Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari
Tesi di laurea
Cartoleria e cancelleria
Stampa file e fotocopie
Print on demand
Rilegature

NUMERO : 215 DATA : 23/02/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Roberta

MATERIA : Impianti Chimici II - parte II
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 STUDENTI E NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 3 di 104

Lezione 7.1: SERVIZI AUSILIARI – Handling interno

La movimentazione riguarda le materie prime che sono entrate nello stabilimento e che vanno mandate ai reparti di produzione.
È legata allo stato fisico delle materie prime.
Per i solidi ci sono due tipologie di trasporto:

- Trasporto meccanico;
- Trasporto pneumatico.

La scelta del tipo di movimentazione dipende dalle caratteristiche del solido, in primo luogo dalla sua pezzatura.

Trasporto e movimentazione dei solidi

Gli impianti utilizzati per la movimentazione dei solidi possono essere di tipo continuo o discontinuo.

Impianti di trasporto discontinuo

- Gru Servono non tanto per il funzionamento dello stabilimento quanto per il montaggio delle apparecchiature;
- Grattatrice Serve a prelevare il materiale dagli ammassi. È un insieme di nastri che porta dei paletti posizionati perpendicolarmente rispetto al nastro, che vengono appoggiati sull'ammasso. A causa del loro peso, i paletti penetrano nel mucchio e, siccome sono in movimento, trasportano il solido. La possibilità che si viene a creare è quella di prendere il solido, innalzarlo e scaricarlo in un camion (trasporto su gomma) oppure innalzarlo più in alto ancora e metterlo su un nastro trasportatore (uno dei più utilizzati sistemi di trasporto meccanico per il solido).
- Trasporto per fluitazione È fatto per solidi con densità inferiore a quella dell'acqua (il legno ad esempio o per le barbabietole da zucchero). Le barbabietole da zucchero vengono ammassate in un canale in cui scorre dell'acqua, con la quale vengono trasportate.

Impianti di trasporto continuo

Del solido interessano una serie di caratteristiche, quindi i solidi vengono classificati in base alla dimensione, alla capacità di scorrimento, all'abrasività e altre caratteristiche. La classificazione è sintetizzata tramite una serie alfanumerica.
Nelle slide 4 e 5 è riportata una tabella in cui si trovano:

- La sigla alfanumerica che classifica i solidi in base alle loro caratteristiche;
- Flowability: relativa all'angolo di scarpa quando il solido è in mucchi;

Angolo di scarpa o di attrito: angolo/conetto che forma il solido lasciato cadere. L'apertura del cono rispetto all'orizzontale. Quest'angolo è l'angolo di scarpa statico, dovuto all'attrito delle particelle tra loro. Sul nastro trasportatore si parla di angolo di scarpa dinamico (il nastro trasportatore induce delle vibrazioni), che deve essere inferiore a quello statico. La maggior parte dei fluidi tende a dare un angolo di scarpa minori di 30°, compresi tra 30° e 45° oppure superiori a 45° (sluggish)
Sluggish: quando l'angolo di scarpa > 45°, le particelle tendono ad agglomerarsi tra loro. Nelle tabelle sulle slide si vede la classificazione dei solidi in base alla sigla alfanumerica. In più c'è un dato relativo alla bulk density;

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 3 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 5 di 104

Trasporto pneumatico

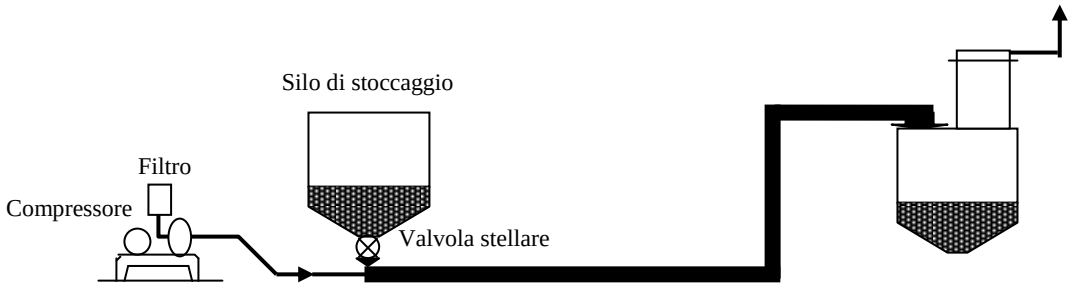
Trasporto del solido in una tubazione. Non si hanno disperdimenti di materiale. Così come può esserci inquinamento del solido verso l'aria, analogamente può esserci inquinamento del pulviscolo atmosferico verso il solido (il che può essere un problema nel trasporto pneumatico di farmaci, cibi ecc.). L'aria usata come gas si trasporto deve essere pulita, filtrata.

Ci sono tre svantaggi nell'utilizzo di questo sistema:

1- La maggior limitazione di questo tipo di trasporto è la pezzatura, costituita da un accoppiamento dimensione-densità (oltre un tot di peso per particella non si può andare).
2- Questo tipo di trasporto presenta inoltre una potenza specifica elevata. Il consumo specifico è piuttosto basso (poco materiale trasportato per unità di potenza utilizzata).
3- Non si può trasportare del solido troppo umido, s'impaccherebbe e si attaccarebbe alle pareti, costituendo un problema soprattutto nei gomiti (dove si ha un certo maltrattamento del materiale).

