



centroappunti.it

CORSO LUIGI EINAUDI, 55/B - TORINO

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 2470A

ANNO: 2020

A P P U N T I

STUDENTE: Miniotti Isabella

**MATERIA: Multiphase Equipment Design (Italiano) - Prof.
Specchia**

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.**

MED ITALIANO

MULTIPHASE EQUIPMENT DESIGN

LEZIONE 1 - CAP 1

IMPIANTO INDUSTRIALE E REMUNERATIVITA' DEL PROCESSO INDUSTRIALE

Si vedranno molti schemi, l'importante è capire, quindi non tanto fare lo schema ma aver capito perché certe apparecchiature sono posizionate lì, quali sono le motivazioni e perché, ed il significato dello schema.

2 domande a caso

Correlazione con i grafici, perry, ecc;

Che cos'è un ing chimico? È una figura eclettica, sa molte informazioni e sa fare tante cose: basi chimiche, ing, elettrica, meccanica, per poter gestire e progettare un impianto chimico.

Iniziamo con una parte generale: UNO STABILIMENTO INDUSTRIALE

Uno stabilimento industriale è un insieme di edifici, dove avviene un processo produttivo: le materie prime entrano in azienda, subiscono una serie di lavorazioni in sequenza e dopo di che si avrà il prodotto finito da poter vendere. Questa catena di lavorazione è formata da due tipologie di servizi: servizi generali e servizi ausiliari, i primi sono i servizi principali che servono per lo svolgimento dell'attività lavorativa (lavorazioni unitarie) come l'energia che serve per muovere tutto il processo (pompe, valvole, ecc), l'acqua per raffreddare o riscaldare se la trasformo in vapore oppure può essere un reagente lei stesso, una delle materie prime, quindi i servizi generali sono tutto ciò che serve per far muovere/funzionare il processo; i servizi ausiliari, ovvero tutto ciò che non entra nella lavorazione effettiva ma è di contorno e serve ad esempio per ospitare le materie prime che entrano nello stabilimento o per ospitare elementi intermedi del processo magari fra una parte di lavorazione e quella successiva, oppure per stoccare il prodotto finito prima della distribuzione (stoccaggio solidi, liquidi, gas → scorte prima, durante e dopo le lavorazioni). Queste sono collegate al trasporto interno (dal serbatoio al reattore con pompe, nastri trasportatori, ecc).

Il processo produzione produce anche delle emissioni come gas, fanghi, ecc, quindi i servizi ausiliari comprendono anche queste raccolte degli scarichi e conseguente trattamento prima della loro evacuazione finale nell'ambiente e per rispettare tutti i parametri di legge. Bisogna anche considerare le eventuali emergenze: rete emergenza → bisogna considerare la frequenza di accadimento e della magnitudo dei rischi e avere un sistema di emergenza in grado di gestire gli eventuali rischi (avendo quindi una visione globale dei possibili rischi) ed evitare catastrofi. La storia ci insegna che anche se si prendono tutte le precauzioni, può comunque succedere l'imprevisto, ma da quelle catastrofi possono crearsi ed uscire nuove direttive (come dalle tossine di Seveso sono uscite due direttive sulle emissioni aziendali).

Inoltre ci sono i servizi di sorveglianza, di mensa per gli operai, servizi pubblici, ecc.

Quindi l'insieme dei due servizi vanno a coprire tutte le apparecchiature dell'impianto, non solo per la produzione ma anche tutto ciò che circonda la produzione.

Quando si parte dal progettare da zero uno stabilimento si parla di impianto GREENFIELD, la progettazione richiede tempi lunghi (ma non troppo) per coprire tutti i servizi dell'impianto. Il REVAMPING invece quando c'è già uno stabilimento produttivo attivo ma che per problemi di qualsiasi genere (emissioni, sicurezza, bassa qualità) si decide di procedere con un restiling o ristrutturazione per renderlo più amico dell'ambiente o più remunerativo (migliorare l'impianto, oppure per aumentare l'efficienza dell'impianto, riciclo delle materie).

Qua si può vedere la differenza fra l'ottica produttiva dell'epoca e quella moderna, ad esempio l'utilizzo di batch grandi invece che piccoli per minimizzare il trasporto delle materie prime, stoccaggio, adesso si fa attenzione al riciclo e al recupero delle materie prime o dei sottoprodotti, tenendo conto della sostenibilità ambientale (rispetto ambientale, miglior efficienza energetica e dell'acqua, e tenendo conto di tutti i vincoli socio-economici-ambientali).

Nell'ottica di creare un nuovo stabilimento, il processo è molto lungo, perché per prima cosa bisogna capire qual è la posizione perfetta, il luogo: bisogna tenere conto della possibile ricaduta in termini economici, occupazione della

quindi investimenti (conoscere quali acque saranno utilizzate permette di capire quali impianti servono per questi trattamenti).

Spesso l'acqua di mare viene utilizzata senza abbattere la salinità solo per raffreddare, senza recuperarla. Questo però implica che le pompe e i tubi devono resistere alla corrosione (e spendere un po' di più).

Un altro aspetto tecnico è la gestione dei rifiuti e delle emissioni; questi devono essere trattati: le emissioni ridotte sotto i limiti di legge, i rifiuti solidi devono essere inertizzati prima della scarica, i fanghi devono essere trattati; sapere che nei dintorni c'è la presenza di punti di raccolta, ha un'incidenza sulla parte tecnica e sull'economia del processo.

Un altro aspetto sono le vie delle telecomunicazioni: i trasporti esterni giocano un ruolo importante → vie di accesso già presenti o da creare (strade, allacciamenti, ecc);

Vedi immagine: un sito ideale presenta 3 vie di comunicazione → stradale, ferroviaria (anche e addirittura dentro lo stabilimento) e navale (fiumi o mari); se pensiamo alle raffinerie, queste sorgono in riva al mare perché spesso i greggi sono trasportati via mare, ma sono presenti anche le altre due vie di comunicazione; anche perché se una delle tre non fosse agibile, ci sarebbero le altre due.

Però avere tutte e 3 le vie, è molto difficile, soprattutto quella navale.

Altri aspetti sono quelli ambientali: clima e ambiente

Il clima temperato è quello ideale per gli impianti produttivi, senza troppa escursione fra giorno e notte (caldo: scalda e modifica la geometria degli impianti → dilatazione termica) e senza eccessiva umidità che potrebbe dare fenomeni di corrosione; dal punto di vista climatico anche il mare non è favorevole causa corrosione dalla salinità, sabbia e vento. L'impianto dovrà avere una strutturazione e dei materiali particolare e più costosi. Le dilatazioni termiche causate dal sole sulle tubazioni molto lunghe ed esposte all'aria, possono essere elevate e la variazione di temperatura può raggiungere anche i 70 gradi.

L'impianto dunque è frutto di scelte e compromessi.

Zone con parchi e riserve naturali sono da evitare a priori per preservare l'ambiente.

Un altro punto è l'orografia del terreno: ideale è il terreno pianeggiante, ma se non lo fosse richiede dei trattamenti aggiuntivi e preventivi per renderlo stabile e sicuro; la stessa falda da cui prelevo l'acqua potrebbe costituire un problema perché più la falda è profonda e più il pozzo dev'essere profondo con un investimento non indifferente, al contrario se è poco profonda ovvero superficiale potrebbe essere un problema perché in caso di forti ed abbondanti piogge potrebbe causare delle esondazioni. È importante dunque conoscere la storia geografica del posto, alluvioni, affioramenti della falda, ecc. L'orografia implica anche la tipologia del terreno, roccioso (massi molto grandi possono dare fastidio se devo gettare cemento armato), sabbioso (potrebbe non reggere il peso degli impianti), silicio (difficoltà nell'impianto dei pali, terreno duro).

Aspetti legati alla sicurezza dell'impianto: sempre legato alla storia del luogo → rischio sismico o no (costi aggiuntivi per realizzare l'impianto secondo le normative antisismiche), questione incendi → vicinanza dell'acqua è positivo anche per spegnere gli incendi, vicinanza dalla caserma dei vigili del fuoco. L'impianto con rischio incendi elevato ha l'obbligo di avere al suo interno del personale tecnico specializzato, addestrato e esercitazioni per rispondere adeguatamente alle emergenze, in attesa dell'intervento dei vigili del fuoco esterni.

Aspetto secondario: effetti sociali → con stabilimenti molto grandi con produzione 24h è importante avere disponibilità di manodopera ma anche centri di svago per le persone. Ad esempio la piattaforma petrolifera, ci devono essere zone di svago, di alloggio e servizi ricreativi (costi aggiuntivi).

L'orografia è anche importante per le vie di accesso esterne o interne, trincee, piste di atterraggio, alta media e bassa tensione della parte elettrica (interrata o aerea), servizi ausiliari → centralina del freddo, centrale termica con le sue distribuzioni di andata e ritorno, aria compressa come aria di processo o come aria tecnologia (valvole di regolazione pneumatica), centralina dell'aria compressa con tutta la sua rete di distribuzione, centrale/centralina di refrigerazione. La sistemazione di queste $\frac{3}{4}$ centrali prevede una distribuzione mirata e pensata in modo di ottimizzare ciascuna

alle spalle e una certa conoscenza, a questo punto la fase di progettazione è leggermente facilitata. Se invece ho un Revamping e voglio ridurre gli scarichi o migliorare il riciclo, la cosa è un po' più semplice.

- Green field con prodotto nuovo

Prima c'è tutta una fase preventiva di screening e di scelta che mi fa ad arrivare a dire "ok facciamolo" oppure "no, lasciamo stare", possiamo vederla nelle slide. L'idea nasce sempre da un'indagine del mercato ed è il mercato che richiede questo prodotto, ma in parallelo c'è l'unità di ricerca e sviluppo che deve pensare come realizzare il prodotto e quali sono i processi per realizzarlo e con determinate caratteristiche: piccola produzione di laboratorio ed eventuale prova ai clienti; poi parte tutto lo studio per la progettazione dell'impianto per individuare il cosiddetto QUADRO DI REMUNERATIVITA' dell'impianto: processo per capire se l'eventuale realizzazione dell'impianto nuovo è effettivamente economica e in quanto tempo gli investitori possono rientrare delle spese ed il denaro investito → più il tempo è corto e meglio sarà e da quel punto in poi l'investitore inizia il suo vero guadagno. Questo quadro è molto importante perché fa capire se l'impianto è economicamente conveniente oppure no. Viene fatto secondo una serie di step: 1. Esame di fattibilità (quick extimative exam): valutazione rapida e grossolana per capire se il progetto può essere realizzato → se sì, vado avanti alla fase 2. Progetto dettagliato (detailed extimative design) c'è un punto chiave chiamato **punto di non ritorno**, da lì parte la decisione di stoppare il progetto o di proseguire e quindi entrare nel 3. progetto definitivo con un esborso economico notevole (costi d'investimento sono più elevati per cui non posso tornare indietro), entro nelle caratteristiche dettagliate dell'impianto → con servizi generali e ausiliari; questo progetto definitivo è quello che verrà consegnato poi ai costruttori dell'impianto. Prima della produzione però c'è la fase "commissioning" che è un'operazione delicata, in cui l'impianto è pronto "chiavi in mano" ma viene assegnato a qualcuno di esterno (che non è il progettista o il costruttore) che presi i disegni realizzativi, va a verificare che l'impianto costruito sia in grado di funzionare; si fanno le prove di tenuta idraulica, pompe, compressori, ecc, si prova tutto, ogni parte impiantistica. Si chiama commissioning proprio perché si commissiona a qualcuno di esterno per la verifica dell'impianto; dopo l'impianto torna in mano al proprietario e si ha lo START UP, ovvero la messa in marcia dell'impianto ed esso inizia ad essere produttivo, si entra nella fase produttiva.

Fino al punto 6 gli investitori hanno speso denaro, dalla fase 6 entro nella fase produttiva e l'investitore vede entrare i primi soldi dall'impianto; dovrà esserci un bilanciamento fra l'investimento fatto ed il fatturato in ingresso → quando l'investimento viene ripagato si entra nella fase di floridezza (i soldi incassati al netto delle spese rappresentano il capitale guadagnato dall'investitore). Il quadro di remuneratività permette di capire dopo quanto tempo l'investitore entra nella fase di floridezza: se è estremamente lungo, l'investimento non è conveniente.

Dettagli delle singole voci:

a. quick extimate: molto veloce (dev'essere condotto in breve tempo) → quali sono le materie prime che occorrono, quali sono le condizioni chimico-fisiche per ottenere il prodotto finito (reazioni, condizioni ambientali, ecc), oppure ricerca di laboratorio, reazioni coinvolte, vapore, salto di temperatura, centrifugazione, quali macchinari occorrono, quali utilities sono necessarie, acqua di raffreddamento, energia, attrezzature e sistemi di sicurezza, ambientali, scarichi da trattare, rifiuti, emissioni → prima stima grossolana (20-30% di errore) ma ho un'idea di quanto potrei spendere per la realizzazione dell'impianto, fissata una certa capacità produttiva: quante unità, kg/h posso produrre all'anno e dipende dalla richiesta del mercato e va a determinare la taglia dell'impianto.

Poi con un esame di fattibilità viene prodotto un primo design, un primo schema di flusso (come il processo industriale debba essere) semplificato, con una serie di tabelle con le condizioni operative, temperature, pressioni, ecc e con questo in mano riesco a fare questa prima stima grossolana e con questa stima posso abbozzare un primo quadro di remuneratività: spendo un tot per i primi 3 anni e mi aspetto di iniziare la produzione e quindi la vendita dopo 3 anni, da questa inizierò a recuperare da qui e arrivo alla fase di floridezza dopo 2 anni → l'impianto è remunerativo al netto dei costi e sono rientrata di tutte le spese dopo 5 anni. In più da questa prima analisi devo mettere in evidenza, in carenza di informazioni in letteratura, tutte le informazioni mancanti (analisi termodinamica non completa ad esempio); per passare al detailed extimate ho bisogno di tutte le informazioni mancanti, dunque sarà necessaria una sperimentazione (in laboratorio ad esempio).

fornire meno fluidi riscaldanti (non devo fornire calore intermedio o freddo intermedio), però spessori alta = costi dei materiali maggiori (gestione vs materiali).

Stesso discorso sugli evaporatori multipli: vado a sfruttare il salto di vapore che già ho. Più aumenta il numero di unità e più l'effetto di evaporazione del flash è favorito (il costo di gestione si abbassa), ma più unità evaporative vuol dire più costi di fabbricazione e installazione.

Nel discorso dei quick e detailed, nella questione della remuneratività dell'impianto, cerco sempre di andare ad applicare quello che, quando è possibile, è il concetto di progettazione ideale (o ottimale) e quindi valutare contemporaneamente e trovare un punto ottimale fra i costi di progettazione e di gestione.

Questo lo faccio a seconda degli step in cui sono.

Poi devo valutare la manutenzione dell'impianto: pompe, lavaggi, valvole, batch, per l'alimentare i reattori devono essere mantenuti puliti per avere alti standard produttivi, quindi bisogna tenere conto nel posizionamento nella planimetria (nel layout), della caratteristica di smontabilità degli impianti, servono gli spazi per smontarli. Tutte le valvole di controllo devono essere accessibili, come per la sicurezza, per gli scambiatori a fascio tubiero deve esserci a fianco lo spazio in lunghezza per posare il fascio. Devo tener conto dei criteri di affidabilità, cioè la colonna di distillazione ha sempre il bocchello dell'alimentazione posizionato a metà, ma se in futuro cambiano le esigenze produttive ad esempio le caratteristiche della portata in ingresso (invece di 100% liquido, diventa una mix liquido-vapore), potremmo avere la necessità di alimentare più in alto o in basso, quindi dobbiamo prevedere l'inserimento di bocchelli extra su diversi piani e spostare l'ingresso con facilità e poca manutenzione.

Anche sulla scelta sui volumi di reazione, dello stoccaggio, vengono sempre applicati dei coefficienti maggiorativi (o di ignoranza), per cui se ci sono delle variazioni nella produttività derivanti dall'ufficio marketing, la progettazione e realizzazione fatta su una voce più grande grazie a questo coefficiente, quindi riesco a incrementare portate, volumi, e prodotti finiti senza modificare nulla a livello impiantistico (flessività). Non si deve progettare e costruire un impianto già valutato al massimo della sua capacità produttiva, ovvio che però i costi di realizzazione sono aumentati, però saranno compensati dalla richiesta maggiore sul mercato del prodotto finito.

Quadro di remunerabilità

Si vedono diverse voci di costo, ma a partire dal fatturato che ci si aspetta, avrò una serie di spese annue che sono legate alla gestione di impianto "totally expensive", suddivise in spese variabili e spese fisse. Le spese fisse sono le spese di manodopera, la manutenzione, royer su brevetti, impianti di illuminazione, di sorveglianza, servizio medico, che non cambiano nell'anno; sempre all'interno dei costi fissi troviamo i costi generali "overez" che riguardano tutti i costi amministrativi, il salario del personale che non sia quello operativo, l'ufficio progettazione, ufficio di ricerca-sviluppo, marketing, pubblicità; le spese variabili invece sono legate alla quantità di bene prodotto, materie prime, produzione di vapore ed energia elettrica. La somma di queste due mi rappresentano le spese totali annue dell'azienda. La differenza delle entrate e di questi costi mi rappresenta il guadagno vero e proprio, cioè cosa entra in tasca. Alle entrate lorde (cashing) dobbiamo togliere la tassazione che tiene conto anche della quota di deprezzamento degli impianti dall'investimento iniziale, perchè siccome viene usato, l'impianto perde di valore; da questo discorso ottengo il **cash flow o flusso netto di cassa**, che tiene conto delle entrate lorde – le tasse – il deprezzamento del capitale totale investito all'inizio e lo si valuta dall'anno di costruzione fino all'anno attuale, tenendo conto del fattore di tassazione. Da questo cash flow posso calcolare il discounted cash flow, è un flusso di cassa scontato che tiene conto del fattore F (sempre <1) che tiene conto del tasso reale di interesse che dev'essere valutato dall'azienda tenuto conto dall'anno J che stiamo considerando e quindi se andiamo a sommare più anni, il valore J varia e noi possiamo andare ad equiparare il valore dei soldi di ciascun anno (diviso da anno in anno) e li equipariamo tutti allo stesso valore e quindi fare la somma totale su tutti gli anni di uso impianto. → Tutte queste voci permettono di valutare tutte le spese e gli ingressi su N anni di vita dell'impianto e dunque possiamo costruire un profilo di remunerabilità nel tempo. Questo ci permette di stimare delle voci primarie del quadro di rem. dell'impianto.

l'area sottesa all'asse x, ovvero quella tratteggiata rossa (pseudo triangolo), dev'essere equivalente al rettangolo che ha come altezza il massimo capitale esposto e come lunghezza (e quindi come valore di EMIP che devo determinare) devo calcolarla in modo che le due aree (questa del rettangolo e l'area tratteggiata rossa) coincidano → quindi mi rappresenta il massimo capitale investito equivalente (ecco il nome EMIP) ovvero il massimo periodo di investimento, ecco perché dev'essere il più piccolo possibile.

Diverse curve con andamenti diversi con i diversi EMIP e BEP sono più lunghi e più corti, curva verde è la base (esposizione di capitale massimo limitato e EMIP maggiore rispetto l'azzurro), quella rossa è peggiorativa perché peggioro entrambi questi parametri (ci mettono più tempo a ritornare del denaro), quella azzurra ha un valore di max cap esposto equivalente alla rossa ma quando inizia la produzione ha una crescita molto favorevole (vendita facilitata ecc) quindi ho BEP o EMIP minori (più capitale esposto, ma rientro in meno tempo).

- Secondo parametro di Allen: IRP (investment recovery period, periodo di recupero dell'interesse) che riguarda la curva di floridezza, mi sposto a lavorare sulla parte a destra del BEP. Facendo riferimento alla curva di base marrone vista all'inizio dove avevo già utilizzato l'area dello pseudo triangolo rosso per EMIP, quella stessa area equivalente la traspongo nella parte positiva e diventa l'area del triangolo tratteggiato verde e vado a calcolare l'area sottesa la curva positiva e che avrà come base l'IRP (valutato da 0 al valore IRP), ma di fatto a partire dal BEP vado a fermare questo valore di IRP ad un valore tale per cui ho le aree equivalenti (questa del triangolo verde e l'area tratteggiata rossa). Quindi cosa mi rappresenta quest'area? L'area verde mi dice che io ho guadagnato l'equivalente dell'investimento per la realizzazione dell'impianto.

Attenzione: fino al BEP io ho investito 1000 e al BEP sono rientrata di 1000, quindi non ho né perso né guadagnato nulla. Dal BEP invece sto guadagnando al netto di spese e IRP mi dice che se io avevo investito 1000, mi sono già rientrati 1000 e al tempo tot (questo è IRP) ho guadagnato esattamente 1000 (gli investimenti totali sono 1000, ma le entrate sono 2000).

Quindi IRP serve per capire in quanto tempo ho guadagnato l'equivalente di quanto ho investito.

Fra i parametri di remuneratività c'è anche la velocità di rientro del capitale (rapporto della sommatoria dei costi rispetto la sommatoria dei cash flow); ritorno dell'investimento (rapporto tra sommatoria cash flow e il valore netto e i costi totali); il ritorno sull'EQUIT (siccome c'è investimento che prevede un apporto dalle banche, quindi l'investimento è la somma di una % data dalle banche e %EQUIT quella data privatamente dagli investitori); Discounted cash flow rate or return che di nuovo rappresenta la velocità di rientro del flusso di cassa scontato e di fatto rappresenta il valore del tasso d'interesse che rende nullo il NPV (più questo valore è elevato, e più il progetto è interessante perché il denaro rientra velocemente nelle casse), a volte è utilizzato come parametro decisionale o di taglio (affinchè un processo è interessante, questo DCFRR deve essere almeno pari al 17% annuo per chimica di base (prodotto finale con basso valore aggiunto), 70% chimica fine (prodotto con alto valore aggiunto)); poi abbiamo ancora il prezzo d'indifferenza legato al valore del BEP, mi rappresenta quel prezzo che mi fa recuperare tutto il capitale investito (se vendo al prezzo d'indifferenza, recupero tutto ciò che ho investito ma non ho nessun guadagno, se il prezzo di vendita è maggiore allora ho un guadagno), è importante perché definisco il minimo prezzo di vendita al di sotto del quale non recupero e quindi non mi conviene vendere.

Tabellina che riassume tutte le voci di costo collegate al prodotto, costi generali, amministrativi, marketing, distribuzione, ecc

Esempio di produzione industriale di tensioattivi anionici, processo come avviene, schema di processo, diagramma a blocchi con indicazione delle quantità in gioco, con i valori di produttività annua, condizioni di processo, ecc per arrivare ad esporre quali sono i costi di produzione.

LEZIONE 2 -14/10/2016 PARTE 2

VALVOLE (CAP 2A)

Solitamente , non si utilizza acqua, ma si utilizza olio -> Si utilizza olio perché riesce a trasmettere una forza superiore rispetto all'acqua, quindi con relativamente poco sforzo riesco ad imprimere una grossa forza e quindi aprire e chiudere valvole relativamente grandi -> grazie a questo riesco a ridurre un po' le dimensioni rispetto all'attuatore pneumatico. Si utilizza un pistone a cilindro che mi trasmette la forza del pistone sull'oglio e quindi sulla membrana e conseguentemente sull'attuatore.

ATTUATORI ELETTRICI

E' raffigurato a destra nelle slide, possono avere motore elettrico alimentato in corrente continua a bassa tensione, e normalmente anche qui abbiamo un riduttore di velocità: la corrente elettrica entra nel motore e genera la forza temi in movimento l'apertura dello stelo. Oppure si utilizzano valvole a solenoide in corrente continua a bassa tensione: avrò dunque un Trasformatore, che mi trasformerà la corrente per regolare il solenoide e con il campo magnetico vado a regolare lo stelo.

A seconda del tipo di applicazione e quindi del tipo di fluido che transita all'interno della valvola, potremmo avere la necessità di lavorare con valvole su fluidi molto caldi o molto freddi-> le dimensioni delle valvole possono cambiare notevolmente, questo perché il fluido trasmetterà il calore o frigorie all'interno del corpo valvola e quello che si vuole evitare e il trasporto di questo calore fino all'otturatore → quindi per i fluidi caldi si utilizzano valvole che hanno una parte di stelo relativamente alta, con delle alette nella parte contenente lo stelo -> questo per favorire il disperdimento del calore lungo le alette laterali; Anche per i fluidi freddi la valvola avrà uno stelo molto alto ma con un corpo snello per favorire l'isolamento termico, perché in questo caso se io porto via il freddo dal fluido, tende a far aumentare la temperatura del fluido stesso e quindi la valvola, per evitare questa situazione, dovrà essere coibentata e dovrò evitare la formazione di ghiaccio (il ghiaccio si forma per solidificazione dell'umidità presente nell'aria e per il freddo derivante dal fluido), in quanto potrebbe proprio bloccare i movimenti di apertura e chiusura della valvola. → Quindi la superficie del corpo della valvola e dello stelo, devono essere isolati termicamente.

VALVOLE DI REGOLAZIONE → LEZIONE 4

LEZIONE 3 – MIN 56 PRIMA PARTE

VALVOLE DI SICUREZZA (CAP 2B)

Ripete cose scritte su slide

LEZIONE 4 – 11/10/2016 – MIN 36.49

VALVOLE DI REGOLAZIONE – THROTTLING VALVES

Come ci aspettiamo che avvenga la regolazione? Assumiamo che in una tubazione passi il 100% della portata, vogliamo chiudere un po' la valvola per ridurre la portata al 50% → ci serve una correlazione tra grado di chiusura della valvola e valore di portata. Mi aspetto che è chiudendo di un tot il volantino ci sia una riduzione lineare e quindi un'analogia variazione sulla portata -> questa è la condizione ideale con cui vorrei lavorare. Indipendentemente dal disegno della valvola, lo scopo è scegliere una valvola opportuna che mi dia una variazione di portata più lineare possibile, anche in funzione del tipo di valvola che ho scelto. Nel disegno vediamo una valvola con un doppio otturatore: il flusso arriva orizzontalmente e poi viene deviato in due (sopra e sotto) e poi riprende il suo percorso unito -> in questo caso è come se avessi due sedi e quindi due otturatori tronco conici -> proprio in questo caso, dato che un flusso viene deviato in parte verso l'alto e in parte verso il basso, ho l'equivalente di due forze di segno opposto che in qualche modo vanno ad alleggerire il lavoro che devo fare sul volantino che tiene chiusa la valvola -> questo mi permette di fare uno sforzo minore per poter aprire e chiudere la valvola, indipendentemente che lo faccio in manuale o in automatico -> Questa cosa è molto utile perché vado a dare una piccola forza per regolare la valvola e mi aiuta soprattutto quando ho grandi dimensioni e quindi una grande DeltaP.

Ad esempio invece in una valvola di tipo Plug, ovvero con un intaglio a triangolo, vediamo come la variazione della ΔP della valvola -> discorso analogo anche per i rubinetti. Teniamo in considerazione un'altra cosa: quando il costruttore mette a disposizione le caratteristiche intrinseche delle valvole, queste sono sempre costruite utilizzando acqua come fluido e quindi non è detto che dobbiamo regolare acqua, inoltre sono andate a temperatura ambiente e anche qui non è detto che io lavori a queste temperature → quindi il dimensionamento della valvola viene fatto in maniera opportuna tenendo conto delle condizioni operative alle quali io devo lavorare.

