



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1102

DATA: 16/09/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Martino

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

prof. Barbero

LUN	energetica
GIOV	ecologia
VEN	energetica/ecologia

ESAME SCRITTO: 2 grandi domande aperte (2-3-4 facciate ognuna)

Ci saranno lezioni + esercitazioni

Per passare l'esame bisogna prendere almeno 14 sia di energetica sia di ecologia: se ne passi solo uno il voto rimane finché non passi l'altro (5 crediti + 5 crediti)

Argomenti del corso:

- capire le problematiche correlate all'uso dell'energia: fonti, costi, consumi, riserve, etc.
- forme di energia attraverso combustione: 85% dell'energia totale, prodotta attraverso combustibili fossili o biomasse
- energie rinnovabili: 15% a livello mondiale, energia idroelettrica, eolica, geotermica (non è rinnovabile, ma ce n'è in quantità tanto elevate da essere considerata tale)

in MECCANICA, può essere o en. potenziale (cioè l'en. che ha un oggetto rispetto a un campo gravitazionale) o en. cinetica (cioè legata alla v e, in particolare, a v^2). Se non esiste un campo gravitazionale, non esiste en. potenziale.

in TERMOLOGIA, è legata al concetto di temperatura e di calore, cioè all'agitazione delle molecole: più un corpo aumenta di T , più le molecole che lo compongono si agitano velocemente.

in ATOMICA, risiede nei legami subatomici tra le varie particelle (p^+ , n , e^-). Si divide in FISSIONE (spaccare un atomo grosso in 2 piccoli) e FUSIONE (fondere 2 atomi piccoli in uno grosso).

• Quali sono le più importanti?

1) en. chimica, è l'85% dell'energia

2) en. meccanica, è il modo con cui noi otteniamo l'effetto di compiere il lavoro

3) en. elettromagnetica, arriva dal sole in modo costante

4) en. elettrica, è il modo per trasferire energia da dove si produce a dove si consuma

5) en. termica

Questi tipi di energia non hanno tutti le stesse caratteristiche:

dobbiamo distinguere tra energie primarie e secondarie.

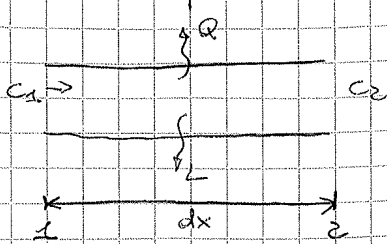
EN. PRIMARIE: sono disponibili sul pianeta → chimica (es. giacimenti), elettromagnetica (arriva dal sole in continuazione, ma non ci sono miniere, non può essere stockata), meccanica (es. centrale idroelettrica), termica (es. geotermica)

EN. SECONDARIA: è stata inventata dall'uomo → es. elettrica.

Il livello qualitativo dell'energia è alto per tutte tranne che per l'en. termica.

Energia di alto livello qualitativo significa che c'è, se esiste la tecnologia, la possibilità di trasformare l'en. di alto livello

Esiste un'equazione DELLA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA



In un condotto scorre un fluido che scambia calore Q e lavoro L con l'esterno, cambia la sua velocità (da c1 a c2) e la sua entalpia.

ENTALPIA: energia interna di un fluido, dipende da T e L → h [udm J]

$$dQ + dL = dh + dE_c + dE_k + dE_v$$

↓ ↓ ↓
 en. cinetica en. chimica en. potenziale

Scale: 1 J = 1 N × 1 m
 Energia e lavoro sono la stessa grandezza fisica

Usiamo però anche altri tipi di udm: 1 Kcal = 4,186 KJ

nel S.I. l'udm della potenza è il Watt: 1 W = $\frac{1 J}{1 s}$

$$\frac{1 Kcal}{1 h (ora)} = 1,163 W$$

$$1 W = 0,86 \frac{Kcal}{h}$$

Quando si parla di en. consumata a livello di una nazione o mondiale, i numeri diventerebbero troppo grandi, allora si usa un'udm particolare:

l'ore: 1 Tep = tonnellata equivalente di petrolio (in inglese: 1 toe = oil equivalent)

1 kg di petrolio grezzo contiene 10 000 Kcal/kg

1 ton di petrolio grezzo contiene 10 000 · 1000 Kcal/kg

In 1 Tep è presente energia di combustibile, carbone, petrolio, uranio, ...

In Italia consumiamo 1800 MTep all'anno → 1 MTep = 10⁶ Tep

7.3.2014

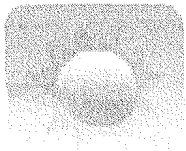
L'uso dell'energia è variato nella storia dell'uomo

L'aumento della popolazione ha avuto un impatto enorme sul pianeta

PRO & CONTRO dei vari tipi di ENERGIA



Nonpolluting (non inquinata)



Most abundant energy source available

Systems last 15-30 years

High initial investment

- c'è solo di giorno

Dependent on sunny weather

Supplemental energy may be needed in low sunlight areas

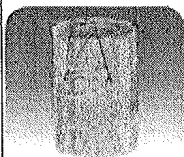
Requires large physical space for PV cell panels

Limited availability of polysilicon for panels

Il gas naturale è la più pulita delle sorgenti fossili, non dà grossi problemi nel momento della combustione, è facile da bruciare (allora è anche molto pericoloso se brucia per sbaglio)

Come mi accorgo di una fuga di gas? Solo attraverso l'olfatto, vengono aggiunti additivi affinché il naso annusi l'odore

Petroleum



Efficient transportation fuel for the world

Basis of many products, from prescription drugs to plastics

Economical to produce (=estrarre)

Easy to transport

High CO2 emissions

Found in limited areas

Supply may be exhausted before natural gas/coal resources

Possible environmental impact from drilling/transporting

Il petrolio è sia un combustibile sia una materia prima fondamentale per tutta l'industria delle materie plastiche.

Il petrolio è economico da estrarre, ma solo se i giacimenti sono facilmente raggiungibili e oggi non lo sono. In funzione di questo ci sono giacimenti facilmente sfruttabili ma sono piccoli, altri più difficilmente sfruttabili ma con risorse più abbondanti, e ancora ci sono altri giacimenti che per ora non riusciamo a sfruttare ma magari ci riusciremo in futuro (non sono sfruttabili perché per ora estrarre, ad es, 1 lt costa più di 1 lt di petrolio)

L'80% dei giacimenti si trova in aree che consumano il 20% dell'energia del mondo.

Biomass



Abundant supply

Fewer emissions than fossil fuel sources

Can be used in diesel engines

Auto engines easily convert to run on biomass fuel

Source must be near usage to cut transportation costs

Emits some pollution as gas/liquid waste

Increases emissions of nitrogen oxides, an air pollutant

Uses some fossil fuels in conversion

Le biomasse sono sostanze combustibili rinnovabili

L'uso delle biomasse, però, causa problemi; esistono biomasse di 1° generazione → competono con le sostanze che servono da nutrimento per gli esseri viventi. Si è pensato di passare ad altre biomasse di

• Quali sono le previsioni per il futuro sull'uso dell'energia? (2030)

Esistono 2 enti, noi consideriamo i valori medi, se non cambia nulla, cioè con le tecnologie attuali, abbiamo:

- incremento uso energia (al 2030)	+45%
- carbone (al 2030)	>33% della resiste totale
- CO ₂ senza interventi (al 2050)	+34,6 Tonn (totale 62,6 Tonn)
- Interventi (...2050)	14,6 Tonn totale (metà delle attuali 28,6 Tonn)

Stiamo alterando le condizioni di scambio termico della Terra

L'effetto serra ha permesso lo sviluppo della Terra, un'alterazione farebbe trovare al pianeta un nuovo equilibrio

Per ridurre la CO₂ dobbiamo avere miglior efficienza nella trasformazione e nell'uso.

Ci sono diversi metodi a questo fine:

- CCS → sistemi di stoccaggio e cattura della CO₂
- nucleare
- rinnovabili
- efficienza generazione energia elettrica e cambio combustibili
- cambio combustibili nell'uso finale
- efficienza nell'uso finale dell'energia elettrica
- efficienza nell'uso finale dei combustibili

CCS

- Cattura post combustione
- Cattura post combustione con ossigeno
- Cattura prima della combustione (dal carbone mediante gassificazione: Syngas → H₂ e CO₂)
- Stoccaggio CO₂ catturate
- Geologico in formazioni saline, pozzi esauriti, strati carbone
- Uso per iniettare CO₂ in pozzi attivi (petrolio o gas) per aumento produttività oppure in giacimenti di carbone non sfruttabili con liberazione metano
- Biofissazione
- Confinamento mediante reazione chimica che comporta la mineralizzazione della CO₂

DANNI dell'energia. L'uso di energia ha un impatto sull'ambiente ma ha un impatto anche sugli esseri umani.

Per ogni tipo di sorgente si distingue tra gli addetti, cioè coloro che lavorano sulla filiera del combustibile considerato, e il pubblico, chi respira nell'aria, la gente che utilizza l'en. prodotta.

L'uom. considerato è il n° di giorni uomo di lavoro persi per ogni GW (GigaWatt) elettrico. Se una persona muore si trasforma tutto in giorni equivalenti persi fino alla pensione media.

I più pericolosi sono il carbone e il petrolio; per il nucleare si tratta solo di previsioni perché c'è da poco: è una previsione nel caso non capiti nulla di diverso. Con lo stesso criterio tutti i dati sono traballanti perché non sappiamo al 100% le malattie causate.

Il n° di giorni uomo persi dal pubblico è molto più grande del n° degli addetti: perché? Perché le persone del pubblico sono molte di più.

• Nel 1970 in Italia producevamo tutta l'energia che ci serviva, poi le due linee di produzione e consumo si sono separate e oggi produciamo solo ~15%: siamo dipendenti dall'estero. Perché è successo questo? Principalmente per scelte politiche.

Na. importiamo en. elettrica; la mandiamo nelle nostre centrali idroelettriche, gli alternatori che di giorno producono en. elettrica sono collegati al contrario e diventano motori; la turbina diventa una pompa e noi usiamo l'en. elettrica importata di notte (che costa meno) per pompare l'acqua che di giorno era scesa dai bacini idroelettrici su in alto per essere riutilizzata: la trasformiamo in en. potenziale con una perdita di rendimento di solo ~5%.

Il sistema che produce en. elettrica deve seguire l'utenza.

Ci vogliono molti investimenti per far sì che le rinnovabili arrivino anche solo al 20% dell'energia mondiale consumata.

Chi ha petrolio non lo usa e chi ce l'ha lo usa.

10.3.2014

PROPANO e BUTANO: sono gas di petrolio che a T ambiente sono liquidi, quindi facilmente immagazzinabili

GPL: gas di petrolio liquefatti

ARIA PROPANATA: ha caratteristiche di combustibile molto simili al gas naturale

I GPL, oltre a essere ottenuti come prodotti di distillazione, possono anche essere ottenuti artificialmente.

La differenza fondamentale tra GPL e gas naturale è che a parità di volume il GPL ha molta più energia (3 o 4 volte maggiore) e poi il metano è più leggero dell'aria (una fuga di gas va verso l'alto) mentre il GPL è più pesante dell'aria (una fuga di GPL va verso il basso): c'è allora un cambiamento nelle costruzioni di impianti. Ciò che hanno in comune è che nessuno dei due pezzi, allora vanno odorati.

In caso di fuga di gas la combustione si innesta se c'è un punto caldo, es. scorie elettriche all'interno di interruttori di lampadine o nel motore del frigo.

Con filiera si intende tutta la serie di operazioni e lavorazioni necessarie per trasformare la risorsa da com'è alla fonte in prodotto industriale e combustibile commerciale.

→ Come avviene la combustione?

È una reazione di ossidazione tra i combustibili e l'ossigeno contenuto nell'aria. La molecola di O_2 deve incontrare la molecola di combustibile: se tutte e 2 sono aeriformi è più facile. Se c'è gasolio liquido la combustione non può avvenire perché le 2 temperature non sono compatibili con lo stato di liquido: il liquido deve essere fatto evaporare e dopo può bruciare.

Se c'è combustibile solido la combustione può avvenire con l' O_2

La grigliatura permette di usare metodi di preparazione per la combustione su pezzi omogenei

L'estrazione può avvenire sia in miniera sia in superficie: in quest'ultimo caso si ottengono miniere a cielo aperto e si comincia a scavare dalla superficie

→ è una spirale da cui scendono le miniere

Tra i rischi di filiera più importanti ci sono le vittime per cedimento di una miniera

LA FILIERA DEL CARBONE

La filiera del carbone, dal pdv dei trasporti, è fragile: il carbone non può andare in tubazioni. Per la filiera si deve:

- estrarre carbone
- preparare
- trasportare

Per il trasporto il carbone prima viene fatto muovere su tratti ferroviari e poi caricato su una nave carboniera per portarlo da un'altra parte. Il carbone scaricato dalla nave può essere utilizzato lì oppure caricato di nuovo su un treno e portato all'utente.