Ci sono cinque tipi diversi di impianti per il trasporto pneumatico.

Impianti in pressione La tubazione di trasporto in cui fluisce il solido si trova ad una pressione superiore di quella atmosferica. Raggiungono Δp non molto elevati, di 1 bar (10 m H_2O) Il compressore che mette in pressione la tubazione si trova in testa.



Dall'immagine vediamo che, da sinistra verso destra, c'è prima il compressore. Poi il solido viene preso da un silo di stoccaggio. Infatti, un impianto in pressione è un impianto per la movimentazione interna, in cui il solido, dopo essere arrivato dall'esterno, viene stoccato in un silo, da cui è prelevato e alimentato all'impianto dove viene processato. Il compressore, messo a monte, mette in pressione). Il compressore è in testa, mette in pressione la tubazione a monte e il solido, stoccato nel silo, deve entrare nella tubazione. L'aria, che è in pressione, non deve disperdersi attraverso silo. Quindi il passaggio del solido in granuli dal silo alla tubazione di trasporto deve avvenire senza che nel silo possa entrare l'aria. A questo scopo, si usano di dispositivi:

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 5 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 7 di 104

Impianti misti: Impianto in pressione + in aspirazione. Si può realizzare un percorso più lungo, perché si ha a disposizione la Δp dell'impianto in aspirazione più quella dell'impianto in pressione, per un totale di 1,5 bar relativi. Il carro ferroviario viene svuotato, c'è sistema di filtrazione e un compressore che mette in funzione la parte di trasporto in pressione. Il trasporto pneumatico deve essere di tipo omogeneo, cioè in ogni punto ci deve essere la stessa concentrazione di particelle in sospensione. Questo lo si realizza quando sono verificate due condizioni:

1- Il rapporto in peso del solido rispetto all'aria deve essere minore di 15;
2- La velocità del gas deve essere in un certo range, 20-28 m/s, quando il solido è di pezzatura molto piccola, inferiore al mm (polveri), oppure 28-38 m/s se i solidi hanno una dimensione maggiore.

Rispettando questi criteri si ha il trasporto pneumatico omogeneo. Se invece il rapporto in peso e la velocità dell'aria sono bassi si ha un trasporto disomogeneo. Oppure, se si ha un rapporto in peso molto alto (poca a ria rispetto al solido) e una velocità dell'aria bassa, si ha un trasporto detto perduto. Sul fondo della tubazione sono visibili delle dune che sembrano statiche, ma in realtà sono dinamiche perché le particelle saltano da una duna all'altra. In genere si vuole il trasporto omogeneo.

Impianti ad alta pressione Usati per grandi distanze. L'aria arriva a 8 bar. È un **impianto discontinuo**. C'è un compressore alternativo (volumetrico) dell'aria, che dà 9-10 bar in pressione assoluta. Lo stoccaggio del solido avviene in due silos sovrapposti, quello di sopra è quello di riempimento che alimenta quello sottostante, da cui parte la tubazione di trasporto. C'è una grossa valvola che separa il primo dal secondo. All'inizio quello di sopra è pieno e quello di sotto vuoto. Prima di iniziare il trasporto si deve trasferire una parte del solido da sopra a sotto aprendo questa valvola: si apre la valvola in mezzo e si tiene chiusa la valvola stellare sotto. Si riempie il silo sottostante. Quando questo è pieno, si apre la valvola stellata e l'impianto è messo in pressione. Entra un po' d'aria anche nel silo di sotto e si fluidificano le particelle, facilitandone il trasporto. Il fondo, a questo scopo, è forato con un foro di dimensione inferiore a quella delle particelle. Quando si è svuotato tutto il silo di sotto, si ferma il compressore, si sfiata la pressione, si riempie il silo di sopra e si ricomincia come prima. Per questo l'impianto è discontinuo.

Quando le polveri sono costituite da materiale organico, quindi combustibile, una volta disperse nell'aria si comportano come vapori di un gas infiammabile (ad esempio la farina è estremamente pericolosa). C'è una tabella che riporta dei dati a questo proposito. I valori sono molto bassi! Quando si vogliono trasportare queste sostanze, si usa l'azoto (che è costoso) o si può usare l'aria, ma ponendosi in condizioni tali da usare portate di aria elevata. La quantità relativa di solido su aria deve essere molto piccola. Il trasporto è omogeneo, ma la concentrazione di solido nell'aria deve essere inferiore al LEL (minima concentrazione che produce una miscela infiammabile, è data in mg/l o in g/m^3). Nella slide 32 sono riportati i valori di LEL per varie sostanze organiche. Inoltre troviamo i valori dell'energia minima di accensione, della massima pressione che si può avere al seguito dell'esplosione, della velocità con cui si passa dalla pressione atmosferica alla massima pressione ottenibile dall'esplosione (quanto più è elevato quest'ultimo valore, tanto più è dirompente l'esplosione). Quando si vuole trasportare con meccanismo pneumatico sostanze di questo genere si hanno due possibilità:

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 7 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 9 di 104

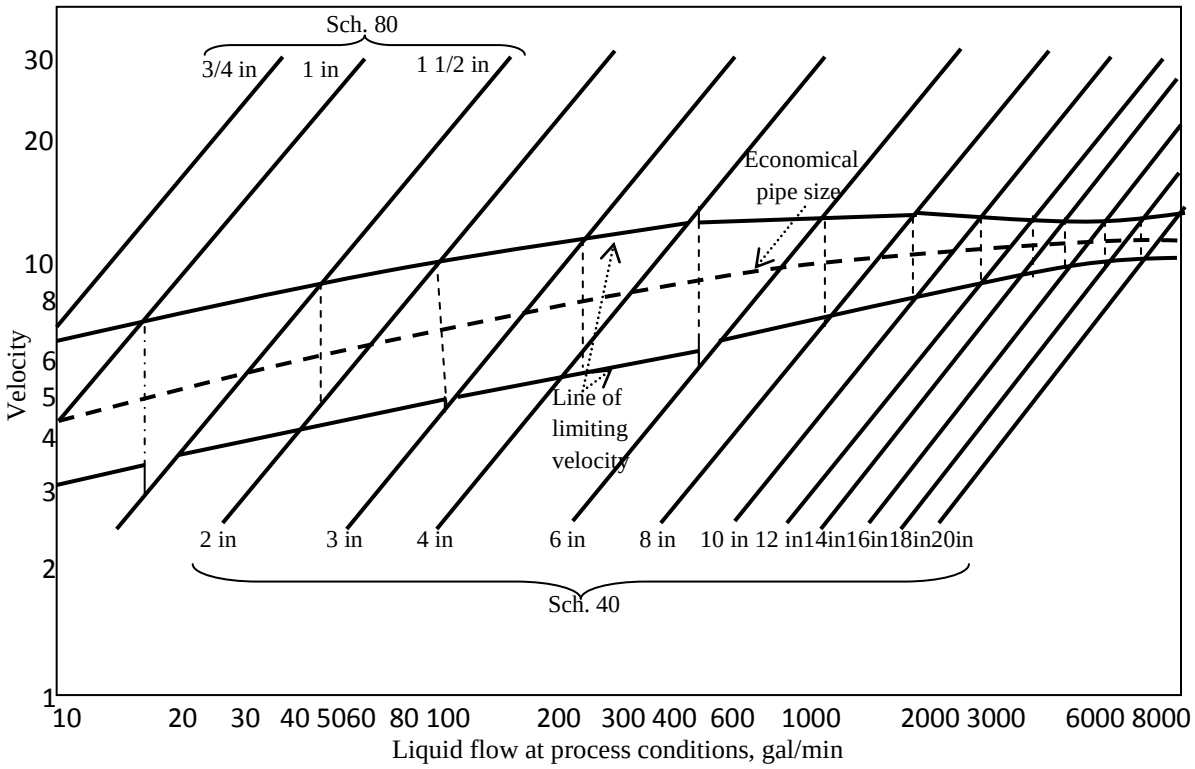
Lezione 7.2: SERVIZI AUSILIARI – Handling: tubazioni

Normalizzazione

È stato necessario fare una normalizzazione sia per quanto riguarda i materiali che per le dimensioni, che dipendono dalle condizioni d'impiego: temperatura, pressione e aggressività dei fluidi che ci scorrono dentro. C'è quella italiana, ma anche quella americana. La normalizzazione viene fatta da chi detiene i brevetti. Nella normativa italiana ci sono i tubi gas, che esistono ancora fino ad una certa dimensione come diametro, mentre si usano i tubi lisci per maggiori dimensioni.

Diametro ottimale di una tubazione

Le tubazioni sono un impego talmente vecchio, che il processo di ottimazione è stato già fatto da altri, che hanno poi dato delle norme di uso applicativo. Conoscendo la portata e il tipo di fluido, per ottimizzarne il trasporto, bisogna far viaggiare il fluido in un certo range di velocità. Grazie alla portata e alla velocità, si ricava il diametro della tubazione. Di seguito è riportato un diagramma per il dimensionamento delle tubazioni in cui scorre acqua e la determinazione del loro diametro ottimale.