Arriviamo ad una serie di otturatori -> a spillo, a dischi, tronco conico, singoli oppure doppi (divisione del fluido in alto in basso bilanciate e non bilanciate), solitamente si va su quelle bilanciate quando la dimensione della valvola è molto grande, proprio perché non voglio esercitare una forza troppo grande per chiudere o aprire la valvola → vediamo come la funzione dell'otturatore mi dia una caratteristica intrinseca lineare piuttosto che equipercentuale. La Quick opening viene usata solo per le valvole on-off.

Ricapitolando, quando dimensione una valvola devo avere in mente che tipologia di valvola sto scegliendo, qual è il circuito e quali sono gli otturatori e anche le dimensioni della valvola.

Poi c'è la tabella orientativa per la scelta, una volta che abbiamo definito se ci serve una valvola con caratteristica intrinseca lineare o equipercentuale.

DIMENSIONAMENTO

Mi serve sapere qual è la quantità di flusso che mi da una valvola Q , in funzione dell'alzata della valvola → nel momento in cui la valvola e nel circuito, vado a disegnarci un grafico analogo a quello visto prima, dove è rappresentata la variazione della portata in funzione dell'alzata riferita al circuito (E quindi mi dice quanto aprire o chiudere la linea per avere quella portata desiderata) e anche la tipologia di fluido che scorre.

Quindi, vediamo l'equazione per la regolazione del flusso: la portata di flusso che passa attraverso una valvola di regolazione in funzione dell'alzata S , e pari ad un coefficiente C_v , che prende il nome di coefficiente di flusso della valvola * funzione dell'alzata $f(S)$, che può essere di tipo lineare S se ho una valvola intrinseca lineare, può essere fare alla radice di S , se una valvola ad apertura rapida, oppure se è di tipo equipercentuale sarà pari ad una funzione esponenziale → Ecco dove va ad influire la tipologia intrinseca della valvola; * La radice quadrata della caduta di pressione all'interno della valvola diviso la densità relativa del fluido (relativa perché è riferito all'acqua). S varia da 0 a 1 perché gli estremi rappresentano la valvola completamente chiusa o aperta.

Sull'asse Y ho la variazione della portata del circuito su X ho il valore dell'alzata.

C_v è un coefficiente importante dato dal fornitore della valvola: è un valore numerico espresso in galloni per minuto (quindi una portata) / valore della portata di pressione psi → mi rappresenta: a valvola completamente aperta e non messa nel circuito, mi rappresenta il valore di portata di acqua che transita nella valvola, quando fra flangia di ingresso e flangia di uscita o una perdita di pressione $\Delta P=1$ alla temperatura di 60°F (Ecco perché nella formula della portata mi riferisco alla densità dell'acqua a 60°F). Quando dobbiamo dimensionare una valvola calcolo un C_v legato al nostro fluido e andiamo poi a scegliere un C_v commerciale fra i vari fornitori che ci forniscono le valvole → e scelgo una valvola che abbia un C_v compatibile → da qui costruisco il grafico grazie alla funzione della portata $Q(S)$ e poi questo grafico lo do all'operatore per regolare la valvola. A volte possiamo trovare tabellato il C_d -> vedi slide

Solitamente, le valvole più utilizzate sono le equi percentuali, in quanto danno una caduta di pressione di valvola abbastanza grande e di solito i circuiti industriali sono complessi e quindi nel loro insieme daranno poi una variazione lineare; mentre se il circuito è piccolo possiamo scegliere una valvola di tipo lineare.

Però, la portata $Q(S)$ varia anche in funzione della tipologia di fluido che sta attraversando la valvola -> le formule sono molto simili fra di loro ma con delle piccole variazioni: per i liquidi vado a considerare la densità relativa del liquido rispetto all'acqua, per i gas considera anche la temperatura alla quale la valvola sta lavorando e la somma delle pressioni, mentre per quanto riguarda i vapori aggiungi un fattore K legato all'utilizzo di un vapore saturo o non saturo e lo trovo in letteratura ho dato dal fornitore. La funzione $f(S)$ cambia sempre in funzione del tipo di valvola lineare o equipercentuale).

inserire una valvola più grande, allora potrei alzare la P1, così il DeltaP della valvola risulta più alzato, come? In un impianto industriale il fluido in ingresso è sempre movimentato da una pompa, quindi inizio il circuito dal serbatoio, poi pompo nel reattore con una valvola di regolazione: la P1 è la pressione che ho della flangia d'ingresso della valvola, quindi per aumentare la P1 potrei spostare la valvola a Monte → la pressione P1 è data dalla pressione di mandata della pompa – tutte le perdite di carico del circuito (meno il circuito è lungo e complesso e più la P1 sarà alta) → infatti le valvole di regolazione, solitamente vengono messe subito dopo una pompa o un compressore (mantenendo sempre le distanze di sicurezza per non avere troppe vibrazioni meccaniche derivanti dalla pompa), in modo da avere la P1 più alta possibile.

Problematiche con fluidi gassosi: quando voglio aprire una valvola di sicurezza per scaricare, questa scarica in condizioni soniche, quindi la valvola scarica la massima portata possibile e in condizioni soniche non regolabili → quando la valvola di regolazione scarica a valori troppo elevati, raggiunge le condizioni soniche -> questo accade quando la DeltaP della valvola $\geq \text{coeff flusso valvola}^2 * \Delta P_{\text{critico}}$ -> posso considerare questa DeltaP di valvola che mi dà condizioni soniche = 0.5... ecc -> dunque non volendo raggiungere le condizioni soniche, il valore P1 dev'essere sufficientemente elevato e anche nel caso dei gas, posiziono la valvola molto vicino alla pompa. Un'ulteriore problema della valvola che lavora in condizioni soniche è l'elevato rumore uditivo.

Regolazione dei liquidi viscosi: il Cv e la densità sono riferiti all'acqua, ma se ho un fluido molto viscoso (>20centiStokes), il Cv effettivo della valvola viene modificato nell'espressione scritta, inserendo un valore K -> K è un coefficiente viscoso in funzione del Reynolds, si può determinarlo graficamente ed quindi in base a quale fluido viscoso viene utilizzato, K varierà. → questo comporta delle piccole variazioni numeriche sui valori delle portate.

ACCORGIMENTI SULL'INSTALLAZIONE

Preso una valvola di controllo, solitamente, è sempre circondata da 1 o 2 valvole di Bypass (tipo quelle a saracinesca), che mettiamo una a monte e una a valle, per poter procedere alla manutenzione. Le valvole a saracinesca sono sempre aperte e non danno perdite di carico, perché devono permettere il passaggio del fluido senza ostacolarlo. Principio: quando devo accedere alla valvola di regolazione, chiudo le due valvole di bypass e direziono il fluido da un'altra parte → prendono anche il nome di VALVE-GATE.

Un altro accorgimento che possiamo apprezzare graficamente: il diametro della valvola può essere uguale a quello delle tubazioni, ma a volte è differente -> per quest'ultimo caso abbiamo necessità di due raccordi: uno che diminuisce e accompagna il flusso sulla valvola e poi l'altro che si apre per tornare verso la tubazione.

Inoltre, rispetto ad una tubazione complessa in cui sono presenti gomiti, variazioni di sezione, ecc, la valvola è bene non posizionarla subito dopo queste variazioni di direzione, ma ad una buona distanza dopo la variazione o a monte, solitamente almeno 6 volte il diametro della tubazione con gomito a monte e almeno 4 volte il diametro della tubazione con gomito a valle. Questo tendenzialmente viene fatto per evitare che la turbolenza che si forma nei gomiti, possa entrare nella valvola e andare a disturbare la regolazione -> mantenendomi ad una buona distanza i filetti fluidi hanno il tempo di raddrizzarsi.

Stesso discorso per il compressore e pompa, se invece del gomito ho questi due dispositivi, devo lasciare una certa distanza dalla valvola, per non avere vibrazioni meccaniche causate dal motore della pompa; in più per assorbire queste vibrazioni potrei installare un soffiutto.

Poi c'è un accorgimento sulla installazione delle valvole a farfalla utilizzate per la regolazione, hanno una caratteristica intrinseca equipercentuale a seconda dello sfarfallio e dell disegno della valvola -> le valvole possono essere montate con asse verticale o asse orizzontale: nel caso in cui abbiamo una tubazione con fluido che transita e si porta dietro delle particelle solide, oppure anche un fango -> E quindi ho bisogno di valvola a farfalla, devo installarle in modo da evitare che è queste lascino libera la parte inferiore della tubazione, dunque non messa in verticale ma in orizzontale -> in questo modo le particelle solide o di fango non si accumulano sul fondo della valvola e non ostacolano il passaggio del fluido stesso. Attenzione all'allineamento delle flange, quando la valvola viene installata: il montaggio di una valvola a farfalla richiede un perfetto allineamento delle flange di entrata e di uscita, per evitare che la farfalla non si apre e non

serbatoio dove l'acqua calda rimane lì, quando le utenze richiedono calore, l'acqua poi passa all'interno dello scambiatore inclinato a fascio tubiero e ritorna nel boiler, ripassa nell'8 e rientra quindi nella camera di combustione dove si surriscalda ulteriormente e tramite 9 e 10 viene mandato il vapore alle utenze.

Il vapore viene prodotto ad una pressione molto alta anche per essere trasportato facilmente, ma prima di entrare nell'apparecchiatura e/o svolgere il suo compito deve essere portato ad una pressione più bassa.

Ho sempre la presenza dell'economizzatore (economizer o pre-riscaldatore): pre-riscaldamento delle condense prima di entrare nel corpo centrale; lo scambiatore a tubi d'acqua, che è quello che porta tutto in temperatura; poi il super-riscaldatore che è quello che prende l'acqua già riscaldata e da ulteriore botta di calore per avere vapore in pressione che va ad alimentare tutte le utenze; tutto il vapore utilizzato dalle varie utenze viene convogliato sotto forma di condensa in un serbatoio di raccolta da cui ricomincerà il ciclo.

Su tutte le linee di ritorno c'è sempre lo scaricatore di condensa (12) che permette di tenere un flusso monofasico su tutte le reti di ritorno. Poi abbiamo un dettaglio della valvola di riduzione di pressione di vapore: tubazione di andata del vapore entra nella valvola (quella con membrana che tiene fissa la pressione di uscita al valore desiderato, indipendentemente dal valore di pressione in mandata) e poi la rete di distribuzione del vapore alla pressione desiderata dalle utenze; abbiamo sempre due valvole di intercettazione collegate ad un bypass, in modo tale che se si rende necessario la manutenzione della valvola di riduzione del vapore, io posso chiudere il bypass e passare sulla valvola sopra. È sempre presente sul bypass un eliminatore di aria (tipo valvola di sfiato) e tendenzialmente dell'ossigeno, posso sgasare da quella valvolina. Infine ci sono i ritorni delle condense con uno scarico delle condense per la riduzione della pressione.

Qui è messo in evidenza il circuito di ritorno delle condense, quindi una volta che ho il ritorno d'acqua vengono raccolte nel serbatoio e poi pompate (in base alla necessità delle utenze) nel generatore di vapore; dato che le utenze lavorano a diverse pressioni, quello che spesso si fa per recuperare l'energia termica, essendo la condensa acqua calda, è convogliare le varie utenze alle varie pressioni ad un barilotto chiamato flash delle condense, in cui c'è un valore di pressione ancora più basso rispetto agli N valori di pressione delle condense che arrivano, e quindi mi crea un flash e quindi una vaporizzazione al valore di pressione P0 e avrò sul fondo del serbatoio la raccolta della condensa e al top del vapore a pressione P0 che possiede ancora una piccola parte di energia termica e posso utilizzarlo inviandolo da qualche parte per altri utilizzi (il vapore avrà bassa T e P); in particolare prende il nome di CASCAME TERMICO (lambda di calore è basso) perché è un recupero ed una volta che ha lavorato lo mando al generatore di vapore. Vedremo più avanti come questo viene utilizzato all'interno dello stabilimento.

ENERGIA ELETTRICA

Uno stabilimento ha bisogno di una grande richiesta di energia elettrica che può procurarsi o attaccandosi agli elettrodotti (molto cara) oppure crearsela producendosela.

Solitamente, si utilizza del vapore facendolo espandere in turbina, essa è connessa all'alternatore che produce energia elettrica. Una caldaia di vapore sufficientemente grande posso utilizzarla anche per la produzione di energia elettrica, partendo di nuovo dal combustibile:

energia termica → energia meccanica → energia elettrica

Altrimenti posso utilizzare l'espansione di aria calda, quindi avrò una turbina a gas.

Da qui sorge l'idea della co-generazione, perché se ho bisogno sia di energia termica e di energia elettrica, co-generare mi fa risparmiare grazie agli elevati rendimenti energetici.

Diagramma di Mollier del vapore, permette di leggere tutti i valori termodinamici e di capire quanto il vapore che faccio espandere in turbina (in funzione del suo salto entalpico) riesce a darmi in termini di energia. Produco vapore ad alta capacità termica (T e P elevate) con un generatore di vapore, poi lo faccio espandere in turbina, espansione significa diminuire la pressione (dal punto 1 passo al 2), in turbina posso spingere l'espansione fino alle prime goccioline di

Rendimento di primo principio = $\text{pot.el} + \text{pot.term} / \text{pot.combustibile}$

Ed è quello usato per le spiegazioni fatte prima. È inoltre interessante perché permette di paragonare due configurazioni diverse di due impianti, ovviamente però il fuel di partenza dev'essere lo stesso.⁷

Rendimento secondario

Il rendimento di secondo principio fa riferimento al secondo principio della termodinamica, va a riferire questo rendimento al rendimento del ciclo di Carnot (trasformazione in cui ho una compressione, ad una T d'ingresso, seguita da una espansione, ad una T d'uscita, quindi vado a calcolare il rendimento in base alle temperature di lavoro → lavoro che io faccio in compressione sul calore assorbito, quindi equivale alle due temperature del ciclo di Carnot). Il rendimento di secondo principio lo calcolo come risultato utile che ottengo dal mio impianto, non più rispetto a quanto ho speso, ma rispetto al risultato utile di un equivalente processo reversibile.

Rendimento di secondo principio = $\text{pot.el} (\text{del sistema in esame}) + (\text{pot.term} (\text{del sistema in esame}) * \text{rendimento di Carnot}) / \text{pot.combustibile}$

Questo valore mi aiuta nell'ambito decisionale per capire su quale impianto di co-generazione conviene andare (esistono più modelli e design diversi), questo perché la produzione di en. Elettrica e termica hanno due diversi valori monetari che sono legati alle due efficienze: la produzione di en.elettrica paga molto di più dell'altra, quindi due impianti che hanno pari rendimento di primo grado, potrebbero avere un rendimento di secondo principio diverso, ad esempio più alto se l'impianto produce più energia elettrica rispetto alla termica, perché en.elettrica vale molto di più (in termini monetari), perciò la produzione di en.elettrica è solitamente 4 volte più grande rispetto alla produzione di en.termica.

IRE – Indice di risparmio energetico

Mi dà il rapporto fra il risparmio di energia primaria, rispetto alla produzione separata di energia che io vado a considerare. La potenza viene calcolata sull'arco di un anno, quindi la quantità di combustibile consumato viene spalmato in produzione elettrica annuale e poi la produzione termica viene splittata in due parametri: Qh civile, Qh industriale

Questo perché l'en.termica che produco posso utilizzarla a livello industriale (per cedere calore) ma posso anche usarla per cedere calore al quartiere/paese vicino all'impianto.

Torino è famosa per gli impianti di teleriscaldamento: centrale termica del Poli ha dei bruciatori di metano che permettono di scaldare l'acqua e permettono di riscaldare il Poli e non solo: l'acqua calda viene usata anche dagli edifici intorno per riscaldare gli appartamenti; la centrale produce anche un po' di energia elettrica (parte industriale è il poli, parte civile sono gli edifici attorno che sfruttano il calore residuo dell'industria).

Quindi IRE tiene conto su base annua, vista l'energia primaria su base fuel che utilizziamo, quanta en.elettrica si produce, quanta en.termica industriale produciamo (e utilizziamo) e quanta en.termica civile produciamo (e condividiamo) → parametro importante legato agli sgravi fiscali, certificati bianchi, ecc e viene utilizzato soprattutto nella scelta se andare sulla co-generazione, perché esso fa cambiare il quadro remunerativo economico.

LIMITE TERMICO

È il rapporto fra l'energia termica utile prodotta all'anno, rispetto al totale (pot.elettrica + pot.termica); andiamo a valutare qual è la frazione di termico che produzione sul totale prodotto. È importante perché ad oggi un sistema co-generativo è considerato tale dalla legislazione quando abbiamo un $\text{IRE} > \text{IRE}_{\text{min}}$ (0.05 se modernizzo un impianto già esistente) (0.08 se rifaccio un impianto) (0.1 se impianto nuovo) e quando il limite termico è $>$ val. minimo pari a 0.15.

Nella tabella ci sono i valori di riferimento per il calcolo dell'IRE in funzione del tipo di combustibile utilizzato e della taglia globale di potenza elettrica, per realizzare un impianto di co-gen con un certo valore di rendimento; quindi posso capire se dalla legge può essere considerata co-generazione oppure no.

Teniamo conto che l'Italia considera come combustibili anche i rifiuti, all'esterno no.

Il ciclo di coda è tipico di impianti che richiedono un elevato apporto termico, come siderurgica, cementifici, essiccamenti spinti, ecc, quindi non sono importanti alti valori di temperatura e pressione ma elevate quantità (livello termico inferiore).

PARAMETRI

Il primo è legato all'efficienza del generatore di vapore: qual è la potenza disponibile in termini di vapore prodotto, rispetto alla potenza del fuel utilizzato (85% circa).

Efficienza di generazione di potenza elettrica e quindi qual è la potenza elettrica prodotta, rispetto al potere calorifico.

Efficienza complessiva (quella vista prima): la somma delle due / pot.fuel

R → POWER TO HEAT RATIO: rapporto fra pot.ele e pot.term prodotta, è importante perché tendenzialmente un impianto di co-gen lavora molto bene quando lavora su valori di progetto, ovvero quando R è costante; nel momento in cui vario, anche solo, uno dei due perché mi varia la richiesta, ovviamente mi varia R e variando, posso avere variazione dell'efficienza dell'impianto.

COME CO-GENERARE?

Posso utilizzare turbine a vapore, quindi produco del vapore ad alta T e P, che vado a espandere in turbina.

Esistono due tipologie di turbine: A CONTROPRESSIONE (turbine non-condensing, mi scaricano tutto vapore perché non avviene quella parte di condensazione all'interno della turbina stessa) e A ESTRAZIONE-CONDENSAZIONE (turbine che danno parte della condensazione nella turbina, ma che ad un valore intermedio della pressione posso estrarre parte del vapore per scopi termici → alimento a 40bar e scarico a 8 bar, a 15 bar intermedi posso estrarre quella parte di vapore, che fino a quel punto ha espanso e quindi prodotto energia, per scopi dello stabilimento, mentre la rimanente continua in turbina fino al valore minimo di scarico e poi condensa tutta).

Le prime sono utilizzate sia per il TOPPING che per il BOTTONING, mentre le seconde solo per il TOPPING

Poi abbiamo le caratteristiche operative: turbina non-condensing può lavorare fino a 200MW di potenza generata, R costante a 0.05-0.2, è un valore molto basso ed è costante. Dobbiamo sempre distinguere R che mi può dare l'impianto e R che mi richiede l'impianto, se lo stabilimento mi richiede R variabile, non posso usare una turbina a contropressione (perché ha un R costante), ma sarò costretta ad usare una turbina a estrazione-condensazione che ha un R variabile dato che, ad un certo punto, posso estrarre del vapore e gestire la richiesta (R varia); quest'ultime sono più grandi e possono arrivare fino a 300MW.

Un altro sistema di co-gen è dato dalle TURBINE A GAS, ovvero non faccio espandere un vapore, ma un gas e più precisamente un GAS ESAUSTO come ad esempio l'elio portato ad alta T e P; queste turbine si utilizzano solo per il TOPPING (prima power poi con la rimanenza produco quella termica). Posso avere diverse tipologie di ciclo: aperto, chiuso, chiuso combinato. Per turbine a ciclo aperto la potenza elettrica è bassa <200MW con un R costante 0.3-0.35. Per turbine a ciclo chiuso posso salire fino a 350MW e con R variabile in un range molto più grande 1-4.

Un ultimo modo per co-generare è l'utilizzo di TURBINE A COMBUSTIONE INTERNA, solitamente con un motore diesel, si usano per TOPPING. La potenza elettrica può essere sia piccola che grande, R variabile e spostato su valori prossimi a 1.

La scelta di usare una turbina piuttosto che un'altra, dipende non solo dalla potenza richiesta dal sistema, ma anche dal valore di R: grande, piccolo, costante o variabile → inoltre noto che se ho R prossimo a 1 significa che sono uguali (num e den), se è <1 avrò power<heat, viceversa se R>1 avrò power>heat, e più è piccolo o grande questo valore e più num e den saranno differenti fra loro.

SCHEMI DA SAPERE E CAPIRE: CICLI TERMODINAMICI DI BASE

TURBINA A VAPORE DI TOPPING → CICLO RANKYNG

Partiamo dalla pompa*: essa pompa dell'acqua pretrattata (condense) e la porta ad alta pressione → entra nel generatore di vapore (dove alimento il combustibile) e trasformo queste condense in vapore (eventualmente surriscaldo

evitare il famoso PINCH-POINT, altrimenti lo scambiatore non lavora più); quindi rispetto al ciclo a vapore la maggiore differenza rispetto prima, è che prima dal lato HEAT utilizzavo del calore latente del vapore che mantiene la T costante, mentre qui utilizzo del vapore sensibile dei fumi.

Veniamo proprio al ciclo JOULE – COMPRESSIONE → ESPANSIONE

Diagramma termodinamico dell'aria T-S: punto 1 → immissione aria fresca al compressore (previa filtrazione): aumenta di pressione, le curve da 1 a 4 e da 2 a 3 sono due isobare, e un po' si scalda la 2 → al punto 2 l'aria e il combustibile entrano nel bruciatore e avviene la combustione: il fuel cede la propria potenza, quindi vediamo che da 2 a 3, mantenendo l'isobara immetto energia nel sistema → arrivo al punto 3 in cui ho mantenuto la pressione costante ma aumentato la potenziabilità termica (perché la T è aumentata) → entro al punto 3: entro in turbina ed espando quindi non sarà iso-entropica ideale e quindi non cadrà verticalmente, ma sarà reale tenuto conto dell'efficienza di espansione → scendo dunque al punto 4 e siamo ancora sufficientemente caldi per entrare nello scambiatore di calore e cedere il calore → la temperatura si abbassa dal punto 4 al punto 5 e dopo scarico i fumi esausti. IN un ciclo aperto dal punto 5 non rientro in 1 ma scarico in atmosfera dal camino.

All'uscita del compressore (punto 2) non si superano i 30 bar, al punto 3 (dipende dal tipo di bruciatore) siamo sempre sopra i 1000 gradi, poi espando in turbina (punto 4) e la T si abbassa fino a 400°C.

Il rendimento complessivo di questo sistema è dato dalla pot.utile (cioè quanto ricavo - a quanto ho speso nel bruciatore)/pot fuel – quello che perdo è dato solo dal gioco compressore-turbina, senza considerare momentaneamente l'utenza, è lo scarico al punto 4) → possiamo vederlo come un semplice rapporto fra le temperature in gioco: $T4-T1/T3-T2$

Sistema completo con la parte di compressore, bruciatore con la camera di combustione, parte di espansione con turbina della Siemens cioè molto compatto perché turbina e compressore sono montati sullo stesso albero e poi caricati.

Dobbiamo però tenere conto che quando espello in camino, per far sì che nel camino ci sia un tiraggio naturale devo lasciare un po' di calore ai fumi così salgono da soli → mal che vada si può scaricare a 140 gradi, quindi qualcosina lo perdiamo rispetto ai 25°C.

TURBINA: MOTORE DIESEL CON COMBUSTIONE INTERNA → CICLO DIESEL

Circuito: un classico motore diesel in cui alimento aria e combustibile e avviene la combustione grazie alla compressione; il motore è attaccato ad un alternatore che converte in energia elettrica, dall'altra parte invece è collegato ad uno scarico che è connesso allo scambiatore di calore per la generazione di HEAT usata dall'utenza. Dopo avviene lo scarico. Lo scambio con l'utenza è molto simile a quello della turbina a gas, l'utenza si scalda da 6 a 7, mentre il gas del motore diesel cede calore sensibile raffreddandosi da 4 a 5 e cede il famoso Q_{out} ; anche qui attenziona alle temperature in gioco per evitare il PINCH-POINT.

Ciclo: compressione adiabatica → combustione → espansione adiabatica → scarico e cessione calore

Il bello del motore diesel è che possiamo recuperare calore, non solo dai gas esausti del motore, ma anche dal motore stesso che dev'essere raffreddato → l'acqua dell'impianto di raffreddamento del motore può essere a sua volta utilizzata invece che essere scaricata → aumento l'efficienza di co-gen.

Sul un impianto industriale il punto 3 (massime capacità termiche) si trova a 1500°C

—

Abbiamo visto che i tre impianti possono darci diversi valori potenza elettrica generata, sono anche molto diversi in termini di power to heat ratio: abbiamo visto turbine a vapore con R piccolo e costante, turbine a gas R variabile con valori medi e turbine diesel R variabile con valori prossimi ad 1.

C'è anche un discorso di rendimenti: diagramma (mappa costi-rendimenti) che mette in relazione la potenza installata in KW in funzione dell'indice di costo e in funzione dei rendimenti.

$(Gh \cdot DH1 + Ge \cdot DH2)$. → $Beta=0$ vuol dire $Gh=0$ cioè non estraggo nulla, ovvero espande tutta la portata totale di vapore e la dedico alla produzione di sola energia elettrica (di fatto tutto il vapore lo mando al condensatore freddo) → il ciclo di Rankine equivale al ciclo classico che abbiamo visto all'inizio (dal punto A scendo al punto E, quindi tutta la portata di vapore genera soltanto la potenza elettrica).

- $Beta$ → recupero totale $Beta=1$ → significa che numeratore e denominatore sono uguali, ovvero Ge dev'essere nulla, ciò significa che la portata di vapore che ho generato e che ha prodotto energia elettrica nella prima turbina, viene mandata completamente al condensatore caldo, quindi solo potenza termica (non sto usando il condensatore freddo).

Il punto D (punto di estrazione intermedio) è attorno ai 7-8 bar, mando alle utenze ed eventualmente dopo le utenze posso mettere il famoso barilotto di flash per creare il mio cascame termico (usato ad esempio sugli impianti frigoriferi).

Per la situazione di recupero totale, è come se lavorassi a contropressione con la prima turbina, perché io faccio avvenire tutta l'espansione del vapore e alla fine estraggo al valore di scarico finale.

Ci sono alcuni numeri di riferimento su alimentazioni e scarico in turbina: sono i valori consigliati dall'associazione americana di impianti di co-generazione per massimizzare la produzione e minimizzare la velocità sonica che crea vibrazioni in turbina, i costi e la manutenzione.

I salti tipici di questi numeri tipici sul diagramma di Mollier: sullo scarico si entra sempre un po' all'interno della curva del vapore saturo e quindi allo scarico sono attorno ad un valore sotto gli 0,5/0,8 e non oltre, altrimenti avrei un contenuto bifasico in turbina consistente, le goccioline potrebbero agglomerarsi e aumentare di volume e potrebbero depositarsi sulle palette dando problemi di corrosione.