Si tratta di un procedimento lungo e costoso, ma come materia prima il carbone costa talmente poco che risulta essere il combustibile più economico nonostante l'impatto della filiera. Come viene conservato? All'aperto vengono fatti dei mucchi di carbone coperti da terra compattata per ripararlo.

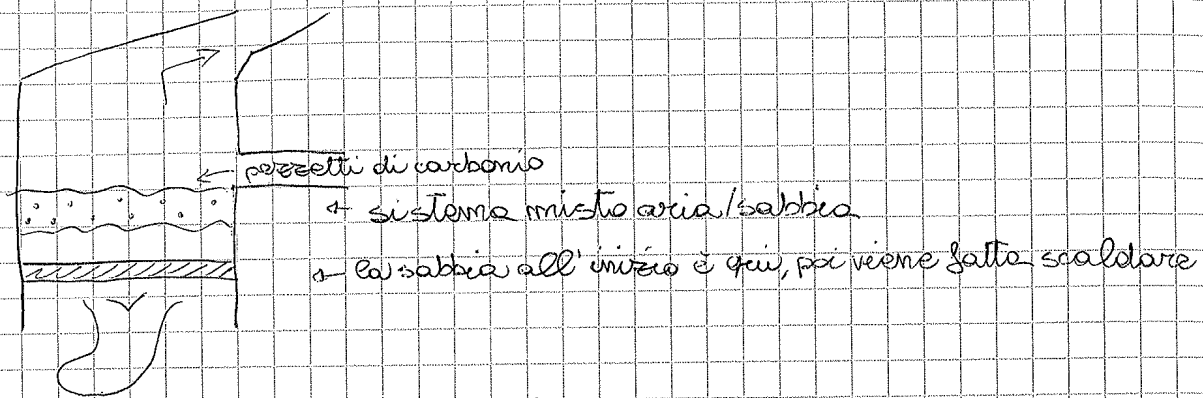
Come lo brucia? Innanzitutto viene messo in camera di combustione e viene fatta evaporare l'umidità, poi avviene il fenomeno di cracking, ovvero devolatilizzazione e combustione dei volatili.

Le parti che a $T = 180 - 200^\circ$ sono liberate per il fenomeno di cracking diventano combustibile aeriforme, vapori, e bruciano.

Rimane la parte solida che comincia a bruciare (= rigolazione del char) che sarebbe la brace.

dopo 10-15 minuti e non dopo pochi secondi come prima.
 Questo sistema ha un certo numero di applicazioni ma tutti di piccola potenza (5-10 MWatt contro centrale normale a 800 MWatt)

COMBUSTIONE A LETTO FLUIDO



Il sistema ha un ventilatore dell'aria per la combustione, una griglia con buchetti molto piccoli attraverso cui l'aria può passare ma la sabbia no. All'uscita avrà fumi caldi da utilizzare come si vuole. A volte nel sistema viene messo anche un po' d'acqua; l'ossidante è O_2 .

COXERIA

In alcuni casi, soprattutto per utilizzazioni di tipo siderurgico si usa un impianto con celle stagne che vengono aperte, viene inserito il carbonio, vengono chiuse e scaldate dall'esterno.

Avviene una reazione ad alta temperatura senza presenza di ossigeno: in questo modo escono dal carbone tutte le parti che non sono carbonio puro (in 1-1,5 giorni)

come: 30% C, 1% materiale volatile, 1% S + ceneri

Questa lavorazione porta all'uso del carbone non come materia prima energetica ma come materiale per lavorazione

GASSIFICAZIONE

Come si può usare il carbone in modo più pulito? Si trasforma il carbone in gas e poi viene trasportato. Il gas, con un'ulteriore trasformazione chimica, diventa un combustibile simile al gasolio: per questo ha avuto un grande sviluppo durante la II guerra mondiale. Dopo la gassificazione, volendo, si può avere la liquefazione dei prodotti gassificati.

Il principio è uguale alla combustione a letto fluido, ma li

BIOMASSE

Le biomasse fanno parte delle risorse rinnovabili, perché grazie all'energia del Sole e alla fotosintesi loro offriamo, man mano che le usiamo ne crescono delle altre.

Naturalmente le biomasse erbacee hanno ciclo di riproduzione (ca. 1 anno) minore rispetto, ad es., alle piante (es. acacie ciclo di 3 anni).

Le biomasse sono materiali di origine biologica, anche se esistono anche le biomasse animali, escluso il materiale incorporato in convezione geologica sotto forma di fossile. Carbone, metano e petrolio sono biomasse trasformate ma quelle fossili non sono chiamate biomasse. Le biomasse non sono il combustibile che noi usiamo: avviene una trasformazione minima o molto importante che porta alla formazione di biocombustibile.

I biocombustibili possono essere solidi, solidi preelaborati (cioè sminuzzati e poi compattati). Biocombustibile densificato: polverizzato e compattato, lavorazione di solito solo meccanica. La massa volumica apparente dipende da come il biocombustibile è stato accumulato.

DENSITA' ENERGETICA: è il rapporto tra il contenuto energetico e il volume apparente.

DURABILITA': è la capacità di un combustibile, in particolare il pellet, di resistere a sollecitazioni meccaniche, molto il collante, ma quando brucia il combustibile brucia anche questo e inquina.

→ SLIDES

L'aria contiene ossigeno.

Ogni $4,76 \text{ m}^3$ di aria c'è 1 m^3 di O_2 e $3,76 \text{ m}^3$ di N_2 (l'azoto è inutile)

L'aria, come ogni gas e vapore, ha un'equazione generale, l'eq.

di stato:

$$p \cdot V = R^* T$$

con V = volume specifico, volume dell'unità di massa espresso in m^3/kg
 T = T_{assoluta} in Kelvin = $T + 273,15^\circ\text{C}$

Se aumenta V nello stesso volume ci sarà meno massa, quindi meno molecole nel volume di riferimento.

Se T raddoppia e $p = \text{cost}$, il n° di molecole in V è dimezzato

COMBUSTIBILI

I combustibili hanno alcune proprietà comuni a tutti.

a. **POTERE CALORIFICO H.** È definito come l'energia che si ottiene raffreddando i fumi dalla temperatura max di combustione fino a T_{ambiente} . Nel raffreddamento si tiene conto del fatto che il vapore acqueo formatosi dalla combustione condensa → $H_{\text{superiore}}$, usato in USA. In Europa si usa $H_{\text{inferiore}} = H_{\text{s}} - \text{parte condensata del vapore acqueo}$

$$H_{\text{i}} = H_{\text{s}} - m(600 \text{ kcal opp } 2,44 \text{ MJ})$$

↳ calore di condensazione espresso in kcal oppure in MJ.
 ↳ n° di kg di acqua che viene fuori dalla combustione, dai fumi che escono dalla combustione di 1 kg di combustibile

b. **TEMPERATURA MINIMA DI ACCENSIONE** È la temperatura minima perché parta la combustione, ca 400°C , affinché una miscela di gas si incendi. Per accendere il fornello oltre al gas ho bisogno di una scintilla.

c. **LIMITE INFERIORE DI INFIAMMABILITÀ** % minima di combustibile

d. **LIMITE SUPERIORE DI INFIAMMABILITÀ** % massima perché possa avvenire la combustione

es. metano-aria non può bruciare a qualsiasi %. (c) e (d) dipendono dal gas considerato: c. 2-3% e d. 10-15%.

La zona compresa tra i due limiti si chiama **INTERVALLO DI INFIAMMABILITÀ**

e. **TEMPERATURA DI INFIAMMABILITÀ** Vale solo per i combustibili liquidi

OLI COMBUSTIBILI (NAFTE)

Derivano dai petti più bassi nella colonna di distillazione del petrolio, non sono tutti uguali ma dipendono da dove arrivano.

$$H_i = 3400 \div 9800 \text{ Kcal/Kg}$$

Ci sono 3 categorie di nafte: - BTZ (Basso Tenore di Zolfo) $\rightarrow 0,1\% \leq S \leq 0,5\%$

- MTZ (Medio) $\rightarrow 0,5-1\% \leq S \leq 2\%$

- ATZ (Alto) $\rightarrow 4\% \leq S \leq 6\%$

Le BTZ arrivano dal petrolio che contiene poco S, sono le più pregiate; le ATZ possono essere usate solo in alcuni impianti e spesso con altri combustibili.

Nelle nafte anche la viscosità può variare molto:

- $3 \div 5^\circ\text{E}$ nafte fluide
- $7 \div 15^\circ\text{E}$ usate nelle industrie
- $> 20^\circ\text{E}$ (fino a $120 \div 130^\circ\text{E}$)

Per poter essere usate negli impianti devono essere max 3°E , allora vengono scaldate prima di usarle.

COMBUSTIBILI GASSOSI

• gas naturale (metano)

$$H_i = 8.650 \text{ Kcal/m}_n^3 \rightarrow \text{perché i contatori di gas misurano in volume}$$

$\frac{d}{(\text{aria})} = 0,6$ la densità del metano è minore rispetto all'aria, è più leggero dell'aria, una fuga di metano va verso l'alto

$p = 2000 \text{ Pa}$ pressione a cui viene distribuito nelle case domestiche
 $1 \text{ Pa} = \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ m}^2}$

1 m^3 considerati sono normali, m_n^3 , cioè in condizioni standard: $T = 0^\circ\text{C}$ e $p = 1 \text{ bar}$

Il gas naturale viene trasportato a $60-80 \text{ atm}$ e poi decompresso

• GPL: propano

$$H_i = 24.200 \text{ Kcal/m}_n^3$$

$\frac{d}{(\text{aria})} = 1,56$ è più pesante dell'aria, la fuga di propano va verso il basso

$p = 3.700 \text{ Pa}$ questa è p alla combustione, ma viene trasportato a 500.000 Pa

21.3.2014

A che v si propaga la combustione?

In condizioni di f laminari, la fiamma non ha turbolenze e v non è elevata: $v = 0,5 \text{ m/s} \approx 1,8 \text{ km/h}$

Nelle f turbolente v dipende dal combustibile: $v \approx 3 \text{ m/s}$

L'unico combustibile che ha v 6 volte più alto è l'idrogeno, ma oggi non è un combustibile commerciale

Una caldaia o un bruciatore in generale brucia sempre una quantità di combustibile correlata alla camera di combustione.

Se si riempisse una stanza di una miscela aria-metano e si desse fuoco, nel giro di pochi secondi tutta l'energia del metano diventerebbe energia termica.

Considero l'equazione $pV = R^*T$: il volume della stanza non cambia, allora $V_{\text{specifico}} = \text{cost}$. Se T da T_{ambiente} diventa di colpo 6 volte maggiore, allora anche p aumenta di 6 volte da 1 atm a 6 atm in 1-1,5 secondi. Questo incremento improvviso di pressione si chiama esplosione.

Se mai abbiamo sistemi in cui temiamo che l'esplosione possa creare gravi danni, uno dei modi per evitare che questi danni siano gravissimi, quando è possibile, è creare negli ambienti chiusi delle zone molto fragili: non si può fare nelle camere di combustione, ma va bene nelle centrali termiche. In questo modo appena la pressione aumenta le zone fragili cedono subito, i fumi si sfogano fuori e il resto della struttura rimane in piedi.
es. vetri in una stanza: si sfondano ma i muri rimangono in piedi

esperimento

Ho un cilindro cavo pieno di una miscela metano-aria all'interno dell'intervallo di infiammabilità

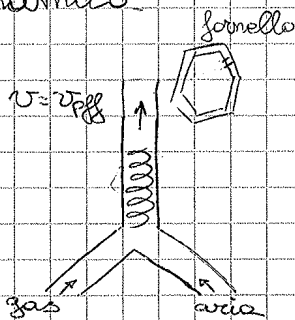
Riportiamo su un diagramma temperatura e lunghezza del tubo. All'inizio la temperatura è uguale in tutto il cilindro: 20°C

Se vogliamo innescare la combustione dobbiamo portare un punto della miscela al di sopra di T di accensione $\approx 400^\circ\text{C}$: aggiungiamo una piccola resistenza elettrica (3)

Se innescò la combustione all'imboccatura di un tubo di 10m che ha all'interno una miscela di aria-metano, la combustione avanza a 0,5 m/s e in 5 secondi brucia tutto. La pressione aumenta subito e l'effetto di esplosione comincia già dopo il primo pezzo perché il primo pezzo di gas è aumentato fortemente di pressione e questo fa innalzare p in tutto il tubo.

Questo concetto è importante per studiare i fenomeni di stabilità e instabilità della fiamma.

I bruciatori normali non sono un tubo semplice ma un sistema che fa fluire il gas: dobbiamo passare da sistema statico a sistema dinamico.



