$ perché la rete elettrica non ha η grande e la pompa di calore per questo ha $\eta < 1$...]

Il frigo ad assorbimento invece necessita di elettricità dell'energia termica e solo di una piccola parte di E elettrica che fa partire solo il motore di controllo.

Miscelato di:

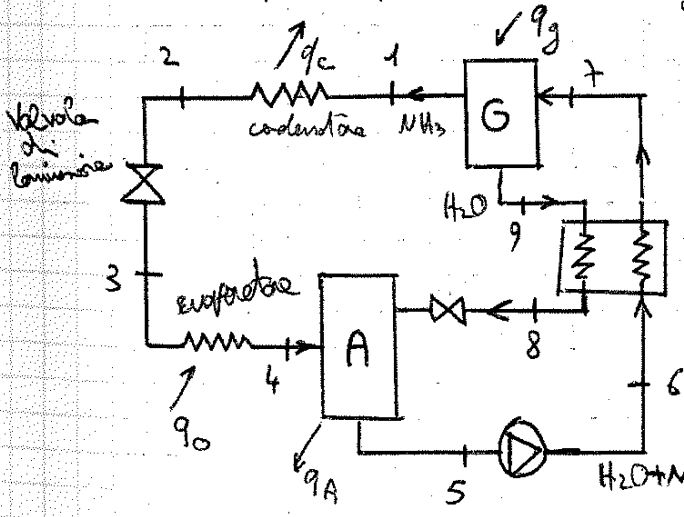
- Q termico ad una certa T (utile è la rete di ~~energia~~ termica che mi dà un calor capiente sempre disponibile)
- Fluido Frejerson ad alta tensione di vapore (soluto) } Come miscela liquida
- Fluido a tensione di vapore inferiore (solvente) } come fluido di lavoro

Miscela più comuni:

1) $\left\{ \begin{array}{l} NH_3 = \text{soluto} \\ H_2O = \text{solvente} \end{array} \right.$ - fluido frejerson vero e proprio

2) $\left\{ \begin{array}{l} H_2O = \text{soluto} \\ LiBr = \text{solvente} \end{array} \right.$ - fluido frejerson vero e proprio...
 ↳ a T = T ambiente è solido se puro ma se sciolto in H₂O dà una miscela omogenea

Solito = coperto in quantità minore (in generale)...



G = generatore
 = fine la pot termica non all'input *

q_c = q ceduto dell'ambiente freddo
 q_k = q ceduto all'ambiente caldo
 q_g = calore da entrare da fluido caldo di lavoro
 [G è una soluzione]

scambiatore rigenerativo
 * ferrete più o meno come un calor ma non avete senso...

Evaporatore: onde calore dell'altro freddo

↑ Scheme impianto ad Ammoniac

A = assorbitor: entra NH₃ vap e una miscela povera di NH₃ (liquida) a circa 120°C nella scambiatore rigenerativo si raffredda e il tutto entra nel generatore che mi porta tutto alle condizioni di partenza (miscela liquido-vapore miscelata)

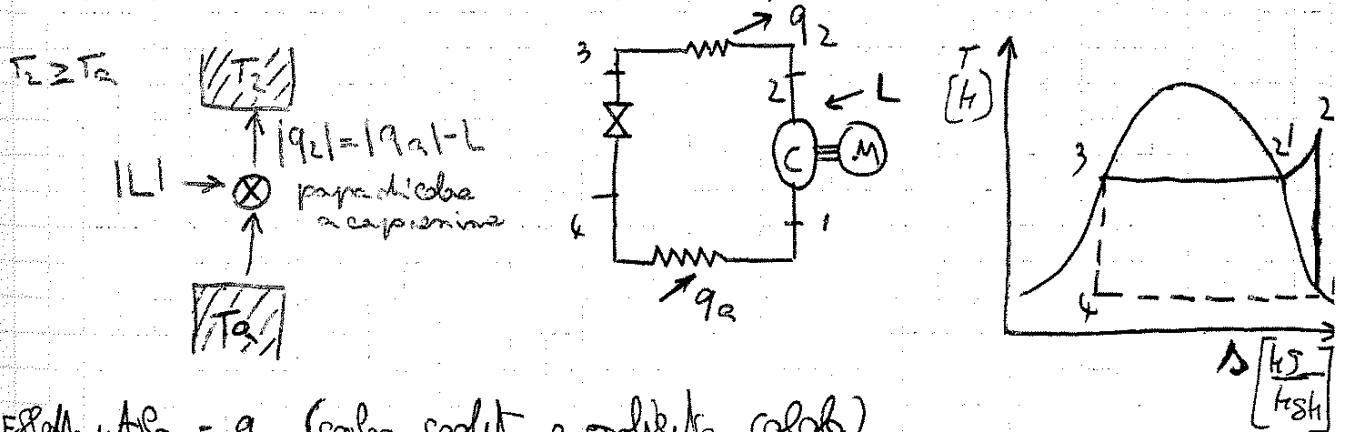
→ Principali fonti di q_3

- Solare termico
 - Solare termoelettrico
 - Celle solari (colore cespuglio)
 - Fonte primarie fide (combustione)
 - Elettrica (resistenza)
- } Non conviene né economicamente né energeticamente

Nota: L'uso dell'elettricità da parte nucleare usa quella e usa pompe normali perché il calore di recupero da centrali nucleari non si può usare per celle solari per i problemi di metri di spessore e di distanza delle centrali dai centri abitati.