Possiamo poi vedere sul classico schema della turbina, con i valori consigliati dall'associazione e ipotizzando di alimentare metano, abbiamo un'idea delle temperature e delle efficienze in gioco. Con questo tipo di turbina conviene lavorare con gradi di recupero che siano in condizioni prossime alla contropressione → questo garantisce di avere alte efficienze globali di energia elettrica e bassi consumi specifici di vapore per l'energia elettrica → avrò un R basso, ciò significa che sto privilegiando la produzione di energia termica rispetto a quella elettrica, infatti tendenzialmente le turbine a vapore sono più utilizzate per la produzione di HEAT.

VANTAGGI E SVANTAGGI delle turbine a vapore

PRO:

-alto valore di efficienza delle turbine stesse → ovvero la trasformazione di energia chimica in energia meccanica è molto elevata

-trasferimento dell'energia del fuel al vapore è di tipo indiretto (ovvero non un contatto diretto tra fumi di combustione e vapore), questo mi permette di utilizzare combustibili sporchi (perché non ho gli esausti che vanno ad espandere dopo), ovviamente però sto fornendo un fuel con minore potere calorifico.

-hanno un'alta affidabilità meccanica, lavorano molte ore, mi permette un elevato e prolungato utilizzo delle turbine stesse

-se abbiamo 2 turbine, se abbiamo del calore residuo da qualche parte (gestione globale dell'impianto), possiamo riutilizzarlo per aumentare, con uno scambiatore di calore, il Ge , quindi riscaldare il vapore prima di reimmetterlo nella seconda turbina per avere un salto maggiore (aumento la produzione elettrica)

CONS:

-gli investimenti sono estremamente elevati

-se lavoro ai carichi parziali e non al G totale di targa, il rendimento si abbassa sensibilmente → abbassamento dei coefficienti del rendimento globale del sistema; avendo un basso R , rimane difficile avere una grande variabilità del rapporto, solitamente per questi impianti varia da 0.5-2 che è molto basso, quindi non ho un R molto variabile.

avere utilizzando vapore, in funzione della temperatura dei gas caldi che usiamo per produrre il vapore -> di fatto la curva è maggiore di 1 per temperature di sorgente di 700-800°C, se le temperature sono più alte questo rapporto scende sotto l'1, cioè se la temperatura dei gas caldi che utilizziamo è molto alta, non conviene usare i fumi ma il vapore.

RENDIMENTI

Tendenzialmente, il vapore viene messo in turbina con una temperatura e pressione elevate 30-40 bar e si espande fino al punto di spillamento 8-10bar, per poi scendere sull'ultima parte di condensazione a 1-5bar; questo vuol dire che la turbina ha diverse zone di efficienza: zona di alta pressione e zona di bassa pressione, l'efficienza è anche legata alla velocità di rotazione della turbina → quindi grafici di questo tipo ci danno l'efficienza average (media) in funzione della velocità di rotazione. Questo grafico in particolare è riferito ad una turbina a contropressione monostadio, il grafico di destra è per una turbina multistadio, le varie curve da 5 a 11 ci danno l'andamento dell'efficienza che noi dobbiamo utilizzare vs la velocità di rotazione e in funzione della pressione. La parte sopra si chiama HOT STEAM RACE FACTOR ed è un fattore da considerare se faccio lavorare la turbina a metà carico, perché la relazione che lega l'efficienza con portata in turbina NON è lineare, quindi se dobbiamo inviare una portata minore della portata di carico della turbina, andando a calcolare questo coefficiente di mezzo carico avendo pressione in psi e velocità di rotazione e ci creiamo noi una correlazione lineare fra la portata di carico e l'andamento dell'efficienza (vado a linearizzare la variazione dell'efficienza in funzione del carico utilizzando il fattore di mezzo carico).

Schema di montaggio di una turbina a motore: con l'ingresso ad alta pressione, sulla tubazione di alimentazione ho sempre la valvola di controllo con cui vado a regolare la portata in ingresso, poi ho sempre uno sfiato con eventuale valvola di sicurezza, ed uno scaricatore di condensa, in modo tale che se si formasse della condensa nella tubazione, lo scarico la eliminerebbe ed evitare che entri in turbina una frazione di liquido (ma difficilmente si ha formazione di condensa però per sicurezza lo si mette), poi subito prima dell'ingresso vi è un filtro per trattenere particelle solide, come scaglie di tubazione del percorso del vapore. Sulla turbina vi è un altro scaricatore di condensa che entra in opera in caso di formazione di liquido che causerebbe corrosione, montato sulla parte finale; poi sulla parte di scarico vi è la tubazione del vapore dove vi sono: giunto elastico che disaccoppia la turbina dalla tubazione (per evitare che le vibrazioni della turbina vengano trasmesse alla tubazione con rischi di rotture per fatica), una valvola di sicurezza a solenoide che protegge una seconda valvola di sicurezza ad esclusione e poi uno scarico di condensa, infine, si va all'alimentazione delle utenze con lo scambiatore di calore.

TURBINE A GAS → Vengono utilizzate sui cicli di testa

PRO (rispetto la turbina a vapore):

- molta indipendenza tra produzione di HEAT ed energia elettrica, con un R molto variabile e più grande
- costi di realizzazione più bassi
- molto flessibili nel seguire la variazione di carico: se vario la portata in ingresso, la variazione di efficienza overall patisce di meno
- minor richiesta di manutenzione
- Il compressore che ha bisogno di lavoro (devo fornirgli energia elettrica), è sempre calettato sulla turbina, e quindi la turbina genera un lavoro che in parte viene dato al compressore e in parte per produrre energia elettrica. Quando sono a fermo impianto e devo farlo partire, devo sempre procedere con il BLACK START e quindi ad un avviamento esterno con un motore diesel (perché non mi conviene attaccare il compressore alla corrente elettrica data la potenza richiesta).

CONS:

- Tendenzialmente devo utilizzare un combustibile pulito perché sono proprio i gas esausti ad entrare in turbina, quindi non è vantaggioso inviare gas sporchi (coke, suth, particelle solide) perché le particelle solide messe in circolo causano parecchi problemi di erosione e riducono notevolmente la vita utile della turbina → costi maggiori: si usa metano di solito

quantità di calore in uscita non cambia, ma sono ad un valore di pressione più basso → mi muovo sull'orizzontale, l'entropia è leggermente più alta di quella ideale.

Qua la questione delle due condizioni con cui posso lavorare al bruciatore, ovvero la quantità di calore che devo mettere nel sistema grazie al bruciatore: posso inserire una miscela ricca (lavoro con un eccesso di combustibile) o una miscela magra (lavoro con un eccesso di aria) → di solito sempre con la miscela magra per portare la completa di combustione del combustibile (altrimenti avrei anche CO, fuel incombusto, Cox ecc), l'eccesso di aria mi favorisce anche il fatto di aggiungere un post bruciatore ed aumentare l'HEAT. Lavorare però con un eccesso di aria vuol dire portarsi dietro un grande volano termico che fa abbassare un po' la T del punto 3 (T di combustione tanto più bassa, quanto più è alta la concentrazione di aria).

Un'altra possibilità: CICLO RIGENERATIVO

Osservando lo schema compressore-turbina vedo che qua l'uscita del compressore passa nel RIGENERATORE prima di entrare nel bruciatore; il rigeneratore scambia calore con i fumi in uscita dalla turbina: posso fare questo gioco quando il punto indicato con 5 (uscita dalla turbina) si trova ad una temperatura più alta rispetto al punto 2 (uscita compressore), posso dunque incrociare questi due flussi e far cedere parte del calore dei fumi esausti all'aria compressa in modo da avere una temperatura maggiore dell'aria compressa che entrando nel bruciatore avrò una combustione facilitata e dunque spenderò meno combustibile per far uscire i fumi alla stessa temperatura di quando non RIGENERAVO. Al punto 6 avrò lo scambiatore dell'utenza per la generazione di energia termica. L'energia termica di co-gen sarà quella che andrò a recuperare dal punto 6 al punto 7. A livello di investimenti mi richiede solo uno scambiatore in più (il rigeneratore) e quindi non è di difficile realizzo. Teniamo presente che entro al punto 6 con una temperatura un pochino più bassa rispetto al caso NON RIGENERATIVO, però è una temperatura talmente alta da poter garantire ugualmente la potenza termica alle utenze.

Aumenta di 5-8 punti % l'efficienza ed è economicamente vantaggiosa.

COMPRESSIONE INTER-REFRIGERATA CON RI-COMBUSTIONE

L'inter-cooler aumenta l'efficienza però complica il sistema: ho due compressori, due turbine e due bruciatori. I due compressori e le due turbine sono calettate sullo stesso albero.

Compressore 1 → aria compressa → intercooler: raffredda un po' → entro nel secondo compressore e comprimo (punto 2') → rigeneratore: scaldare come prima utilizzando la T in uscita dalla seconda turbina → e poi idem

Perché prima raffreddo e poi riscaldo? Per arrivare alla pressione finale 2' con un solo compressore farei molta più fatica quindi maggior costi energetici, mentre dal punto di vista termodinamico, fare due salti di T e Pressione con due compressori più piccoli (un solo compressore ha un limite di rapporto di compressione, ovvero il rapporto fra prex di ingresso e di uscita, e quindi posso dividerlo in due più piccoli) è più semplice arrivare ad un valore di pressione più alta e in più andando a raffreddare, diminuisco un po' i volumi in gioco e sul secondo salto di compressione entro con volumi più piccoli e dunque facilito la seconda compressione → doppio vantaggio: gestire 2 compressori piccoli che 1 grande con un unico salto, meno dispendioso e più efficiente. Poi dopo abbiamo il rigeneratore per riscaldare un pochino l'aria in ingresso al bruciatore e dunque facilitare anche la combustione (meno fuel richiesto). Poi di nuovo, invece di avere un'unica grande turbina ne avrò due più piccole, per andare a rifornire in parallelo i due compressori; anche qui faccio una prima espansione al punto 5 e sfruttando il discorso del post-bruciatore con eccesso di aria e mettendo un po' più combustibile riesco ad avere più guadagno nella seconda turbina, rispetto a quello che avrei facendo un unico salto dal punto 4 fino al punto intermedio. Andando a sommare tutti i piccoli effettivi di ogni macchinario riesco a guadagnare altri punti % sull'efficienza globale. Il punto in uscita dalla seconda turbina è ancora sufficientemente caldo e quindi riuscirò a rigenerare e poi metterò lo scambiatore per le utenze (produzione HEAT).

Il costo è leggermente maggiore a livello costruttivo, però come nei casi precedenti, avrò maggior guadagno energetico e maggiore efficienza. Potrei montare fino a n elementi ma di solito non più di 3-4.

.....
Con cosa raffreddo l'intercooler?

TURBINA A GAS A CICLO CHIUSO: USATI SOLO PER TENERE SOTTO-CONTROLLO LE ALTE TEMPERATURE DI SISTEMI MOLTO ESOTERMICI

Non ho più camino di scarico, perché il gas che ha ceduto calore dopo lo scambiatore (in uscita dalla turbina), viene rimandato totalmente sul compressore iniziale. Qui ho due compressori e due turbine, però se guardo il ciclo Joule, ho compressione -> intercooler -> compressione2 -> rigenerazione (non ho più il bruciatore (aumento il livello energetico dei gas fino al punto 6)) -> turbina (che però sono due turbine separate viste come una sola dal punto di vista del lavoro che ne ottengo) -> rigenerazione (punto 8) -> entro nello scambiatore di calore HEAT -> rientro nel primo compressore.

Un ciclo chiuso non può essere fatto con aria, perché se non immetto aria fresca nel sistema, dopo 2/3 giri l'aria per la combustione si esaurisce (O₂), quindi non avrò più una combustione indiretta ma sfrutto il calore generato da un'altra fonte, i reattori nucleari ad esempio: la quantità di calore del sistema (da 5 a 6) è uno scambio di calore indiretto, infatti il sistema compressore1 -> intercooler -> compressore2 -> scambiatore di calore (non ho più un bruciatore ma uno scambiatore) ed in particolare sono cicli tipici dei reattori nucleare, in cui la fonte di calore non è più il bruciatore ma il reattore nucleare stesso, che per sua natura emana una quantità di energia termica altissima e che per tenere sotto-controllo si usa in uno scambio indiretto per innalzare la temperatura dal punto 5 al punto 6 (aumento del livello energetico del gas). Poi il fluido utilizzato per tenere sotto-controllo la temperatura del reattore nucleare viene espanso in turbina e quindi poi a chiudere il ciclo sul rigeneratore poi scambiatore con utenze e poi nuovamente al compressore.

Che tipologia di gas viene usata? Non aria perché non ho un bruciatore, si usa ELIO che terrò confinato nel suo circuito a ciclo chiuso.

.....
SERBATOIO A: siccome l'elio è un gas molto leggero, quel serbatoio viene usato nella fase di start-up oppure quando si ferma per creare un accumulo (di servizio solo)
.....

TURBINA A GAS TOPPING – TURBINA A VAPORE BOTTONING

Compressione di aria -> bruciatore diretto -> turbina a gas -> gli esausti entrano in uno scambiatore di calore che fanno da generatore di vapore indiretto per il sistema della turbina a vapore. Qua utilizzo il gas caldo per produrre il vapore (l'acqua mi deriva dal condensatore), e poi verrà mandato in una turbina a vapore → qui ho la connessione turbina a gas topping e turbina a vapore bottoning che però in più questa turbina è connessa ad un impianto frigorifero*standby

—
I cicli singoli possiamo dunque combinarli in più modi in funzione della richiesta/esigenza

dello stabilimento, andando a giocare sullo scambio nei vari scambiatori, piuttosto che con i rigeneratori, oppure intercooler, come incastrare le varie portate per aumentare di qualche punto % il rendimento globale.

CARATTERISTICHE TURBINA

La turbina in alcuni casi, non è connessa all'alternatore, ma può essere connessa ad un macchinario che ha bisogno di energia e quindi la turbina alimenta direttamente l'utenza (tipo la pompa attaccata direttamente alla turbina, oppure posso connetterla ad un altro compressore che mi serve sull'impianto) -> no produzione en elettrica immagazzinata perché viene direttamente utilizzata.

Gruppo compressore-turbina gas, il compressore dell'aria è sempre trascinato dalla turbina e quindi questa deve generare una quantità di lavoro tale da trascinare il compressore e produrre l'energia elettrica richiesta, quindi quando parto da 0, il compressore dev'essere avviato singolarmente (motore diesel o elettrico come sistema esterno). Oppure se sulla turbina a gas ho una serie di valvole con cui riesco ad alimentare in turbina un gas già compresso (perché ce l'ho a disposizione in impianto per altri motivi) riesco a mettere in moto la turbina e produrre lavoro, e poi mi trascinerà il compressore. Questo gruppo ha sempre bisogno di lubrificazione in quanto sono ingranaggi meccanici sottoposti a rotazione continua, nella realtà il sistema avrà una piccola pompa che alimenta l'olio di lubrificazione, l'energia elettrica per far girare questa pompa si può prelevare dal lavoro della turbina stessa (tutte le efficienze devono tener conto di questi lavori).

Per comprendere meglio le differenze tra i vari sistemi abbiamo un confronto dei consumi specifici in funzione di R per diversi tipi di cicli: un confronto e fatto andando a paragonare una produzione di 75 MW → prodotti come?

in rosso con un sistema a turbina a vapore di base, piuttosto che di base con rigeneratore

cicli blu turbine a gas, con scambiatore di recupero oppure con ciclo rigenerativo, scambiatore e post-bruciatore modulante (tre categorie viste)

in verde i Cicli combinati turbine a gas e turbine a vapore: Turbine a gas con scambiatore e turbine a vapore- contropressione, piuttosto che turbine a gas con scambiatore di recupero e turbine a vapore con spillamento regolato, oppure turbine a gas con scambiatore e turbina a vapore con bruciatore a contropressione; e qui vediamo come variano i consumi specifici $KW_{termici}/KW_{elettrici}$ → differiscono molto fra rosso blu e verde, non solo a livello di valori ma anche come convenienza in funzione di R; Questo ci fa vedere che quando siamo su R elevati (sopra 1) i cicli combinati diventano interessanti, infatti questi si usano quando dobbiamo aumentare il più possibile la flessibilità della richiesta e per R elevati (favorire quindi la produzione di energia rispetto quella di calore). quando invece dobbiamo avere una produzione di calore maggiore rispetto a quella di energia, ovvero R piccoli allora dobbiamo abbandonare i cicli combinati perché non sono più convenienti.

PROGETTAZIONE DI UN IMPIANTO DI CO-GENERAZIONE

Il power to heat ratio che mi dà un impianto di co-generazione può avere valori piccoli medi o alti in base al sistema che io scelgo e abbiamo visto che è più questo rapporto rimane costante sul valore di targa dell'impianto, più il valore dell'efficienza rimane elevato, mentre la flessibilità riduce l'efficienza.

Il grafico ci dà le variabilità del carico elettrico e del carico termico dello stabilimento in funzione delle ore del giorno, quindi supponendo che la giornata tipo si ripete tutto l'anno, nell'arco delle 24h e a seconda delle esigenze produttive dello stabilimento, ad esempio abbiamo che:

in rosa la richiesta di energia termica quindi è bassa di notte e alta di giorno, ha una punta attorno alle 20:00 per poi diminuire successivamente

in blu invece la richiesta di energia elettrica e quindi è alta di notte e bassa di giorno e poi di nuovo aumenta verso la sera

→ Questi andamenti ci permettono di andare a calcolare R dello stabilimento e quindi trovare un andamento di questo tipo: alto di notte e basso di giorno → questo mette un po in crisi perché se ho un R che varia da un massimo di 0,8 ad un minimo 0,3 allora rientro sia sugli impianti a gas che è sugli impianti a vapore e quindi come scegliere e dimensionare il gruppo?

Quello che vediamo dopo è un grafico che, in termini di MW di Power elettrico e Power termico, ribaltati in termini di valori massimi e minimi; Quindi non più in funzione delle ore del giorno cronologiche Ma semplicemente nel arco delle 24 ore, la richiesta termica avrà un massimo di 140MW e un minimo di 80; mentre in blu ho la frazione elettrica che vanno da un minimo di 80 ad un massimo di 40 → Vedo dunque quan'è l'escursione tra richiesta di energia elettrica ed energia termica -> ecco che posso decidere come andare a dimensionare; possiamo anche vedere il valore target medio di quantità di calore che posso produrre con un impianto di cogenerazione e l'equivalente la targa dell' elettrico → quindi come vado a dimensionare?

Devo dimensionare andando ad assicurare sempre la massima quantità di energia termica? e quindi ad esempio fisso l'output ottimale dell'impianto di co-gen sul massimo o sul medio o sul minimo e dove? Sul termico o sull'elettrico? Se provo ad ipotizzare il valor medio termico, vado a vedere quel valore lì quanto mi genera di potenza elettrica, e poi provo ad ipotizzare il minimo sul termico e vedere come cambia l'elettrico, e poi provo a fare il contrario -> dimensionare sull'elettrico e vedere a quanto termico mi corrisponde. Tengo anche conto, ad esempio di assicurare che l'impianto dia sempre il massimo dell'energia elettrica richiesta, sarò sempre in grado di dare un quantitativo di elettrica minore, perché ho realizzato il mio impianto dimensionando sul massimo dell'elettrico che può dare l'impianto, e poi vedere quanto termico produco e se riesce a rispondere alle richieste dell'impianto: se il termico è prodotto in abbondanza rispetto alle esigenze, mi ritrovo energia termica che dovrò smaltire in qualche modo; se invece non sono in

con le ceneri dov'è l'aria e mandata in condizioni sotto-stechiometriche (Ma solitamente non si fa quindi gli incombusti sono poco presenti); Poiché la temperatura di combustione è molto elevata utilizzo aria come comburente e non ossigeno Puro (e l'aria si porta dietro quindi anche l'azoto), le temperature alte mi genereranno una certa quantità di NOx termici; In più se uso un combustibile sporco (non metano ma un combustibile che abbia un certo tenore di zolfo) le alte temperature potrebbero dare la formazione di SOx con il relativo problema delle piogge acide.

Nella realtà prima del camino è sempre presente un gruppo di pulizia, composto da varie cose che mi tiene sotto-controllo tutte queste emissioni e che effettivamente gli scarichi al camino siano sotto ai limiti di legge. Queste sono le problematiche di un impianto di scarico in atmosfera di un impianto di cogenerazione elementi che possono servire per tenere sotto i limiti di legge, sono precipitatore di tipo elettrostatico che rileva e trattiene le particelle solide (sute o particolato) se procedo con la combustione di combustibili liquidi (nafta), poi avrò dei sistemi TENOX che limitano le emissioni di NOx attraverso sistemi che lavorano sulla selective catalitic reduction, per controllare gli SOx utilizzo dei desolforatori ovvero delle unità di desolfurazione dei gas esausti, ovvero sistemi di lavaggio come ad esempio le torri di adsorbimento, queste andranno a trattenere gli SOx e poi lavorati ulteriormente.

LO SCARICO

Una volta che i gas esausti sono stati appropriatamente purificati, entro nel camino e scarico e quindi perdo in atmosfera questi fluidi: abbiamo accennato precedentemente che lo scarico in atmosfera può essere a camino con tiraggio naturale, quindi il cammino è in grado di solo di immettere in atmosfera, oppure con tiraggio forzato mettendo alla base del camino un equivalente di una falda ovvero un sistema che in qualche modo mi spinga i fumi verso l'alto.

Come vado a verificare che il tiraggio del mio cammino sia naturale oppure forzato? Quando dei fumi transitano attraverso una canna fumaria hanno una loro forza spingente, che posso valutare tenendo conto dell'altezza del camino e la differenza di densità dell'aria e la densità dei fumi (densità e peso molecolare medio dei fumi). Come condizioni dell'aria andrò a fare riferimento alle condizioni esterne (Temperatura media dell'aria nel giorno di riferimento); mentre per valutare i fumi devo tener conto della temperatura media dei fumi e devo tener conto che, siccome i camini sono molto alti, man mano che i fumi salgono la loro temperatura diminuisce → le famose perdite al camino già considerate prima nel conteggio delle perdite. La temperatura media dei fumi è calcolata semplicemente dalla media aritmetica della temperatura dei fumi in ingresso (che è quella di scarico dopo che hanno ceduto calore alle utenze → quindi la conosco) e in uscita (per conoscerla devo sapere certe caratteristiche del camino).

In letteratura si trovano spesso dei diagrammi, come questo raffigurato: l'altezza del camino STA-HIGHT che di solito è data in piedi inch (diagramma del perry) → Nota l'altezza del camino e il suo diametro dato dalle curve sul diagramma → entriamo con l'altezza e ci fermiamo alla curva del corrispondente diametro → entriamo in orizzontale nella seconda parte del grafico dove ci sono delle rette inclinate → che mi danno qua la temperatura del gas all'ingresso del camino, 700, 800, 900 F → Mi fermo alla temperatura di ingresso e piego in su e leggo sull'asse orizzontale in alto la corrispondente temperatura di uscita (ad esempio entro a 600 e con queste dimensioni esco a 500). Ecco che ho determinato con una correlazione grafica la temperatura di uscita e dunque sono in grado di trovare la temperatura media e quindi la densità media dei fumi e finalmente trovare qual è la forza spingente teorica dei fumi caldi e capire dunque se potrebbe essere un camino a tiraggio naturale o forzato. Occhio però il camino avrà inoltre un'altra caratteristica: il materiale di costruzione, che avrà un certo coefficiente di scambio termico. Questo tipo di diagramma vale solamente se il coefficiente di scambio termico è inferiore ha un valore minimo $KJ \cdot h \cdot m^2 \cdot K$ → Devo tener conto di questo coefficiente perché ci dice quanto calore viene perso attraverso il materiale del camino (un cammino termicamente isolato avrà un coefficiente di scambio termico basso). Se sono in questo caso che non riesco a usare questo diagramma esistono altre correlazioni, come quella riportata, altrimenti proverò un altro diagramma analogo al precedente.

Una volta valutata la forza spingente dei miei fumi, dall'altro lato il cammino stesso opporrà una forza contraria, in quanto per geometria il camino assomiglia ad un tubo → quindi darà origine ad una certa caduta di pressione → forza resistente data dal camino: somma delle perdite distribuite e perdite di sbocco all'uscita (localizzate), Valutata con una formula al cui interno troviamo la velocità media dei fumi e la somma delle due perdite tenuto conto di qual è il coefficiente di attrito delle pareti; conoscendo dunque qual è l'altezza e il diametro del camino, F il friction Factor del

LEZIONE 09/11/2016

IMPIANTI DI REFRIGERAZIONE (CAP 4)

Lo scopo di un impianto di refrigerazione è quello di dare freddo, ovvero mantenere una temperatura interna all'impianto minore della temperatura esterna di solito la temperatura ambientale (T_0). Per far ciò dobbiamo rimuovere una potenza, quella che noi chiamiamo potenza di refrigerazione, perché noi dobbiamo mantenere l'utenza ad una temperatura minore di quella ambientale altrimenti il sistema si metterebbe in equilibrio con la temperatura ambiente e nell'arco di un certo tempo raggiungerò le condizioni stazionarie, dunque il sistema si porterebbe ad una temperatura uguale a quella esterna.

Dunque per sottrarre calore devo generare una potenza di refrigerazione: il concetto delle frigorie è lo stesso delle calorie, dov'è la frigoria e la potenza che vado a togliere \rightarrow 1KW frigoria equivale ad 1KW calorica.

Si parla anche di **Tonnellate** come potenza richiesta per produrre una tonnellata in peso di ghiaccio alla temperatura di 0° nell'arco di 24 ore \rightarrow tonnellate di freddo; ovvero la potenza per produrre una tonnellata di ghiaccio. 1 tonnellata di freddo equivale 3,875KW, questo deriva dal fatto che per produrre una tonnellata di ghiaccio devo tener conto del calore di solidificazione dell'acqua.

Come fare? L'idea più semplice, ed anche la più utilizzata, è quella di far bollire un liquido perché l'ebollizione sottrae calore affinché il sistema mantenga una temperatura sufficientemente bassa, ovviamente però il liquido deve bollire ad una temperatura sufficientemente bassa e possibilmente minore di quella ambiente \rightarrow ad esempio ammoniaca e uno dei fluidi frigoriferi o frigoriferi più utilizzati, a pressione atmosferica bolle a 240K, ovvero -33°C , quindi se si fa bollire ammoniaca la pressione atmosferica posso sottrarre calore alla temperatura di -33°C e quindi mantenere il mio sistema quella temperatura; le altre ne volge a -103°C ; metano -161°C . Se poi modifico la pressione varierà anche la temperatura alla quale far bollire il liquido refrigerante, ad esempio si può scendere ancora di più con la temperatura: l'acqua bolle a 100°C , ma se vado a diminuire la pressione bollerà ad una temperatura inferiore \rightarrow ecco che l'acqua non è usata come liquido refrigerante perché dovrei aumentare troppo la pressione per farla bollire a 0° .

Per far bollire questi fluidi devo spendere energia, quindi produrre questa potenza frigorifera mi costa. spesso si parla di coefficiente di performance COP (energy efficiency ratio), che rappresenta proprio l'efficienza di refrigerazione = Rapporto fra la potenza di refrigerazione rispetto all'energia che io devo spendere per avere quella potenza.

Notiamo quello che c'è scritto di fianco ai quattro liquidi: l'ammoniaca è il fluido più utilizzato, però è un gas tossico e la sua gestione è particolare \rightarrow le persone che possono manipolarla o manipolarne le bombole devono possedere uno speciale patentino (quindi corsi ecc); l'etilene ed il metano non sono tossici ma sono infiammabili; l'aria è interessante perché non è tossica, non è infiammabile, però la sua temperatura di ebollizione è molto molto bassa, quindi è usata solo per quei sistemi che richiedono bassissime temperature.