Gas e aria si mischiano insieme e fluiscono da uno dei piccoli buchetti della testa di combustione. Supponiamo che la miscela esca con v esattamente uguale a v di propagazione del f. di f. La fiamma è stabile e se $v < v_{pff}$ cui esce la miscela $= v$ a cui la fiamma torna indietro allora la fiamma rimane ferma \rightarrow questo è ciò che succede quando mettiamo la fiamma al minimo, è piatta e corre a malapena il buchino da cui esce.

Noi però non riusciamo a far uscire la miscela a v esattamente uguale a v_{pff} ; la miscela esce più lentamente o più velocemente a seconda della portata di cui abbiamo bisogno.

• $v > v_{pff}$ $v = 1 \text{ m/s}$ e la fiamma avanza a $v_{pff} = 0,5 \text{ m/s}$ la fiamma non riesce a seguire la miscela e la parte accesa se ne va.

Questo però non capita: la fiamma si apre man mano che noi giriamo l'accensore fino ad arrivare a un'apertura massima del rubinetto del gas. Che cosa fa la fiamma? Dato che $v_{pff} = \text{cost}$ e $v \neq \text{cost}$, la fiamma aumenta la superficie del fronte di fiamma.

Se si aumenta la portata del bruciatore la parte accesa si espande sempre più.

Il fronte di fiamma si amplia per bruciare tutta la portata. Questo fenomeno è automatico.

Se si spegne la fiamma il gas va in cucina e si rischia l'esplosione: come si può evitare? Innanzitutto si fa in modo che il gas puzzi così la gente se ne accorge, inoltre le piastre più recenti hanno

Se diminuisce la portata, diminuisce v e la fiamma si stabilisce sempre più in basso fino a un diametro minimo al di là del quale la fiamma non riesce ad andare indietro.

Esiste un diametro minimo di passaggio della miscela aria-combustibile al di là di cui la fiamma non riesce a tornare indietro: questo diametro minimo è quello previsto e dimostrato dal fenomeno di quenching.

Cosa fa la fiamma se non riesce a tornare indietro? Sta accesa lì dov'è e se non esce abbastanza combustibile si spegne.

→ L'unico sistema che esiste per evitare il ritorno di fiamma per portate molto basse è il fenomeno di quenching.

Si fa in modo che nei bruciatori che gestiscono fiamme premiscelate, le fiamme escano da buchini molto piccoli (es. fornelli, la fiamma non riesce a risalire nel buchetto).

Problema del distacco di fiamma. Perché nei miscelatori delle nostre cucine non c'è mai il problema del distacco di fiamma? Perché avviene quando esce una portata di miscela troppo elevata: i bruciatori sono tarati in modo che, anche se al massimo, la portata che esce non è compatibile con la presenza di un fronte di fiamma apribile. Il problema si evita limitando la portata che esce: questi bruciatori sono in genere per piccole potenze.

Nell'uso industriale si ha bisogno di potenze più grosse, allora bisogna anche far uscire aria e metano ad una v molto elevata. A livello industriale non si può usare la limitazione della portata perché significherebbe limitazione di v , che a sua volta vorrebbe dire aumentare troppo le sezioni, il che non avrebbe senso.

Soluzione: se la fiamma tende a distaccarsi, e quindi a spegnersi, la accendo in continuazione, allora la miscela non si spegne mai.

Come posso far avvenire la continua riaccensione?

E se la fiamma in ogni caso si spegne? Dobbiamo avere la certezza che, se la fiamma si spegne, si chiuda l'afflusso di combustibile in 1 o 2 secondi perché si provocherebbe l'esplosione.

Un'esplosione lato fiamma non è mai tanto grave, ma demolisce la struttura che contiene acqua sotto forma di vapore: se questa struttura si rompe, però, aumenterebbe di colpo la pressione e anche il volume di 500 volte e la situazione diventerebbe grave.


• Se la fiamma si spegne bisogna chiudere la valvola che permette l'afflusso di combustibile, ma come ci si può accorgere di questo? La fiamma ha diverse proprietà:

- 1) temperatura. Se c'è la fiamma c'è una miscela di gas caldi: un sensore di temperatura potrebbe essere in grado di capire se la fiamma è accesa;
- 2) emissione elettromagnetica. La fiamma ha un'emissione elettromagnetica sia nel campo del visibile sia nel campo del non visibile;
- 3) ionizzazione. Gli stati della materia sono 4: aeriforme, liquido, solido, materia ionizzata (plasma). I gas in condizioni normali sono formati da atomi e molecole, non hanno carica elettrica: $n^{\circ} \oplus = n^{\circ} \ominus$. Un gas è ionizzato se ci sono ioni, cioè in atomi e molecole $n^{\circ} \oplus \neq n^{\circ} \ominus$, hanno una carica elettrica. Nella zona di reazione, finché la fiamma è accesa, ci sono degli ioni: la fiamma ha la caratteristica di essere un gas debolmente ionizzato.

I sistemi automatici usati per controllare se la fiamma è accesa o spenta si fondano su questi 3 principi:

- 1) sistema termico: ci sarà un termometro e se $T <$ di un certo valore vuol dire che la fiamma è spenta, se $T >$ di quel valore la fiamma è accesa. Questo sistema non è più usato a livello industriale, ma è utilizzato nelle applicazioni civili.

es. piastra di cottura

 per accensione
 e termocoppia: la valvola del gas si chiude da sola.

riferimento al punto (z).

FOTOCEDURE ULTRAVIOLETTE: sono sensibili nell'UV e non sono messe in zone in cui potrebbero danneggiarsi. L'emissione nell'UV c'è sempre, ma non si può usare sempre questo sistema perché è molto caro e si esaurisce nel tempo. Lo uso solo nei bruciatori misti.

Problemi legati alla parte chimica e alla parte che riguarda la portata di fluidi da gestire negli impianti.

Nei grossi impianti le quantità da gestire sono molto elevate (da un solo generatore di vapore, 320 MWatt, esce una quantità di fumi pari a 1 milione m^3/ora).

La finalità è sempre l'utenza: i fluidi caldi devono essere forniti in determinate condizioni \rightarrow pressione, temperatura, en. termica, potenza, portata.

L'utenza decide la potenza e la caldaia deve reagire di conseguenza.

Se l'utenza ha bisogno di una certa potenza utile, questa portata utile termica è data dal prodotto di una portata di combustibile (indicata in massa o volume) per il potere calorifico inferiore per il rendimento.

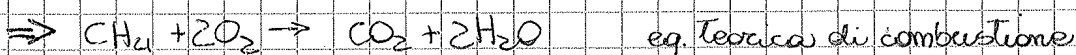
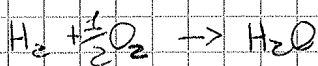
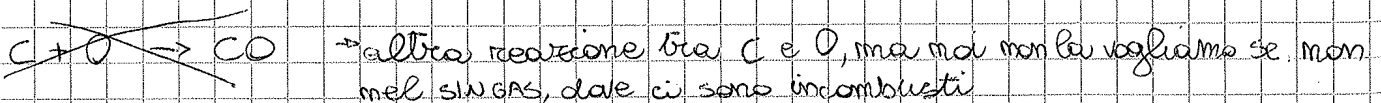
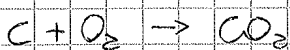
$$W_u = \dot{m}_b \cdot H_i \cdot \eta$$

Assumiamo $\eta = 95\% - 100\%$, ottengo la portata di combustibile $\dot{m}_b = \frac{W_u}{H_i(\eta)}$

Questo non vale per i forni industriali, dove $\eta = 30-40\%$.

Dato \dot{m}_b , di quanta aria si ha bisogno?

• Principi della reazione di combustione



La massa che c'è a sx deve essere uguale alla massa a dx:

Considerazioni:

- Una piccolissima parte di N_2 nella reazione diventa NO_x , un inquinante (è una molto piccola, tocca la 6^a cifra significativa)
- Quanto vale l'aria in eccesso rispetto alla teorica? Più A_e metto dentro e più ho fumi di combustione e più si abbassa la T di fiamma perché a parità di energia più gas si mette e più bassa è T . c'è inoltre maggiore difficoltà a scambiare.

L'aria in eccesso, allora, deve essere la minima necessaria per far avvenire la combustione.

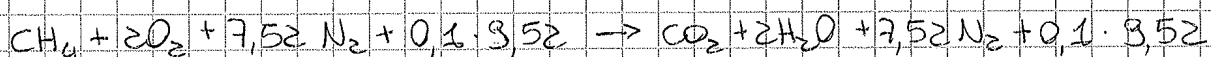
Il rapporto tra A_e e A_t si chiama eccesso d'aria: $\frac{A_e}{A_t} = e$

$$A_{tot\ combustion} = A_t + A_e = A_t(1+e) = A_t \cdot m \quad \text{con } m = 1+e = \text{indice d'aria}$$

Quanto vale e ? Da un minimo del 5% negli impianti a gas grossi fino a 10-15% per combustibili liquidi fino a 20% per combustibili solidi. e aumenta man mano che la combustione è più difficile.

Un grosso impianto, inoltre, avrà eccesso d'aria molto ridotto, il minimo indispensabile perché ci sono dei sistemi di controllo automatico.

- Supponiamo di avere $e = 10\%$, $A_e = 2 + 7,52 = 9,52$



Per $1 m^3$ di CH_4 ho bisogno di $\left\{ \begin{array}{l} \rightarrow 9,52 + 0,952 m^3 \text{ di aria} \\ \rightarrow 10,52 + 0,952 m^3 \text{ di fumi} \end{array} \right.$

Più alto è e , più fumi ho

$1 m^3$ di $CH_4 = 8000 \text{ kcal}$, ha bisogno di $10 m^3$ d'aria per bruciare (anche 11-12)

Bisogna prevedere un afflusso sufficiente di aria esterna (per questo nelle cucine c'è un buco)

Per bruciare $100\,000 m^3$ di CH_4 avrà bisogno di $100\,000 \cdot 10 = 1 \text{ milione } m^3$ di aria dell'ambiente esterno

- Qual è la quantità di energia contenuta nei fumi? es i fumi escono a $100^\circ C$: c'è energia rispetto a fumi che escono a $20^\circ C$?

Spesso al posto che W_{cam} si fa riferimento al rapporto tra W_{cam} e W_s (= potenza spesa): io voglio sapere quanto ho perso in funzione di quanto ho messo dentro, non mi interessa la perdita in termini assoluti.

$$P_{cam} = \frac{W_{cam}}{W_s} \quad \text{con } W_s = \dot{m}_b \cdot H_i$$

↳ mi dà la % dell'INDICE DI GRADIMENTO, è una % di ciò che ho perso rispetto a quanto ho speso

Non bisogna temere conto della sola componente tecnologica energetica, ma anche la componente di mercato

[Perché, Dall'unione di Draghi e Newton viene fuori un'ingegnere di produzione industriale]

Se si potesse far sviluppare la combustione in una camera adiabatica si arriverebbe a 2500°C , che corrisponde tutta l'en. disponibile: mai non sfruttiamo il 10% di energia disponibile ogni 250° . es. se scarico a 500° butto via il 20% dell'energia, se scarico a 1000° butto via il 40%

Bisogna però considerare che più ho eccesso d'aria e più aumenta la massa dei fumi, più aumenta W_{cam} : aumentare troppo l'aria allora non va bene perché aumenterebbe la perdita al camino.

Negli impianti moderni W_{cam} è la potenza persa più importante: bisogna cercare di ridurla (molto difficile) o sfruttarla in altro modo.

PARTE TECNOLOGICA

La combustione avviene nella camera di combustione: ma chi la gestisce? I SISTEMI DI COMBUSTIONE:

- bruciatori, occupano il 99,99% del mercato, sono macchine in grado di far avvenire la combustione in modo continuo, in sicurezza, con le caratteristiche giuste che non la fanno spegnere;

3) - 4) → passaggi per fare entrare combustibile + aria in camera di combustione

6) → controllare che la fiamma rimanga accesa, ha solo due stati: f. accesa oppure f. spenta

7) → la fiamma potrebbe avere problemi se non è esattamente come la vogliamo, questo è il controllo quando la fiamma è accesa ma non in modo perfetto. Questo punto c'è soltanto su alcuni bruciatori, ma tutti gli altri sette devono essere sempre presenti.

8) → criteri per fare avvenire tutti i punti precedenti insieme.

I bruciatori sono diversi in funzione del tipo di combustibile.

Si possono suddividere in bruciatori per combustibile:

- gassoso → aria soffiata → f. di diffusione
- ↘ aria premiscelata (o aspirata) → f. premiscelata
- liquido → aria soffiata
- solido → aria soffiata

APPLICAZIONI

L'aria premiscelata va bene solo per piccole applicazioni (< 20 kW); esistono comunque caldaie da 20 a 100 kW che possono funzionare con aria premiscelata. Ci sono molte applicazioni, es. saldabagno, ma la maggior parte vanno dai 100 W in cucina a 20-30 kW.