N.B. L'energia elettrica è relativa bene rispetto alle altre pompe di calore ma l'energia usata (q_3) costa molto meno di quella usata per fare funzionare le pompe di calore tradizionali (E. elettrica).

Pompe di calore meccaniche (a compressione)



Effetto utile = q_2 (calore ceduto a ambiente caldo)

$$\epsilon = \frac{|q_2|}{L} = \frac{|L| + |q_3|}{L} = 1 - \frac{|q_3|}{L}$$

$$\eta_{ex} = \eta_{II} = \frac{e_2 - e_3}{L} = \frac{h_2 - h_3 - T_2(\Delta_2 - \Delta_3)}{L} = \frac{h_2 - h_3 - T_2(\Delta_2 - \Delta_3)}{h_2 - h_1}$$

71

Trigenerazione decentrata

Trigenerazione → la somma del pto di volta termiche

↳ produce "freddo" usando energia meno pregiata di energia elettrica.

Trigenerazione decentrata *

- { E. elettrica
- { E. Termica
- { E. frigorifera

* escludo tutto in loco, non c'è un gran salto rispetto al Td decentralizzato.

Presenza di {} in pto vicini la richiesta energetica è sfruttata totale, non è convertita un piccolo input per la produzione di energia da usare localmente [es. Grandi Centri Comunità]

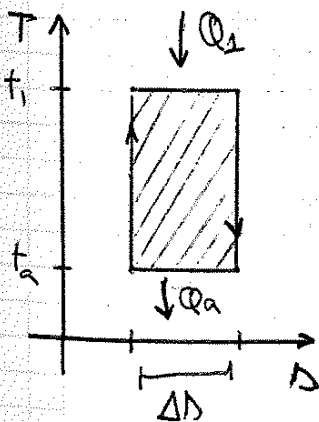
Calore per Frigo ad ambiente proviene da pompa di calore

↳ oppure da rete di Td decentralizzato
 nel periodo ottimo...

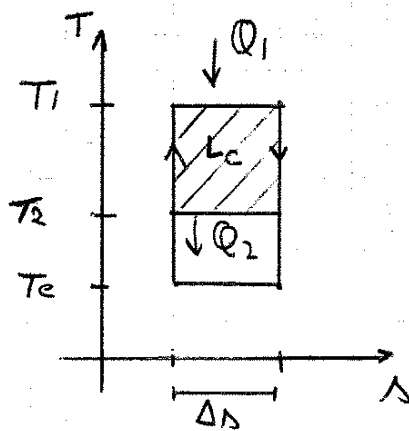
↳ con $E > 2,5$
 (oggi $E = 4-4,5$)

Pompa di calore meccanica: perché E elettrica costa (a prima al miglior pto meteo...)

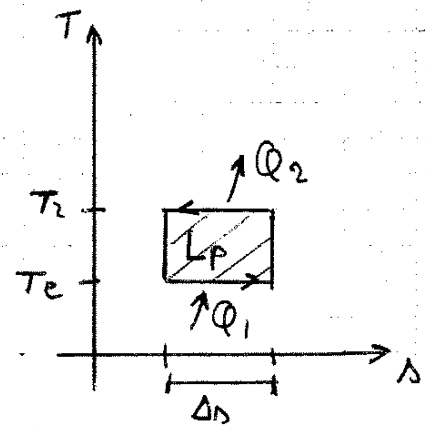
Cogenerazione VS Pompa di calore (a compressione)



Ciclo Netto
 $L_g = Q_1 - |Q_2|$



Ciclo Generativo
 $L_c = Q_1 - |Q_2|$



Ciclo inverso a Pompa di calore

Flusso Termico globale

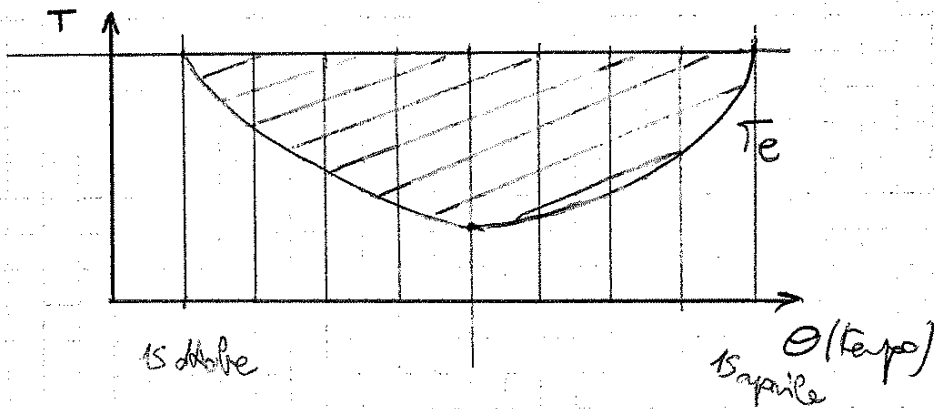
$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 \approx (t_i - t_e) \left(\sum_j U_j A_j + \sum_i \rho C_v V_i \right)$$

$$\Phi_{gen} = (\Phi_1 + \Phi_2)_{max} = (t_i - t_e) \left(\sum_j U_j A_j + \sum_i \rho C_v V_i \right)$$

↳ Φ che il generatore di calore deve essere in grado di fornire (almeno ...)

Come calcolo $(t_i - t_e)$?