Perché devo spendere energia? proprio perché molte volte devo aumentare la pressione per diminuire la temperatura di ebollizione, ovvero mi discosto dalle condizioni standard di ebollizione; il processo ha le seguenti fasi: prendo il fluido alle condizioni ambiente, lo condenso, faccio in modo che la temperatura di ebollizione si abbassi il valore di interesse (ovvero devo ridurre la pressione), quindi faccio un'espansione a bassa pressione \rightarrow abbassa la pressione fino al valore d'interesse \rightarrow faccio venire la bollizione e mi ritrovo con un gas \rightarrow questo gas lo raccolgo e lo comprimo e quindi riparto da capo \rightarrow chiudo dunque il mio ciclo frigorifero.

L'espansione può avvenire in vari modi: ad esempio può avvenire senza lavoro esterno, utilizzando ad esempio una valvola di laminazione sfruttando l'effetto Joule; un altro modo è sfruttare l'espansione isoentalpica; oppure posso procedere facendo compiere lavoro ad una macchina e facendo avvenire un'espansione isoentropica \rightarrow CICLO CLOUD: è il ciclo classico utilizzato per il frazionamento dell'aria ovvero quando voglio separare l'aria dai suoi componenti principali (ossigeno azoto argon eccetera). Dopo che sono scesa a bassa pressione posso procedere con la evaporazione ovvero la fase principale che porta via calore \rightarrow generazione della potenza di refrigerazione.

ORGANIZZAZIONE DI STABILIMENTO

circuito frigorifero: all' evaporatore mi entra una portata di ammoniaca liquida che viene fatta evaporare e dunque sottrae il calore → all'uscita del evaporatore mi ritrovo un fluido frigorifero allo stato gas perché ormai ha ceduto il proprio freddo → per tornare liquida, devo prendere la moneta gassosa comprimerla, aumentando così la pressione → Utilizzo poi un condensatore alimentato da acqua per far condensare nuovamente l' ammoniaca e chiudere il ciclo → Esco dal condensatore con ammoniaca liquida però ad alta pressione → Ecco dunque che prima di far evaporare nuovamente all' ammoniaca devo farla passare attraverso una valvola di laminazione in modo da abbassare la pressione senza compiere lavoro (flash).

Nella valvola di laminazione avviene un flash, perché per abbassare la pressione, una certa frazione di ammoniaca vaporizza all'interno della valvola e quindi si crea un flash → in funzione di quanto è grande la caduta di pressione che ho, una frazione dell' ammoniaca evapora

L' evaporazione è isoentalpica, sfrutta l'effetto Joule-Thompson e attenzione perché mi crea un raffreddamento molto intenso: una frazione evapora e quindi sottraggo calore all'ambiente → è quello che succede quando ho una bombola di gas, e vado ad aprire la valvola, la valvola diventa molto fredda e l'eventuale umidità presente nell'atmosfera va a condensarsi, ed eventualmente quando la temperatura è molto bassa potrebbe formarsi del ghiaccio sulla valvola stessa. → dunque perdo una piccola frazione della portata totale di ammoniaca perché mi va a vaporizzare già nella valvola e quindi essendo già vaporizzato all'interno della valvola non potrà vaporizzare quando sono nell' evaporatore.

La freccia rossa indicata con cui mi rappresenta il flusso di calore che dall'utenza attraverso il circuito delle salamoie mi viene trasferito dall' evaporatore al condensatore e tramite l'acqua di raffreddamento perdo questo calore trasferendo dall'acqua di raffreddamento. Notiamo dunque che, al contrario dei flussi di calore che si muovono da un sistema ad una temperatura più alta ad uno più freddo, qui invece (l'utenza rimane sempre alla sua temperatura fresca) il flusso di calore è al contrario: Sto portando via calore da una sorgente a temperatura più bassa ad una sorgente a temperatura più alta → sto andando contro i principi della termodinamica e posso farlo perché sto spendendo energia nel compressore (dopo che lascio il freddo all'utenza devo comprimere, condensare e laminare).

In un ciclo frigorifero in cui uso l'acqua di raffreddamento per condensare la ammoniaca, l'acqua si riscalda e quindi per operare di nuovo sul condensatore dovrà essere raffreddata a sua volta, per far questo disperdo il calore in eccesso in atmosfera, c'è però un'altra opzione: se riuscissi a sfruttare il calore dell'acqua mandandola ad esempio in un sistema di riscaldamento (tipo radiativo a pavimento) sistemato negli uffici o nelle palazzine della fabbrica, il calore dell'acqua viene ceduto all'ambiente che lo richiede senza dunque buttarlo in atmosfera → in questo caso si parla di POMPA DI CALORE, perché ho pompato calore da un sistema a bassa temperatura ad un sistema di alta temperatura e alla fine sono riuscita a sfruttare tutto il calore senza sprecarlo (se invece il calore viene lasciato in atmosfera non si parlerà di pompa di calore).

Per quanto riguarda invece il circuito delle salamoie che unisce l'utenza fredda con la evaporatore, è un circuito che ospita al suo interno salamoia, ovvero una soluzione salina come ad esempio NaCl o glicole, CaCl₂ molto concentrate, in modo tale da fare da trans di calore a temperature molto molto basse, In base alle temperature in gioco vado a scegliere una soluzione piuttosto che un'altra.

Diagramma termodinamico: partiamo dal punto quattro perché coincide con lo 0, ovvero all'uscita dell' evaporatore → mi troverò con una portata di ammoniaca 100% vapore, considerando dunque il diagramma di Mollier pressione - entalpia avrò una curva di equilibrio che mi separa la fase liquida dalla fase vapore da quella mista, se sono ad esempio alla pressione P₀ che mi corrisponderà alla temperatura media di X°, compatibile con la temperatura di lavoro dell'utenza allora mi troverò sulla curva di equilibrio 100% vapore, ovvero in condizioni sature. → Entro poi nel compressore che mi aumenta la pressione, quindi mi ritroverò ad una pressione P₁ più alta → ho un salto di pressione che tiene conto (la differenza tra i punti P₁ e P₁*) del fatto che la compressione è reale, e non ideale, quindi avviene un aumento di entropia con una sua efficienza <1, dato che le curve verdi sono quelle isoentropiche (sono spostata più sulla destra). → Entro nel condensatore alimentato dall'acqua di raffreddamento, condenso la portata di ammoniaca vapore (e avrò tutta la fase di desurriscaldamento) fino a raggiungere il vapore saturo → dunque entro nella curva e qui la ammoniaca inizia a diventare liquida fino a raggiungere il punto 2 in uscita dal condensatore dove avrò un flusso 100% liquido alla temperatura corrispondente → entra nella valvola di laminazione e abbassa la pressione (flash) fino alla pressione con

troppo spinti e problemi legati al salto di pressione tra evaporatore e compressore); calore di vaporizzazione del fluido elevato (1 kg di fluido sia in grado di portare via più calore possibile, si tratta del λ ovvero il calore latente di vaporizzazione); Volume di vapore minimizzato (è un problema di spazio occupato dal vapore saturo, quindi più questo volume contenuto più quantità di fluido posso mettere nel sistema); deve essere atossico (il problema della tossicità è molto importante, anche se ad oggi impianti frigoriferi con ammoniaca sono i più utilizzati per certi tipi di industria, anche perché mi richiede del personale altamente specializzato e particolare cure sulla tenuta dell'impianto, perché non devo avere fumi di ammoniaca); Non devono essere infiammabili (propano e metano purtroppo lo sono, quindi li uso solo se ho delle forti limitazioni alle caratteristiche di freddo richieste dall'utenza).

La scelta del fluido frigorifero comporta anche una diversa scelta dei materiali di costruzione, la struttura e le apparecchiature che devono essere compatibili. Negli anni quindi si è cercato di creare dei fluidi frigoriferi organici particolari che avessero tutte queste caratteristiche richieste, ad esempio il FREON o cloro fluoro carburi → però anche questi non facevano bene all'ambiente quindi si ha smesso ad oggi di utilizzarli, fino ad arrivare ad un utilizzo maggiore di propano.

I clorofluorocarburi sono pericolosi perché, derivando dagli idrocarburi, contengono al loro interno atomi di cloro e fluoro che rilasciate in ambiente sono dannosi per il buco dell'ozono (banditi nel 2003) → allora si è passati a rimuovere il cloro HFC idro fluoro carburi (banditi nel 2016) → si è arrivati ad utilizzare maggiormente il propano e le sostanze originarie.

Leggere le definizioni utilizzate per classificare i fluidi frigoriferi, sono degli indici di riferimento utilizzati per indicare la capacità distruttiva nei confronti dell'ozono (il primo deve essere minimizzato), il secondo invece riguarda il riscaldamento globale come ad esempio la CO₂ surriscalda l'ambiente (quindi anche questo deve essere minimizzato), idem per il metano.

VARIAZIONI SUL TEMA

A partire dal ciclo frigorifero classico (compressione, condensazione, laminazione ed evaporazione), possiamo utilizzare delle modalità che rendono l'impianto un po' più efficiente, ad esempio adottando un DESURRISCALDATORE: notiamo che è ci sono due compressori, un evaporatore e poi ci sono questi barilotti di flash → il salto di compressione viene spezzato in due (di solito adottato quando il salto di compressione è troppo elevato e un solo compressore non ce la fa) e fra i due compressori c'è un desurriscaldatore (intercooler): Questo mi abbassa la temperatura, e quindi diminuisce anche i relativi volumi specifici e dunque faccio lavorare il secondo compressore con un'efficienza maggiore; In questo modo inoltre, mi abbassa anche il valore di entalpia, rispetto ad un unico salto di compressione; magari posso raffreddare fino ad ottenere il vapore saturo punto 5. Quando esco dal condensatore e ho 100% liquido saturo, non troverò un'unica valvola di laminazione, ma spezzo in due: valvola di laminazione, barilotto di flash, valvola di laminazione e barilotto di flash per lo stesso motivo: faccio il primo salto e perdo una frazione di liquido evapora nella valvola di laminazione, poi separo la frazione di vapore della frazione di liquido ed entro nella seconda valvola di laminazione soltanto con la portata di liquido mentre il vapore lo mando al secondo compressore, e poi avrò di nuovo il secondo barilotto di flash dove la parte vapore viene mandata di nuovo al secondo compressore mentre all'evaporatore manderò solo la portata liquida. Se provo a paragonare il salto 6 7 8 9 rispetto ad un ipotetico 6 9*, vediamo che la frazione totale di vapore che andiamo a perdere a causa dell'abbassamento della pressione da P₂ a P₀, è più piccolo se io spezzo i salti in due piuttosto che fare un salto unico da 6 a 9 reale. L'unico fatto negativo è che avrò un impianto più complesso perché o più apparecchiature -> pago di più sulla realizzazione dell'impianto per poi andare a pagare un po' meno sulla gestione perché aumenta l'efficienza.

Questo è quello che si fa sempre, e non quello classico visto in precedenza.

.....
perché mando tutta la parte vaporizzata nel secondo compressore?

Perché è già vaporizzata, non serve a nulla metterla nel primo

.....
Quindi io entro nell'evaporatore con una miscela bifasica gas e vapore e man mano che attraverserà l'evaporatore diventerà a tutta gassosa → mando vapore saturo

Posso fare due passaggi in uscita dal condensatore: posso spezzare subito e mettere due valvole di laminazione, una che mi fa il salto da 4 a 5 e l'altra che fa il salto da 4 a 6, oppure mando tutto nel primo e poi spezzo dove una parte la mando all'utenza e l'altra al secondo salto. In entrambi i casi, dopo la valvola di laminazione metto sempre il separatore per poter eliminare la parte evaporata nella valvola e la mando direttamente il compressore (migliorando così l'efficienza) e la parte liquida che viene mandata all'evaporatore.

.....

Quindi mi scegliamo le 2 portate al punto T1?

Nello schema così come è messo, non c'è nessun desurriscaldatore, quindi quando vado a misurare il vapore che ha lavorato sull'utenza 2 con il vapore parzialmente complesso dell'utenza 1, queste si porteranno ad un valore di entalpia intermedio → quello che posso fare per aumentare l'efficienza è: una volta unite posso mettere un desurriscaldatore per portare il punto 1 alle condizioni del punto 2 e poi miscelare, così avrò una compressione più efficiente (interessante mettere dunque un desurriscaldatore per migliorare l'efficienza, perché raffreddando diminuisco la temperatura migliorando la compressione e diminuisco i volumi specifici.

A livello di valvole, quante ne devo mettere? 2! ma anche nel caso di ricongiungimento in un'unica valvola al punto 10 ?

In ogni caso mi servono due valvole: se io non considero la parte verde e quindi avrò questa V1 e V2, lavoreranno in questo modo → la V2 da P2 a P1 e la V1 da P1 > P2 > P0, Con due portate relativamente piccole (ipotizziamo metà e metà); nel caso invece di circuito verde quindi dal punto 4 mando tutto alla V2 e poi separo dopo, quello che deve ancora fare il salto di pressione la parte del liquido la mando in V1 → la V2 farà il salto da P2 a P1 ma più grande (perché avrai tutta la portata), mentre V1 farà un salto di pressione più piccolo e farà un salto P1 a P0 e gestirà una portata più piccola.

Fare il gioco da V1 e V2 in blu oppure di V1 e V2 in verde dal punto di vista impiantistico è indifferente; Diciamo però che passare dalla valvola V2 in verde mi permette di avere un'efficienza maggiore, perché considerando di fare il salto sulla V1 blu vuol dire che passa da 4 a 6, e quindi la frazione di vapore che io perdo su questo salto è maggiore rispetto la frazione di vapore che io perdo nella V1 verde perché faccio da 8 a 9 → dal punto di vista dell'efficienza è più conveniente passare dalla verde

.....

Ci può essere anche il caso in cui è presente un'utenza che lavora ad una temperatura molto bassa, e quindi potrei non riuscire a raggiungere questa temperatura con un unico circuito frigorifero, allora posso adottare la soluzione dei circuiti concatenati

CIRCUITI CONCATENATI

Non avrò più un unico impianto frigorifero creato da tre circuiti idraulici differenti, ma vado a concatenare più fluidi frigoriferi a temperature di freddo che scalano, quindi avrò più circuiti collegati fra loro che man mano lavoreranno ad una temperatura sempre più bassa fino a raggiungere quella desiderata dall'utenza.

Soffermandoci sull'utenza (circuito in rosso) avrò l'evaporatore dell'utenza con il suo compressore, in seguito ho condensatore e valvola di laminazione, si usa l'aria perché è compatibile con temperature molto basse; il problema però è che non posso usare l'acqua di raffreddamento su questo circuito perché non riesce a far condensare l'aria, allora l'aria che fa il suo giro nelle 4 fasi, arriverà allo scambiatore dove ho da una parte l'aria e dall'altra un fluido frigorifero (esempio metano) dove, all'interno dello scambiatore, questo viene fatto evaporare → quindi ho uno scambiatore di calore che da una parte mi fa condensare il fluido frigorifero a livello termico più basso (l'aria) e dall'altro mi fa da evaporatore del circuito frigorifero a livello termico più alto (metano).

La parte di circuito condensante che nel classico circuito di ammoniaca, era l'acqua di condensazione, qui è sostituito da un'altro impianto frigorifero.

classico al punto 3 aumentavo la pressione con il compressore meccanico e poi dal punto 3 scendevo direttamente al 6, qui invece devo aumentare la pressione del vapore che ha ceduto il freddo fino al punto 5 e poi condensare → L'aumento di pressione lo faccio attraverso il ciclo 3-4-5: la portata entrante 3 viene immessa nel eiettore dove si incrocia con la portata 1, ovvero una portata molto più grande di vapore compresso che mi va ad aumentare la pressione del punto 3 (mentre quella del punto 1 diminuisce) fino al punto 6. Per avere le condizioni di vapore traente del punto 1, devo comprimerlo precedentemente e lo faccio attraverso il generatore (ecco quindi che si passa dal punto 6 alla portata 1) spendendo combustibile (mentre nel caso classico il compressore meccanico spendeva energia elettrica). Notare che l'energia che io spendo per alimentare la pompa e pompare il liquido, proprio perchè sto pompando un liquido, questa energia è trascurabile, perchè il grosso della spesa è nel generatore ovvero nel combustibile.

Perché un sistema di termo compressione piuttosto che non uno meccanico? Viene utilizzato il termo compressore quando il volume specifico del vapore saturo che esce da qua (dove?) è molto molto alto, il che vuol dire che richiederebbe un compressore molto voluminoso e dispendioso. ecco che risulta più conveniente spendere in combustibile piuttosto che energia elettrica, ed usare lo stesso vapore e frigorifero come fluido traente.

Un circuito frigorifero di questo tipo potrebbe usare l'acqua ma dobbiamo tenere conto delle condizioni del punto triplo dell'acqua, perchè la temperatura di evaporazione si aggira intorno ai 4-5°C: più bassa della temperatura ambiente ma non sotto 0°.

POMPE DI CALORE

Ritornando alla configurazione classica di prima, parliamo di pompe di calore: quando il calore che trasferisco a quel fluido non viene disperso in atmosfera o in ambiente ma viene utilizzato per riscaldare altre parti di impianto come ufficio e palazzine. Per far questo devo pompare una quantità di calore da una sorgente a bassa temperatura (utenza) ad una sorgente a più alta temperatura (per gli uffici l'acqua dev'essere 35°C, mentre l'utenza lavora a -30°C) e non ho speso nulla in più rispetto al refrigerare l'utenza.

Se prendo il discorso di coefficiente di prestazione COP del ciclo frigorifero + pompa di calore (ovvero calore del condensatore utilizzato) Ottengo un coefficiente di prestazione che pari al coefficiente di prestazione dal circuito equivalente frigorifero + 1, perchè non è più il calore di evaporazione / l'energia spesa, bensì è il calore di condensazione / energia spesa. Quindi dov'è possibile è più conveniente creare la pompa di calore: molto spesso si utilizza per l'effetto geotermico, ovvero il fluido frigorifero viene fatto passare anche a -50m sotto terra per poi mandarlo in alto al vicinato.

Quello che vediamo successivamente è la dimostrazione di come varia il coefficiente di prestazione della pompa di calore (riferito al ciclo di carnot) rispetto alla differenza tra temperatura del condensatore e di evaporatore del ciclo classico; ovviamente c'è un limite legato al salto che il fluido frigorifero deve fare tra condensatore ed evaporatore (quindi dipende dal materiale scelto), il limite della pompa di calore è legato proprio a questo discorso, che nella pratica di fatto non si riesce ad andare oltre più di tanto (se quindi questo è il valore teorico non ci si allontana più di tanto).

Un altro esempio di pompa di calore riferita alla temperatura di estrazione, ovvero quella temperatura alla quale estraggo il calore e la temperatura del condensatore chiamata come temperatura di eiezione in quanto il calore viene restituito → molto utilizzato nel riscaldamento civile (Soprattutto con una tipologia di tipo radiativo a serpentina che bastano 35 ° dell'acqua per avere una temperatura dell'ambiente di 22 °, mentre con i classici termosifoni l'acqua deve essere a 60 °).

Un altro esempio è l'accoppiare una pompa di calore con un motore a combustione: qui abbiamo il nostro motore a combustione interna che deve essere raffreddato, è accoppiato con il compressore (il motore lo fa girare) che gioca sull'impianto frigorifero → qui addirittura abbiamo un ciclo con espansione, vuol dire che faccio espandere prima di entrare nell'evaporatore e produzione di corrente elettrica, il condensatore va a giocare con l'acqua di raffreddamento del motore.

IMPIANTI FRIGORIFERI AD ASSORBIMENTO

soluzione diluita e la soluzione concentrata, perché facendo scambiare calore fra queste due correnti massimizzo il calore spesso scambiato e quindi l'efficienza globale.

In seguito, c'è il bilancio termico globale del sistema con il rispettivo coefficiente di prestazione $COP = \frac{\text{calore di evaporazione (quanto freddo riusciamo a produrre)}}{\text{calore di generazione (a quanto dobbiamo bruciare per rigenerare la soluzione)}}$.

Per generare calore Carrè utilizzava carbone, mentre oggi si utilizzano scambio termico: quindi invece di bruciare qualcosa, attraverso la serpentina viene mandato il vapore (come ad esempio il cascame termico), senza produrre il vapore appositamente per questo impianto ma a derivante da un'altra parte dello stabilimento.

L'impianto con il bromuro di litio viene utilizzato per produrre quella che si chiama CHILLED WATER o acqua fredda che intorno ai 7-8-9°C ovvero un'acqua molto fredda, non è refrigerante ma è raffreddante, usata per mantenere la temperatura intorno ai 10° → IMPIANTO DI YORK

PROBLEMATICHE ACQUA-BROMURO DI LITIO

La prima problematica è che il bromuro di litio cristallizza quindi devo controllare molto bene le condizioni per non farlo cristallizzare.

Due fattori positivi invece sono che il bromuro di litio non è volatile e non è tossico, ha inoltre un coefficiente di prestazione abbastanza elevato 0.7 e possiamo produrre fino a temperature intorno ai 3°C.

Una seconda problematica è proprio legata a questi gradi di freddo, perché non si può andare sotto gli 0 °C con un pianto ad assorbimento acqua bromuro di litio.

Una terza problematica è legata alle condizioni di sottovuoto molto spinto, perché lavorando con acqua come acqua frigorifero sono legate alla caratteristica di avere una pressione molto bassa per avere un fluido refrigerante fino ai 3-5°C (Con tutte le problematiche legate al vuoto quindi giunzioni perfette non ci devono essere perdite e nè infiltrazioni).

→ Se devo lavorare ad una temperatura più bassa ad esempio fino a -50 allora posso usare un impianto con soluzione acqua – ammoniac

Un po dopo vediamo un impianto industriale di litio-Bromo (impianto York), è un impianto abbastanza compatto, c'è sempre la parte alta con generatore e condensatore e la parte bassa dove c'è la parte dell' assorbitore (con un vuoto molto spinto).

IMPIANTO YORK: In precedenza invece c'è un impianto per la produzione della CHILLED WATER, nel fascio tubiero abbiamo l'acqua fredda, mentre nello shell c'è quell'acqua che evaporando mi produce il freddo (CHILLED WATER) ed arriva dal condensatore. Il vapore viene poi mandato nella parte con vuoto spinto, entra qua dentro dove c'è la soluzione marrone ovvero la soluzione concentrata di litio-Bromo, questo incontro tra le 2 portate fa in modo che il litio-bromo ad sorba il vapore e quindi diventa una soluzione diluita → nel far questo, visto che comunque l'assorbimento è una reazione che avviene con generazione di calore, abbiamo una serpentina (cooling water) che mi tiene sotto controllo la temperatura dell' assorbitore. La soluzione diluita che in gergo si chiama WEAK ACQUA viene pompata e mandata nella generatore di calore ovvero nella parte più alta pressione (boiler), avrò una serpentina dove mando del vapore (immissione di calore nel sistema) e mando quest acqua che deriva da sotto ed in questo modo vado a ri-concentrare la soluzione di bromuro di litio (STRONG-ACQUA), perché l'acqua sta evaporando e viene raccolto e mandato al condensatore → regolando la portata di vapore immesso nello scambiatore regolo rispettivamente anche a portata di vapore generata → Il vapore dell'acqua evaporata lo mando al condensatore dove avrò la famosa acqua di raffreddamento che entrando fa condensare il vapore; notiamo anche che la stessa acqua viene mandata all'assorbitore per tenere sotto controllo la sua temperatura → l'acqua condensata farà un salto di pressione e viene mandata nell' evaporatore; la portata di questo vapore che ci serve per regolare la quantità di STRONG ACQUA (sol concentrata) è regolata in base alla temperatura dell'acqua che io devo raffreddare: quindi avrò un sensore di temperatura qui che misura l'acqua che voglio raffreddare, ed in funzione di quella temperatura a decider ho la quantità di vapore da mandare nel boiler per concentrare la soluzione e far evaporare l'acqua nel boiler.

indietro e viene spezzata in due (grazie ad un buffer), per cui una parte viene rimandata indietro all'assorbitore e l'altra parte viene mandata al secondo generatore di vapore e continua la concentrazione; la soluzione concentrata viene poi mandata allo scambiatore di calore e mescolata alla soluzione di Bromuro di litio e risulterà concentrata in uscita e a bassa temperatura. Semplicemente il lavoro del generatore viene spezzato in due, sfruttando due diversi livelli termici di temperatura, la miscela complessiva di soluzione concentrata che rientra all'assorbitore è di fatto un mix della soluzione concentrata che esce dal primo generatore e di quella più concentrata che esce dal secondo generatore, ecco perché vediamo questi arancioni di intensità diversa.

Il meccanismo è analogo al precedente ma con la differenza che il generatore viene spezzato in due, la motivazione può essere perché a volte si ha a disposizione diversi cascami termici e quindi sfrutto quel potere calorifico ma con una portata non sufficiente per fare il salto energetico, quindi lo spezzo.

IMPIANTI AD ASSORBIMENTO DI AMMONIACA

In questo caso il fluido refrigerante è l'ammoniaca, quindi la parte refrigerante è analoga ad un impianto meccanico: in uscita dal condensatore, qui un buffer semplice mi spezza in due la portata di ammoniaca liquida, una parte viene mandata alla laminazione (abbasso la pressione) e poi all'evaporatore (proprio come per i meccanici), esso sarà collegato al circuito di salamoia che trasferirà il freddo all'utenza. Poi esco dall'evaporatore con una portata di ammoniaca completamente gassosa che dovrò riportarla alle condizioni di partenza: nel caso meccanico era fatto dal compressore con spesa in energia meccanica, qui invece vado ad utilizzare il principio dell'assorbimento. Tenuto conto che come al solito, nella valvola di laminazione una parte dell'ammoniaca vaporizza, quindi il 100% di portata liquida che mando nella valvola, una frazione evapora e dunque non lavorerà, però il 100% della portata liquida che mando all'evaporatore sarà tutta gassosa, questa la mando in un assorbitore: faccio avvenire la reazione di assorbimento usando la WEAK-UP WATER, ovvero una soluzione acquosa di ammoniaca; siccome l'ammoniaca è un gas che si discioglie molto bene in acqua allora faccio avvenire la reazione di assorbimento dell'ammoniaca gassosa derivante dall'evaporatore, in una soluzione di ammoniaca → la soluzione acquosa si concentra di ammoniaca STRONG ACQUA (le condizioni di WEAK e Strong dipendono solo da come lavora l'assorbitore).

NB. La reazione di assorbimento dell'ammoniaca in acqua è una reazione molto ESOTERMICA, quindi devo controllare la temperatura dell'assorbitore mandando dell'acqua (circuito verde) che è la stessa acqua di raffreddamento che avevo mandato nel condensatore per far condensare l'ammoniaca, dopo l'assorbitore la mando a raffreddare. La soluzione di Strong acqua entra in un recuperatore di calore dove scambia calore con la Weak acqua (in maniera analoga alle due soluzioni strong e weak del Bromuro di litio) e poi ho una colonna di distillazione: questa è alimentata dalla strong acqua e all'interno dovrà separare l'ammoniaca gassosa che finirà in testa (100% gassosa) e manderò al condensatore così sono in grado di ricominciare il ciclo frigorifero, mentre in coda avrò la soluzione weak di ammoniaca molto diluita che andrò poi ad alimentare all'assorbitore. Quindi al posto del compressore meccanico o una colonna di distillazione, come funziona? Fornendole calore riesce a strappare l'ammoniaca gassosa in testa, infatti vediamo che è in coda c'è un bollitore dove io mando vapore e proprio in questo punto entra la weak acqua viene fatta bollire viene fatta bollire quindi una parte rimane in fondo alla colonna e una parte va all'assorbitore; devo dunque determinare la portata di ammoniaca che mando all'evaporatore andando a dimensionare in base all'impianto frigorifero ovvero quanto freddo mi serve all'utenza, poi giocherò sulle concentrazioni di weak e strong acqua da mandare all'assorbitore ed infine dimensiono la colonna di distillazione → dicevamo che la colonna di distillazione ha bisogno di vapore in coda, mentre in testa c'è il famoso RIFLUSSO DI TESTA e quindi ecco che dal condensatore in testa alla colonna dove vado a confessare i vapori di ammoniaca che ho strappato, una parte di questi limando il ciclo frigorifero e l'altra parte li ributto in colonna per il corretto funzionamento della colonna stessa.