L'aria soffiata si usa quando la potenza è > 40-50 kW. Un singolo bruciatore industriale di solito è 2-3 MW, raramente si trovano bruciatori da 7-8 MW: se ho un impianto da 500 MW metterò tanti bruciatori.

I combustibili liquidi ad aria soffiata partono da 25-30 kW e arrivano alle stesse potenze massime dei gassosi: sono usati per il riscaldamento o la generazione di en. elettrica.

In teoria esistono anche liquidi ad aria premiscelata ma stanno scomparendo.

- 4) ALIMENTAZIONE ARIA. Il tubo di Venturi pensa a questo
- 5) ACCENSIONE FIAMMA. Viene eseguita dall'elettrodo di accensione: fa scoccare la scintilla o per sistema piezoelettrico o mediante l'utilizzo dell'energia elettrica
- 6) CONTROLLO FIAMMA. Soddisfatto dalla termocoppia (o elettroionizzazione)
- 7) OTTIMIZZAZIONE FIAMMA. Non esiste questo sistema di controllo: le macchine considerate sono semplici, piccole e poco costose. Sui piccoli impianti questa componente di costo sarebbe molto grande, mentre negli impianti grossi il costo relativo è minore.
- 8) PROCEDURE FUNZIONAMENTO. Ci sono poche procedure: a. aprire l'V_R per erogare energia → nelle caldaie questo segnale è gestito in modo automatico; b. segnale elettrico e scocco scintilla; c. V_R

BRUCIATORI AD ARIA SOFFIATA

È tutto simile al precedente, ma al punto (6) si usa l'elettroionizzazione. Nel controllo della fiamma, inoltre, rientra il fatto che non deve avere spegnimenti: essendo ad aria soffiata ^{MAN} si può avere né ritorno di fiamma (gestito attraverso il quenching) né distacco di fiamma (si mette un'apertura max della valvola di regolazione), presente invece nei br. ad aria premiscelata.

BRUCIATORI A COMBUSTIBILE GASSOSO

Si distinguono in funzione di una caratteristica di tipo logistica: se tutto il bruciatore è in un tipo di carrozzeria si parla di BRUCIATORE MONOBLOCCO. In alcuni casi si ha bisogno di usare molti bruciatori (10-20): alcune cose comuni sono tenute tutte insieme (es. ventilatore unico) e altre divise nei singoli bruciatori → BRUCIATORI NON MONOBLOCCO.

arrivano separatamente; il disco deflettore previene il distacco di fiamma.

7) La V_R eroga gas non in funzione della sola propria apertura ma anche dalla pressione in rete: chi garantisce che la rete eroghi a $p = \text{cost}$? Nessuno, l'ente che gestisce la rete deve controllarlo.

Può capitare che ad un certo momento ci sia un calo di p che fa entrare meno gas: la serranda è collegata a V_R ma V_R non si è mosso, allora esce più aria del necessario, perché il gas è calato \rightarrow c'è miscela sbagliata di aria + gas. Interviene allora il pressostato sul gas che stoppa l'emissione fermando il bruciatore: si chiude V_R , questa si chiama SITUAZIONE DI STANDBY.

In STANDBY la macchina è pronta a ripartire da sola senza intervento dell'operatore se la pressione risale.

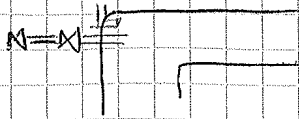
Sull'aria può capitare una cosa analoga: se si è bruciato il motore del ventilatore, c'è uno straccio sulla serranda che non permette all'aria di entrare \rightarrow c'è un calo di pressione dell'aria.

Il pressostato dell'aria dà l'ordine al bruciatore di formarsi: in questo caso il bruciatore non va in standby ma in POSIZIONE DI BLOCCO.

Il bruciatore può ripartire solo dopo l'intervento dell'operatore perché in questo caso c'è un guasto sul bruciatore (o M. o V. o S).

A cosa serve V_S ? A garantire che non ci sia passaggio di gas da valle a monte quando V_R è chiusa (in automatico anche V_S si chiude), potrebbero esserci granuli di sabbia o ruggine che non permettono la chiusura completa allora il gas passa lo stesso. V_S non ha regolazione: è tutta aperta (br. in funzione) oppure tutta chiusa (br. non in funzione).

Nei bruciatori più grossi c'è un ulteriore pressostato ^(P₃) fra V_R e V_S per capire se una delle due valvole perde quando sono chiuse: se le valvole sono chiuse P_3 è costante, se varia c'è una perdita.



L_1 se la fotocellula vede la fiamma, f è acceso;
 l'importante è che non ci siano ostacoli
 E a va invece messo vicino ai gas ionizzati e i
 gas sono ionizzati solo vicino alla fiamma.

I bruciatori per combustibile gassoso^{non} hanno a bordo necessità
 di preparazione del combustibile; per gli altri c'è una
 preparazione meccanica del combustibile.

28/3/2014

mercoledì 4 giugno → FINTERM commercializza bruciatori e caldaie

mercoledì fine maggio → IREN di Marcalieri, centrale a ciclo combinato,
vedremo passaggio da $\eta = 45$ a $\eta = 30$

NO lezione: 31 marzo (lum) e 11 aprile (ven)

I bruciatori di GPL sono fatti come quelli appena visti.

BRUCIATORI PER COMBUSTIBILE LIQUIDO

Sono diversi dai bruciatori per combustibile solido. Considerazioni:

i. la combustione avviene solo in fase aeriforme: bisogna trasformare
il liquido in gas;

ii. la fiamma è luminosa, perché si creano microparticelle solide
che emettono nel visibile;

iii. con il gas c'è una valvola di regolazione che si può aprire un po'
alla volta. I bruciatori hanno un range di potenza da 1 a 2 (es.
da 75 a 150); con il combustibile liquido la regolazione è più complessa
e interagisce sulla preparazione e l'atomizzazione del combustibile;

iv. Il gas è messo in pressione da chi lo vende, il liquido devi
metterlo in pressione tu.

Io ho il serbatoio del combustibile che contiene olio o gasolio: noi
dobbiamo prendere quella quantità e mandarla in camera di
combustione. Appena arrivata in camera di combustione deve evaporare

da 70-80 KW in su.

I è sistema rigido, semplice, che regola la potenza tenendo il bruciatore un po' acceso al massimo e un po' spento; II è sistema flessibile, più complesso, che regola la potenza tra 40% e 100% in modo continuo.

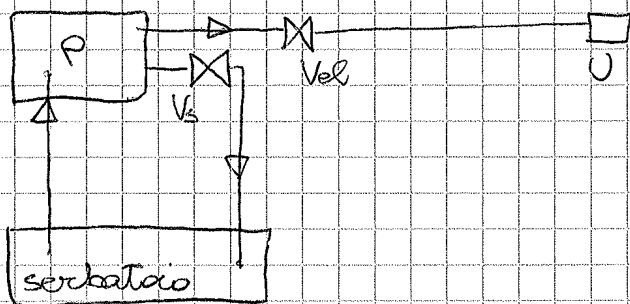
È al di sotto di 40%? Non è possibile, o tengo a 40 o spengo.

Altro problema: la portata massima di un bruciatore dipende dal sistema di spenta che, nel caso di un liquido, si chiama POMPA.

Ci sarà una pompa del combustibile che manderà una portata max.

Compro un bruciatore 75-150; chi lo vende non sa a quanto verrà usato; la pompa deve essere in grado di avere una portata max a ω 150, ma io voglio che la portata sia proporzionale a 100.

La pompa è un sistema rigido, allora monterò una pompa da 150.



← BRUCIATORE PER GASOLIO

Per tirare fuori il combustibile dal serbatoio usiamo una pompa.

La pompa espellerà una quantità di combustibile corrispondente alla capacità massima del bruciatore (150), allora devo rimandare indietro la parte in eccesso (50).

V_s = VALVOLA A SFERA, tarata in modo tale che la pressione di mandata della pompa rimanga sempre costante, di solito 10-11 bar.

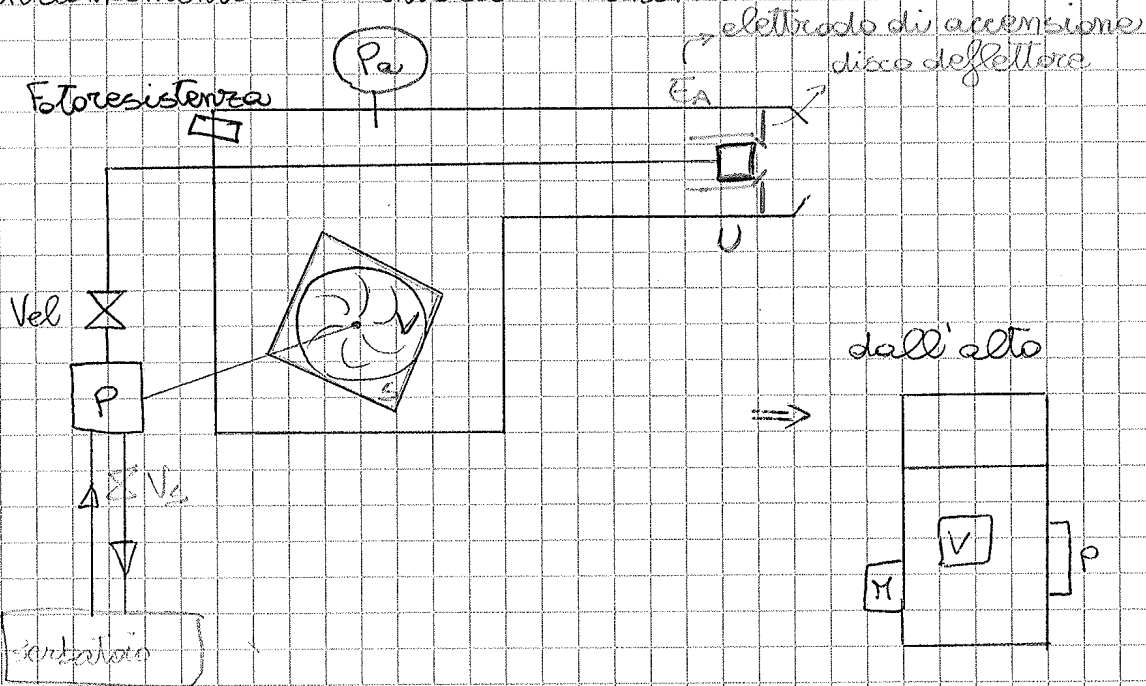
V_s si apre, fa tornare indietro il combustibile di troppo e mantiene la camera di mandata della pompa a 10-11 bar.

Il fluido a 11 bar va avanti e trova una VALVOLA ELETTROMAGNETICA

$Vel = 0$ è tutta aperta e lascia passare tutto il fluido o si chiude e non fa passare fluido.

Se V_r è totalmente aperta, il fluido arriva all'ugello e torna tutto indietro nel serbatoio, se si vuole far funzionare il bruciatore si chiude V_r e tutto il fluido va in camera di combustione. Nelle macchine più sofisticate V_r non ha solo 2 stati (aperta o chiusa) ma può essere regolata facendo variare la portata che entra in camera di combustione. Lo stesso schema si usa nei bruciatori per gasolio più moderni.

Funzionamento sull'intera macchina.



Il motore è montato su un albero che è lo stesso che fa girare il ventilatore e la pompa: o girano entrambi o nessuno dei due.

La macchina è molto simile a quella per combustibile gassoso.

• Si possono quindi avere sistemi semplici con una sola portata, vincolata dalla pressione della pompa che è costante a 10-11 atm; la portata allora varierà in funzione della dimensione del foro di efflusso dell'ugello: diametri maggiori, portate maggiori e viceversa.

Non c'è possibilità di regolazione continua.

• Sistemi in cui la portata è costante regolata dalla pressione, ma la pressione all'ugello è regolata dalla valvola V_r ; si ha allora la possibilità di regolazione continua tra una pressione max e una

strette e con una fiamma molto allungata).

• Gli ugelli sono identificati da:

- nome del fabbricante

- angolo α

- n° che dice la portata dell'ugello alimentato a pressione standard espressa o in Kg/h di combustibile o in galloni/h (1 gallone \approx 4,5 l)

- lettera che dice quale tipo di nebulizzazione si ottiene

↳ ugelli più semplici

Esistono ugelli più complicati che hanno la possibilità, una volta dentro la camera di distribuzione, di far tornare indietro una parte di combustibile.

• Quali sono le pressioni di funzionamento degli ugelli?