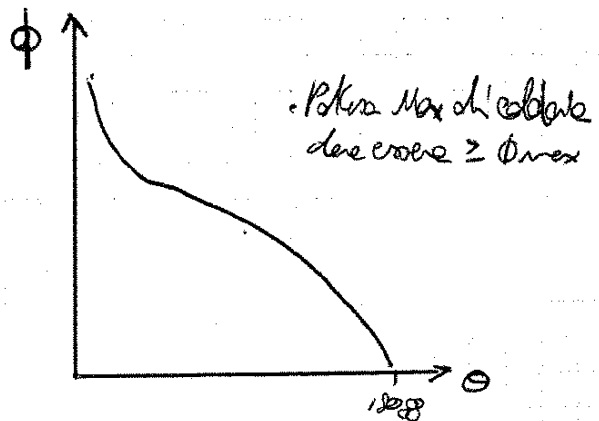
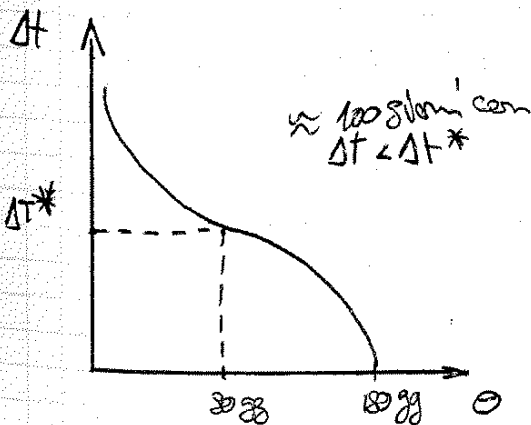
Ogni Realtà ha il "diagramma dei gradi giorno" che è un grafico da cui si calcola il medio di t_e nel tempo.



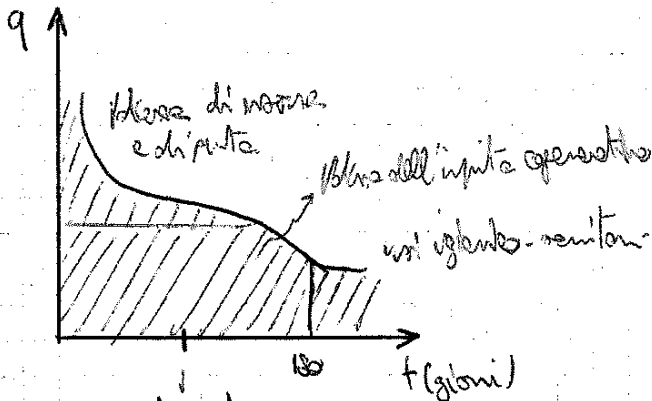
$$GG = \int_{15/10}^{15/04} (t_i - t_e) d\theta$$

$$Q_{Max} = \int_{15/10}^{15/04} (\Phi_d + \Phi_v) d\theta \approx \left(\sum_j U_j A_j + \sum_i \rho C_p V_i \right) \int_{15/10}^{15/04} (t_i - t_e) d\theta$$

GG effettivi < GG reali



Dimensionamento impianto cogenerativo

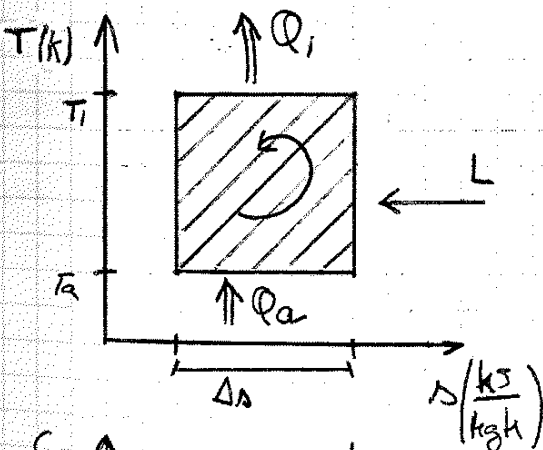


diminuito
dell'input ... base pm' ...
con ΔT che è più piccolo
tipo (costo da non sprecare e
usare tipo la colante)

- Sistemi di accumulo = sistemi che "immano" calore di notte e negli altri periodi di poco richiesta sotto forma di H₂O calda da usare in un modo in cui la potenza manca.
 - ↳ il calore di cui si è più dato se un uso H₂O ma inteso in calore di fase ma il costo sarebbe molto.
 - Ex: Molino

- Potenza di Progetto = 50% potenza totale richiesta al Max dell'interesse (rearb. niger)
- Aggiungo acque sanitarie che va scaldate
- se $\Delta T > \Delta T^*$ mi serve la potenza di scarto che è fatto da colante trascinando che posso intenerire istantaneamente quando serve.
- Potenza di punta => potenza Max che colante + input demo
- Potenza di scarto => colante che si usano se viene meno la cogenerazione per poter farne dell'interesse ...

Pompe di calore a compressione



Pompa ideale e reversibile (Ciclo Carnot inverso)

$E_{max} = C_{eff}$ effetto utile

$$E_{max} = \frac{Q_1}{L} = \frac{Q_2 + L}{L} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1 \Delta s}{(T_1 - T_2) \Delta s} = \frac{1}{1 - T_2/T_1}$$

- E_{max} cresce fortemente con T_2/T_1 che tende a 1
 se $T_2 = 25^\circ$ e $T_1 = (60-80)^\circ C$, ΔT_{non} è molto dato e E_{max} è minore
- Se miscelatore è "a punto" $T_2 = 35^\circ$ quindi E_{max} cresce ancora.