Dunque in questo caso per produrre freddo, la spesa è concentrata nel vapore che io mando al bollitore della colonna, poi ci sarà una pompa che spinge la strong acqua in colonna e bilancia le pressioni, però abbiamo visto che il consumo della pompa è trascurabile rispetto al bollitore.

Perché questa soluzione potrebbe essere conveniente nonostante le complicazioni della colonna?

Tutto si basa sull'utilizzo del cascame termico o di vapore derivante da altre lavorazioni in impianto. Abbiamo definito il cascame termico come quella portata di vapore residuo uscente dal sistema di cogenerazione, prima di mandarlo a

parte allo stripper. → Aggiungo quindi una colonna di distillazione in più rappresentata dallo stripper ed un assorbitore in più.

In seguito il diagramma con molte linee e il diagramma di Equilibrio delle soluzioni acquose acqua-ammoniaca che serve per gestire la zona di distillazione e poi giocare sull'assorbitore: strong e weak acqua. Questo diagramma è analogo al diagramma delle soluzioni di bromuro di litio visto in precedenza. Dunque, per gestire un impianto di questo tipo dovrò utilizzare il diagramma di Mollier per la parte frigorifera ed il diagramma di equilibrio delle soluzioni acquose acqua-ammoniaca per gestire la parte non frigorifero ovvero le colonne di distillazione. Qui avrò la percentuale di ammoniaca nel liquido saturo e andrò a leggere tutti i dati che mi servono come le calorie che necessito, le temperature e le pressioni in gioco per dimensionare l'impianto.

La tabella seguente serve per paragonare un impianto singolo con un impianto a due stadi, in funzione della temperatura dell' evaporatore, mi dà quali sono le pressioni e la temperatura di vapore piuttosto che le potenze specifiche ed il consumo di acqua che serve per tenere sotto controllo le temperature sia il condensatore che nella zona dell' assorbitore. Ovvero fino a che temperatura di freddo posso arrivare nell evaporatore nell impianto scelto.

Quello che possiamo vedere successivamente sono i valori derivanti dalle tabelle precedenti e posso vedere come variano la portata di vapore il consumo di acqua mettendo a confronto un impianto singolo con una due stadi, prendendo come riferimento la temperatura di freddo all evaporatore. Possiamo notare che all'aumentare del livello del freddo, tutti questi valori aumentano -> ovvio, perché più abbassa la temperatura e più devo consumare perché è più difficile generare il freddo. I colori sono gli stessi per i parametri fra stadio singolo e doppio stadio, ma vediamo che i valori sono migliori per l'impianto a due stadi → quindi nonostante la complicazione ulteriore impiantistica, a livello di gestione e di efficienza mi fa consumare meno vapore, quindi più efficiente rispetto a un singolo stadio (soprattutto se devo spingermi a temperature basse).

Il diagramma temperatura vs concentrazione di ammoniaca da cosa deriva questo? deriva dal diagramma visto in precedenza di equilibrio dove per le miscele acqua-ammoniaca, sull'asse x avremo la percentuale di ammoniaca ovvero la concentrazione, e sull'asse y la temperatura, mentre le curve sono le condizioni termodinamiche (livelli di pressione) della nostra soluzione, il colore diverso della curva rappresenta l'apparecchiatura.

Solitamente abbiamo un limite di temperatura chiamata TA legata alla temperatura dell' assorbitore, quindi nel momento in cui nell assorbitore faccio assorbire la ammoniaca che ha ceduto le frigorie con la weak acqua per produrre strong acqua → essendo un'azione altamente esotermica dobbiamo controllare quella temperatura mandando dell'acqua di torre → questo determina la temperatura di lavoro dell' assorbitore. Quindi per mantenere costante la temperatura dell' assorbitore, dobbiamo tenere presente non solo la temperatura dell'acqua di torre ma anche la portata di ammoniaca da raffreddare che mandiamo, ricordiamoci che quest'acqua (di torre) la utilizziamo dapprima nel condensatore per la produzione di ammoniaca liquida e poi dopo va nell'assorbitore, e addirittura nei due stadi, entra prima nell'assorbitore a media pressione e poi in quello di bassa pressione. Quindi fissato TA ovvero la temperatura dell' assorbitore, tiriamo una linea orizzontale ed andiamo ad incrociare diverse soluzioni (coppie) e poi scegliamo quella che, ad esempio è alla pressione P1 cioè la pressione legata al bollitore → In funzione della portata di vapore posso trovare quanto giocare tra bollitore ed assorbitore; quindi se ad esempio io guardo qui e mi fermo su questo livello di pressione alla quale lavora la colonna di distillazione, sarà veloce e semplice trovare qual è il gioco che posso fare: P1 della colonna di distillazione mi gioca il salto che posso fare fra la colonna di distillazione e la pressione alla quale io faccio avvenire l'assorbimento e quindi produco il freddo. Dalla colonna di distillazione poi tirò giù la pressione e qui avrò la assorbimento, se considero quel rettangolino questi due punti mi distinguono le 2 concentrazioni di strong acqua e weak acqua legate alla pressione P1 ovvero alla temperatura alla quale io produco il freddo. Se la pressione P1 alla quale io produco il freddo non è abbastanza bassa per la mia utenza e voglio lavorare dunque ad una temperatura più bassa, ad esempio invece di lavorare a -10 voglio arrivare a -20 e supponiamo che i -20 corrispondono alla P2 (perché più abbasso la temperatura si ottiene un freddo più intenso) dovrò andare ad incrociare la temperatura dell' assorbitore con questo nuovo livello di pressione più basso P2; quindi il ciclo che prima giocava alla pressione P1 si abbassa la pressione P2, ovvero tra la temperatura della colonna di distillazione ed il nuovo livello di pressione alla quale io devo aprire la valvola di laminazione per scendere al livello di pressione più bassi quindi ad una temperatura più fredda. → questo mi comporta cambiare i valori delle concentrazioni delle due soluzioni strong e weak acqua per far lavorare il mio sistema

% di saturazione e umidità relativa: tenuto conto di quali sono le frazioni molari del vapore y , e i rapporti molari Y -> avendo dunque la percentuale di saturazione (quando noi vogliamo andare a saturare l'aria, dipende dalla temperatura), abbiamo l'umidità relativa: il quantitativo di acqua rispetto la temperatura di bulbo secco avranno delle differenze fra curve di saturazione e le curve dell'umidità relativa.

Umidità assoluta: contenuto effettivo di vapor d'acqua rispetto alle moli di aria

Tensione di vapore dell'acqua che in funzione della temperatura

Come calcolare il volume umido volare ed il calore specifico umido riferito alle moli di aria secca DA (dry air) → Quanto vapor d'acqua riesco a far contenere dentro quella portata d'aria

Come calcolare la entalpia di una miscela aria-vapore

Temperatura di bulbo secco: è la temperatura dell'aria in condizioni secche (no umidità no acqua)

Temperatura di bulbo umido: è la temperatura di un termometro che ha un bulbo ricoperto da una garza e la garza è umida perché è a contatto con l'acqua (WT) → Il termometro legge le condizioni stazionarie ovvero quando il bulbo raggiunge le condizioni di equilibrio esposto ad una corrente veloce di un'area umido. → quindi la differenza tra bulbo secco bulbo umido ci dà il quantitativo di umidità in quella corrente.

Tenuto conto del trasferimento di calore del trasferimento di materia e facendo dei bilanci arriva a calcolare il rapporto psicrometrico ovvero rapporto che c'è fra lo shmit e il frath elevato ai 2/3, Il rapporto rimane costante e quindi la pendenza della retta (ovvero i coefficienti di scambio) rimane sempre uguale, quindi quando c'è aria e liquido e non solo acqua.

Concetto di saturazione adiabatica, sempre effettuata in questo tipo di impianti: partendo dalla definizione di bulbo umido e dal rapporto psicrometrico (quindi i rapporti tra i coefficienti di scambio di calore e di materia per un sistema a vapore) ci permettono di definire le rette di saturazione adiabatica, ovvero quando voglio andare a saturare l'aria nell'impianto di condizionamento (e quindi siamo nella condizione di umidità relativa non 100% e e voglio arrivare al 100%) vuol dire che arriva ad avere la temperatura di saturazione adiabatica coincidente con la temperatura di bulbo umido.

Nel diagramma americano notiamo una curva di saturazione per un sistema aria acqua, ed è quella che è devo usare per arrivare ad una saturazione adiabatica -> mi dice come devo muovermi sul diagramma per arrivare a saturazione, quindi il fatto che la temperatura di saturazione adiabatica corrisponda alla temperatura di bulbo umido mi permette di risalire lungo questa rete sempre indicate sul diagramma visto precedentemente -> quindi riesco a muovermi dalla curva di umidità relativa alla curva di saturazione.

A che cosa serve un acqua di raffreddamento in uno stabilimento? È un'acqua che porta via calore, la utilizziamo prevalentemente nel condensatore nell'impianto frigorifero perché ci serve per condensare il fluido frigorifero prima che questo entri nella valvola di laminazione. Utilizzo dunque dell'acqua di torre o di raffreddamento con una portata consistente che porta via calore e quindi l'acqua si scalda e mi permette la condensazione del fluido frigorifero.

Con un acqua di raffreddamento solitamente il DeltaT massimo che questa portata di acqua può assorbire si aggira fra i 10 - 12 °C (cioè è la temperatura che riesco a portare via dall'altra parte), questo vuol dire che ho una limitazione è che non riesco a raffreddare più di tanto ok mi serve o una temperatura più bassa oppure una portata più alta. Siccome però io ho disposizione un valore più o meno limitato di temperatura ma illimitato di portata d'acqua, allora per le torri evaporative di raffreddamento si utilizza una portata d'acqua molto molto grande.

Lo scambio a livello del condensatore è sempre uno scambio indiretto (tipo shell and tube) e l'acqua di raffreddamento non andrà mai in contatto con quello che devo condensare → questo vuol dire che l'acqua rimane pulita, fresca (entro a 16 -18°C) ma si scalda quindi invece di sprecarla la raffreddo con le torri evaporative per poi ritornare al condensatore. Tendenzialmente quindi utilizzo sempre la stessa portata di acqua all'interno dello stabilimento per non avere dei consumi esagerati.

Che tipologie di acqua posso utilizzare? Se ho la fortuna di avere uno stabilimento vicino al mare posso usare l'acqua Marina, anche se a tutta una serie di problematiche legate alla salinità ed alla sua flora Marina e quindi questo è l'unico

accentua molto di più il potere evaporativo dovuto al contatto aria-acqua, quindi il consumo è legato all'auto-raffreddamento è accentuato rispetto al caso del bacino a spruzzo → questo si traduce in un reintegro dell'acqua molto più elevato.

Le torri, dal punto di vista macroscopico, possono essere classificate in :

1. torri a tiraggio naturale (a sinistra): hanno una forma camino, tubo Venturi, in cui sfruttano il tiraggio naturale dell'aria e quindi non devono sforzare la portata di aria nel risalire lungo la torre
2. torri a tiraggio meccanico (a destra): ho questi cubi in cui vado a sforzare meccanicamente la portata dell'aria nello attraversare la torre stessa e quindi il contatto aria-acqua per favorire la evaporazione.

Un'altra classificazione viene redatta in base a come si incrociano i flussi di aria e di acqua:

1. flussi incrociati: solitamente tipici del tiraggio meccanico -> i due flussi incrociandosi saranno perpendicolari l'uno con l'altro
2. flussi controcorrente: come se si scontrassero -> tipici del tiraggio naturale

Dobbiamo notare che per far avvenire l'evaporazione devo ricreare un contatto intimo tra acqua e aria: sto dunque scambiando due proprietà -> il calore e la materia, perché parte dell'acqua evapora ed entra nella portata di aria, quindi la mia aria si arricchisce di vapor d'acqua ed è per questo che mi servono i diagrammi psicrometrici perché mi danno le caratteristiche delle miscele aria-liquido → quindi quello che vado a scambiare è entalpia ovvero calore e materia insieme: questo rappresenta uno dei pochi sistemi nell'ingegneria chimica che è un doppio scambio di proprietà (massa e calore), ecco che il calore e la forza spingente che mi permette la evaporazione dell'acqua in aria.

Tendenzialmente le torri a tiraggio naturale sono di enormi dimensioni ($h > 100m$) e sono tipiche degli impianti nucleari e sono più utilizzate in Europa, mentre quelle a tiraggio meccanico sono più piccole ($h < 35m$) e più utilizzate nel Nord America. Di solito entrambe le torri sono caratterizzate da un pennacchio bianco di "fumo" che non è non tanto che aria in condizioni sature di acqua, quindi quando esce il vapor saturo condensa in queste goccioline finissime e compare questa nuvola bianca -> è umidità

Come funzionano?

Tiraggio meccanico: all'interno del sistema ho un riempimento grazie alle bocche laterali, in cui l'aria entra su tutta la circonferenza (in realtà in alcune storie tiraggio meccanico più piccola potremmo avere solo due ingressi diametralmente opposti) dal basso e sale grazie al ventilatore posto sulla parte alta della torre che tende a risucchiare in su l'aria ed estrarre la portata di aria scambiante dalla circonferenza sottostante il ventilatore. L'acqua calda raffigurata in rosso, entra nella parte alta della torre ed è fatta cadere a pioggia sul riempimento che serve semplicemente per spalmare l'acqua e creare questo velo sottile che facilita la evaporazione, perché sto aumentando l'area di contatto fra l'acqua che scende e l'aria che sale. Infine raccolto sul fondo della vasca l'acqua raffreddata e vado a espellere l'aria in cima alla torre arricchita dall'umidità derivante dall'acqua. Dato che le torri meccaniche sono molto compatte, sopra il canale di distribuzione dell'acqua calda c'è sempre un dispositivo che rimuove la nebbia (rete snebbiatrice o demister), questi sistemi sono completamente meccanici e servono per intrappolare le goccioline d'acqua (la portata di aria che entra rispetto alla portata di acqua calda è molto grande, quindi ha un effetto di trascinamento nei confronti dell'acqua) rimaste intrappolate nell'aria che salendo se le sta portando via e quindi per evitare di far fuoriuscire una portata di acqua troppo elevata si usano questi demister (con i suoi canali zig zag in cui l'aria deve intrufolarsi all'interno e dunque l'aria essendo più leggera sale e l'acqua sbattendo cadono) o una semplice rete di metallo a maglia fine che intrappola le gocce. C'è sempre questo dispositivo perché il ventilatore è messo molto vicino all'impaccamento che al canale di distribuzione dell'acqua calda e quindi anche il ventilatore potrebbe trascinare dell'acqua rinfrescata.

L'acqua fredda viene poi mandata alle varie utenze, si scalda e viene raccolta in una vasca di pompazione per poter regolare la pompa e quindi l'alimentazione, ovvero disconnettere in qualche modo il collegamento che c'è tra torre evaporativa e sistema utenze.

sono temperatura ed umidità: in estate l'aria è più calda ed umida mentre in inverno è più fredda e secca. quindi la torre evaporativa non lavorerà mai nelle stesse condizioni durante l'anno, ma lavorerà meglio durante l'inverno perché l'aria è più secca, più secca vuol dire che l'acqua evapora di più e la massima efficienza che si può avere dalla torre si avrà quando sfrutto tutta la evaporazione è possibile in funzione della temperatura alla quale l'aria si trova. Posso tradurla in altre parole: l'aria arriva a saturazione, ovvero per quella data temperatura dell'aria (tenuto conto qual è la temperatura di bulbo umido e bulbo secco, cioè del quantitativo di Umidità che contiene quando entra nella torre) la quantità di aria che può evaporare dipende elegia ta al massimo della saturazione che può raggiungere in quelle condizioni → più l'aria è secca ovvero il suo contenuto di umidità relativa è basso più acqua potrà evaporare e più potere raffreddante avrà nei confronti dell'acqua livello; ecco che in inverno in cui la temperatura è più fredda e più secca allora potrò far evaporare più acqua rispetto all'estate (perché il DeltaT tra aria e acqua è molto più basso). La cosa importante è che la torre esce sempre alle condizioni di saturazione -> ovvero l'aria in uscita dovrà essere sempre in condizioni di umidità relativa pari al 100% (98-100%), per quella data temperatura.

Dal punto di vista dell'efficienza della torre, se le condizioni dell'aria cambiano, la quantità d'acqua che io mando in torre avra una temperatura variabile una volta in uscita dalla torre. Su una torre naturale non ho nessuna possibilità di regolare l'aria, Perché una volta fissata la geometria della torre non ho nessuna modo per regolare la portata di aria tirata e neanche sulle condizioni dell'aria -> Quindi se mando sempre la stessa portata di acqua calda da raffreddare La conseguenza è che la temperatura in uscita di quest'acqua raffreddata sarà diversa e sarà raffreddata di più di meno secondo le condizioni dell'aria.

Ritornando quindi al discorso delle bacino o vasca di raccolta per scollegare la torre dal circuito dell'acqua dove questa va a raffreddare e quindi si scalda (utenze), questo mi permette di scollegare le 2 portate e di avere un minimo di regolazione sull'utenza, cioè se ho una portata di acqua più calda allora l'utenza ne manderò di più per raggiungere lo stesso livello di raffreddamento, e se ho una portata più fredda ne mando di meno.

Per il tiraggio meccanico invece, posso regolare la portata d'aria che attraversa la torre grazie alla regolazione del numero di giri della ventola e quindi posso richiamare più o meno aria in base alle condizioni atmosferiche; posso anche aumentare e diminuire l'inclinazione delle pale del ventilatore → ho dunque due modalità di intervento sulla fan: giri al minuto (rpm) e inclinazione pale. Forse è questa la motivazione del perché sono più usate dagli americani.

Abbiamo visto che la temperatura d'acqua raffreddata dipende dalle condizioni di umidità dell'aria e dalla sua temperatura. Inoltre devo tenere conto che l'umidità relativa è legata alla temperatura di bulbo umido dell'aria, quindi la temperatura teorica di raffreddamento che posso raggiungere sull'acqua è correlata alla temperatura di bulbo umido dell'aria, ovvero quanta acqua riesce ad essere assorbita dall'aria, quindi devo giocare con queste due temperature: temperatura di bulbo umido dell'aria e temperatura di saturazione → il massimo teorico che riesco a fare, ma nella realtà mi ci avvicino solamente. → si parla di GRADO DI APPROCCIO DI BULBO UMIDO DELL'ARIA: questo grado di approccio mi rappresenta il potere raffreddante della torre in funzione delle caratteristiche dell'aria; si riesce ad arrivare fino a 6-4 gradi di differenza, che in realtà è la differenza di temperatura fra l'acqua raffreddata e la temperatura di bulbo umido dell'aria.

Il grado di approccio dipende dal tempo di contatto tra aria e acqua, dalla superficie disponibile che mi dà il riempimento che metto dentro la torre e quindi tutta una serie di caratteristiche dimensionali, che mi permettono di creare questo film e di rompere queste goccioline: più il film viene rotto in goccioline, più riesco a migliorare il contatto aria-acqua e quindi magari riesco a scendere fino a 4 gradi.

Quindi per le torri e soprattutto quelle naturali, una volta dimensionate e costruite, quella è e quella mi rimane e non ho più nessun controllo, allora le torri naturali hanno un design tale che assicurare di raffreddare l'acqua fino ad una temperatura di approccio che sarà quella di temperatura di bulbo umido dell'aria di 4-6 gradi.

Da dove arriva questo discorso?

Dalla teoria della goccia: si assume la goccia circondata dall'aria. La differenza di entalpia fra aria e acqua rappresenta la forza spingente su questo processo, quindi immaginando la torre, vado a prendere uno strato piccolissimo ed immaginando che il processo come un'operazione adiabatica (ovvero senza apporto di calore dall'esterno), questo è

punto C, allora posso arrivare a determinare il volume minimo della portata di aria che mi serve per arrivare ad avere quella temperatura. Ottenuto il volume minimo in tutte le applicazioni viene maggiorato con un coefficiente di sicurezza pari a una volta e mezza del volume minimo e si ottiene quindi il volume di aria che io devo fornire alla torre per essere sicuro di raggiungere il DeltaT approach, ovvero di avere l'acqua raffreddata fino a 4-6 ° di scarto dal massimo ottenibile (temperatura di bulbo umido dell'aria).

Però andando a lavorare con una temperatura dell'aria nota, che utilizzerò come punto teorico per la progettazione, i gradi gli approccio non saranno mai quelli perché le condizioni dell'aria variano di giorno in giorno e di stagione in stagione e la torre lavorerà in modo leggermente diverso di ora in ora.

.....
*Come si determina il volume minimo? Determinate quelle che sono le condizioni dell'aria e quindi andando a tirare la tangente la curva di equilibrio e che passa per il punto c (ovvero la retta verde tratteggiata), questa retta avrà una pendenza data dalla portata del liquido che conosco * il coefficiente di scambio / volume minimo → quindi da questa pendenza mi determina il volume al minimo invertendo la formula e poi lo maggioro o con un coefficiente pari a 1,5*

Se le condizioni dell'aria variano di giorno in giorno quali condizioni uso per fare questi calcoli? Una volta fissata all'altezza della colonna la portata d'aria viene fissata, ciò che varia invece è il contenuto di umidità relativa e la temperatura dell'aria, non conviene prendere dunque il valor medio dell'aria ma devo prendere il valore peggiore per essere conservativi per avere il maggior contenuto di acqua che può essere evaporata, ovvero anche quando dovesse fare molto caldo e con una percentuale di umidità relativa molto alta, la torre deve comunque funzionare → meglio sovradimensionare, meglio avere un'acqua un po più fredda e poi regolare la portata nelle utenze che in acqua troppo calda.
.....

Facendo sempre riferimento al nostro grafico dove ho la curva di equilibrio rappresentante la retta di lavoro e supponendo di conoscere la portata del liquido che voglio raffreddare, le temperatura dell'acqua entrante ed uscente (ho una temperatura di acqua entrante voglio raggiungere un'altra temperatura più fredda di acquiescente) e conosco le condizioni dell'aria (temperatura di bulbo umido e bulbo secco ovvero quanta umidità quell'aria mi contiene, ho visto prima come ricavare la portata operativa (volume reale=2/3 volume minimo) e date le nuove condizioni dell'aria diverse dalle precedenti vado a determinare la nuova retta di lavoro → quindi rispetto al caso precedente, in questo caso avremmo la retta di lavoro con un'inclinazione leggermente diversa; da qui posso andare a determinare quello che prende il nome di TOWER CHARACTERISTIC dato dal rapporto VTC (parametro a dimensionato perché dipende dal calore specifico del liquido e dall'integrazione della temperatura rispetto alla variazione di entalpia), dato anche dal coefficiente di scambio di materia, area per unità di volume (m²/m³) * V* che mi rappresenta il volume attivo di raffreddamento per unità di superficie proiettato sul suolo (è come se prendessi il riempimento, ovvero metri quadri di riempimento che io vado a mettere nel volume della torre e li proietto sul suolo) e poi c'è ancora L* che è la portata superficiale di liquido (Portata dell'acqua / superficie). Una volta fissata dai portate questo parametro VTC non varia se le portate non variano, esso viene ottenuto per integrazione di questo contributo e posso anche ottenerlo per integrazione grafica: si va ad integrare la pendenza (data dal rapporto fra portata di liquido e portata di aria).

Per le torri a tiraggio meccanico, il VTC è compreso fra 0.5-2.5.

Per le torri a tiraggio naturale, il VTC ha un valore un po più grande.

Questo vuol dire che se la portata del liquido è costante ed ho progettato in condizioni le quali la retta di lavoro va da A a C, andando a cambiare quelle che sono le condizioni dell'aria la nuova retta di lavoro avrà una pendenza diversa ma devo passare sempre per il punto C perché devo mantenere il raggiungimento di quella temperatura di raffreddamento dell'acqua legata al DeltaT approach. Questo implica che il punto A ovvero il punto legato alla temperatura dell'acqua in ingresso si dovrà abbassare un pochettino.

Quindi se l'integrazione nel primo caso mi forniva questa variazione, nel secondo caso la sua integrazione grafica otterrà l'altra curva → vuol dire che il parametro caratteristico VTC diminuisce un po'. Dal VTC si può determinare poi l'altezza della torre e quindi decidere quali sono le dimensioni geometriche della torre.

vado a prendere un punto, ad esempio G a caso ma che appartenga alla retta D-F → per una cosa molto precisa il punto G deve stare vicino a F (mentre se voglio fare una cosa più grossolana e cavarmela con pochi punti chiudo scelgo un punto G un po' più lontano) → al punto G ripeto la stessa operazione di prima: mi muovo in orizzontale sulla curva di lavoro per intercettare il punto H, da questo punto sempre con la solita pendenza (slope) che dipende dai coefficienti di scambio, salgo su fino alla curva di saturazione e individuo il punto I, analogo al punto D → il punto I lo unisco tramite la curva verde al punto G e ottengo il nuovo pseudo raggio → per fare il terzo step e con lo stesso concetto di prima, muovendomi sulla retta I-G mi sposto un po' in base a quanto voglio essere precisa, decidendo il punto J → da qui ripeto la procedura per un'ultima volta con le seguenti lettere raffigurate K → slope → L e unisco con J. Si ripete questa operazione tante volte tanto più voglio essere precisa fino ad arrivare alle condizioni del punto L2 H2 (ovvero le condizioni di temperatura ed entalpia dell'acqua in ingresso).

La curva di Mickley non è nient'altro che l'unione di tutti questi pezzettini fino ad arrivare al punto finale L2 H2, avente la caratteristica di essere più spezzettata e stretta oppure meno spezzettata e larga in base al grado di precisione che voglio arrivare, ed è la curva che mi rappresenta tutta la variazione di temperatura e di entalpia dell'aria che entrando nella torre fa avvenire all'evaporazione: l'aria entra alle condizioni note F, si raffredda, poi si scalda, etc fino ad uscire alle condizioni di saturazione (98%). Questa curva ci permette di avere un'idea più precisa di cosa succede alla portata di aria dal momento in cui entra la torre, con il DeltaV totale per quanto riguarda la fase vapore e la DeltaT.

Quello che vediamo successivamente, sono quattro diverse curve di Mickley legate a diverse condizioni dell'aria in ingresso (D molto calda, A molto fredda): si nota come queste curve cambiano molto l'una dall'altra; il fatto di avere condizioni dell'aria in ingresso diverse, come un'aria con umidità relativa decrescente, oppure seguendo la linea più chiara si vede che noi non riusciamo a intercettare la saturazione mentre partendo dal punto a ci si arriva. Inoltre la curva A e in parte la B, essendo molto molto vicino alla curva di saturazione, se le condizioni dell'aria esterna sono molto umide allora possiamo avere la formazione di nebbia che in alcuni casi potrebbero essere critiche. Nei casi B C D abbiamo che l'aria si raffredda e poi si riscalda, mentre nel caso A in cui entra con un'aria molto fredda e umida, la temperatura dell'aria rimane costante e poi aumenta (non abbiamo il raffreddamento iniziale).