Tutti i bruciatori da gasolio funzionano tra 10-11 bar; pochissimi bruciatori a gasolio hanno possibilità di regolazione come quelli a olio combustibile ed hanno una mandata da 20 bar per poter regolare tra 20 e 12 bar (a mano a mano che diminuisce la pressione dell'ugello, la portata diminuisce). Se la pressione fosse troppo bassa, la nebulizzazione non sarebbe perfetta, allora non si va sotto i 10-12 bar; c'è un limite minimo di pressione (10%).

I bruciatori ad olio combustibile hanno pressioni tra 20-30 bar.

• P_A = PRESSOSTATO ARIA, stessa funzione dei br. monoblocco

• Il ciclo di AVVIAMENTO è lo stesso, ma in questo caso aprendo il ventilatore si avvia anche la pompa e bisogna impedire all'olio di arrivare in camera di combustione (o si chiude Vel o si apre Vr)

Il rapporto aria-combustibile è regolato dalla sonda; la portata di combustibile è regolata dalla pompa; il ritorno di fiamma non esiste; il distacco di fiamma è controllato dal disco deflettore.

Non c'è un pressostato sul combustibile perché si ritiene che se ci sono condizioni di scarso afflusso di combustibile, o si è rotta la pompa o si è rotto il motore e il bruciatore si spegne, perché la portata va direttamente a zero.

Il carbone viene prelevato da cumuli all'aperto e portato nei mulini per essere macinato fino a $0,2 - 0,8 \text{ mm}$. Un flusso di aria calda fa galleggiare il polverino e lo porta via dal mulino: quest'aria si chiama ARIA PRIMARIA di combustione. Il carbone si fa arrivare a un polmone, cioè a un silo in cui il carbone macinato può essere depositato o prelevato: i mulini macinano sempre la stessa quantità e si preleverà dal silo la quantità giusta che serve sul momento sempre sfruttando l'aria primaria. Si arriva al bruciatore, dove viene aggiunta dell'ARIA SECONDARIA, perché la primaria è sufficiente solo per il galleggiamento, e non per bruciare.

A questo punto si può unire la fiamma e si inizia a bruciare: dato che il polverino fatica a bruciare perché si tratta di pezzi solidi, verrà aggiunta dell'ARIA TERZIARIA per far completare la combustione.

Spesso questi bruciatori hanno anche un piccolo bruciatore a metano o a combustibile liquido perché non è semplice accendere la fiamma con il polverino, allora prima si accende un bruciatore ausiliario che fa da accensione per la fiamma del polverino e poi viene spento.

È un sistema a fiamma luminosa, allora uso la fotocellula

BRUCIATORE A LETTO FLUIDO

Vedi lezioni passate, non è un sistema molto affermato e oggi.

SISTEMI DI COMBUSTIONE A GRIGLIA

Si usano quando il combustibile non riesce a galleggiare da nessuna parte ed ha bisogno di essere sostenuto da un oggetto solido (es. rifiuti, biomasse, No carbone).

La griglia deve soltanto permettere al combustibile di stare in camera di combustione tutto il tempo necessario per bruciare.

La quantità che brucia non solo in base a quanto combustibile viene immesso ma anche in base ai movimenti della griglia.

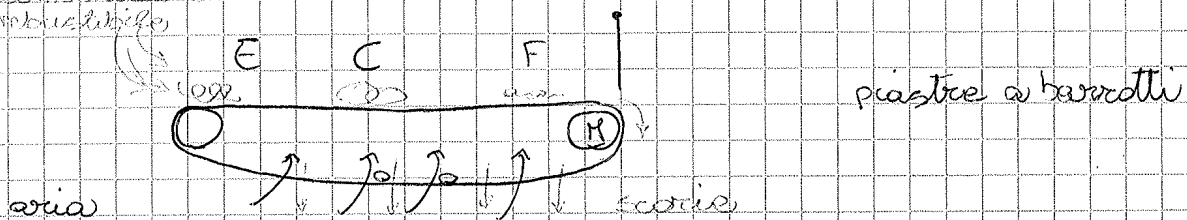
• PIANA

La griglia non è inclinata ma, di ruolo, può eseguire movimenti

③ GRIGLIA ROTANTE

È usata negli impianti molto grossi, è simile al aringo di un cocco arumato.

alimentazione
combustibile



E = ESSICCAZIONE del combustibile, perde acqua

C = COMBUSTIONE, cracking e combustione parte solida

F = FINE combustione della parte solida

La regolazione della portata di combustibile è data dalla v di rotazione della griglia: maggiore è v maggiore combustibile brucia; c'è unq una v_{max} sopra cui non si può andare per non lasciare incombusti

Si può unire un fluido ad aria e combustibile per migliorare la combustione?

Sì, ma esistono solo per combustibile liquido e servono per aiutare la nebulizzazione.

La NEBULIZZAZIONE avviene tramite il passaggio della portata di combustibile in un foro molto piccolo.

La nebulizzazione meccanica può essere aiutata da un fluido ausiliario: come sostanza questo fluido è sempre l'acqua.

La nebulizzazione con fluido ausiliario può essere fatta o con vapore

- Se ho dei fumi, posso usarli in due modi:

- Uso i fumi così come sono, ad es. per scaldare dei forni o vengono mandati a un ciclo termodinamico;
- Non si possono usare i fumi come sono, allora si passa l'energia dei fumi a un fluido termovettore (normalmente acqua): l'acqua che si ottiene viene mandata a un ciclo termodinamico oppure si usa per utenze di riscaldamento o tecnologiche.

- Chi decide le condizioni termodinamiche dei fumi o dei fluidi termovettori per l'utenza?

Le necessità sono o di tipo industriale o per il riscaldamento.
Le condizioni sono dettate dalle esigenze dell'utenza.

- Quando siamo sui cicli TERMODINAMICI, quali sono le condizioni termodinamiche preferenziali che deve avere il fluido perché la conversione da en. termica a en. meccanica (cioè lavoro) abbia il rendimento η maggiore?

Invertimento del sistema termodinamico di trasformazione da en. termica in en. meccanica.

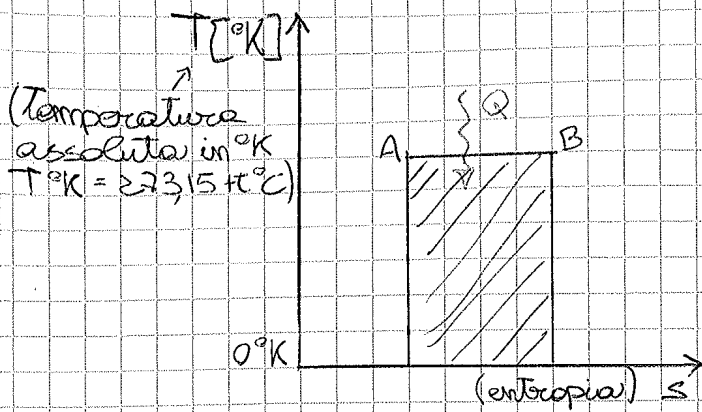
CICLO TERMODINAMICO CHIUSO. Abbiamo dei fluidi, spesso aeriformi, che hanno una serie di trasformazioni ma il fluido parte in certe condizioni e alla fine torna nelle stesse condizioni.

I cicli TD possono essere:

- DIRETTI. Da en. termica si ottiene en. meccanica o lavoro.
- INVERSI. Si prende en. termica a bassa T e viene portata a T più elevata.

Qualsiasi corpo tende, in un sistema più freddo, a raffreddarsi: flusso naturale. Con il ciclo inverso, però, succede il contrario.

I cicli diretti servono a generare potenza; i cicli inversi sono i cicli frigoriferi e le pompe di calore.

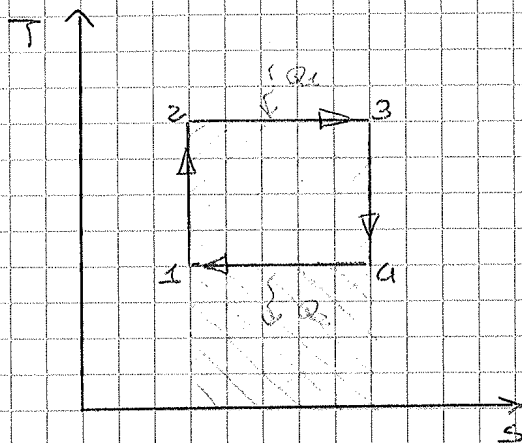


$T [°K]$ e s sono entrambi funzioni di stato, da A a B ci sarà una variazione di entropia

$$\text{shaded area} = \int_A^B T ds = \int_A^B \frac{dQ}{T} \cdot T = \int_A^B dQ = Q$$

shaded area esprime la quantità di en. Termica fornita per passare da A a B

CICLO DI CARNOT



Carnot ha ipotizzato il primo ciclo TD chiuso

1-2 COMPRESSIONE ISOENTROPICA del fluido, $s = \text{cost}$ (è impossibile nella realtà)

2-3 $T = \text{cost}$, fornitura CALORE Q_1 , trasformazione ISOTERMA

3-4 ESPANSIONE ISOENTROPICA, recuperiamo L verso l'esterno

4-1 $T = \text{cost}$, sottrazione EN TERMICA Q_2

Si tratta di un ciclo TD chiuso diretto, perché percorso in senso orario. L'effetto utile è il lavoro ottenuto dal ciclo.

Per un certo fluido la quantità di calore fornito + la quantità di lavoro fornito (le quantità possono essere positive o negative) è uguale alla variazione di entalpia più la variazione di altri tipi di energia (energie varie) : $dq + dl = dh + dE_o$

Applicando il concetto a un ciclo chiuso, ottengo :

$$\oint dq + dl = \oint dh + dE_o \rightarrow \text{se il ciclo è chiuso, } h_i \text{ e } h_f \text{ sono uguali, allora } \oint dh = 0 \text{ e l'integrale vale } 0$$

Se, in generale, tutte le condizioni finali sono uguali alle condizioni iniziali, in un ciclo chiuso avrò allora :

$$\oint dq = \oint dl \rightarrow \text{ovvero } Q_1 - Q_2 = L \text{ (calore fornito - calore sottratto = lavoro)}$$

shaded area $\rightarrow Q_1$

shaded area $\rightarrow Q_2$

$\rightarrow L = \text{rettangolo } 1-2-3-4$

In un ciclo qualsiasi allora: $\eta = 1 - \frac{T_2^*}{T_1^*}$

Per ottenere rendimenti alti vogliamo T_2 basse e T_1 alte.

Questo però deve essere coerente con l'ambiente in cui viviamo.

I sistemi freddi a disposizione sono aria e acqua; T_2 ha un limite che è il raffreddamento che c'è nel mondo.

Per T_1 ci sono due problemi: (a) c'è un limite di T_{max} in camera di combustione, che non supera ca $1500^\circ C$ e (b) a quella temperatura dobbiamo avere materia che resista nell'impianto.

• legge generale: cerchiamo di sottrarre T_2 più bassa possibile e fornire T_1 più alta possibile nei limiti della resistenza del materiale.

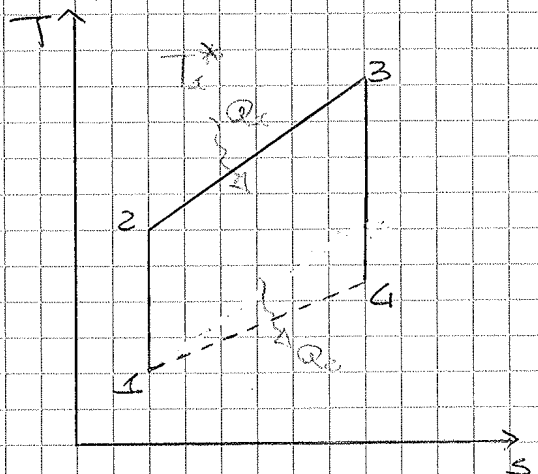
I materiali non resistono allo stesso modo: i ceramici sono i più resistenti ma costano troppo.

Ciclo turbo gas

CICLO DI SOULE = CICLO DI CLAPEYRON

Applicazioni: - impianti fissi a terra per produzione di en elettrica;
- impianti aerei per propulsione aerea;
- a volte anche per propulsione navale.

I gas sono ideali, non esistono attriti: i tratti 1-2-3-4 sono infatti rette.



1-2 COMPRESSIONE: l'aria ambiente viene aspirata da un compressore

2-3 $p = cost$, si inietta il combustibile e si fa avvenire la combustione: viene fornito calore Q_2 a $T_{media} = T_1^*$

3-4 ESPANSIONE: il fluido caldo e compresso si espande in una turbina

4-1 $p = cost$, avviene in aria ambiente, perché i gas caldi si mettono in aria ambiente

bisogno di questo sistema.