Caldana Vs Pompa di calore

- Confronto { 1. energia primaria (Consumi)
 { 2. CAI di gestione

①

• Caldania $(\eta_{IG}) = \frac{Q_c}{\dot{m}_{ic} \cdot H_i}$ $Q_c = \eta_{IG} \dot{m}_{ic} H_i$
potere calorico inferiore del combustibile
costo minore

• Pompa di calore

$L = \dot{m}_{el} \cdot \dot{m}_{ic} \cdot H_i \Rightarrow Q_2 = \epsilon' \cdot L \Rightarrow Q_2 = \epsilon' \dot{m}_{el} \dot{m}_{ic} H_i$
È conveniente se $\epsilon' \cdot \dot{m}_{el} > \dot{m}_{ic} H_i \Rightarrow \epsilon' > \frac{\dot{m}_{ic} H_i}{\dot{m}_{el}}$
 ↳ Energeticamente favorevole

② • Caldania:

- Prezzo unitario ($\text{€}/\text{Nm}^3$) CH₄ ricorso domestico: $\text{€ } 0,66/\text{Nm}^3$

dato da aggiungere

- $\eta_{caldania} \approx 0,88$ ↓

Calore utilizzato $\dot{m}_{ic} \cdot H_i [\text{MJ}/\text{Nm}^3] = 0,88 \cdot 35,45 = 31,2 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$

Quindi il costo di 1 MJ di E termica utilizzabile risulta è:

$$66 : 31,2 = x : 1 = \frac{66}{31,2} = 2,11 \frac{\text{Cent}}{\text{MJ}}$$

• Pompa di calore:

- Prezzo unitario energia elettrica ($\text{€}/\text{kWh}$) = $0,13 \text{ €}/\text{kWh}$

dato da aggiungere

1 kWh = 3,6 MJ

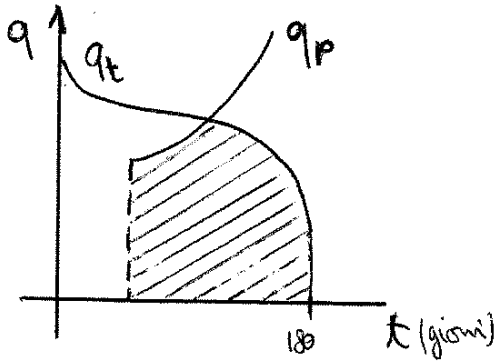
\Rightarrow 1 MJ di E ~~termica~~ ^{elettrica} costa $\frac{1 \text{ €}}{3,6} = 3,61 \frac{\text{Cent}}{\text{MJ}}$

• La pompa di calore con 1 MJ di E elettrica mi fornisce ϵ' MJ di energia termica.

Costo unitario E termica = $\frac{\text{costo elettrica}}{\epsilon'} = \frac{3,61 \text{ Cent}}{\epsilon'} \frac{\text{Cent}}{\text{MJ termica}}$
 ↳ Costo da pompa di calore...

utilizzabile ...

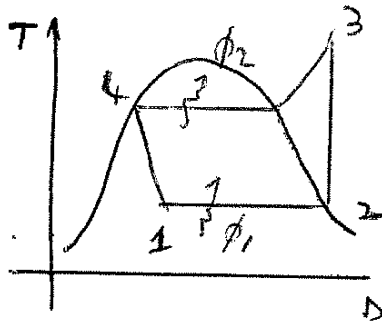
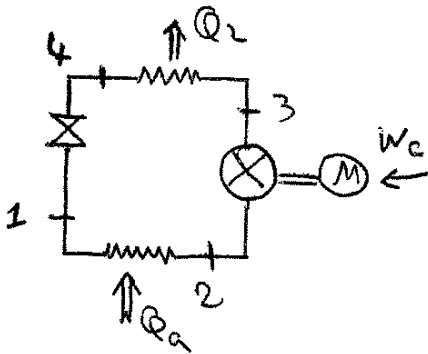
La panga di colore da sola non può quindi fornire tutto il colore necessario se la t. estera rende troppo.



La panga termica somabile con una panga di colore è quella idrogelata, il resto è fornito a colore → l'ipotesi di fornire tutto il colore necessita influire sui costi della panga di colore.

Funzionamento Estivo

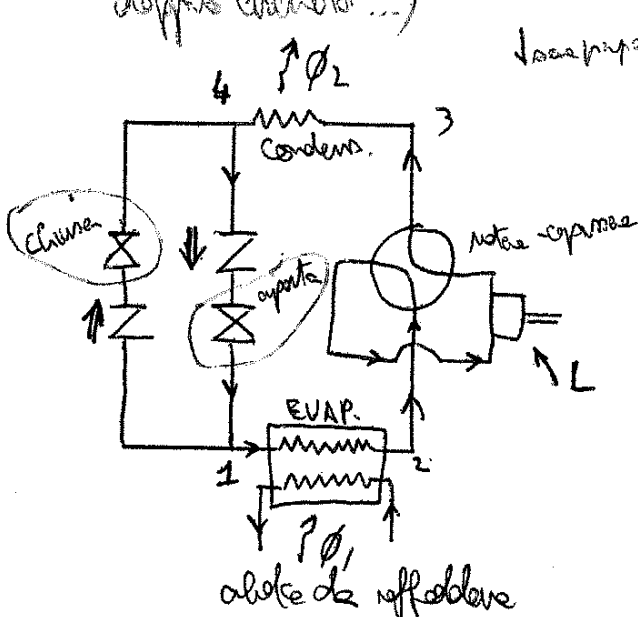
La panga di colore può essere usata anche per raffreddare ambienti.