Giocando sui trasferimenti di calore all'interno della torre suddivisa in due zone: zona bassa, mediana ed alta e facendo riferimento alla Torre a tiraggio naturale dove la maggior parte dello scambio avviene nella zona bassa-mediana, mentre quella alta serve per far uscire l'aria; La variazione della temperatura dell'aria che prima diminuisce e poi aumenta, qui vediamo proprio come giocano i profili all'interfaccia liquido-gas, quindi nella parte media e nella parte alta (dove ormai il grosso del lavoro è stato fatto) e ci troviamo qui dove la temperatura dell'aria aumenta, qui vediamo come la temperatura del liquido diminuisce e vediamo come avvengono gli scambi di calore sensibile tra aria e acqua ed il calore latente del vapore: abbiamo che la temperatura dell'aria aumenta e la frazione di umidità che aumenta fino a raggiungere le condizioni di saturazione.

Nella parte bassa invece, ovvero da dove entra l'aria fresca che non ha ancora lavorato, la temperatura del liquido diminuisce perché l'evaporazione dell'acqua inizia subito, mentre la temperatura dell'aria prima diminuisce (curva che torna indietro proprio come dal diagramma di Mickley) e la frazione di vapore aumenta perché parte dell'acqua evaporando entra nella nell'aria.

La differenza fra la parte bassa ed alta della torre è legata allo scambio di calore sensibile, quindi è rappresentativo della curva di Mickley, che, tranne nei casi particolari in cui non vedo la diminuzione della temperatura dell'aria (come quando entro con un'aria molto ricca di umidità), in tutti gli altri casi (come con aria secca o mediamente secca) l'aria nella parte bassa della torre si raffredda e dunque diminuzione della curva della temperatura dell'aria e successivamente si scalda.

Parlando ora della operatività SOLO PER LE TORRI A TIRAGGIO MECCANICO:

Si usano delle correlazioni di tipo empirico, una per le torri a tiraggio naturale e una per le torri a tiraggio meccanico, che si basano sui concetti appena visti.

Per il tiraggio meccanico si utilizza una correlazione derivante da Wooz and Belz, viene usata per dimensionare e fissare le dimensioni geometriche e dopo a torre realizzata, per definire le condizioni di funzionamento, anche grazie all'utilizzo

deve raggiungere i 69 °F e questa ragnatela a queste inclinazioni proprio per determinare quella temperatura di uscita dell'acqua in uscita, grazie al DeltaT di raffreddamento (Twater in – Twater out): Nota la Tin ci sarà solo una coppia di raffreddamento Tout che mi soddisferà quella relazione; al punto F leggo che il DeltaT di raffreddamento è 16.5°C ed il punto F ha come Tout 77.5°C, quindi la differenza tra i due mi da proprio la Tin; se mi mettessi invece ad esempio in un altro punto diverso dal punto F, leggerò un DeltaT=20°C ed una Tout 78.5°F e quindi mettendole dentro la correlazione dovrò scrivere 20=94-78.5? no! Dunque, quel punto non è il punto giusto! Devo dunque provare tutte le coppie e trovare quello che mi verifica la temperatura iniziale secondo la correlazione appena vista.

Questo perché ogni punto presente sulla ragnatela mi mette in relazione uno specifico DeltaT di raffreddamento con la Tout, e quella specifica coppia sarà soddisfatta soltanto da una sola specifica Tin, quindi se io conosco la Tin, di tutti quei punti che stanno sulla retta di lavoro ci sarà solo una coppia che mi soddisfa quella relazione. Quindi quando tiro una retta di lavoro questa mi individua tutti i punti operativi della torre ma solo uno sarà quello reale che a coppia la Tin con DeltaT e Tout.

Finora abbiamo visto il caso di Portate di aria e di acqua costanti. Facciamo ora un'altra ipotesi: vogliamo mantenere costante la temperatura in uscita dell'acqua perché ad esempio ho necessità di raffreddare l'acqua in ingresso (sempre 94 °) alla stessa temperatura di uscita a 79° e quindi anche di mantenere costante il DeltaT =15°.

Abbiamo a disposizione una Torre a tiraggio meccanico, quindi posso modificare la portata di aria attraversante la torre variando il numero di giri delle pale del ventilatore e la loro inclinazione, avendo la FAN ho questo grado di libertà in più rispetto alle torri a tiraggio naturali. In questo caso per usare il nomogramma, devo mantenere il punto C quello che mi da il DeltaT raffreddamento pari a 15°F, Tin 94°, Tout 79°, quindi trovo il punto C; facendo perno sul punto C, che dev'essere mantenuto costante perché le condizioni dell'acqua non devono cambiare, vado a tirare una retta tenendo anche conto della temperatura di Bulbo umido pari a 71°F → riesco ad unire il punto C (condizioni dell'aria nota) con il punto G (condizioni dell'acqua nota) -> avrò la retta E con tratteggio azzurro sottile, noto che la pendenza è diversa dalle precedenti perché sto sforzando per avere sempre in uscita la coppia DeltaT – Tout costante → ora che ho la pendenza e il VTC rimane costante al valore visto in precedenza 1.4, perché questo tower characteristic è dato dal coefficiente globale di scambio*area di scambio e dal rapporto teorico L/G, quindi dipende dalle caratteristiche geometriche della torre, dunque una volta fissate, allora anche il VTC rimarrà costante → quindi il punto D è anch'esso fisso! Dunque a partire da quel punto D (caratteristiche geometriche costanti) traccio una retta parallela alla retta E, che andrà ad intersecare la ragnatela di rette operative, e la allungo fino ad intersecare il ramo verticale destro che rappresenta il rapporto L/G → determino il punto J: notare che prima al punto B avevo il rapporto fra le portate L/G=1 scelto da me, mentre in questo caso diventa un pochettino più piccolo di 1, ovvero 0.6, il che vuol dire che è variato il rapporto L/G ed in particolare G è aumentato e/o L è diminuito, ma in ogni caso G>L → questo mi dirà quindi di quanto devo cambiare le portate per mantenere costante il DeltaT.

.....
Ma il limite inferiore di G è 0,75!

Si ma 0.6 ci sta ancora... perché è un valore che riesco ancora a gestire (così ha detto)

Di fatto questo nomogramma permette in fase progettuale, fissato il DeltaT conoscendo la temperatura di acqua calda e di acqua fredda (conoscendo a quanto arriva l'acqua calda e la sua portata, e vogliamo ottenere un certo DeltaT di raffreddamento e dunque conosciamo il punto operativo dell'acqua nella ragnatela), scegliamo quelle che sono le condizioni operative peggiori dell'aria, cioè la temperatura di bulbo umido, e fissato arbitrariamente un L/G determino un VTC e dunque la geometria della torre, ho il punto D fisso, ma cambiano, ad esempio, le condizioni dell'aria si modificherà anche le condizioni dell'acqua, e dunque quanto varierà il DeltaT e conseguentemente la temperatura di uscita oppure se vogliamo mantenere le condizioni dell'acqua in uscita fisse (e lo si può fare SOLO con una torre a tiraggio meccanico perché posso variare la massa d'aria in ingresso), vado a vedere quanto devono variare le portate di L e G per avere quelle condizioni specifiche in uscita ed il DeltaT costante.

SOLO PER LE TORRI A TIRAGGIO NATURALE:

Noto il rapporto pari a 700, io conosco la portata di acqua entrante e quindi sono in grado di determinare quanto vale il Duty: dato quel valore di Duty entro dentro la sua formula e fisso un valore di efficienza (5-5.2) e determino quindi la dimensione caratteristica della torre (ho il diametro all'altezza e poi mi ricavo la seconda dimensione dalla relazione $D=2/3H$).

Ecco che il primo utilizzo del nomogramma e quello della progettazione iniziale della Torre a partire dalle caratteristiche dell'acqua entrante, del ΔT raffreddamento che voglio e dalle caratteristiche dell'aria.

Una volta invece che io costruisco la torre, il punto C rimane fisso (perché la portata rimane quella e il Duty rimane quello) ma cambieranno le condizioni dell'aria in ingresso e allora utilizzerò questo diagramma per andare a verificare quanto la torre è in grado di raffreddare nel momento in cui mi variano le condizioni in entrata dell'aria → ad esempio (cambiando slide), in estate le condizioni dell'aria hanno una temperatura di bulbo umido =64°F, e andrò a fissare il punto D che mi rappresenta le nuove condizioni dell'aria → dal punto D mi trasferiscono orizzontale fino sulla Transfer line → Poi unirò questo punto ho trovato con il punto c che è rimasto uguale al caso precedente (perché il rapporto $WL/DUTY$ non cambia) → quindi proverò una retta che è quella sopra tratteggiata, che sarà la nuova retta di lavoro della torre con una nuova pendenza → questa e incrocia la ragnatela dei ΔT -Tout toccando tutta una serie di possibili punti operativi di lavoro e quindi con lo stesso concetto di prima tra tutti quei punti ce ne sarà solo uno in grado di soddisfare la relazione ΔT -Tout considerato il mio punto T_{in} in ingresso: ad esempio se mi metto sull'estremo con un ΔT pari a 5° e una Tout raffreddata pari al 74°, sono compatibili con la mia T_{in} ? NO! Devo andare a tentativi fino alla soddisfazione della relazione, in questo caso il punto in verde: $\Delta T=8$, $T_{out}=77^\circ$.

In inverno quando le condizioni atmosferiche fanno sì che la temperatura dell'aria diminuisca avrò una $T_{WB}=44^\circ F$, ecc mi comporterò nello stesso modo andando prima in orizzontale sulla Transfer line, poi unendo quel punto con il punto C, sempre fisso, ed infine prolungherò la retta fino all'intersezione della ragnatela e andrò per tentativi a trovare la relazione che mi soddisfa le mie condizioni T_{in} → vedo una grossa differenza: nelle condizioni estive $\Delta T=7^\circ F$ mentre in quelle invernali è 16°F, ovvero in inverno la torre raffredda molto di più.

È per questo che nella fase di dimensionamento, utilizzo le condizioni estive, in modo da dimensionare nelle condizioni peggiori, così so che funzionerà sempre e passando all'inverno avrò risultati migliori.

CARATTERISTICHE DELLA TORRE A TIRAGGIO NATURALE

Le torri a tiraggio naturale hanno una geometria ad iperboloide di rotazione, con un'altezza massima solitamente intorno ai 120m (80-140m), hanno sempre fisso il rapporto fra diametro di base e l'altezza che è pari a 2/3 → il diametro della base è i 2/3 dell'altezza → proprio questo rapporto genera quel profilo di iperboloide di rotazione e che permette il tiraggio naturale.

Grazie all'apertura alla base, l'acqua viene fatta entrare nella parte semi-bassa della torre o comunque molto più in basso a quella che è la sua altezza (nel senso che c'è una grossa distanza dall'apertura superiore), poi la torre tendenzialmente è vuota (anche per facilitare la risalita dell'aria), il riempimento è posto nella parte bassa; l'acqua viene distribuita in una serie di canalini da questa tubazione che sale e mi partono una serie di canali a raggiera che poi mi fanno gocciolare l'acqua: lo sgocciolamento è ad AFFIORO, l'acqua cade sui riempimenti (una volta di legno, ora invece di cemento o plastica) con una conformazione a triangoli isosceli disposti su file sfalsate e con la punta rivolta verso il basso, per favorire la formazione di goccioline e massimizzare l'area di contatto aria-acqua → è proprio e solo la geometria della torre e la sua strutturazione che mi permette di avvicinarmi il più possibile alle condizioni di massimo raffreddamento ed avere dunque un grado di approccio più basso.

La portata massica dell'aria in uscita sarà sicuramente maggiore della portata massica dell'aria che entra, l'aumento del diametro in uscita aumenta la velocità della portata massica dell'aria che sta uscendo, perché l'aria entra con una certa $UR=100\%$ ed esce alle condizioni di saturazione o quasi perché accoglie il vapore evaporato dall'acqua.

Le dimensioni sono tali per ottenere l'effetto venturi per favorire la risalita dell'aria fino a 102 m/s (una grande velocità), e la forza spingente vista come ΔT è attorno ai 5-6mm di colonna d'acqua, poco ma sufficiente per spingere fuori

in grado di far evaporare un po' più di acqua (in depressione il potere evaporante dell'aria è maggiore) -> lo pago di più perché quel ventilatore farà più fatica ad estrarre l'aria umida (a livello di spesa di corrente elettrica) però è più efficiente (a livello di potere raffreddante).

Un'altra differenza fra i due tiraggi meccanici è l'apertura per l'aria: nel tiraggio indotto in cui ho un'apertura a 360° rispetto all'apertura laterale/laterali del tiraggio forzato, di fatto spingendo l'aria abbiamo molte più zone morte in quanto entriamo solo da due aperture -> sfruttiamo di meno il riempimento disponibile → questo si traduce in qualche punto di efficienza minore nelle torri forzate.

Inoltre se pensiamo al discorso della ricircolazione, tra le due torri patisce di più il forzato, perché il fatto di avere un tiraggio indotto questo mi spinge in verticale in alto l'aria satura ad una velocità molto maggiore rispetto al caso forzato, perché in questo caso spingo dentro l'aria secca e poi la umida sale ed esce ma ad una velocità minore perché non avrò più una ventola che la estrae da sopra, ma solo quella iniziale che la sta spingendo da sotto, allora quest'aria tende a stagnare lì nella zona e anche a ricadere in quanto più pesante e dunque potrebbe essere poi risucchiata all'interno della colonna e di non lavorare.

Dunque, fra le due si preferisce il tiraggio indotto per questi due motivi.

Poi c'è un'immagine di torri a tiraggio indotto molto compatte, create addirittura in vetroresina ed utilizzate sui tetti degli edifici per gli impianti dell'aria condizionata con tutti gli oggetti (motore che aspira, ecc).

Anche nelle torri meccaniche posso utilizzare la configurazione dei FLUSSI INCROCIATI, dove l'aria non viene immessa soltanto da sotto, ma viene fatta entrare su tutta l'altezza. In realtà queste torri hanno una geometria leggermente diversa: ricordano un tronco-cono rovesciato con parte più larga in alto e quella più stretta in fondo, in cui c'è una parte centrale vuota ed il riempimento che gira a 360° attorno alla parte vuota. Solitamente viene utilizzata con un tiraggio indotto, ovvero con il ventilatore in alto che spinge fuori l'aria satura. L'acqua calda viene distribuita in alto e scende a pioggia, mentre l'aria entra su tutta la lunghezza e il diametro della torre, quindi andiamo a creare un incrocio dei flussi, poi l'aria satura viene raccolta nella parte centrale e spinta fuori. Questa configurazione è leggermente più efficiente perché faccio incontrare l'acqua più calda con l'aria più fredda e viceversa nell'altro estremo. Infine l'acqua fredda viene raccolta sulla base della colonna e inviata alle utenze.

Successivamente c'è il particolare dei materiali di costruzione del riempimento: l'origine di questi materiali può essere molto differente, può essere in legno, plastica, metallo, cemento ed è legato alle dimensioni della torre, ma il concetto è sempre lo stesso: massimizzare l'area di scambio L-G. Poi possiamo avere delle disposizioni che ricordano le torri a tiraggio naturale, come quella a triangoli isosceli e l'equivalente di assi sfalsati l'uno con l'altro in modo che l'acqua gocciola da quello superiore a quello inferiore rompendosi e creando altre goccioline che poi rimbalzano successivamente sui piani sottostanti o delle barre, dei pannelli, che da una parte hanno il compito di assottigliare il film sottile di acqua e dall'altra di aumentare la superficie di scambio (o di contatto). I pannelli posso avere disegni o andature ondulate, piuttosto che essere piane o a nido d'ape ma comunque sempre con l'idea di aumentare l'aria di scambio.

In seguito, abbiamo il particolare di come l'acqua viene alimentata: tramite ugelli a gravità o ugelli pressurizzati. In questi ultimi abbiamo un tubo che spruzza e crea un velo a spruzzo che cade sul riempimento e la superficie di scambio inizia ad aumentarmi nel momento in cui lo spruzzo inizia a colare sul riempimento. Con l'ugello a gravità, il tubo dell'acqua calda arriva e con una specie di canale forato che raccoglie l'acqua calda e la fa gocciolare per gravità, dunque è proprio la gravità che crea un battente sui tubi di raccolta, e questi possono essere messi a raggiera nella parte alta della torre. Il concetto è sempre lo stesso: aumentare l'area di scambio e assottigliare il film -> dunque creo uno spruzzo.

uscire con un aria secca, e quindi non si vedrà più il Pennacchio bianco (PLUME) e quindi non cadranno più le goccioline per terra e ho risolto il problema.

Nella foto seguente vediamo una serie di torri meccaniche a tiraggio indotto in cui le torri centrali sono di tipo wet and dry e quindi hanno un Pennacchio decisamente più ridotto rispetto alle laterali, dove non è applicato questo sistema. La questione delle condizioni dell'aria lo vediamo bene nel diagramma psicrometrico aria-vapore dove abbiamo la curva di saturazione, all 1 entriamo con un aria molto secca e fresca (se ci troviamo in inverno sarà invece fredda) → L'aria si scalda fino alle condizioni 2 in uscita dalla torre, dove siamo in condizioni di saturazione e dove fuori c'è un aria molto fredda e quindi entriamo nell'area di supersaturazione dove si ha la formazione di questa nebbia; ma se noi al punto 2 dell'aria, prima di buttarla fuori, pensiamo di scaldarla un po', aumentandone la temperatura -> significa che ci stiamo allontanando dalla curva di saturazione e quindi buttiamo fuori l'aria nelle condizioni del punto 3, con un contenuto di umidità un poco più basso, tanto che, una volta trovata fuori, quell'umidità non condensa e non vediamo il Plume.

Dunque DRY sta per scaldare leggermente l'aria in uscita dalla prima torre inferiore per renderla un po più secca in modo da non formare il Pennacchio.

Come funziona? Questa che vediamo di seguito e la Torre a tiraggio indotto a flussi incrociati (ma in ogni caso vale per tutti e due): nella parte alta abbiamo l'ingresso dell'acqua calda, di lato l'ingresso dell'aria molto fredda dal basso → quindi qui abbiamo la parte WET: l'aria che incrocia l'acqua calda che si raffredda e abbiamo una zona umida → quindi usciamo da sopra con un aria satura (punto 2) → Dopodiché ci sono due tubazioni, che altro non sono delle tubazioni filettate calde (che possiamo scaldare con dell'acqua calda o del vapore) in cui l'aria umida che esce dalla WET station entra all'interno e si riscalda e la portiamo alle condizioni del punto 3 -> cioè lontano dalla curva di saturazione dopodiché viene buttata fuori e abbiamo risolto il problema del Pennacchio.

La prima motivazione da cui si è pensato di realizzare queste torri e per motivi di sicurezza sia dei lavoratori sia dei cittadini, mentre il secondo motivo, ed è quello per cui vengono utilizzate anche in estate, è l'assenza del Pennacchio bianco che può destare sospetto ad un occhio non tecnico (ecologisti oh cittadini non conoscenti che sia solo vapore).

.....
Possiamo utilizzare l'acqua calda che vogliamo raffreddare per riscaldare le tubazioni dell'aria satura uscente?

Si Solo se l'acqua è abbastanza calda da poter compiere tale lavoro, altrimenti si usa un circuito apposito (il che è quello più utilizzato)
.....

Nell'immagine seguente un sistema WET&DRY leggermente diverso: tiraggio indotto a flussi controcorrente in cui l'acqua calda entra e viene spruzzata sul riempimento, mentre l'aria molto fredda non saturata sale e sopra c'è il demister, quindi l'aria in condizioni di saturazione viene alimentata con la stessa aria fredda presa dall'esterno → quindi vado a giocare su un effetto di diluizione in modo da abbassarmi (grazie all'aria fredda dell'esterno mischiata con quella calda che sta lavorando all'interno) e spostandomi sulla verticale ed allontanarmi dalle condizioni di saturazione (rispetto al caso precedente riscaldavo e mi spostavo dalla curva di saturazione).

Un'altra possibilità è mischiare con quella esterna e scaldare un po' → In questo caso sarò ancora più sicura di allontanarmi dalle condizioni di saturazione. In tutti e tre i casi visti lo scopo è sempre lo stesso, ovvero quello di allontanarmi dalle condizioni di saturazione e quindi evitare la nebbia fermata all'uscita della torre.

Successivamente, parlando sempre delle torri no-plume, possiamo vedere quello che è il funzionamento nella stagione estiva e nella stagione invernale: abbiamo sempre il riempimento con l'acqua che si raffredda e ho delle serrande in alto che mi servono per far entrare l'aria esterna fredda e miscelarla con quella calda che già sta lavorando all'interno della torre → se l'eliminazione del Pennacchio è stata progettata solo per questioni di sicurezza allora in estate le serrande saranno chiuse (avrò il plume), invece se è stata progettata anche per questioni estetiche le serrande rimarranno aperte (non avrò il plume).

Posso eliminare il Plume anche dalle torri a tiraggio naturale aggiungendo aria fresca dall'esterno e miscelandola con quella che sta lavorando all'interno (si fa sempre solo questa configurazione), quindi più o meno a metà della torre

raffreddamento, con la torre evaporativa e per il ripristino dell'acqua; mentre invece di qui abbiamo il camino per eliminare i fumi di combustione dopo la caldaia con un sistema di filtraggio. Possiamo notare la differenza dei due pennacchi: uno non è inquinante mentre l'altro lo è se la ciminiera non è controllata opportunamente.

Dobbiamo accoppiare la turbina con la torre evaporativa perché nel bollitore io devo mandare dell'acqua e non un vapore, quindi vado a condensare il vapore esausto in uscita dalla turbina per poi entrare successivamente nel bollitore (perché la turbina espande ma ciò che esce è ancora vapore: cascame termico) -> questo lo mando a raffreddare con altra acqua (che a sua volta viene raffreddata dalle torri evaporative) e poi dopo in caldaia con quest'acqua raffreddata (non con quella delle torri!).

Riepilogando.

Le grandi differenze fra torre a tiraggio naturale e meccanico sono: dimensioni ($N \gg M$), forma (iperboloide di rotazione vs piccoli cilindri o cubi), riempimenti (solo in basso alla base ed il resto vuota vs tutto il volume), portata di aria in ingresso ($N \gg M$ ma N non regolabile mentre M si grazie agli rpm e inclinazione delle pale), presenza di sbrinatori (il drift o demister solo in M), problema di ricircolazione aria satura (no in N , possibile in M), reintegro dell'acqua e presenza di drift eliminators (soprattutto in M , perché catturata anche nei demister).

LEZIONE DEL 22/11/2016

ESERCITAZIONE TORRI EVAPORATIVE

LEZIONE DEL 06/12/2016

ESERCITAZIONE IMPIANTI REFRIGERAZIONE

LEZIONE DEL 12/12/2016

ESERCITAZIONE IMPIANTI REFRIGERAZIONE CONCATENATI

LEZIONE DEL 13/12/2016

IMPIANTI DI ARIA CONDIZIONATA – CAP 6

La prima parte sono cose già viste in altri capitoli.

Che cosa si intende per processo di condizionamento dell'aria? Il condizionamento dell'aria è un processo tale per cui l'aria di un ambiente viene opportunamente modificata in modo da controllare la temperatura e il grado di umidità, per permettere alle persone che vi sono all'interno di lavorare in una condizione di benessere fisico e poter svolgere continua attivamente il proprio lavoro, ma anche per il benessere delle apparecchiature che sono presenti: ad esempio i computer sviluppano parecchio calore dunque l'ambiente deve essere condizionato per eliminare il calore prodotto, alcuni analizzatori lavorano solo in determinati range di temperatura ed umidità, in alcuni ambienti di lavoro possono essere presenti delle sostanze chimiche rilasciate dai processi di lavoro ed il loro valore di concentrazione deve essere controllato e mantenuto al di sotto di certi valori limite per garantire la salute delle persone → dunque il processo di condizionamento dell'aria serve per mantenere in buono stato non solo le persone ma anche l'attrezzatura.

Il benessere della persona dipende dalla sensazione fisica che essa avverte nel momento in cui vive nell'ambiente; tutti noi emaniamo il proprio calore metabolico dovuto ai processi metabolici interni ed in più produciamo del calore legato all'attività che stiamo svolgendo (una persona in movimento produrrà più calore di una persona che sta seduta) e tutto questo calore va smaltito per evitare il surriscaldamento delle persone che lavorano (anche i vestiti variano la sensazione di benessere ed il calore scambiato) → dunque il benessere della persona è influenzata da diversi fattori.

In seguito vediamo il diagramma psicrometrico dell'aria umida (diagramma di mollier) che riporta il quantitativo di umidità che l'aria può assorbire in funzione della temperatura -> sull'asse x la temperatura e sull'asse y il contenuto di

COMFORT LINES che non sono nient'altro che delle curve di benessere e sono suddivise in base a se le persone stanno eseguendo un'attività limitata, media o alta e quindi di fatto quanti watt vengono prodotti dalle persone (da 100 a 300W), in funzione della temperatura dell'aria ed è la velocità dell'aria → ecco che di nuovo, grazie a questi grafici posso andare ad individuare, in base alla tipologia di persone alla tipologia di lavoro che la persona stai eseguendo, qual è la temperatura effettiva avvertita di benessere.

Tra i fattori che dobbiamo tenere in considerazione per la progettazione un impianto di condizionamento c'è anche l'aspetto dell'umidità relativa: se siamo vicino al mare o vicino a una piscina vicino al lago ovviamente l'umidità di relativa sarà più alta e quindi l'impianto di condizionamento dovrà anche ridurre l'umidità relativa oltre che creare la temperatura effettiva di benessere.

In seguito c'è un'altra figura che ci permette di individuare qual è la zona di benessere: ci sono due zone di benessere una estiva e una invernale colla solita sovrapposizione centrale; questa figura, in funzione della temperatura di bulbo secco della temperatura di bulbo umido, permette di andare a vedere qual è la temperatura effettiva avvertita dalle persone e quindi queste due zone sono state determinate sempre per via statistica (bisogna sempre fare riferimento alle gaussiane delle persone intervistate che hanno avvertito benessere). Questo aspetto statistico viene usato perché la sensazione è una cosa personale, soggettiva, quindi serve una probabilità delle persone che hanno avvertito benessere ma comunque si fa riferimento a dei valori statistici medi piuttosto elevati (90%).

Come viene smaltito questo calore metabolico? Noi dobbiamo smaltire questo calore per mantenere la temperatura costante del corpo, dobbiamo però tenere conto che, a differenza degli animali, se siamo sottoposti ad ambienti troppo freddi o troppo caldi e non siamo in grado di mantenere costante la nostra temperatura corporea dobbiamo coprirci o scoprirci d'estate: quindi posso apportare variazioni di temperatura molto piccole per uscire dalla zona di benessere. Quando una persona si trova all'interno di un ambiente, è sottoposta a una serie di stress: il proprio calore corporeo ed altre fonti di calore, queste possono essere fonte di calore convettivo e quindi vanno ad aumentare la temperatura o a diminuire la temperatura (come ad esempio dei macchinari che buttano fuori aria calda), e poi ci possono essere delle fonti raggianti che possono immettere nel locale o ricevere calore → il calore accumulato dalla persona deve essere nullo. Si procede dunque attraverso un meccanismo di bilancio globale che il corpo può sopportare e si deve tener conto del calore metabolico, il calore prodotto attraverso la respirazione e la sudorazione, in più dovranno essere considerate anche le fonti di calore convettivo e raggianti che potrebbero essere presenti nell'ambiente (con i valori positivi o negativi). Dobbiamo far sì che la somma algebrica di tutti questi colori sia **nulla**. Se ci allontaniamo dalla condizione di benessere ed entriamo nella condizione di affaticamento da calore → Questa condizione è proprio quella che dobbiamo evitare andando a progettare un opportuno impianto di condizionamento.