Il ciclo di Rankine si usa per gli aerei così com'è, mentre per turbo gas si accoppia a terra un altro ciclo (Ranquine)

FLUIDO ACQUA

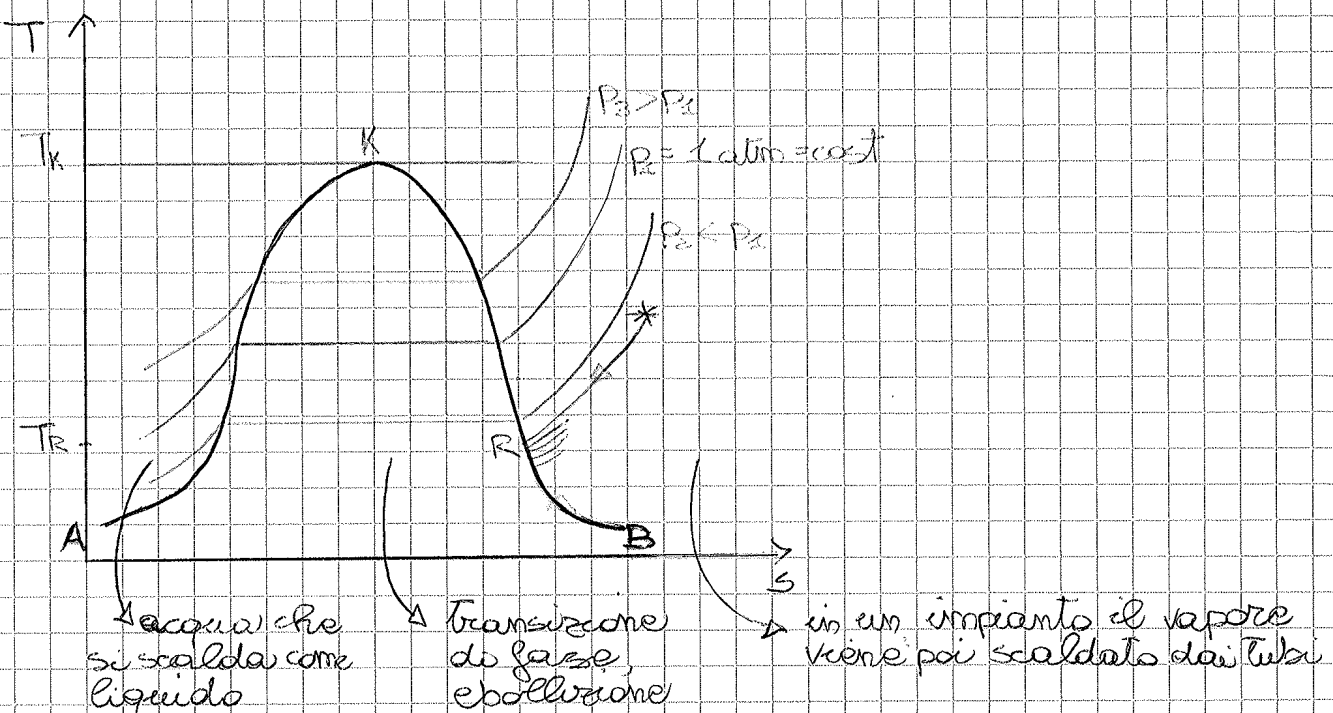
Quando non si usano direttamente i fumi caldi di combustione, l'energia viene fornita a un fluido termovettore che è l'ACQUA.

Lavorando tra $20-30^{\circ}\text{C}$ e $400-500^{\circ}\text{C}$ i gas sono sempre gas.

L'acqua può invece essere in stato di liquido, liquido + vapore o solo vapore d'acqua.

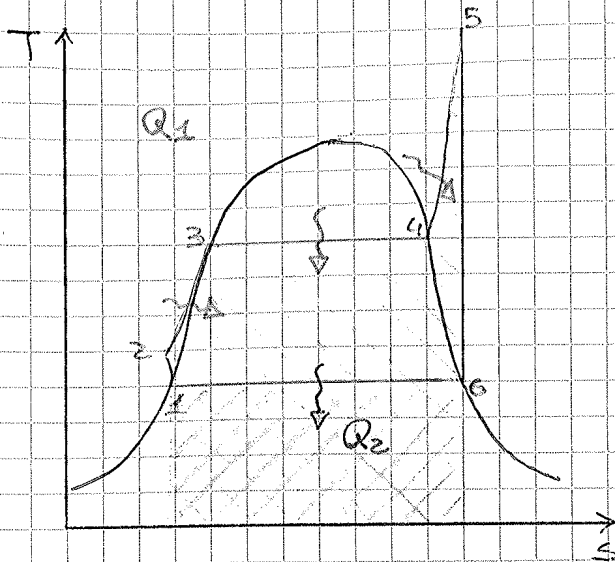
Se $p = 1 \text{ atm}$, l'acqua bolle a $T = 100^{\circ}\text{C}$ → transizione di fase da liquido a vapore.

Se nell'aria c'è poco vapor d'acqua la sensazione è di secchezza, se invece ce n'è troppo c'è umidità.



Il luogo dei punti di inizio ebollizione alle varie pressioni sta su una curva così come il luogo di tutti i punti di fine ebollizione: il punto di incontro delle curve è K. T_K è la temperatura CRITICA dell'acqua: l'acqua non può essere liquida sopra quel punto. Le due curve sono simmetriche

CICLO DI RANKINE



1-2 COMPRESSIONE, aumento di p mediante pompa: l'acqua è sempre liquida

2-3 T.ISOBARA, riscaldamento del liquido a $p = \text{cost}$

3-4 TRANSIZIONE DI FASE, ebollizione con $p = \text{cost}$ e $T = \text{cost}$

4-5 T.ISOBARA di SURRISCALDAMENTO, si ottiene vapore sovriscaldato

5-6 ESPANSIONE, c'è un aeriforme che si espande in turbina

6-1 TRANSIZIONE DI FASE, condensazione con $p = \text{cost}$ e $T = \text{cost}$

Il calore Q_1 verrà fornito in diversi punti

Q_2 rappresenta la sottrazione di calore

\Rightarrow Lavoro ottenuto = $Q_1 - Q_2$

In questi cicli abbiamo $\eta = 42 - 45\%$

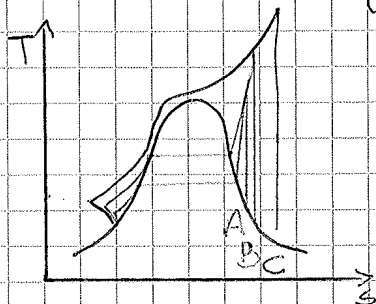
Nelle calcoli moderate vogliamo $\eta = 50\%$. T_2 deve essere la più bassa possibile per far condensare l'acqua usiamo l'acqua ambiente e l'acqua di un fiume, il limite è la $T_{\text{ambiente}} = 20 - 30 - 40^\circ\text{C}$.

T_{media} è molto basso, allora η è alto
 Condensazione a $25^\circ\text{C} \rightarrow p = 0,02 \text{ atm} \Rightarrow$ quindi questo deve avvenire in alcuni casi

Noi cerchiamo di sottrarre en. termica a T più bassa possibile:

la temperatura è legata al fluido di raffreddamento, che può essere aria o acqua. Se vogliamo che la transizione di fase avvenga a $T = 25^\circ\text{C}$, dobbiamo avere la pressione del vapore a $0,02 \text{ atm}$, quindi molto più bassa della pressione ambiente.

Per aumentare $\eta \Rightarrow$ abbassare p per la condensazione



A e B mantengono lo stesso η perché T_{media} è maggiore in B, allora per aumentare η bisogna anche aumentare T_1 . Si deve avere una fornitura di en. termica a T più alta possibile, allora bisognerà far funzionare il ciclo a pressione elevata.

cedono un po' della loro energia cinetica alla parete, in cui le molecole sono più fredde.

2) IRRAGGIAMENTO. Questo fenomeno di scambio termico ha un nome improprio: l'energia radiante è en. elettromagnetica e non en. termica. Un corpo caldo emette energia elettromagnetica che va a finire su un altro corpo e la converte in en. termica. In questo caso non è necessario il contatto fisico tra fluido e parete.

Nei sistemi in cui si passa en. termica dai gas di combustione all'acqua, sono presenti entrambi 1) e 2).

Per temperature molto alte (1300-1600°C) l'irraggiamento prevale sulla convezione: la quantità di calore scambiata attraverso 2) è molto maggiore rispetto a 1).

Per temperature più basse (100-400°C) l'irraggiamento invece è trascurabile ed è tutta convezione.

In ogni caso lo scambio di calore Q è proporzionale a:

$$Q_c = h_c \cdot A \cdot (T_f - T_p)$$

↓
 ↗ coefficiente di scambio per convezione
 ↘ area di scambio

calore scambiato per convezione, è un fenomeno lineare

Il calore scambiato per irraggiamento segue regole diverse, è una funzione delle temperature assolute, sia del fluido sia della parete, alla 4° potenza → $Q_r = f(T_i^4)$

Si può però sempre rappresentare con un'equazione lineare:

$$Q_i = h_{ei} \cdot A \cdot (T_f - T_p)$$

↗ coefficiente equivalente di irraggiamento

Calore totale scambiato: $Q = Q_i + Q_c = h_L \cdot A \cdot (T_f - T_p)$

con h_L = COEFFICIENTE DI SCAMBIO LIMINARE, tiene conto di h_c e h_{ei}

La conseguenza è che, dato $k_{12} A (T_1 - T_p) = k_{22} A (T_p - T_2)$, il rapporto tra le differenze di temperatura sarà il reciproco di 100

$$T_1 - T_2 = \Delta T_{\text{globale}} = 1500 - 300 = 1200^\circ\text{C}$$

$$(T_1 - T_p) + (T_p - T_2) = 1200^\circ$$

Uno dei due vale $\frac{1200}{100} = 12^\circ\text{C}$ e l'altro vale $12 \cdot 100 = 1200^\circ\text{C}$

ΔT tra fiamma e parete vale 1200°C

ΔT tra parete e acqua vale 12°C

$$T_1 - T_p \approx 1200^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow T_p \approx 312^\circ\text{C}$$

$$T_p - T_2 \approx 12^\circ\text{C}$$

Se $T_p \approx 300^\circ\text{C}$ potrà usare qualsiasi acciaio al carbonio, perché resistono tutti a questa temperatura

Se invece ho vapore surriscaldato vicino alla parete, $k_{12} = 100$, il salto di temperatura si divide a metà.

$$\text{Im questo caso } \underbrace{k_{12}}_{100} A (T_1 - T_p) = \underbrace{k_{22}}_{100} A (T_p - T_2) \Rightarrow T_1 - T_p = T_p - T_2$$

$$T_1 - T_p = 1200/2 = 600$$

$$T_p - T_2 = 1200/2 = 600$$

T dell'acciaio è fortemente legata al tipo di fluido che è a contatto con l'acciaio.

Se ho un sistema con acqua a 300°C , $T_p = 300 + 600 = 900^\circ\text{C}$; neanche gli acciai inox reggono e bisogna passare a superleghe.

L'acciaio inox arriva a $750-800^\circ\text{C}$ e non oltre perché $p = 200 \text{ atm}$ per avere T alte per avere η alti.

Come sono fatti allora gli impianti? Bisogna cercare di avere sempre transizione di fase, primo caso.

$$T_2 = 900 \div 1200^\circ\text{C}$$

Siamo in zone in cui l'energia scambiata può essere per il 30% attraverso irraggiamento e 10% per convezione.

3)-4) Non avviene più il fenomeno della combustione, neanche residui.

I fumi per migliorare lo scambio incontrano dei tubi sul loro passaggio

La temperatura continua a scendere

$$T_{f3} = 600 \div 400^\circ\text{C}$$

$$T_{f4} = 350 \div 250^\circ\text{C}$$

↳ andamenti di temperatura tipici dei generatori di calore

3) Scambio di energia metà per irraggiamento e metà per convezione

4) Scambio di calore praticamente solo attraverso convezione

I fumi escono a $T_{f4} : 350 - 250^\circ\text{C}$ però non è accettabile, perché con i fumi esce una quantità di energia troppo elevata

5) I fumi caldi escono dall'impianto e vanno in una zona chiamata PRERISCALDATORE D'ARIA: si prende l'aria di combustione, si fa passare in uno scambiatore e si preriscalda

I fumi escono a $T_{f5} \approx 100^\circ\text{C}$; T di uscita deve essere la più bassa possibile in modo che le perdite siano il più basso possibile. Non si va sotto i 100°C per evitare che i fumi vadano sotto la T di rugiada, condensino l'acqua e brucino i tubi.

Esistono impianti speciali, di solito molto piccoli, in cui si fa avvenire la condensazione, ma si mettono degli acciai capaci di resistere.