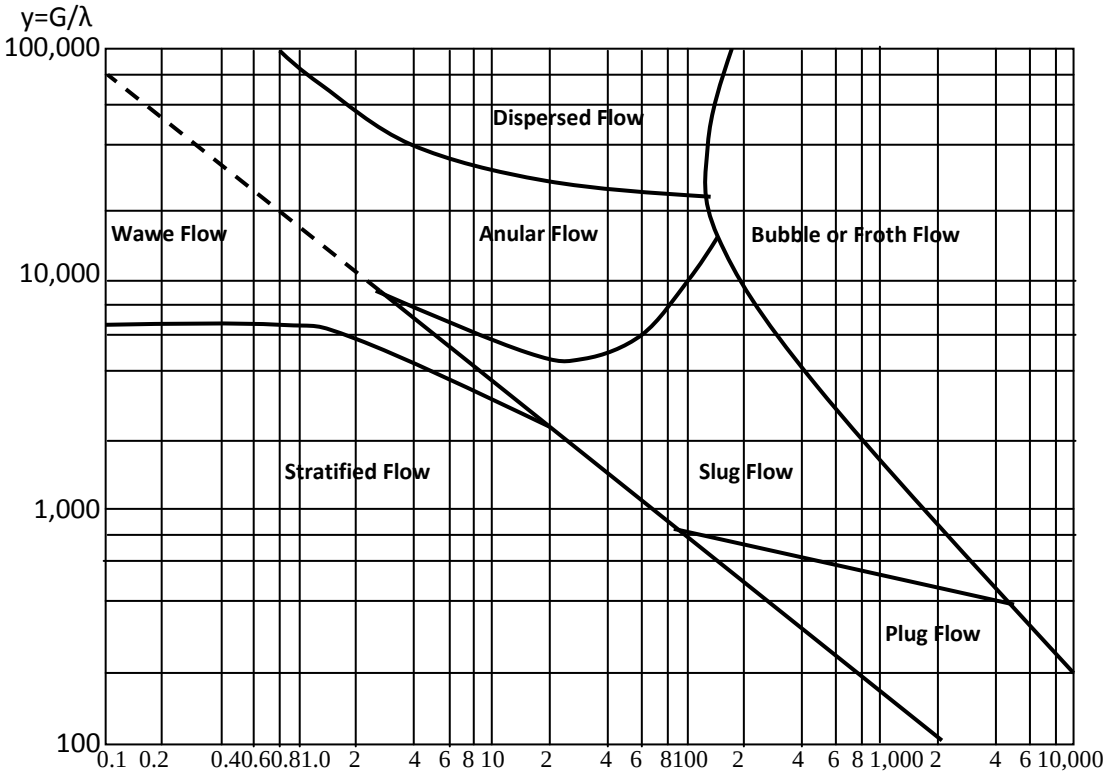
Le rette inclinate si riferiscono al diametro ottimale. Il range ottimale di velocità a seconda della portata è quella specie di condotto centrale, delimitato dalle line of limiting velocity. Nella slide 15 sono riportate le tabelle dove si trova, a seconda del fluido, il range di velocità ottimale con cui fare dimensionamento.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 9 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 11 di 104

Tubazioni percorse con flusso bifasico

Flusso in cui il gas/vapore scorre insieme al liquido. Basta il 2% in peso di gas per avere flusso bifasico (portata grande in volume perché la densità del gas è di tre ordini di grandezza minore rispetto a quella del liquido).
Nella tubazione si possono venire a creare una serie di regimi fluidodinamici estremamente varia.



I regimi che si possono avere sono raggruppati nella mappa qui sopra.
G= portata massica di gas;
L= portata massica di liquido.
Queste portate sono delle portate superficiali, cioè riferite alla sezione retta del tubo.
Unità di misura $lb/h/ft^2$
Per tenere insieme i flussi bifasici di fluidi gassosi e liquidi molto diversi fra loro, Baker (autore della mappa) ha introdotto i seguenti parametri fisici:

$$\lambda = \left[\frac{\rho_G}{\rho_A} \cdot \frac{\rho_L}{\rho}\right]^{1/2}$$

$$\Psi = \frac{\sigma_W}{\sigma_L}\left[\frac{\mu_L}{\mu_W} \cdot \left(\frac{\rho_W}{\rho_L}\right)^2\right]^{1/3}$$

Dove:
ρ_G = densità del gas, ρ_L = densità del liquido, ρ_A = densità dell'aria, ρ_W = densità dell'acqua;
μ_W = viscosità dell'acqua, μ_L = viscosità del liquido;
σ_W = tensione superficiale dell'acqua, σ_L = tensione superficiale del liquido.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 11 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 13 di 104

Lezione 7.3: SERVIZI AUSILIARI – Handling: dilatazione tubazioni

Analizziamo l'aspetto relativo alle dilatazioni delle tubazioni a seguito della variazione di temperatura rispetto alla temperatura ambiente, in particolar modo per temperatura superiore a temperatura ambiente.