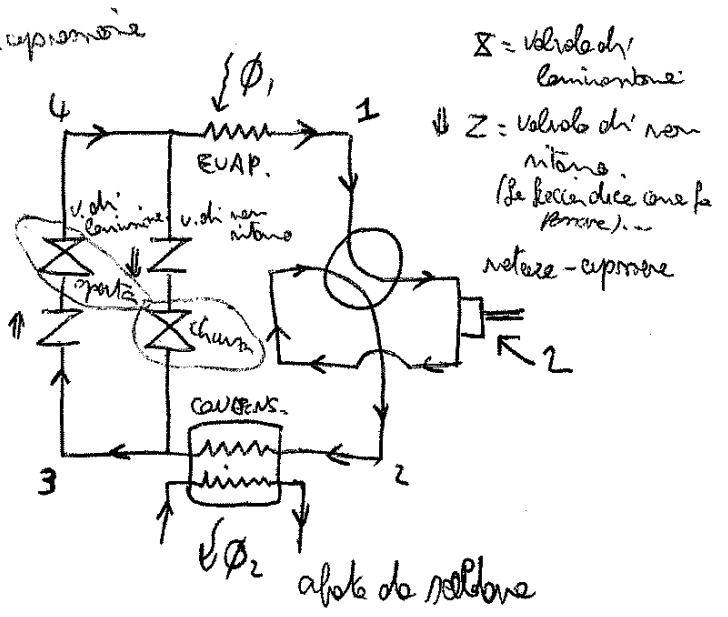
ϕ_2 è l'effetto utile dato che è un colt. tra i trasferi

$$E = \frac{\phi_1}{W_c}$$

Esistono delle panga di colore che puntano di fissare solo come "inibitori" che sono raffreddatori senza macchina per colore il colt. loro già col doppio circuito ...)



Estate (climatizzazione)



INVERNO (riscaldamento)

Energia Idroelettrica

In Italia si consuma quasi il 30% dell'energia elettrica mondiale
 La domanda era circa $(40-50) \cdot 10^9$ kWh

- oggi la domanda è circa $200 \cdot 10^9$ kWh
- la più elettrica la più idroelettrica è la Svezia (150 $(= 2 \cdot 10^9)$ kWh)

• Riduzione varia negli anni a causa di:

- Temperature
- Riconversioni
- altri fattori ambientali

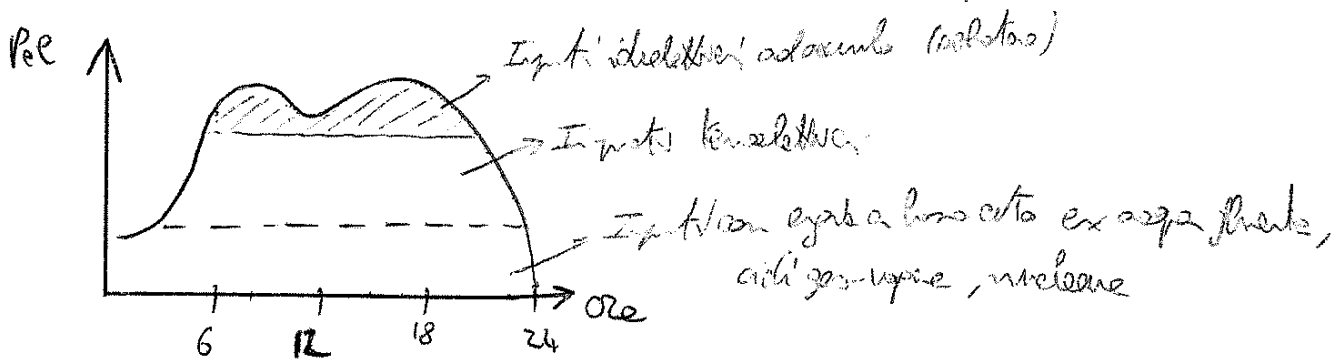
• Potenza efficiente totale = 21 GW (20% di quella totale installata)

• Anni ^{meno recenti} ~~meno recenti~~ non ce ne sono più, a meno di moltiplicare i nuclei impianti nei paesi del nord e delle filati locali e dare così risultati con l'automazione dei riduce i costi

• Oggi l'idroelettrica è la più preziosa rinnovabile più usata in Italia

• No ~~risparmio~~ risparmio impianti ma abbattibile in (il centro verde...)