CIRCUITO ACQUA - circuito scaldato

Nel circuito dell'acqua c'è una prima zona in cui si scalda acqua allo stato di liquido; una seconda zona con acqua in transizione di fase; una terza zona con vapore surriscaldato

7.6.2016

In genere le dimensioni di un impianto sono legate anche alla tipologia del pubblico che viene fornito: le utenze sono più piccole con l'acqua liquida e il vapore saturo, mentre sono molto più grosse con il vapore surriscaldato.

CLASSIFICAZIONE IMPIANTI

Gli impianti vengono classificati in funzione delle condizioni termodinamiche del fluido che viene fornito.

1) GENERATORI DI VAPORE A VAPORE SURRISCALDATO

Sono gli impianti più grossi, in genere usati per utenze di celi termoelettrici

2) GENERATORI DI VAPORE A VAPORE SATURO

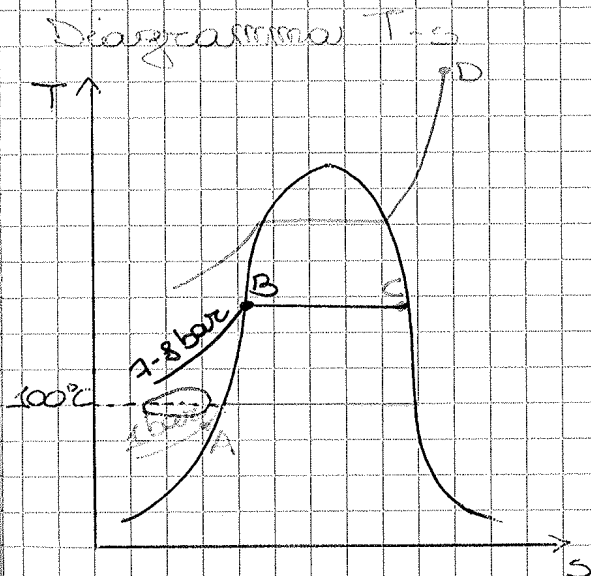
Usati per utenza tecnologica industriale o per riscaldamento

3) CALDAIE AD ACQUA CALDA

Viene chiamata acqua calda quella liquida; questi impianti forniscono acqua liquida a meno di 100° Celsius

4) CALDAIE AD ACQUA "SURRISCALDATA"

Hanno poche applicazioni, forniscono acqua liquida a più di 100° Celsius (fino a 160° - 170° C).



* Isobara a 100° C, 1 bar

Le caldaie ad acqua calda forniscono liquido in condizioni A, un po' sotto i 100° ma a 1 bar. In alcuni casi possono fornire, sempre alla stessa T, acqua liquida a 4-5 bar.


* Le caldaie ad acqua surriscaldato possono arrivare a 7-8 bar e

- $C_v \rightarrow$ I Megawatt sono quelli della potenza nominale; i m^3 sono quelli della camera di combustione (zone 1+2). Il limite che normalmente si usa è $1 MW/m^3 \rightarrow C_{vMAX} = 1 MW/m^3$. Se il valore dovesse essere più elevato, la massa di fumi generata sarebbe talmente alta che le resistenze al modo dei fumi diventerebbero troppo alte; i ventilatori non ce la farebbero, bisogna allora limitare i m^3 di fumi che passano nell'unità di tempo. Superati i limiti, la combustione diventerebbe pulsante, cioè con oscillazioni inaccettabili.
- $C_s \rightarrow$ è sempre la potenza nominale, ma riferita ai m^2 della camera di combustione: tutta la superficie, basi + laterale. $C_{sMAX} = 0,7 - 0,8 MW/m^2$, è il limite per non passare all'ebollizione a fumi; se si superasse il limite l'impianto inizierebbe a produrre vapore anche se non deve.
- $C_t \rightarrow$ è il carico nominale diviso la sezione di passaggio dei fumi. Limitare C_t vuol dire limitare la velocità di passaggio dei fumi all'interno dell'impianto: $C_{tMAX} = 2 - 4 MW/m^2$. C_v e C_s sono collegati di solito limitandone uno significa limitare l'altro contemporaneamente, mentre C_t è separato.

L'impianto ad acqua surriscaldata è molto simile a quello a vapore saturo; sono profondamente diversi tra loro i generatori a vapore surriscaldato, a vapore saturo e ad acqua calda.

I generatori di vapore a vapore surriscaldato hanno la caratteristica che l'acqua passa dentro oggetti, tubi; questi impianti sono spesso definiti come generatori di vapore a tubi d'acqua.

Anche i generatori a vapore saturo hanno dei tubi, ma al loro interno passano i fumi, vengono allora chiamati generatori di vapore a tubi di fumo.

Tra le zone 2 e 3 c'è una piccola escrescenza  si chiama maso e serve a convogliare i fumi verso le parti successive; è una questione di carattere fluidodinamico

Le pareti dell'impianto sono costituite dai tubi in cui passa l'acqua. La tenuta dei fumi è data dalle pareti metalliche e dall'isolante messo dietro le pareti (i tubi sono molto vicini tra loro)

Alla fine della zona 2 la combustione è finita, si può allora appendere delle cose sul passaggio dei gas perché la combustione non può essere più danneggiata.

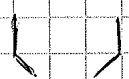
Nelle zone 3 e 4, oltre alle pareti formate da tubi, ci sono tubi appesi che aumentano lo scambio termico.

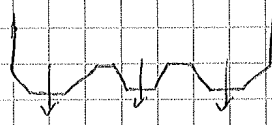
I fumi sono spinti in ingresso dai ventilatori che spingono l'aria di combustione e in uscita sono aspirati da un ventilatore di estrazione.

La camera di combustione è sempre lievemente depressa, la pressione è minore rispetto a $p_{atmosferica}$: la differenza è minima $p_{ov} = 10000 \text{ Pa}$ e $p_{edica} = 10000 - 20 \text{ Pa}$.

Perché? Perché se in qualche punto la tenuta della camera di combustione non è perfetta, è l'aria che entra nei fumi e non il fumo che esce nell'aria.

Solo gli impianti che hanno la tenuta garantita da lamiera non sono in depressione.

Fondo  → fondo usato per impianti che usano metano o olio combustibile (maglia)

 → fondo di un impianto a carbone: le parti solide (scorie) possono scivolare lungo le pareti e cadere sotto. Nel carbone c'è una quantità non trascurabile di materiale non combustibile: una parte è formata da ceneri volanti che galleggiano nei fumi, un'altra parte da scorie (parti solide o

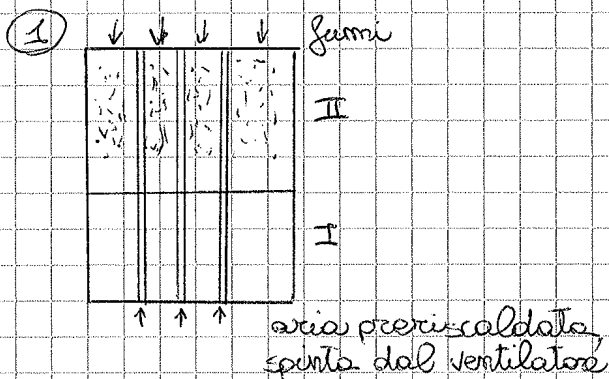
PRERISCALDATORE D'ARIA. Non scambia con l'acqua. I fumi escono a 350°C e bisogna raffreddarli in modo utile.

PRINCIPIO GENERALE. Non sappiamo immagazzinare en. elettrica come en. elettrica; non sappiamo immagazzinare en. termica come en. termica, se non in piccole quantità.

Ci deve essere un'utenza termica contemporaneamente al momento del recupero dell'en. termica.

L'energia che viene tolta ai fumi può essere usata per preriscaldare l'aria di combustione \rightarrow il sistema di recupero dell'energia.

• I recuperatori sono di 2 tipi:



È il sistema più semplice. C'è un involucro per fare la tenuta con all'interno tanti tubi: all'interno dei tubi passa l'aria, all'esterno dei tubi in controcorrente passano i fumi.

In questo modo l'aria si scalda e i fumi si raffreddano. Si tratta di impianti a flusso continuo, non si immagazzinano mai niente.

Problema: i fumi entrano a 100° e l'acqua a 20° , in alcuni fumi c'è la condensa acida e i tubi si bucano \rightarrow la parte I è la più fredda e va cambiata ogni 2-3 anni.

② È un sistema più complicato. Si tratta di un grosso cilindro con diametro 2-3 metri e altezza 15-2 metri che ruota molto lentamente attorno al suo asse.

Il cilindro è a contatto con due condotti sopra e due sotto: a dx passa l'aria e a sx passano i fumi.

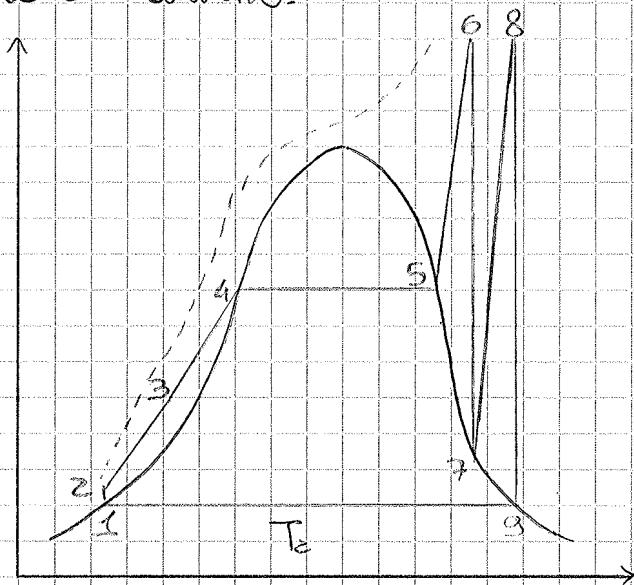
ENERGETICA

2.0

16.4.2014

CIRCUITO SCALDATO

Per capire il circuito scaldato bisogna rifarsi al diagramma del ciclo termodinamico per cui gli impianti sono fatti, ovvero per un ciclo di Rankine.



Questi impianti sono con un ciclo di Rankine a doppio riscaldamento, si chiamano allora anche CICLI DI HIRN.

Negli impianti più moderni si mettono insieme un ciclo Sole e un ciclo Rankine: si usano generatori di vapore che non hanno camera di combustione, allora il ciclo Rankine avrà un solo riscaldamento.

1-2 Un sistema di pompaggio aumenta la pressione (in realtà il tratto è disegnato sproporzionato, perché 1 e 2 sono molto vicini dato che il fluido è incompressibile)

2-3 Riscaldamento del liquido grazie alla rigenerazione termica (separato cioè dal generatore di vapore)
L'acqua entra nel generatore di vapore in condizioni 3, $T \approx 250^\circ\text{C}$

3-4 Riscaldamento dell'acqua liquida, all'interno del generatore di vapore

In questi impianti si usa come liquido di raffreddamento o l'aria del mondo o l'acqua di un fiume, del mare. T di condensazione va da 25 a 40-45°C. La transizione di fase dell'acqua, di condensazione, a 25°C corrisponde a una pressione precisa molto più bassa di quella ambiente, $p = 0,04 \text{ bar}$: ci deve allora essere un sistema chiuso in cui l'aria a $p_{\text{ambiente}} = 1 \text{ bar}$ non può entrare.

- p_1 serve per passare da $p = 0,04 \text{ bar}$ a $p_{\text{amb}} = 1 \text{ bar}$. Non è una pompa tradizionale, è un sistema di tipo fluidodinamico chiamato **ELETTORE** che ha la caratteristica di agire alterando la p di un fluido, è un sistema statico.

- p_2 è una pompa tradizionale che porta il liquido da $p = 1 \text{ bar}$ a $p = 5-6 \text{ bar}$

- p_3 è il sistema principale, prende l'acqua a $p = 1-2 \text{ bar}$ e la porta a p_{max} , che dipende dall'impianto: $p_{\text{max}} = 50 \div 250 \text{ bar}$.

L'acqua ha inizialmente $p = 1-2 \text{ bar}$ perché perde un po' di pressione dopo che esce da p_2 .

Le pompe sono un accessorio, non un pezzo del generatore di vapore

- Nel rigeneratore si passa da 2 a 3: l'acqua liquida viene scaldata all'intorno di R prelevando vapore dalle turbine.

Questo serve per aumentare η .

- Nel punto 3 si entra nel generatore di vapore.

3-4 L'acqua si scalda rimanendo liquida \rightarrow economizzatore

Dopo l'evaporatore, in genere in corrispondenza alla camera di combustione, si arriva al punto 5.

- Passando dal primo surriscaldatore si arriva nella turbina ad alta pressione T_1 .

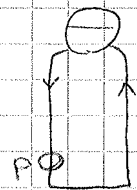
I primi cicli si fermavano nel punto 7, ma si è visto che risurriscaldando il vapore aumenta T_1^* e, quindi, η .