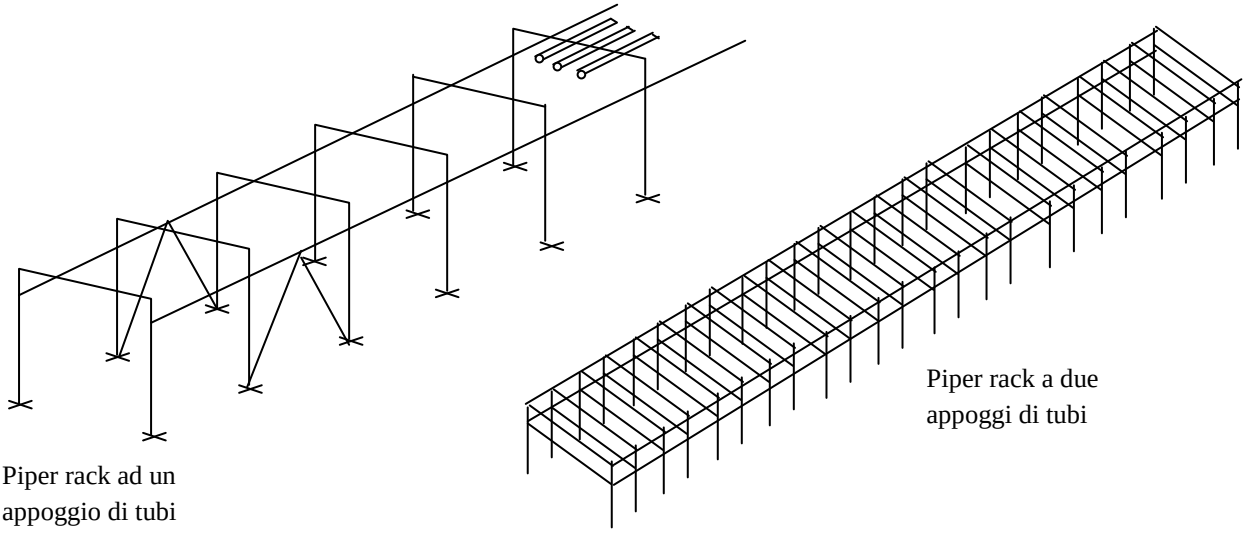
Montaggio delle tubazioni

All'esterno dei reparti (fuori dai limiti di batteria)

Modalità di montaggio delle tubazioni al di fuori dei reparti. Sono le possibilità con cui, tramite le tubazioni, nell'ambito delle varie zone in cui l'area dello stabilimento è suddivisa, si fanno arrivare le utilities fluide nei reparti in cui ce n'è bisogno.

Piper rack o pipe way
Sono delle costruzioni in elevazione che normalmente vengono fatte con profilati, che quindi permettano il passaggio delle persone e delle macchine. Nell'immagine c'è un piper rack ad un solo appoggio di tubi. L'altro è un piper rack a due piano di appoggio per i tubi sovrapposti,

I piper rack li avevamo visti utilizzati nel raffreddamento indiretto dell'acqua di raffreddamento.



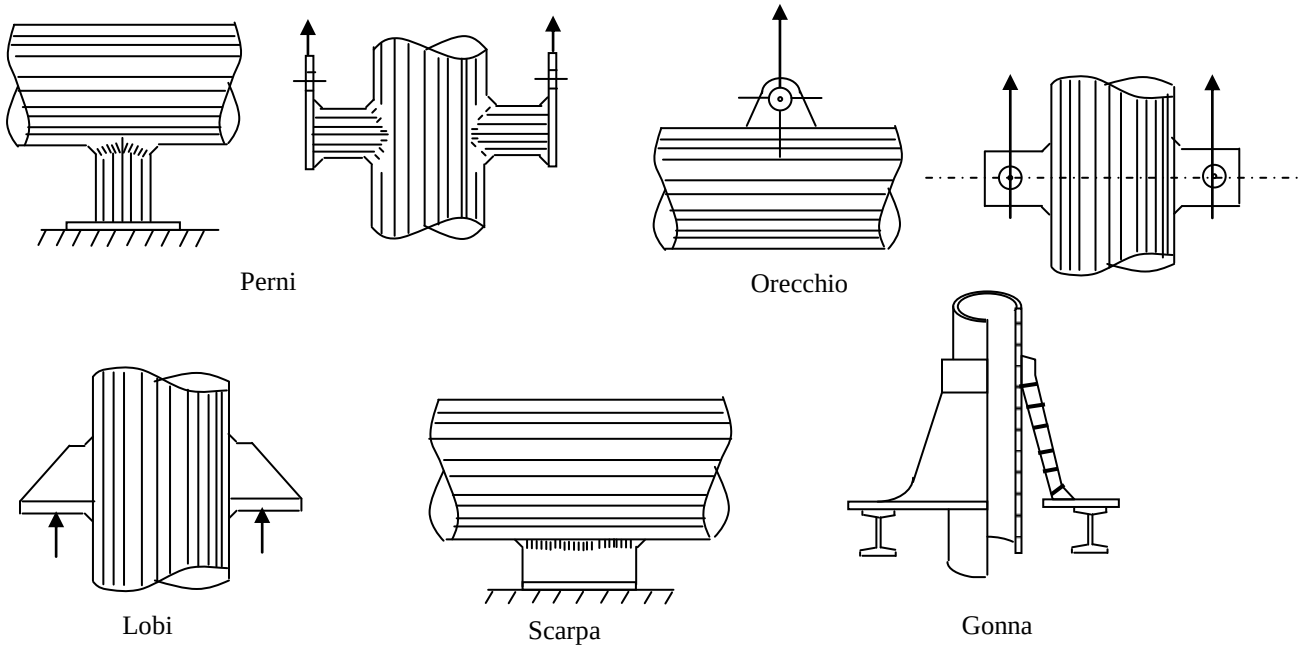
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 13 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 15 di 104

possa resistere alle sollecitazioni che la tubazione scarica su di esso. È estremamente importante, perché in qualunque modo si montino le tubazione, queste vengono sempre suddivise in spezzoni, i quali hanno un ancoraggio a ciascuna delle due estremità.