La richiesta di potenza elettrica nelle 24 ore è rappresentabile da:

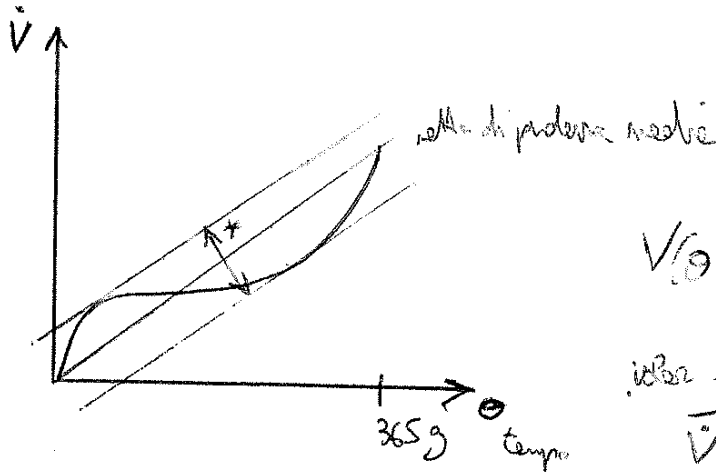


La parte collegata (Punto di domanda) è gestita da impianti idroelettrici a valle per le loro caratteristiche di essere attivabili in pochi minuti e per il fatto di accumulare energia elettrica in eccesso con le batterie elettrolitiche, come per

b) si usano gli impianti di regolazione.

$$P = \eta (\rho g \Delta Z) \dot{V}(\theta)$$

c.p. potenza



$$V(\theta) = \int_{\theta_0}^{\theta} \dot{V}(\theta) d\theta \quad \text{Wp accumulato}$$

velocità media prodotta in R

$$\bar{V} = \frac{1}{\theta} \int_{\theta_0}^{\theta} \dot{V}(\theta) d\theta \quad \theta = 365 \text{ giorni}$$

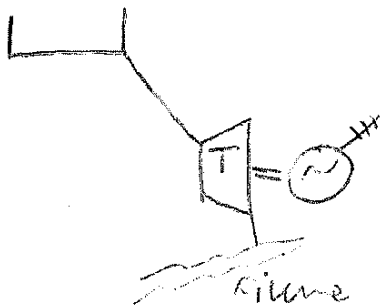
$$\bar{V} = \frac{\dot{V}(\bar{\theta})}{\bar{\theta}}$$

Il ^{*} volume del serbatoio deve

essere tale da poter ottenere sempre la

\dot{V} accumulato nei periodi di \dot{V} dei fiumi e cedibile negli altri giorni. L'impianto idroelettrico a serbatoio è usato preferibilmente per soddisfare la punta della domanda di energia.

Grande a questi impianti: è il basso costo ridotto rispetto ad altre un'alternativa di accumulo di energia conveniente.



A valle dell'impianto servono alcuni bacini di demolulazione che servono a distribuire il ΔV di portata dei fiumi durante il giorno.

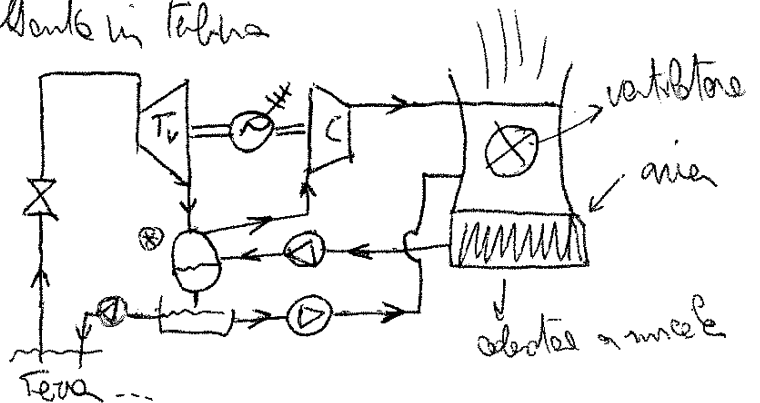
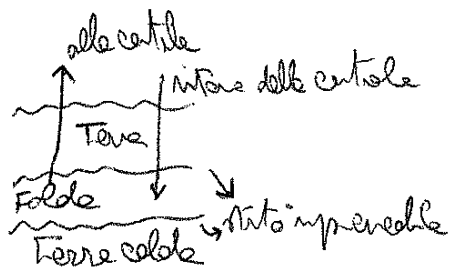
- Passe Resonante: serve a ridurre il colpo d'arresto nei tubi tanto a Banchi aperti o diminuzioni di portata (specie durante diminuzioni).

Energia Geotermica

- flusso termico che esce dalla terra $\approx 0,065 \text{ W/m}^2$
- gradiente geotermico: aumento di T riscontrato a discesa dalle superficie fino al ~~o~~ centro della terra, $\text{m}^{-1} \text{m} = 3^\circ\text{C}/100\text{m}$
- Caratteristiche: ~~sono~~ Falde acquifere interposte tra due strati impermeabili; e lo stato inferiore fa evaporare l' H_2O sui cui vapore si usa quanto Vapore per produrre energia. $\approx 18\%$ della produzione italiana.