Sempre la società inglese, ha messo a punto una serie di grafici che permettono di valutare quelle che potrebbero essere le condizioni di affaticamento da calore HEAT STRESS INDEX: sia che ci troviamo al di sopra (quindi troppo caldo) sia che ci troviamo di sotto (e quindi troppo freddo). Ci sono una serie di diagrammi ognuno dei quali riporta dei particolari: dal primo diagramma si scende fino ad arrivare ad un certo punto, poi si parte dal basso e si va ad incrociare la verticale per andare a determinare su quel quadrante, lo HEAT STRESS INDEX → film quando sto al di sotto di 100 non si è stressati, mentre più si sale e più la situazione e diventa stressante per il corpo.

Come si determinano questi parametri? Si parte dall'alto e ho la temperatura del globo dell'ambiente, poi possiedo la somma dei Calori radiativi: Determinati quelli che sono i colori raggianti e convettivi è la temperatura del globo dell'ambiente, io so che la temperatura corporea deve avere variazione nulla, e quindi il primo quadrante mi va a rappresentare il carico di calore dell'ambiente, infine abbiamo la velocità dell'aria → Poi scendo giù al secondo quadrante che rappresenta il calore metabolico della persona prodotto da diverse attività motoria, poi si tiene conto anche dei valori di radiazione convezione e quindi dalla verticale sopra mi fermo quando incrocio il contributo metabolico -> individuo questo punto che rappresenta la somma del metabolismo + la radiazione e la convezione (è come se avesse unito al primo quadrante con il secondo quadrante), grazie a questo vado a leggere l'equivalente di 1200 il calore emesso globalmente → individuato questo valore, piego ed entro nel grafico per identificare l'indice di stress termico → per fermarmi ed individuare l'indice specifico, mi servono altri parametri e li ricavo dalle 2 parti sottostanti di questo grafico multiplo: entrando dalla carta psicrometrica (perché abbiamo la temperatura di bulbo secco, la pressione parziale e l'umidità relativa) con il valore effettivo di temperatura di bulbo secco e di umidità che ho

nell'ambiente e la mando nell'impianto di condizionamento. La portata A, per garantire i requisiti igienici, in parte la spurgo e la reintegro con dell'aria fresca indicata con E (suddivisa quindi in uno spurgo e in un ricircolo) -> ovviamente la portata che spurgo dev'essere reintegrata con un valore uguale. La portata D (data dalla somma del ricircolo e dalla portata E) avrà lo stesso valore di portata di A; essa entrerà nell'impianto di condizionamento dove subirà una serie di modifiche fino al punto B, per poter entrare nuovamente nella stanza.

Partendo dal fatto delle equivalenze tra le portate, faccio un bilancio di materia di aria secca al quale vado ad associare un vapor d'acqua (bilancio umido) ed uno di energia. La portata che vado ad immettere (WA, che poi non è nient'altro che la portata D) nell'impianto di condizionamento avrà un suo certo contenuto di umidità D che dipenderà dall'umidità di E e di R, dovrà rispettare questo bilancio, quindi il grado di umidità a che dipende dalle condizioni in cui vado ad estrarre dall'impianto di condizionamento * differenza tra le portate secche fra il punto A ed E, e le condizioni di umidità e portata del reintegro quando rientro. La stessa cosa potrò scriverlo sotto forma di bilancio energetico con le varie entalpie.

Cosa conosco? La portata di spurgo e di reintegro in qualche modo vengono fissate tenendo conto di quelle che sono le necessità di cambio di volumi e ripristino. La portata che estraggo A, non va estratta né troppa e né troppa poca, perché questo è equivalente alla B (cioè alla portata che reintegro) e in qualche modo è legata alla fluidodinamica, perché non posso spararla troppo forte, dev'essere ad una velocità molto bassa.

Le caratteristiche in termini di umidità e di entalpia della portata di spurgo sono variabili e dipendono dalle condizioni dell'aria esterna, perché il reintegro lo faccio con l'aria esterna che tendenzialmente sarà un'aria più calda e più umida in estate e più fredda e più secca in inverno, le caratteristiche del punto A prefisso io perché devono rientrare nella zona di benessere presente nei diagrammi psicrometrici precedenti.

Per compiere i bilanci di materia ed entalpia devo considerare l'impianto di condizionamento come una scatola vuota, deve portare una certa portata di aria che entra al punto D al punto B (ovvero l'aria condizionata che io devo immettere nell'ambiente) e nel momento in cui quest'aria nuova si va a miscelare con l'aria presente nell'ambiente ottengo talmente le condizioni di benessere rappresentate dal punto A. Da qui posso andare ad intersecare i bilanci che ho visto prima, quindi bilanci diventano quelli di materia portata $A \cdot \Delta U_R \cdot \Delta H$, il ΔH è una sommatoria di tutti i flussi del vapore acqueo, quindi sei nella stanza sono presenti dei peli liberi di acqua dovrò tenerli in considerazione; mentre per quanto riguarda il bilancio entalpico questa espressione deve tener conto di quelli che sono i flussi di energia in ingresso e in uscita dall'ambiente: i vari colori sensibili, convettivi (prodotti o assorbiti dai macchinari), motori elettrici che producono calore, radianti, pareti coibentate oppure no, presenza di finestre o no -> devo quindi considerare la sommatoria di tutti i calori che potrebbero entrare o uscire + tutti i flussi del vapore acqueo (traspirazione delle persone, se stanno facendo attività fisica modesta o intensa, macchinari, peli liberi di acqua) da qui posso fare il rapporto $\Delta H / \Delta Y$, quindi faccio il rapporto tra il bilancio energetico ed il bilancio di materia ed ottengo questa espressione → ovvero il rapporto $\Delta H / \Delta Y$ che sono in grado di andare a determinare, mi rappresenta la pendenza della retta di lavoro della trasformazione che avviene all'interno dell'ambiente da condizionare quando vado a immettere una portata di aria condizionata B che entrando mi condiziona il benessere fino ad arrivare alle condizioni richieste A, e poi ricomincia il ciclo.

Riprendendo il discorso della fluidodinamica controllata, questo è importante perché non devo immettere nell'ambiente l'aria ad una velocità troppo elevata o comunque direzionare i flussi d'aria in modo che non disturbino sia le persone, sia in macchinari, sia gli oggetti sulle scrivanie → per fare questo si ipotizza che la miscelazione della corrente condizionata al punto B entra nell'ambiente e l'aria già presente, fa sì che si trovi alle condizioni di benessere caratterizzate dal punto A. Ricapitolando, quindi, sono in grado di trovare la pendenza della retta di lavoro e possiamo vedere su diagramma psicrometrico (rappresentanti ad esempio le condizioni invernali, europeo e americano) tali trasformazioni: facendo riferimento a questi punti, possiamo vedere l'aria alle condizioni ottimali che io estraggo (punto A), lo spurgo, il ricircolo ovvero il reintegro dell'aria esterna, dove il punto D sarà una media fra R e E → l'impianto dovrà compiere una serie di operazioni per portarsi al punto B -> una volta ottenute le condizioni B verranno immesse nell'ambiente e si ritornerà al punto A.

Le condizioni ideali dell'ambiente da condizionare rappresentata dal punto A dovranno sempre stare all'interno dell'area di benessere, avrò ripetuto tutti i bilanci di massa ed energia, per cui avrò calcolato la pendenza della retta di lavoro $\Delta H/\Delta Y$ che ovviamente sarà diversa rispetto al caso precedente invernale -> quindi il punto B in uscita dall'impianto di condizionamento sarà posizionato su questa retta. Il punto E sarà posizionato da un'altra parte: supponiamo qua una temperatura alta e alto valore di umidità (posizione opposta rispetto al caso precedente invernale).

Poi funziona uguale a prima: la portata A in parte viene spurgata ed in parte ricircolata fino al punto E; questi due punti si troveranno sulla stessa retta, quindi attraverso un bilancio mi trovo il punto intermedio D → dovrà essere trasformato nel punto B per essere immesso nell'ambiente da condizionare. Il caso estivo è sempre più semplice, perché il punto B possiede quelle condizioni possibili (che tanto potranno cambiare ma non complicheranno il problema) che per ottenerle dovrò SEMPRE abbassare la temperatura fino alle condizioni di saturazione, continuare ad abbassarla per avere la condensazione dell'umidità presente fino al raggiungimento delle condizioni desiderate di umidità B, e poi riscaldare fino alla temperatura desiderata B → NB. Il punto B non si troverà mai alla destra del punto D perché il punto D sarà sempre più caldo in estate (in estate dovrò sempre raffreddare e togliere umidità); NB. B si troverà sempre a temperatura più bassa rispetto ad A.

Entriamo dentro l'impianto di condizionamento e quali sono le OPERAZIONI estive o invernali, tenendo conto che l'impianto deve aver tutto a disposizione 24/24h e tutti i giorni.

L'impianto sarà dunque dotato di sensori, misuratori di umidità, sensori di temperatura, per poter valutare quotidianamente come variano le condizioni del punto E e quindi capire con un sistema di controllo quali sono le operazioni di andare a compiere.

IL CONDIZIONATORE

Vi sono due bocchettoni di ingresso: uno per il riciclo ovvero per la portata che mi arriva dal punto B, mentre l'altro è il bocchettone per l'aria esterna. Le due portate vengono miscelate e la loro miscelazione mi darà il punto D caratteristico. Siccome io immetto all'interno del sistema dell'aria esterna, la prima operazione da fare è una filtrazione → sono dunque presenti una serie di filtri (FILTRI PER L'ARIA) che mi permettono di abbattere le particelle solide e di polvere presenti nell'aria esterna e che sono state catturate all'interno dell'ambiente da condizionare. Notiamo che i due bocchettoni all'ingresso hanno una serie di serrande che mi permettono di regolare le 2 portate entranti.

Abbiamo diverse operazioni che da far fare all'impianto (ricordiamo essere riscaldare, raffreddare, deumidificare, umidificare), ma in ogni caso l'impianto deve essere dotato di tutti i confort e poi sarà il sistema di controllo che gestirà le operazioni da fare -> quindi non è detto che tutti gli elementi debbano funzionare contemporaneamente o in sequenza.

Gli elementi sono:

BOCCHETTONE CON FILTRO

SCAMBIATORE DI CALORE A FLUIDO CALDO: Si tratta di una batteria di tubi alettati che compiono un riscaldamento dell'aria, nel caso in cui ovviamente, ho necessità di scaldare l'aria. Questa batteria è un riscaldamento di tipo indiretto, perché il fluido caldo passa attraverso la batteria di tubi ed indirettamente scalda la portata di aria che passa attraverso le tubazioni.

RADDRIZZATORI DI PORTATA: Si tratta di dispositivi in grado di raddrizzare i filetti d'aria e disporli tutti in parallelo in modo tale che, se necessario, io posso procedere con una umidificazione di tipo adiabatico: facendo passare la portata di aria attraverso una serie di ugelli, questi spruzzano dell'acqua finemente atomizzata -> questo permette di aumentare il contenuto di vapore all'interno dell'aria secca. Quest'acqua deriva da una vasca posta al di sotto del condizionatore, dove vi è un certo pelo libero dell'acqua, con una pompa che pesca da questo serbatoio inferiore e tirar su l'acqua; in figura è rappresentata solo una serie di ugelli ma a volte posso avere due serie (primo e secondo rango di ugelli)

SGOCCIOLATORE O DEMISTER: siccome non voglio buttare nell'ambiente un'aria umida con presenza di goccioline che possono andare a bagnare le persone o le superfici, devo rimuovere le goccioline che rimangono sospese e NON

riferimento sul diagramma psicrometrico americano: il punto 2 è il punto di miscelazione dell'aria esterna con l'aria immessa nell'impianto di condizionamento -> Poi entriamo nell'evaporatore per raffreddare, fino a raggiungere la curva di saturazione e continuiamo il raffreddamento fino a raggiungere il valore di umidità richiesto → dopodiché riscaldiamo utilizzando il condensatore fino al punto 4 e poi entriamo nell'impianto di condizionamento.

.....
Nel disegno però si nota che l'impianto frigorifero lavora solo per l'impianto di condizionamento, è così?

sì, se ne vale la pena a livello energetico e quindi si parla di grandi volumi da condizionare. Dunque l'impianto frigorifero non è attaccato ad un impianto di cogenerazione o qualsiasi altra cosa ma è utilizzato solo per l'impianto di condizionamento

.....
Un'altra accoppiamento: abbiamo poi che dal condensatore la linea è spezzata in due perché da una parte vado alla valvola di laminazione (ed entrando nell'evaporatore chiude il ciclo frigorifero) e dall'altra entro nel riscaldatore (questo è un arrangiamento un po' diverso rispetto a prima); poi abbiamo l'evaporatore che tira giù la temperatura all'interno dell'impianto di condizionamento ed infine utilizziamo una parte del fluido frigorifero (uscendo dal condensatore) che dopo aver condensato utilizziamo lo stesso fluido per riscaldare l'impianto di condizionamento.

L'accoppiamento funziona bene in condizioni estive, perché quello che devo fare è solamente raffreddare, di umidificare e riscaldare.

.....
In questo secondo impianto si devono spezzare i fluidi, perché?

perché il calore da asportare e da offrire al condizionatore non coincidono e quindi bisogna disaccoppiare le portate, anche perché c'è la questione che questo accoppiamento funziona solo d'estate e quindi in inverno se non devo deumidificare ho un impianto frigorifero fermo, nel caso in cui l'impianto frigorifero è fatto appositamente per l'impianto di condizionamento.

LEZIONE DEL 19/12/2016

APPARECCHIATURE A SCAMBIO IONICO – CAP 12

Lo scambio ionico è un processo tale per cui gli ioni di due sostanze tendono scambiarsi. Ad esempio, se ho una soluzione salina ricca di alcuni ioni e un'altra povera, questi vengono scambiati per opportune richieste del processo -> un classico esempio è la demineralizzazione in cui vado a rimuovere tutti i carbonati per rendere l'acqua più dolce e meno corrosiva; un altro esempio tipico è quello di rimuovere uno ione inquinante ad esempio da un reflu, catturare lo ione inquinanti all'interno della resina ed avere come risultato, un'acqua purificata che può essere, ad esempio, scaricata senza problemi legislativi o ambientali. Per procedere allo scambio ionico, serve utilizzare un solido, che di solito vengono chiamate RESINE: sono sostanze particolari in grado di cedere uno dei loro ioni e quindi catturare lo ione presente in soluzione che voglio eliminare. Nello scambio ionico devo sempre garantire la neutralità elettrica della soluzione, quindi il numero di ioni scambiati dipende anche dalla carica elettrica degli ioni che devono essere scambiati.

In cosa consistono essenzialmente le resine?

Possono essere dei materiali sotto forma di gel, quindi delle sfere con una certa porosità interna dipendente dal processo di polimerizzazione con la quale si sono attestate le resine stesse; oppure possono essere materiali di tipo diverso, e quindi non più gel ma solide, caratterizzate di nuovo da una certa porosità nella quale il liquido entra, cercando di favorire il più possibile la diffusività del liquido all'interno della particella per favorire il più possibile lo

Ci sono diversi passaggi: innanzitutto lo ione B dal Bulk della soluzione liquida deve raggiungere la superficie della particella e poi diffondere attraverso le sue porosità, fino a raggiungere i gruppi atomici dove sono presenti gli ioni da scambiare; quando questo è avvenuto, può avvenire lo scambio che va sulla resina e di conseguenza, lo ione A viene ceduto dalla resina e va nel liquido; questo ione al contrario di B, deve contro-diffondere attraverso le porosità ed andare nel Bulk liquido, allontanandosi dalla superficie della particella. Abbiamo dunque due tipologie di diffusione: una dal Bulk verso la superficie della particella per lo ione B o viceversa per lo ione A (trasporto esterno), e poi la diffusività legata al trasporto interno (sia dello ione A che di B). Il fenomeno che avviene più velocemente è la reazione chimica, perché lo scambio ionico è sempre veloce; mentre la velocità dei due trasporti dipende dalla velocità di penetrazione della soluzione: per soluzioni molto diluite, al di sotto di 10^{-3} , il fenomeno controllante (quindi quello più lento) sarà il trasporto esterno perché ho pochissimi ioni presenti che devono entrare nella particella avvicinandosi alla sua superficie; mentre se la soluzione è molto concentrata $>0.1M$ il mass transfer interno sarà il fenomeno controllante, quando lo ione sta penetrando all'interno della particella. Quindi a seconda di quale dei due fenomeni prevale, e quindi se ho soluzioni più diluite o più concentrate, posso applicare diverse tecniche per aumentare lo scambio tra bulk e resine: per soluzioni molto diluite devo aumentare il mass transfer esterno quindi aumento la turbolenza all'interno del letto, cercando il più possibile di ridurre il diametro della resina; mentre per soluzioni molto concentrate devo aumentare il mass transfer interno andrò ad utilizzare resine che saranno macro-porose (ovvero con una porosità più grande) per favorire il flusso all'interno dei pori e per ridurre il percorso che gli ioni devono affrontare.

Quello in figura è il discorso legato alla selettività della resina nello scambiare ioni B con lo ione A: la figura rappresenta la concentrazione dello ione B presente in uscita nella Soft acqua in confronto al volume del liquido e/o nei confronti del tempo. Cosa mi rappresenta? Se parto da una soluzione iniziale con una certa concentrazione B nota, C_{B0} che rappresenta ad esempio la concentrazione di un inquinante che voglio eliminare e siccome è uno ione inquinante voglio che la sua concentrazione in uscita sia nulla → quindi sceglierò una resina che sia in grado di rimuovere totalmente lo ione. Al tempo 0 ho la soluzione ferma, ovvero non sto facendo transitare lo ione, quindi sarò con una concentrazione C_{B0} → Quando inizia lo scambio, la resina sta lavorando quindi la concentrazione di B diminuisce fino a diventare nulla → ricordiamoci però che lo scambio è un processo discontinuo, perciò quando è resina comincia a non possedere più gli ioni A da cedere, la concentrazione B inizia ad aumentare e quindi il letto non è più efficiente nello scambiare gli ioni. Nel momento in cui la concentrazione CB non è più =0, vuol dire che inizio ad intravedere nella soluzione qualche molecola di B → la quantità di ione B ritenuta apprezzabile dipende anche dalla sensibilità dello strumento di misurazione → immaginiamo però di avere uno strumento estremamente sensibile: quando inizia ad intravedere un certo quantitativo minimo dello ione B in soluzione (per la curva due sarà questo punto qua, per la curva uno sarà a questo punto qua), tale punto verrà chiamato PUNTO DI LEAKAGE (LEAKAGE POINT LP), ovvero punto di perdita proprio perché il mio letto non è più in grado di scambiare lo ione B con lo ione A, perché qualche ione B inizia a scappare dal letto → man mano che passa il tempo questa concentrazione inizia ad aumentare, ovviamente senza che io faccia niente, e la curva continua ad aumentare perché il letto continua a perdere la sua capacità di scambiare fino a raggiungere il valore iniziale che avevo C_{B0} → in questo caso la resina non è totalmente più in grado di scambiare.

Le due curve hanno caratteristiche diverse: nel senso che una inizia a perdere prima e l'altro inizia a perdere dopo e hanno pendenze diverse → per arrivare ad avere la concentrazione iniziale sull'eluato, la resina numero uno inizia a perdere dopo ma poi perde gli ioni B con una velocità maggiore rispetto alla prima → quando come in questo caso, la curva della prima resina è molto ripida, significa che ho una resina molto selettiva, perché è in grado di trattenere tanti ioni B, ma quando arriva a saturazione con la stessa rapidità restituisce gli ioni B alla soluzione; mentre la seconda è poco selettiva e quindi ci mette molto più tempo a rilasciare questi ioni B. Una volta capito cos'è il LEAKAGE POINT, e dato che stavamo trattando il caso dello ione inquinante, io non voglio avere nell'eluato questo ione B e nemmeno l'equivalente della mia soluzione iniziale, perché vuol dire che non sto trattenendo la mia sostanza inquinante → allora è il gestore o il costruttore che dovrà fissare un valore chiamato BTP (BREAK THROUGH POINT), fissato ad esempio seguendo i limiti di legge o un qualsiasi valore basso scelto dal gestore (soglia verde indicato nel grafico) e lo userò come limite massimo accettabile per lo scambio della resina. Posizionandomi ad esempio sulla resina numero uno, questo lavorerà bene quando arriva a contenere completamente lo ione B, al tempo di LP la resina inizia a fare fatica a scambiare (perché ormai ha ceduto la maggior parte degli ioni A da scambiare con gli ioni B) e quindi inizia a non riuscire a catturare più tutti gli ioni B e la concentrazione aumenta → quando arriva al BTP, questa rappresenta la

piccola per una resina selettiva, mentre è molto più grande per una resina poco selettiva → dunque andare a scegliere una resina selettiva è economicamente vantaggioso per il mio processo industriale: 1. perché allunga i tempi per far avvenire il processo senza fermarlo per rigenerare la resina e 2. perché riesco a sfruttare molto di più il volume del letto e quindi ad aumentare l'efficienza di utilizzo del letto.

RIGENERAZIONE

Innanzitutto, si blocca il flusso che contiene lo ione B e procedo con un **contro lavaggio**: in controcorrente rispetto al lavaggio precedente (guardando in figura la configurazione, ho una serie di sistemi che possono far uscire la soluzione per la rigenerazione), vado a smuovere le particelle solide ed ad espandere il letto di resina → posso notare che rispetto alla figura di prima, vicino alla tubazione ho un grosso spazio vuoto, infatti non vado a riempire tutto il volume utile, ma lascio un'altezza di vuoto per far espandere la resina durante il contro lavaggio e affinché le particelle di resina possano muoversi e roteare liberamente per procedere alla rottura del letto.

A cosa serve il contro lavaggio? 1. Serve per rompere i **legami di channelling**, quando alimentiamo una soluzione dall'alto e abbiamo una soluzione che percola attraverso le sfere solide di resina, possono formarsi dei percorsi preferenziali e quindi potrebbero esserci delle zone del letto che non sono state bagnate dal liquido e il flusso del liquido che viene alimentato tende ad allungarsi, quindi tenderà ad andare verso i bordi e la zona esterna del reattore → una volta arrivato alle pareti con la lunghezza di esse, piuttosto che passare attraverso la resina centrale → se il letto non fosse stato progettato in modo adeguato rischiamo che la parte centrale rimanga asciutta e non funzioni appropriatamente. Quindi il contro lavaggio come prima azione ha la funzione di rompere questi legami di channeling e rimescolare le particelle solide. 2. soprattutto nel caso in cui stia procedendo alla rimozione di qualche ione inquinante, o con la demineralizzazione, potrebbero essere presenti delle particelle solide che, anche se, al posto non favorisce il fenomeno di channeling: può succedere che qualche sferetta solida si vada ad incastrare nella resina e blocca il passaggio in quella direzione → il liquido bypassa la resina → L'espansione ed la movimentazione del letto mi favorisce l'eliminazione di queste particelle solide che ostruiscono il passaggio.

In seguito, procedo con la rigenerazione vera e propria: si utilizza un rigenerante che, in base alla tipologia di resina cationica o anionica, utilizzare una sostanza con un acido forte piuttosto che una base forte, in grado di procedere con la reazione opposta → dovrà catturare gli ioni B e restituire alla resina gli ioni A così da ripristinare la soluzione iniziale. Anche la rigenerazione non sarà mai completa al 100% quindi non siamo in grado di portare via tutti gli ioni B presenti. Quindi, al secondo giro di utilizzo della resina, se prima la resina non era in grado di scambiare al 100% ma un valore un pochino più basso, al secondo giro scambierà ad un valore ancora più basso rispetto al primo (99 → 98 → 95 → 92 → 88%). Questa è la motivazione per cui dopo un tot di giri sono obbligato a cambiare completamente la resina con una resina nuova.

Dopo la rigenerazione, si procede con un risciacquo fatto con acqua e poi lascio assestare il letto in modo tale da ripristinare il letto fisso in modalità scambio ionico.

La rigenerazione posso farla in equicorrente oppure in controcorrente, che possiamo vedere nelle immagini seguenti: noi andiamo a scambiare e quindi ripristinare gli ioni A con gli ioni B, ma rimane sempre un pezzettino di letto (proprio come nello scambio classico) che non lavora e questo è la motivazione di non poter rigenerare completamente. Solitamente è preferibile un lavaggio in controcorrente, perché risulta essere più efficace rispetto all'altro.

In seguito, si può vedere come si procede con un lavaggio acido controcorrente: mandiamo la soluzione acida all'interno del letto della resina; mentre nell'immagine dopo abbiamo un processo in equicorrente.

Nel caso di rimozione di inquinante, vogliamo trasferire lo ione inquinante dal bulk alla soluzione del rigenerante, però i volumi sono diversi, in quanto nella soluzione da rigenerare abbiamo una concentrazione molto più elevata dello ione → a quel punto la soluzione che abbiamo utilizzato per rigenerare andrà anch'essa opportunamente trattata, però avendo aumentato molto la concentrazione dello ione inquinante, possiamo ora utilizzare altri sistemi per rimuovere completamente questo ione.

In seguito si può vedere un altro sistema adottato per la rigenerazione in controcorrente, un po più complesso rispetto al precedente: non ho più un serbatoio, ma una serie di candelette collegate con un sistema a vuoto utilizzato per lo

composta esattamente come nel caso precedente, con le tubazioni al suo interno e al di sotto le condutture dell'acqua. Per quanto riguarda la rigenerazione, si procede sempre con un contro lavaggio per rompere il letto e soprattutto per separare le 2 resine, questo avviene perché esse hanno due densità diverse -> quindi nel momento in cui procedo con un contro lavaggio queste si separeranno in funzione del peso e in particolare, se durante il servizio erano miste all'interno del letto, dopo il contro lavaggio le resine si dispongono con la cationica in basso perché ha sempre densità maggiore è l'anionica in alto perché ha densità minore -> alla fine del lavaggio mi ritrovo con due letti separati -> a questo punto vediamo tutto il processo di rigenerazione utilizzato: in fase operativa l'acqua viene alimentata dall'alto verso il basso, mentre a metà del letto c'è una tubazione posta all'altezza alla quale, quando effettua il contro lavaggio, ho la zona di separazione delle due resine. -> Dopodiché procedo ad un primo lavaggio, in particolare, procedo innanzitutto con un lavaggio alcalino: siccome la resina anionica si trova in alto, immetto il lavaggio alcalino dall'alto che percolando mi va rigenerare la resina -> per evitare però che la soluzione alcalina percoli anche nella zona della resina cationica, dalle tubazioni dal basso alimento dell'acqua e annego completamente la zona cationica in modo che questa resina sia affogata nell'acqua; Quindi in realtà, la sequenza è: scambio ionico, arresto, svuotamento, immissione del fluido per il contro lavaggio, divisione, immissione dal basso dell'acqua per sommergere la resina cationica, immissione dall'alto della soluzione alcalina, raccoglimento di questa soluzione a metà del letto grazie all'acqua presente che mi fa da barriera, grazie alla tubazione posta a metà fra le 2 zone .