Gonna, particolare ancoraggio fatto per tubazioni verticali. C'è un appoggio ed una specie di imbuto che è saldato sia alla base d'appoggio che circonferenzialmente alla tubazione, impedendone i movimenti (a meno che le sollecitazioni della tubazione non siano tali da rompere la saldatura o arrecare danni all'appoggio).

Tubazione integrale. Si ha quando si salda sulla superficie laterale della tubazione qualcosa: orecchie, scarpa, perni esterni, lobi (sono delle "squadrette" rinforzate con una parte di lamiera, che servono per l'appoggio).

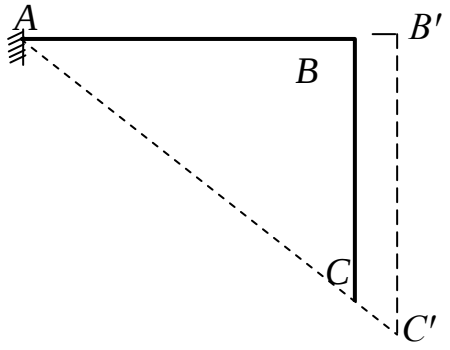


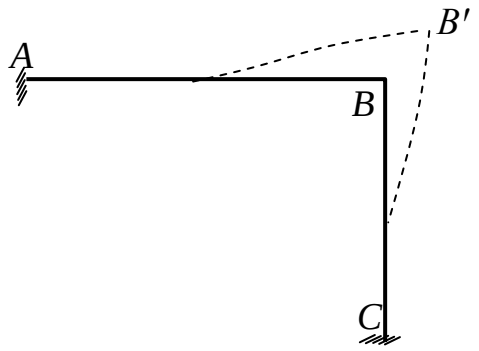
Nel montare una tubazione è importante sapere quali siano le sollecitazioni a cui la tubazione è sottoposta, perché è proprio in funzione delle tubazioni che vengono dimensionati gli appoggi, le sospensioni o gli ancoraggi. Anche quando la tubazione è rettilinea è soggetta a sollecitazioni, che sono dovute al peso proprio (peso del tubo, peso del fluido che vi scorre dentro, peso del coibente). Una tubazione orizzontale è o sospesa o appoggiata e gli appoggi (non ancoraggi, ma appoggi che consentono il movimento della tubazione, o almeno uno dei sei visti prima).
Definizione: la catenaria è la struttura a "pancia" che formano, ad esempio, i fili della corrente. Non sono mai tesi e rettilinei.
Quando una tubazione è dritta, gli appoggi e le sospensioni vanno messi ad una distanza tale che il peso proprio della tubazione faccia sì che la pancia della catenaria non sia mai più del 2% della lunghezza della catenaria stessa. La distanza tra due appoggi consecutivi, detta *span*, si evince in funzione della dimensione del tubo e del suo peso complessivo. In questo modo, cioè con una catenaria che ha una freccia massima del 1-2%, non si rischia di superare la σ ammissibile del materiale, quindi la tubazione non subisce dei danni dal punto di vista meccanico.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 15 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 17 di 104

Immaginiamo di avere una tubazione ancorata ad un'estremità e libera all'altra. Se subisce un