Il liquido scende nella tubazione a sx fino in fondo all'impianto; riceve poi en. termico ed evapora, ma al massimo 10-20%. Quello che arriva in alto sarà una miscela con 10-20% di vapore e la parte restante liquida.

In A non siamo in condizioni S, in cui tutto è vapore, ma solo una piccola parte di liquido è evaporata.

Se le pressioni sono sufficientemente basse, il peso della colonna di sx in cui tutto è liquido sarà maggiore del peso della colonna di dx, che è miscela liquido + vapore: il ciclo gira grazie al cosiddetto 'effetto termosifone' → la colonna che pesa di più va verso il basso e spinge in alto la colonna più leggera. Questo sistema si chiama CIRCOLAZIONE NATURALE e va bene fino a 130-140 atm.

Oltre 140 atm la differenza di peso non è più sufficiente per far circolare il sistema: si inserisce allora una pompa di circolazione. Questo sistema si chiama CIRCOLAZIONE ASSISTITA.



Quando la miscela entra nel corpo cilindrico, il liquido si meschia a quello già presente, mentre il vapore va verso l'alto uscendo in condizioni S. Il liquido restante continua a girare. La % massima evaporata è 10% nella circolazione naturale e 20-25% nella circolazione assistita.

Tutto questo meccanismo è fattibile se si lavora con un ciclo all'interno delle curve limite.

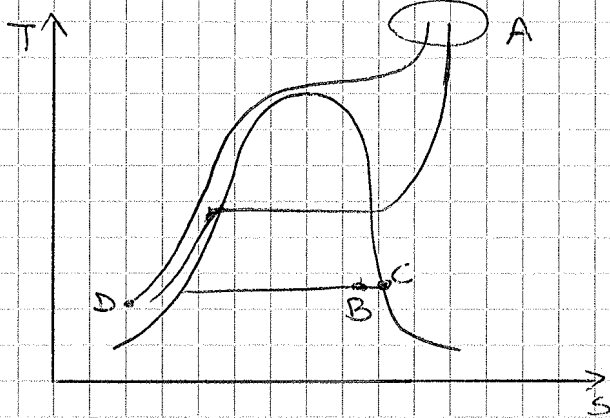
In un ciclo ipercritico non si usa questo sistema ma uno scambiatore semplice -mmv-, in un solo passaggio tutto il liquido diventa vapore, quindi si ha ebollizione a film. Perché ora va bene avere eb. a film? Nel ciclo ipercritico T_s^* è più alta, allora η è più alto, allora accetto eb. a film e uso acciaio

acciaio al carbonio (un po' migliore dell'acciaio normale)

- I tubi di SH e RH sono ad alta p e alta T → acciaio inossidabile
- Tutti i tubi sono spessi 0,5 cm per resistere alle alte pressioni.

28.4.2014

Generatori di vapore a vapore saturo



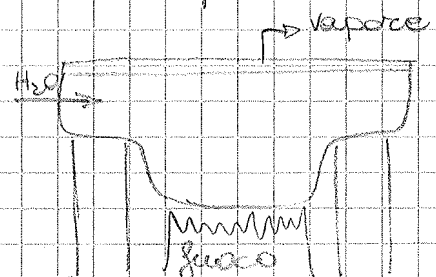
Le utenze che hanno bisogno di acqua in condizioni A sono in genere legate a impianti di produzione termoelettrica, a cicli Rankine.

Frequentemente, però, le utenze hanno bisogno di acqua sottoforma di vapore non in condizioni di T e p troppo elevate: di solito si ha acqua in condizioni B, in cui è quasi tutto vapore ma con ancora residui di liquido.

L'ideale sarebbe essere nel punto C, cioè con 100% vapore, ma negli impianti non si riesce a raggiungere, arrivando al 38-39% di vapore. Le utenze sono o industriali o, in alcuni casi, termiche.

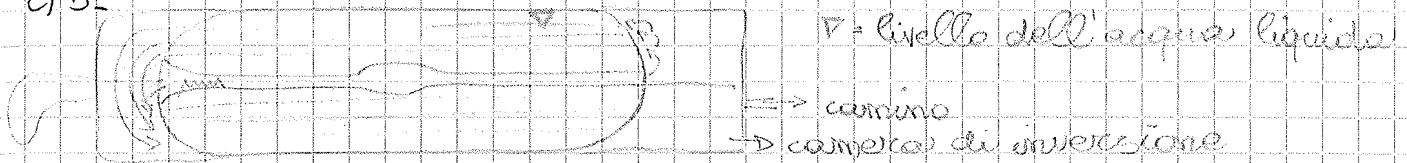
Quando sono nati questi impianti, si produceva vapore solo in condizioni B, perché era più facile.

C'era una struttura in muratura in cui si faceva entrare l'acqua: sotto c'era il fuoco e ne usciva vapore.



Questo sistema è stato poi implementato mettendo all'interno del grosso cilindro dei tubi.

2/b.



I fumi girano nei tubi e tornano indietro; al fondo è presente una camera di inversione che costringe i fumi a ri-imboccare i tubi.

Il vantaggio di questo sistema è l'aumento del rendimento, ma oggi non viene usato.

I fumi attraversano l'impianto due volte rimanendo sotto il livello dell'acqua liquida e poi escono dal camino.

Questi impianti vanno bene per combustibile solido e gassoso.

- Il tubo centrale è chiamato TUBO FORNO, è il tubo all'interno del quale avviene la combustione.

La sua forma particolare serve per evitare la rottura a causa della dilatazione all'accensione dell'impianto (quindi quando parte da freddo): le ondulazioni sono allora più marcate se l'acciaio è caldo e più piatte se l'acciaio è freddo.

L'involucro esterno ha diametro $\approx 1 - 1,5$ m.

Il tubo forno ha diametro $\approx 0,8 - 1,2$ m.

I tubi di fumo hanno diametro $\approx 7 - 8$ cm.

- Noi vogliamo avere acqua in condizioni B, con quasi tutto vapore.

La massa specifica del vapore, però, è molto più bassa della massa specifica dell'acqua, nel rapporto 1:600.

Una piccola goccia di acqua liquida ha una massa molto alta, non si può allora mandare all'utenza acqua liquida.

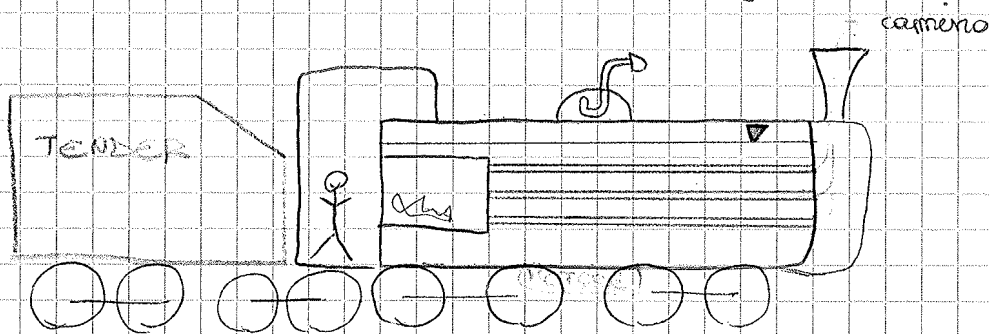
Bisogna separare il vapore dall'acqua.

La chiodatura è un processo più difficile e meno affidabile della saldatura.

Dopo la saldatura si fanno due procedimenti per 'aggiustare' la zona saldata, molto dura ma molto fragile: 1. trattamento termico e 2. radiografia al 100%, si controlla punto per punto tutta la zona saldata.

LOCOMOTIVA

I fumi sono fatti passare di seguito come prolungamento del tubo forno, che è molto corto, anziché fare avanti e indietro.



Dal carbone buttato dentro dall'omino veniva prodotto vapore che andava al MOTORE A VAPORE che, a sua volta, comandava le ruote.

Dietro alla locomotiva, che era un vero e proprio generatore di vapore, c'era un primo vagone chiamato tender: questo conteneva o legno o carbone. Il tender non era fatto con una lamiera unica, ma doppia; in mezzo a queste due pareti c'era acqua, era una cassa piena di acqua. Perché? Nel treno il vapore prodotto andava a finire fuori: si doveva continuare a far bollire acqua e buttarla via, si aveva bisogno di aggiungere acqua in continuazione e dentro il tender c'era un serbatoio di scorta.

La locomotiva a vapore è stata sostituita da quella elettrica, che è sempre accompagnata dalla trazione diesel.

La TRAZIONE DIESEL è la trazione di riserva per uso militare.

Un tubo con svasso conico permette all'aria di uscire: di solito questo è tenuto chiuso da un otturatore. L'otturatore ha un contrappeso che lo tiene chiuso; ci sarà una forza F che tende ad aprire il tappo, data da pressione interna per area otturatore

$$F = p \cdot A$$

$M_{aprente} = p \cdot A \cdot L_1$ momento legato alla forza F che tende a far aprire il tappo

$M_{chiusante} = P \cdot (L_1 + L_2)$ momento di chiusura: peso per tutta la lunghezza

Il momento in cui $M_a = M_c$ corrisponderà a una certa pressione limite

$$M_a = M_c = p_c \cdot A \cdot L_1 = P \cdot (L_1 + L_2)$$

Se si supera la pressione limite p_c la valvola si apre, se si è al di sotto di p_c la valvola rimane chiusa.

p_c è la pressione di condensazione.

La legge prevede che le valvole di sicurezza siano sempre due.

Esistono sistemi alternativi a quello appena visto in cui il tappo è tenuto fermo non da un contrappeso o una leva ma da una molla tarata.

Più il peso si sposta verso destra più la p_c sarà superiore: si spostano gli equilibri e potrebbero non essere compatibili con l'impianto.

Un'esplosione sulla fiamma non è mai molto grave dentro l'impianto, ma l'esplosione lato fiamma può danneggiare la struttura dell'impianto che cede perché sottoposto alla pressione del vapore.

Se l'esplosione avviene dentro tubi di diametro inferiore a 10 cm questa non ha conseguenze disastrose (secondo la legge italiana, però anche, ad es., a 15 cm non succede niente).

Le valvole di sicurezza, allora, sono messe sull'unico pezzo dell'impianto con diametro > 10 cm, ovvero sul corpo cilindrico superiore.

quindi non vanno in pressione. L'unica pressione ammessa è quella idraulica, per colonna d'acqua (es. al 4° piano la pressione è diversa rispetto al 1° piano), ma mai in pressione termodinamica.

Bisogna inoltre sempre evitare che l'acqua superi i 100°C e vada in pressione.

2.5.2016

Le caldaie sono il tipo di impianto più diffuso, principalmente per uso civile e raramente per alcune applicazioni industriali.

In genere sono tarate per mandare al massimo a $T = 90-95^{\circ}\text{C}$

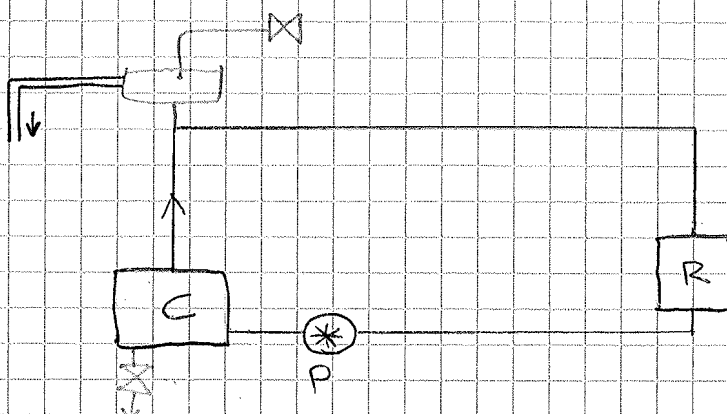
C'è un problema in più rispetto ai generatori di vapore.

Qualsiasi corpo, quindi anche l'acqua, all'aumentare della temperatura aumenta anche di volume.

Nei generatori di vapore questo principio non è rilevante: si è sempre in presenza di liquido da una parte e vapore da un'altra parte. Se il liquido si espande un po', la sua espansione è influente rispetto al vapore perché la maggior parte del volume è occupato dal vapore, che al massimo aumenta di pressione ma è quello che vogliamo aumentando T . Non si ha un liquido chiuso da un sistema rigido che cerca di espandersi e non ci riesce: il liquido si espande e il vapore aumenta la sua pressione, ma l'espansione risulta irrilevante.

Nella caldaia, al contrario, la situazione è molto diversa.

Impianto di riscaldamento.



C = caldaia

R = Radiatore = scambiatore di calore

P = pompa di circolazione

↕ vaso di espansione

⌵ tubo che scarica in fogna

⊗ valvola di scarico termico