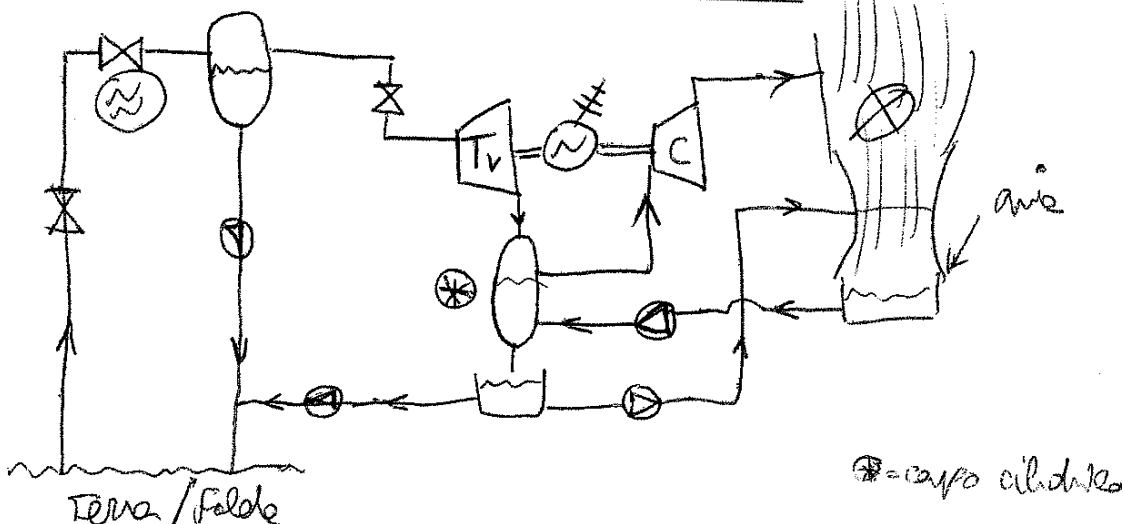
1) Centrale geotermica a vapore dominante

Vapore da esse del molo \rightarrow direttamente in turbina



Il condensatore a acqua serve a separare i gas incondensabili da quelli condensabili (espansione estrae gas da condensatore e pompa)
 H_2O continue aperti impianti, quindi è impedita dove la H_2O è pressa (Falda)

2) Centrale geotermica ad H_2O ad alta T



Energia da rifiuti

Una normativa UE adottata dall'Italia con il DL 3/12/2010 n° 105 che contiene la normativa sui rifiuti

• Strategia integrata di intervento:

- Ridurre produzione di Rifiuti
- Riutilizzo oggetti (utilizzo del quale)
- Recupero Materiali (riciclo)
- Recupero di energia (termovalorizzazione)
- Smaltimento

• Contesto italiano: (dati inprova*) *Istituto superiore per la protezione e ricerca ambientale

Dati italiani (ISPRA) 2009:

- Produzione rifiuti: 32,5 miliardi di t
- " " Pro capite: 361 kg/abitante
- Raccolta differenziata: 30,6% della produzione di RSU
- " " per regione:

}	45,5% Nord
	22,8% Centro
	14,7% Sud

Rifiuti solidi urbani (RSU) composizione:

- Frazione organica umida $\approx 40\%$ \Rightarrow Produco compost e Biogas
- Materiali cellulari (carta, legno, cartone, altri fusti) $\approx 20\%$
- Inerti (laterizi, pavimenti) $\approx 15\%$
- Materiali plastici $\approx 10\%$
- Urtile (tessuti, ~~per, ~~...~~~~, cuoio) 5%
- Metalli $\approx 4\%$
- Vetro $\approx 3\%$
- altro $\approx 3\%$

inceneritore

≠

Comonomotore



Buoni input

(ora proibito)

mechda energe

se la t'è bene ...



Buoni input con rapporto dell'energia totale da
 emi subeffero. Gli input (Ceneri) rapporto per
 molti in discesa che sono ~~meno~~ ~~meno~~
 procedure improprie

• meno energe

• da energe

Ma il CDR non si mette ~~proprio~~ ~~proprio~~ anche per funzione sociale

Ma il CDR (⇒ ~~buttenente~~) appare per funzione ~~energetica~~
 energetica motore. (CH₄). [Bios: ...]

Fusione nucleare in discesa ⇒ ~~lento~~ ~~lento~~ ⇒ ~~motore~~ ~~motore~~ nell'orbita
 T₂ gas cere...

Produzione di energia

• Pirolisi = decomporre a caldo in assenza di ossigeno
 (Rotta non diffusa)

• Gassificazione = Pirolisi con ambiente ossidante, Acqua ossigeno a quello della
 gassificazione del carbone (Rotta poco diffusa)

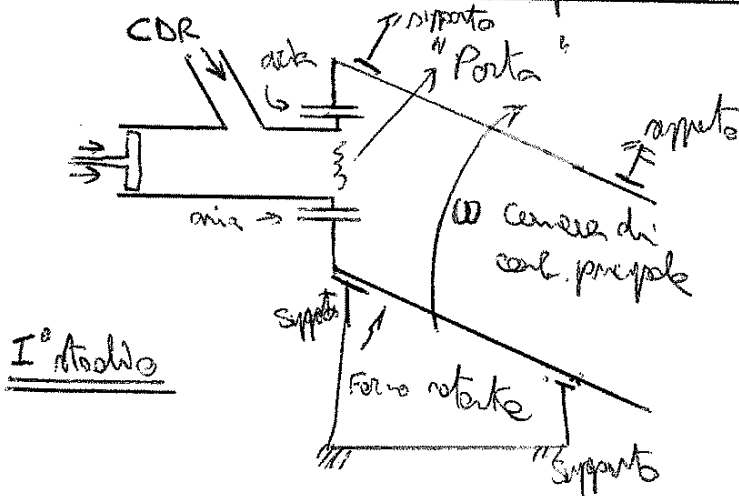
• Combustione = 2 metodi:
 • Solido: il CDR arriva alla guida e si fa
 (più usato) ~~energia~~ ~~energia~~ oppure si fa
 calore rotante (la guida gira)
 • Liquido: input compositi e fatto bruciare
 sopra su un feltro d'aria del CDR.