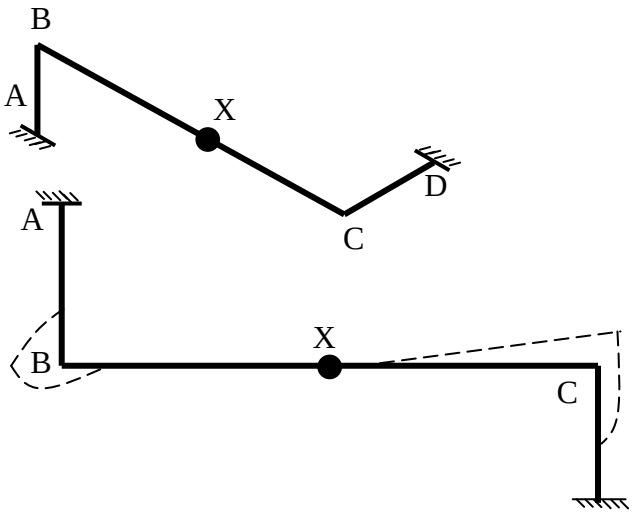
incremento di temperatura, la tubazione si allunga di un valore pari a ΔL che è calcolabile. L'allungamento non produce alcun effetto meccanico sulla tubazione. Ma se immaginiamo che la tubazione sia bloccata anche all'altro estremo, l'allungamento ΔL non può avvenire liberamente, ma tende a creare una "gobba". È come se fosse soggetta a carico di punta. Quando una tubazione è soggetta a carico di punta, facendo la "gobba" in qualche modo compensa l'allungamento. L'allungamento crea una tensione sul materiale che va a scaricarsi su uno dei due ancoraggi, il quale, se non è stato calcolato bene, si sradica. Se invece i due ancoraggi sono stati calcolati per resistere ad una forza superiore a quella che la dilatazione della tubazione, la tubazione viene come compressa e può danneggiarsi. Bisogna in qualche modo compensare questa dilatazione. Il modo più semplice è quello di non fare il collegamento con l'ancoraggio in modo retto. Questo si vede nel disegno: invece di seguire la retta tratteggiata, si forma un gomito tra il punto A e il punto C. Lasciando l'estremo C libero si ha l'allungamento, a seguito della ΔT sia lungo AB che lungo BC per cui la tubazione si sposterebbe lungo la tratteggiata. Per cui la tubazione si sposterebbe dal punto C alla posizione C ', che poi è esattamente l'allungamento del segmento di retta AC a seguito della ΔT. questo quando la tubazione è libera, ma abbiamo visto che in questo caso anche il collegamento straight non da problemi. Invece la presenza del gomito dà ina deformata. La presenza del gomito assorbe gli allungamenti. Si è fatta una compensazione della dilatazione. Le sollecitazioni vengono a scaricarsi sulla compensazione. Quando voglio congiungere A con C, avendo già fissato il tratto AB, devo stabilire quanto deve essere lungo il tratto BC senza che ci possano essere dei danni alla tubazione. Quindi invece di fare il collegamento diretto BC si fa il collegamento "a gomito", detto collegamento a mensola. Bisogna calcolare, una volta fissato un lato della mensola, la lunghezza dell'altro lato della mensola (M) in manieratale che la dilatazione venga compensata senza che la tubazione subisca dei danni meccanici. Si possono applicare le formule delle slide 10 e 11 oppure c'è un nomogramma in cui sono già stati inseriti i risultati di questi calcoli. Questo nomogramma è relativo alle tubazioni in acciaio (vedi pagina seguente).

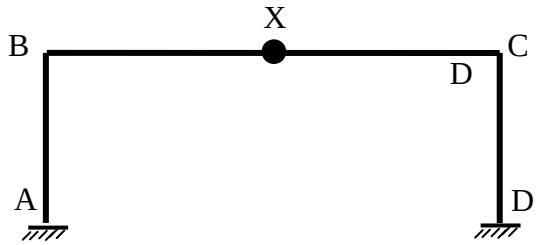
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 17 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 19 di 104

Per calcolare le lunghezze, le si tratta come due mensole diverse, e si usa sempre il nomogramma visto prima. Il disegno che segue illustra la deformazione a cui è soggetta la tubazione a die gomiti.

I due disegni che seguono, illustrano un collegamento a due gomiti disposto nello spazio invece che nel piano.





Si arriva fino a costruzioni di sei gomiti.
Per ogni tratto di tubazione, una volta scelto come posizionare gli appoggi e quali di questi far diventare ancoraggi, è necessario, a seconda del ΔT che subisce la tubazione, il calcolo della dilatazione. Soltanto sapendo il valore della dilatazione si può utilizzare il sistema per la sua compensazione più opportuno senza che ci siano danni meccanici alla tubazione. Quando la tubazione è semplice il calcolo può essere fatto in modo semplice. Ma se si sta prendendo in considerazione un'intera rete è necessario l'utilizzo di appositi software dedicati, dato il maggior livello di difficoltà del calcolo.
I più utilizzati sono:

- Flexibility matrix method;
- Stiffness matrix method.

Questi permettono di valutare in tutta l'estensione della rete quali siano le dilatazioni che ciascun tratto di tubazione può subire, in maniera tale da progettare i sistemi di compensazione.

Compensatori di dilatazione

Rispetto ad una tubazione dritta, il costo è molto maggiore, per via dell'utilizzo di più tratti di tubazione e dell'inserimento di gomiti. Esistono dei dispositivi detti compensatori di dilatazione, che sono molto più compatti, quindi costituiscono un ingombro minore rispetto all'utilizzo dei gomiti, ma che hanno un costo più elevato.

Sulla tubazione ci possono essere quelli che vengono chiamati i **vincoli esterni**. Ad esempio, analizziamo la colonna di distillazione: c'è il vapore che esce dalla testa che deve essere condensato (il condensatore naturalmente è montato a terra e una parte del liquido viene rimandato, tramite una pompa, in testa alla colonna, costituendo il reflusso liquido di testa della colonna). Ci sono due casi