Quando la rigenerazione della parte alcaline terminata, procedo alla rigenerazione della parte cationica sottostante: sempre dalla tubazione posta fra le 2 zone vado ad alimentare una soluzione acida che si troverà sopra la zona cationica e per colera attraverso questa e poi raccolta nel basso -> In contemporanea dall'alto della torre immetto acqua per eliminare gli eventuali residui della soluzione alcalina -> quando anche la rigenerazione della zona cationica è terminata, procedo con un ulteriore lavaggio d'acqua in modo da essere sicuri di eliminare tutti i residui alcalini e acidi -> infine alimento dal basso dell'aria compressa che rimescola il letto intimamente per ricondurmi alla resina iniziale doppia miscelata opportunamente.

.....
La divisione delle resine avviene esattamente a metà dell'altezza della torre?

Non sempre, la divisione si effettua andando a calcolare a Monte quant'è la quantità di resine cationiche e anioniche inserite in funzione anche della loro densità (sempre in funzione di che tipo di demineralizzazione sto facendo) -> e quindi saprò quanto sto caricando di una e dell'altra e relativamente quanto sarà l'altezza di separazione

Si potrebbe pensare di non far avvenire il soffiaggio dell'aria compressa in modo tale da avere una configurazione di una torre unica ma con le due zone rimanenti separate?

Tenendo le due resine separate si creano molti più fenomeni di channeling e l'efficienza si abbasserebbe molto rapidamente, quindi dal punto di vista dello scambio è meglio tenere le due resine intimamente unite.
.....

Riassumendo, due torri separate per la demineralizzazione sono di più facile gestione ma di più alti costi, inoltre l'efficienza è maggiore, dall'altra parte una torre sola è molto più difficile la sua gestione ma i costi sono più contenuti.

Un'ulteriore soluzione per avere un processo continuo senza duplicare l'impianto, è quello di avere un processo in cui faccio muovere la resina e mando la resina da una colonna di lavorazione ad una di rigenerazione in modo continuo: STEP WISE -> in questo modo ho la torre che lavora sempre a livello sia di scambio che di rigenerazione -> in realtà questo è un processo semi-continuo, perché esistono dei transitori in cui il vero reattore di scambio ionico non lavora, ma sono molto più limitati.

L'impianto in figura rappresenta un impianto messo a punto da produttori di birra giapponesi (ASAHI): il retore che funziona da resina a scambio ionico (reattore A), normalmente lavora come scambio ionico -> quando la resina è esaurita, questa viene spostata attraverso un trasporto idraulico (fluttuazione) e viene mandata e nella colonna B nel quale avviene la rigenerazione -> vediamo tutto un sistema di valvole tali per cui la resina viene trasportata in B. Dopo la rigenerazione cosa succede? La resina viene mandata a questo collettore di lavaggio (washing tank) per trasporto pneumatico, lava la resina e sempre per trasporto pneumatico, la resina viene rimandata in testa al reattore di scambio.

Come valutare il volume necessario di scambio per una resina? Le resine vengono acquistate in litri o metri cubi. In base al tipo di liquido che devo trattare, sceglierò una certa tipologia di resina e ne acquisto roots un certo volume in base alla capacità di scambio della resina → ecco che devo stimare quanti litri ho quanti metri cubi di resina mi servono per l'impianto, anche in base alle caratteristiche della resina stessa fornita dal fornitore → tra i dati forniti di queste caratteristiche, quello più importante è la capacità di scambio, ovvero la quantità di ioni per volume che la resina è in grado di scambiare. (NB. se noi andiamo a cambiare le condizioni di esercizio rispetto le caratteristiche date dal costruttore, non è detto che la resina in grado di scambiare le quantità dichiarate dal fornitore); in più ci viene fornito anche il livello rigenerativo, ovvero la quantità di soluzione rigenerante che dobbiamo utilizzare per rigenerare 1L di resina, considerando il rigenerante puro. Quando andiamo a dimensionare, non dimensioniamo mai su volumi al 100%, ma utilizzeremo dei fattori maggiorativi per essere sicuri per essere sicuri di rigenerare la quantità necessaria per continuare lo scambio. Si utilizzano grafici di questo tipo dati dal fornitore di resina, ci danno la capacità di scambio teorica della resina, ovvero quanti grammi di ioni la resina è in grado di scambiare per volume di resina, e poi il livello degenerativo, ovvero i grammi di soluzione rigenerante per volume di resina che ci servono; grazie a questi diagrammi posso fare delle stime sulle quantità MINIME richieste e poi verranno maggiorate per essere in condizioni conservative. Noti questi fattori date dal fornitore, possiamo andare a determinare qual è il valore ottimale, notando che il volume dipende anche da quanto tempo vogliamo far operare il reattore → questo tempo è legato anche ai turni operativi dell'azienda (8hr o 24hr, ecc), quindi di solito si fissa un ciclo rigenerativo al giorno, poi se l'azienda lavora 8 ore al giorno la rigenerazione si fa alla conclusione di queste 8 ore, mentre se l'azienda lavora sulle 24 ore allora si possono fissare dei cicli di lavoro ogni 15-20 ore di lavoro effettivo e il resto per la rigenerazione, mentre se stiamo lavorando in un ciclo continuo significa avere delle colonne poi in parallelo o altre soluzioni che rigenerano in continuo, quindi la rigenerazione sarà gestita da dei sistemi di controllo con dei momenti di stop. Partendo dunque da questi tempi, posso andare a calcolare i volumi necessari delle colonne di scambio di rigenerazione → noto il volume che vogliamo scambiare e sua la concentrazione, possiamo inserire la capacità di scambio della resina tramite i grafici precedenti del costruttore e dunque calcoliamo il volume equivalente di resina necessaria → se si tratta di demineralizzazione possiamo calcolare prima il volume della recita cat jonica ed un volume equivalente della resina anionica, ma su quest'ultima questo volume viene aumentato di un valore Alfa, che tiene conto del lavaggio della resina anionica, perché per effettuarlo dobbiamo utilizzare un acqua già cationizzata (e quindi il volume della resina anionica viene maggiorato un pochetto).

LEZIONE DEL 19/12/2016 PARTE 2

ESTRAZIONE CON SOLVENTE (LIQ-LIQ o SOLID-LIQ) – CAP 11

Utilizzo un liquido per estrarre un altro liquido oppure utilizzo un liquido per estrarre qualcosa dal solido.

ESTRAZIONE LIQ-LIQ

La classica estrazione liquido-liquido prevede una soluzione (arancione) di olio e zucchero (l'olio contiene lo zucchero di sciolto) e viene utilizzata acqua per estrarre lo zucchero dall'olio, senza però miscelarsi con esso in quanto acqua e olio sono due liquidi immiscibili. Si parla sempre di soluto e solvente, questi vengono messi in intimo contratto fra di loro, i due solventi devono essere immiscibili fra di loro → ed in questo modo estraggo il soluto dal solvente A e lo trasferisco nel solvente B. Il RAFFINATO è la soluzione di partenza (in questo caso non possiamo pensare il raffinato come il prodotto finale, perché arriva dall'inglese raffinate) e poi l'ESTRATTO, che è la soluzione del secondo solvente che contiene il soluto estratto dalla prima. In figura vediamo che l'acqua estrae lo zucchero dall'olio: l'acqua è immiscibile nell'olio, ed il soluto e solvente non sono miscelati fra di loro, poi procedo ad un mixing intenso per creare un emulsione ed è proprio durante questa fase di emulsione che avviene l'estrazione, poi lascio l'emulsione in quiete e l'olio e l'acqua si distribuiranno come prima separandosi ma con lo zucchero di sciolto in acqua.

Che cosa si utilizza? Il sistema più banale (tipo quelli da laboratorio) è il separatore FANNEL, consiste in un Baker rovesciato in cui vado a mettere il solvente dentro il raffinato poi procedo alla miscelazione, dopodiché lascio la soluzione statica ed infine sgocciolo per recuperare l'estratto che si è portato via il componente chiave dal raffinato (In questo caso viene utilizzato etere e acqua, dall'etere trasferisco all'acqua e poi recupero lo zucchero facendo evaporare

Principalmente si utilizzano miscelatori meccanici a turbina, immaginiamo l'equivalente di un serbatoio e con una turbina vado a miscelare molto rapidamente per creare una emulsione molto fine (ricordando che miscelando due soluzioni immiscibili si crea una emulsione, aumentando dunque la superficie di scambio fra i due liquidi), oppure posso utilizzare miscelatori di tipo statico posti in linea. Quelli raffigurati sono tutti i miscelatori di tipo statico in linea, molto grandi: hanno un'apertura a farfalla messe su una flangia sulla tubazione, sulla tubazione vado ad inserire su due punti queste aperture e facendo transitare un flusso che passa nella tubazione, sulla prima estrazione del miscelatore statico vado ad inserire il secondo solvente creando turbolenza e ne creo ulteriormente con un secondo miscelatore statico, favorendo così la emulsione, dopo di che entro in un sistema di decantazione e attendo il tempo con cui due liquidi si separano. In figura notiamo dimensioni del secondo solvente in tre punti diversi nel punto di miscelazione per favorire lo scambio. Possono essere sistemi molto grandi a seconda del tipo di tubazione con cui metto i solventi.

In seguito ci sono altre tipologie, sempre sistemi di miscelazione su tubazioni, però non fatte con miscelatore di tipo statico, ma utilizzando miscelatori ad iniettori a ugelli, piuttosto che a gomito (mix and knows). Il concetto è sempre lo stesso: dato il raffinato che viaggia in quella direzione, vado a mettergli il secondo solvente C attraverso un eiettore a gomito entra nel flusso principale e andando a stringere vado a creare la vorticosità della miscela. Quindi con il mix&Knows vado a creare una serie di passaggi tortuosi subito dopo l'iniettore (sempre con lo scopo di aumentare la turbolenza per incrementare il livello di miscelazione). Dopo invece abbiamo Orifix-mixer dove abbiamo la portata centrale del raffinato A+B che viene fatto passare attraverso questi buchi e sui laterali alimento la soluzione C → in questo modo favorisco la miscelazione aumentando la superficie di interscambio.

Pensando al classico miscelatore FANNEL, dopo la fase di miscelazione devo fare decantare i due liquidi per far sì che l'immiscibilità possa separare i due liquidi e quindi distribuirsi, grazie alle diverse densità, uno sopra l'altro e poi recuperarli. Il sistema più utilizzato è il **separatore fiorentino a gravità** in cui arriva l'emulsione con un qualsiasi nei meccanismi visti prima, poi un sistema che permette di diminuire la velocità del flusso ed allargarlo, tipo un decantatore DECANTER, in cui sono messi una serie di piatti orizzontali: l'emulsione (lei la chiama anche dispersione) arriva e si distribuisce su di essi posizionati a cono nel decanter, e con il tempo di residenza opportuno in cui il flusso transita sulla lunghezza del baffles e le 2 soluzioni pian piano si separano; i piani sono presenti solo nella parte iniziale, dopo di che il serbatoio cilindrico è vuoto e quindi le 2 soluzioni si separano e avrà il solvente più pesante sotto e quello più leggero sopra; Attraverso due sistemi di tubazioni andrò a recuperare dal fondo liquido più pesante, e dall'altro il liquido più leggero, dopodiché utilizzerò in qualche metodo per estrarre il componente chiave dall'estratto.

In figura, vediamo un separatore di tipo fiorentino chiamato Mix&Settler, ovviamente entrambi utilizzano la gravità per la separazione della fase di leggera da quella più pesante perché legate alle densità; questo è un sistema un po' più compatto dove si ha l'equivalente di un parallelepipedo a sezione rettangolare, separato da questo piano inclinato in cui nella prima parte arriva la dispersione e qui questo poi si mette anche una Pala meccanica per favorire un'agitazione eventuale ma miscelazione e poi sia la zona di separazione in cui l'emulsione passa dall'altra parte e pian piano si separa → si vede molto bene la separazione bene due fasi e quindi una verrà recuperata dal basso e l'altra dall'alto. Il piano inclinato mi serve per favorire la separazione delle fasi. Il separatore Fiorentino in figura viene chiamato Mix&Settler perché nella prima parte la zona di mixing e nella seconda parte attraverso questi setti favorisco la separazione e poi il recupero delle due singole fasi (raffinato ed estratto).

Nello schema seguente ho sempre un separatore di tipo Mix&Settler comprenderò anche dei numeri, che mi rappresentano ciò che io voglio andare a separare, nella prima parte però la zona di miscelazione nella seconda parte quella di separazione in cui recupero il raffinato e estratto, e possiamo vedere bene come a livello numerico il componente chiave C si ripartisce attraverso le soluzioni. Se partivo da una soluzione che mi conteneva una mole di C, alla fine io riesco ad estrarre il 80% di ciò che mi serviva, mentre il valore della frazione non estratta ed il coefficiente di ripartizione sarà legato anche alla termodinamica del processo tramite diagrammi di stato che abbiamo visto all'inizio → posso dunque misurare il fattore di estrazione.

Dopo vediamo sempre dei sistemi di tipo Mix&Settler ma più grandi in cui il tutto assomiglia all'equivalente di una tubazione molto grande, con di nuovo nella prima però l'alimentazione del raffinato e della soluzione estraente e poi in una seconda parte molto più lunga per favorire il tempo di residenza per la decantazione e la separazione delle due fasi, ed infine il recupero delle due fasi. COME risolvo lo STADIO DI EQUILIBRIO? Se considero il processo di miscelazione e

l'infinito rispetto al vertice del triangolo). Attenzione che il rapporto V/L operativo sarà sempre maggiorato rispetto al rapporto di V/L minimo che vada ad individuare, perché voglio tenermi in condizioni conservative ed evitare il raggiungimento del PITCH POINT. Facendo la costruzione completa posso fare il paragone dai diagrammi di Stato a triangolo con la ripartizione, in parallelo rispetto il diagramma a base libera solvente; quindi di fatto, rispetto al diagramma di ripartizione, i valori X_c e Y_c rispetto ai valori X_a e Y_a di nuovo come vado a determinare il valore di Delta ed il valore di V_{n+1} .

APPARECCHIATURE PER LO SCAMBIO IONICO

TORRI A SPRAY: Funzionano in controcorrente e ci sono due tipologie, il funzionamento è lo stesso ma l'utilizzo di uno in confronto all'altra dipende solamente dal tipo di liquido prevalente, ovvero se la fase continua è quella più leggera o quella più pesante. Entrambe le tipologie sono fatti allo stesso modo, si tratta di una colonna dove sono presenti in basso l'ingresso del liquido più leggero e in alto ingresso del liquido più pesante, queste vanno in contro corrente e avviene l'intima miscelazione fra le 2, poi dopo la separazione e dall'alto si ricava il liquido estratto e dal basso si recupera l'altro. La differenza principale possiamo notarla guardando la figura, il liquido più leggero in ingresso dal basso viene iniettato con una serie di ugelli, mentre il liquido più pesante fa da fase continua -> ciò vuol dire che il liquido leggero va a disperdersi all'interno del liquido pesante -> quindi il liquido leggero sale mentre il liquido pesante viene immesso dalla parte superiore attraverso delle semplici aperture e non con degli ugelli -> la colonna è dunque riempita completamente il liquido pesante e di liquido leggero viene iniettato a spray attraverso specifici ugelli e salendo crea delle bollicine risalenti che una volta arrivato nella parte in alto indicata con B, si ha la separazione e si recupera dunque in alto il liquido dopo che è avvenuta l'estrazione. Il punto di separazione delle due fasi è indicato con questo battente con la lettera B. Dal fondo si recupera il liquido disperso che poi viene portato su, mentre poi abbiamo la separazione della parte pesante.

L'altra colonna invece viene presentata a destra, e qui c'è la differenza fra le 2: il liquido leggero è la fase continua -> questo viene immesso dal basso normalmente senza essere spruzzato, ci sono semplicemente delle aperture, mentre liquido pesante entrante in testa e iniettato con degli ugelli a spray nel liquido leggero che annega la colonna -> per tutta l'altezza della colonna si ha l'intima miscelazione -> Poi abbiamo la separazione: in testa si separa sempre il liquido leggero e in coda sempre il liquido pesante. Notiamo che nella colonna di destra è liquido leggero che fa da fase continua, il battente è quindi la separazione fra liquido pesante e leggero è in basso ovvero sulla base della colonna, mentre nella colonna di sinistra dove la fase continua era il liquido pesante il battente si trova in alto.

Un'altra grande differenza fra le 2 colonne è il punto di separazione indicato con A: in questo punto il liquido pesante in coda alla colonna viene separato dalla tubazione che stacca dalla colonna. La differenza sta proprio nella posizione del sifone da dove si va a separare il liquido pesante: Nel caso di sinistra il punto A si trova più in alto rispetto a quello di destra, perché il punto A si trova sempre al di sopra del punto battente B che separa il liquido pesante dal liquido leggero -> anche in questo caso il battente è molto in basso e dunque il punto A viene messo più in alto. Dove posizionare l'estrazione del liquido pesante dalla colonna rispetto al battente di separazione fra il liquido leggero e quello pesante. Ecco che la grande differenza fra le 2 colonne e quale liquido rappresenta la fase continua: perché se il liquido pesante rappresenta la fase continua il punto di estrazione si troverà in alto alla colonna, viceversa nell'altro caso.

TORRI A RIEMPIMENTO (VERTICAL PACKED EXTRACTORS): All'interno di queste torri è presente un packing, ovvero un riempimento che può essere ad anelli piuttosto che un riempimento strutturale, tipo un riempimento di fogli ripiegati o arrotolati (molto simili e riempimenti delle torri meccaniche di evaporazione), in generale un sistema che ha lo scopo di aumentare la superficie di contatto e favorire lo scambio e dunque il passaggio del soluto da una fase all'altra. Analogamente alle torri spray, il liquido leggero viene immesso nella parte bassa della torre mentre il liquido pesante viene immesso dall'alto. In questo modo si può vedere dalla rappresentazione colorata, all'inizio ho una prima fase continua, che poi si disperde e nella fase di dispersione riesco a far avvenire l'estrazione e quindi a raccogliere, sulla testa della colonna lo strato (il liquido ricco del soluto è estratto) e sulla base andrò a raccogliere insolvente esausto del raffinato. Il sistema di funzionamento dunque è analogo al precedente con alla base il concetto di favorire l'intimo contatto, grazie all'aumento della superficie di contatto, e poi dobbiamo tener conto di quant'è il tempo di residenza durante la miscelazione-

l'esterno per poi rientrare verso l'asse del cilindro per essere recuperato al centro. Sfruttiamo il campo centrifugo che da un lato mi fa avvenire l'emulsione, sfruttando i condotti creati dai dischi all'interno del sistema: la forza centrifuga permette di mandare il liquido pesante verso l'esterno, mentre la forza centripeta mi permette di mandare il liquido leggero dall'esterno verso l'interno, ecco perché riesco prima miscelare e poi a separare. Il vantaggio è legato alla velocità di rotazione molto alta perché questa mi permette un'estrazione molto rapida, quindi anche se viene richiesto di lavorare in temperatura, avendo dei tempi di estrazione molto ridotti riusciamo a non denaturare le caratteristiche del prodotto.

ESTRAZIONE SOLIDO-LIQUIDO

L'estrazione solido liquido permette di spostare un soluto A presente in miscela con un solido, nel solvente. una classica separazione e quella del caffè: si va ad estrarre l'aroma dal solido granulare dato dal chicco di caffè, utilizzando il vapore per estrarlo (ricorda la moka). Dal punto di vista termodinamico si utilizzano diagrammi simili a quelli visti in precedenza, ad esempio nel triangolo sono presenti il solido, chiamato GANGA (solido più soluto), poi abbiamo il soluto da estrarre ed infine il solvente; l'ipotenusa del triangolo rappresenta la miscela solvente soluto. Il concetto è sempre lo stesso, ovvero favorire l'intimo contatto fra il ganga ed il solvente, creando se possibile un'agitazione e poi si separando le fasi con un sedimentatore (ricordiamo che devo allontanare il solido).

A seconda di come vado ad estrarre, dopo lo stadio di equilibrio, posso recuperare la soluzione limpida magari utilizzando uno stramazzo (un overflow): la parte solida rimane raccolta verso il basso attraverso la sedimentazione, mentre tramite lo stramazzo raccolto il solvente; oppure posso raccogliere lo scarico dal fondo recuperando la sospensione del solido esaurito (scarico underflow): in questo caso il solido contiene ancora del liquido e quindi il solido sarà intriso di soluzione.

La curva che vediamo qua, rappresenta la curva di equilibrio del solido intriso di liquido in equilibrio con il soluto, si parla quindi di linea underflow lochi ed è la linea che rappresenta tutti i punti di equilibrio del solido intriso di solvente in equilibrio per insoluto. Di solito questa curva è di tipo sperimentale, quindi a seconda delle sostanze che stiamo utilizzando o la troviamo già tavolata in letteratura oppure la determiniamo noi sperimentalmente con una serie di prova. Poi vediamo la curva tie-line, ovvero la nostra curva di lavoro, che rappresenta, dato che l'ipotenusa del triangolo e l'equilibrio tra solvente e soluto, proprio la retta di lavoro del nostro sistema.

Come avviene? Ho sempre al primo stadio di miscelazione, avrò un agitatore che favorisce l'intima miscelazione, in modo tale che il solvente possa estrarre il soluto dal solido; dopo entra in una vasca di decantazione dove separo gli elementi (il classico esempio è l'estrazione del caffè tramite vapore in temperatura). L0 rappresenta la miscela (il caffè), L1 che si trova sulla curva underflow lochi rappresenta il solido esaurito (la polvere di caffè bagnata), e poi la soluzione finale ed il solvente di estrazione puro (acqua) → anche graficamente tramite regola della leva siamo in grado di bilanciare le equazioni e determinare la concentrazione finale del soluto (aroma del caffè) nel solvente → una volta che si conosce la curva di equilibrio, la curva di underflow lochi e la curva di lavoro, posso ricavare tutto ciò che mi serve.

Nel caso volesse fare un sistema multi stadio equicorrente, le possibilità sono analoghe a quelle viste in precedenza per l'estrazione liquido-liquido: posso procedere con più stadi in parallelo dove immetto solvente fresco in ogni stadio (quindi avrò bilancio del tipo $L_0+B_0 = L_1+B_1$ L_2+B_0 ecc). La procedura per dimensionare il numero teorico di stadi necessari, è analoga al caso precedente graficamente: prendendo a riferimento la curva di underflow lochi e quindi il solido iniziale L0, rispetto al solvente, su Sigma avrò L1 B 1, poi L1 lo unisco con B0 e avrò Sigma2, poi andrò a trovare L2 B2, L2 lo unisco con B0 e trovo Sigma 3 e determino L3 B3, eccccc.

Un'alternativa è il multistadio in controcorrente, quindi metto il solvente fresco una volta sola e questo cade in cascata n volte: questo mi permetta di ridurre il volume di solvente rispetto al caso precedente e dunque alla fine avrò un estratto più concentrato (proprio perché a parità di estratto utilizzo meno solvente all'inizio). Il modo di procedere sempre lo stesso: abbiamo il solvente fresco che viene immesso, ma introduco il concetto di FLUSSO NETTO DELTA in quanto non c'è accumulo di componente -> il valore di Delta, rispetto al caso precedente, rimane costante e sarò in grado di procedere come prima: L1 B1 -> Delta -> L2 B2 -> Delta -> L3 B3 e così via.

purezza che voglio raggiungere. Poi il solido viene raccolto ed estratto grazie all'utilizzo di una coclea che permette di estrarre il solido dalla colonna di mandarlo poi alla successiva fase di recupero del solido esausto. Il BONOTTO viene usato molto in ambito farmaceutico per la purificazione degli antibiotici e in ambito alimentare per la decolorazione dello zucchero (dallo zucchero grezzo si passa lo zucchero bianco) grazie all'utilizzo di solventi decoloranti, oppure usato per l'estrazione di oli essenziali con l'utilizzo di solvente esano, ed infine la lisciviazione dei minerali. Nella figura successiva possiamo apprezzare la forma del disco con le sue aperture: dopo quasi 360° di giro del solido esso viene fatto passare dall'apertura e cadere nel disco sottostante, grazie al rastrellamento riesco a 1. Smuovere il solido e quindi portarlo verso l'apertura e 2. Spalmare il più possibile il solido sul piatto per favorire il contatto con il solvente.

IMPIANTO SIMILE AL BONOTTO, MA ORIZZONTALE: Abbiamo una sorta di bonotto posizionato orizzontalmente, abbiamo il nastro trasportatore fatto a cestelli, da un lato abbiamo l'alimentazione del solido dove riempiamo il cestello, poi questo avanza e dall'altra parte viene alimentato il solvente fresco e poi c'è un sistema che permette la rotazione dei cestelli e lo svuotamento del solido esausto. In seguito c'è un particolare dell'estrattore a cesti verticali, dove non ho più i piani verticali ma ho i cestelli riempiti di solido e poi lo spray solvente spruzzato sul solvente e poi durante tutto il percorso avviene l'estrazione.

ESTRATTORE A CAROSELLO: Sono presenti 7 diversi comparti che ruotano e l'alimentazione del solvente con le varie pompe. Nel momento in cui il sistema a ruota, il solido viene posto nel primo comparto, poi questo ruota e compie tutto il percorso vado pian piano ad alimentare il solvente fresco. L'ultimo, dove non è segnato niente, è quello dove recupero il solido esausto e dall'altro recupero il solvente che si è arricchito dall'elemento di interesse.

In seguito vi è una lista dei principali utilizzi dei sistemi di estrazione solido-liquido: principalmente nell'industria farmaceutica per la purificazione degli antibiotici e delle vitamine; poi abbiamo nell'industria alimentare la decolorazione dello zucchero, la produzione di oli essenziali, la caffeina da tè e caffè; nell'industria chimica per la purificazione dell'uranio e il trattamento degli effluenti inquinanti, recupero delle sostanze organiche quali acido acetico, fenolo per evitare che queste vengano immesse negli scarichi dello stabilimento.

LEZIONE DEL 20/12/2016 PARTE 2

COLONNE DI ADSORBIMENTO (SOLID-FLUID) – CAP 10

È simile all'estrazione solido liquido, con la differenza che qui ho un adsorbimento solido-fluido.

L'adsorbimento è un fenomeno che riguarda la superficie del solido quando questo è a contatto con un fluido (liquido o gas), e questo fluido aderisce a parte della superficie del solido e si adsorbe creandosi un contatto. Questo contatto avviene grazie ai siti attivi presenti nel solido per cui si instaurano dei legami, soprattutto dei legami di Van der Waals se è un'adsorbimento fisico, abbastanza deboli e che posso rompere semplicemente aumentando la temperatura → è un fenomeno reversibile perché posso giocare sull'adsorbimento e sul desorbimento del fluido; oppure posso avere dei legami di tipo chimico e quindi avere un chemi-adsorbimento → In questo caso il fenomeno è irreversibile perché avviene una sorta di reazione e quindi non posso più tornare indietro e quindi non posso più recuperare e riutilizzare il solido.

La capacità di adsorbimento di un materiale dipende dalla superficie specifica del solido: per superficie specifica si intendano i metri quadri su grammo (m^2/g), quindi non la superficie esposta, ma la superficie è presente per massa di solido. Il classico materiale per l'adsorbimento è il carbone attivo e possono arrivare fino a 1200 m^2 su grammo di materiale: ovvero una dimensione piccola di materiale espone una grandissima superficie e quindi una capacità di adsorbire estremamente elevata. La capacità dipende non solo dalla dimensione della superficie esposta, ma anche dalla natura di questa, ad esempio polare o apolare e dipende anche dal tempo di contatto per garantire la formazione dei legami tra fluido e solido.

Per quel che riguarda il carbone attivo, questa viene distinta in: carbone attivo di tipo granulare (**GAT= granular active carbon**) ed essendo granulare hai dei tempi di equilibrio abbastanza lunghi, e poi c'è il carbone in polvere con cui