Molto simile alla
 combustione del carbone nei
 calderi tradizionali o a
 letto fluido, si può bruciare CDR nelle centrali a
 carbone senza problemi (problemi come col carbone ...)

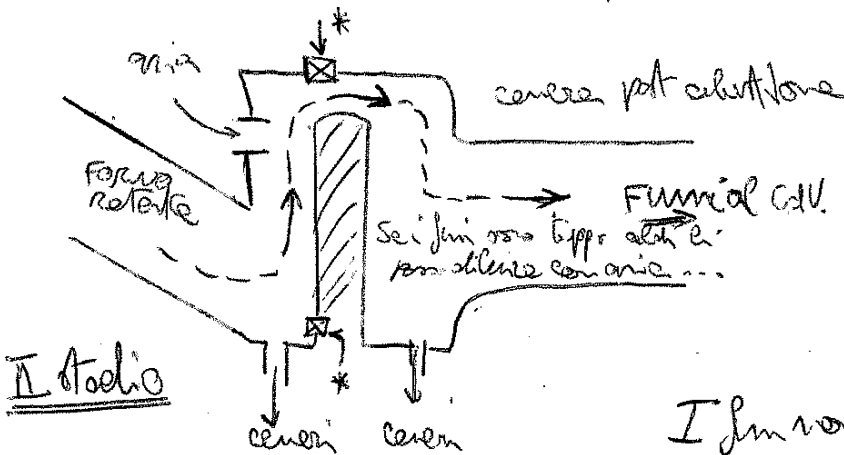
- metalli pesanti : (Pb, Cd, Zn, Hg)
E pruin 3 si ripara durante la combustione, il mercurio con sistemi di Filtraggio o con carboni attivi.
- Gas acidi : (HCl, SO_x, HF, HBr)
Eliminati con carboni ~~attivi~~ attivi
- NO_x : si formano se temperatura è elevata (quasi sempre), si eliminano con riduzione catalitica o con scrub inferiore (acqua)
- Composti Organici : in presenza di Cl si formano gli Organo-Clorurati
 - PCDD = Polidibenzodibenzodioxina (diossine)
 - PCDF = Polidibenzofurani (furani)

Combustione con recupero di energia



I° Stadio

In questo stadio si opera in difetto d'aria e si immette un processo di PIROLISI dei rifiuti. Qui hanno origine prodotti gassosi quali CO, H₂, C₂H₄...



In questa fase agisce aria (eccesso d'aria) e CH₄ che invecchia via post combustione con temperatura 1300-1500°C

I fumi vanno quindi a un generatore di vapore termico (o a quello Gas-Uppes) e successivamente puliti...

* iniezione di CH₄
Per "scaldare la combustione"

Ipotesi di reversibilità

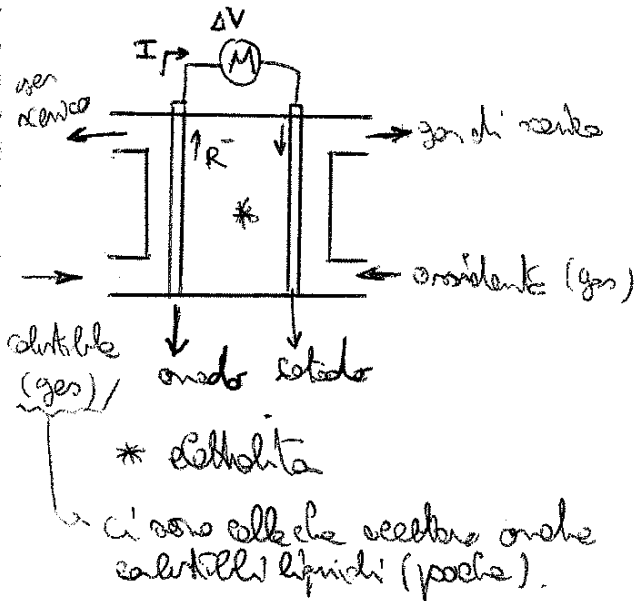
$$P_{max} = \dot{m} c c \quad P_{in} = M c c$$

↑
energia del combustibile

$$\Delta V_{ser} = \frac{\dot{m} c c}{I} = \frac{\dot{m} c c}{(\dot{m} c n F) / M c} = \frac{M c c}{F n} \quad \eta_{II} = \frac{P}{\dot{m} c c} = \frac{\Delta V}{\Delta V_{ser}}$$

Materialmente una cella a combustibile è formata da:

- Elettrolita neochiuso tra gli elettrodi
- Due elettrodi porosi
- Alimentazione di combustibile e comburente
- Evacuazione prodotti esauriti



Anodo: ossidazione combustibile

Catodo: riduzione O_2 con e^-
(Comb e O_2 prelevati dall'atmosfera...)

La I che lo è una corrente continua e attraverso gli inverter la corrente alterata

I combustibili possono essere H_2 o gas fossili, H_2 viene a scade del combustibile, per esempio H_2 è una fonte rinnovabile (Vettore energia) che dipende da altre fonti. Generalmente le celle usate maggiormente oggi sono alimentate a CH_4 ...

Elettrolita: liquido e differenziale da catone (gli elettroliti sono porosi)

- 1) Sostanze liquide a tabella ex $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$
- 2) Soluzioni elettrolitiche (liquide) solute + solite ex sali scelti in H_2O