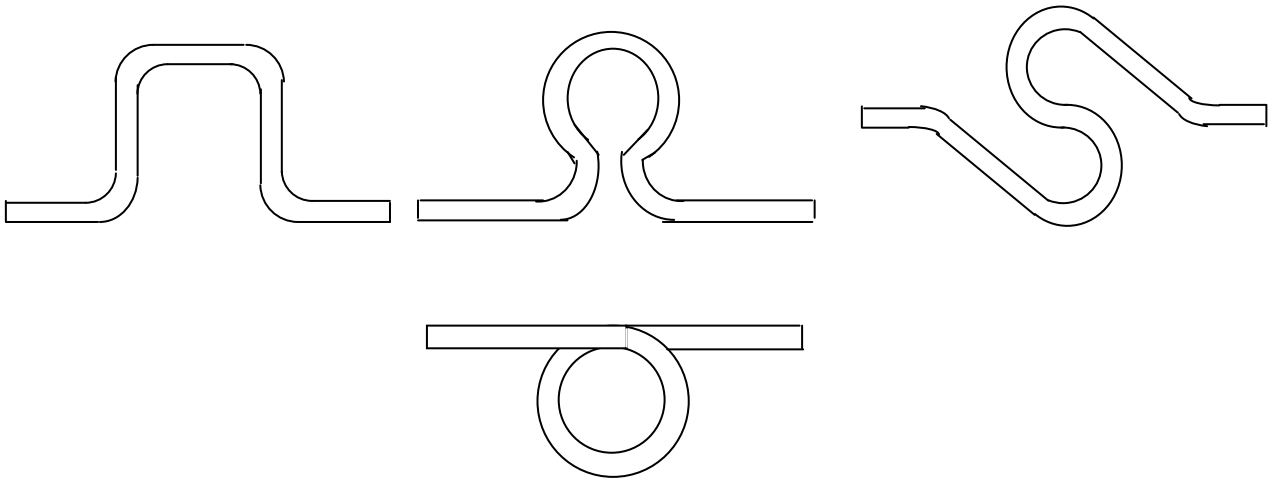
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 19 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 21 di 104

Tipi di compensatori di dilatazione

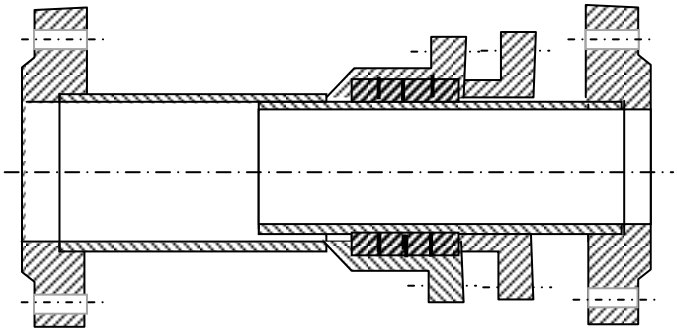
Gomiti a 90°Costituiscono il tipo più semplice di compensatore di dilatazione. Sono però ingombranti.

Compensatori a loop o a lira: Usati per le tubazioni dritte, sono poco costosi. Le lire sono realizzate tramite l'introduzione di 4 gomiti. Può avere forme diverse.



Questo viene fatto su tubi piccoli. Infatti il tubo viene scaldato per poter essere sagomato in questo modo. Con tubi grandi la lira viene fatta con l'aggiunta di gomiti, come visto precedentemente.
Anche le lire sono ingombranti. Si fanno soprattutto sulle tubazioni che corrono in trincea aperta. Ad un certo punto si trova proprio un piazzale in cui vengono montate le lire. Richiedono appunto spazio, come lo richiedeva l'utilizzazione dei gomiti. Se invece non si ha spazio a disposizione, bisogna ricorrere a qualcosa di più compatto, ma che sia in grado di assorbire la dilatazione della tubazione.

Si utilizzano de compensatori.
Compensatore a cannocchiale È un tubo flangiato all'interno del quale scorre un altro tubo. Il collegamento viene fatto tramite premistoppa, che non è il massimo della tenuta, infatti va sempre regolato, non resiste a flessione, lavora male quando si ha torsione tra le due parti. Se ad esempio la tubazione interna viene allungata rispetto a quella esterna, sarebbe come se la tubazione interna scorresse. Assorbe la dilatazione senza creare danni. È un compensatore abbastanza semplice, ma poco robusto e inoltre può dare delle perdite.



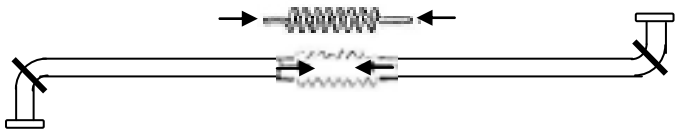
Tenuta con premistoppa

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 21 di 104

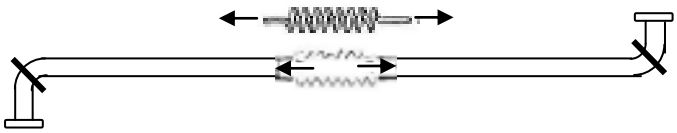
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 23 di 104

3- Per evitare che collassi la tubazione deve essere guidata. Ci devono essere degli appoggi. Immaginiamo di avere due ancoraggi con il soffietto montato più o meno a metà tra i due. Vengono inserite due guide anulari con diametro superiore a quello esterno della tubazione. Le guide sono collegate su degli appoggi e non possono muoversi lateralmente (come i due spezzoni di profilato visti prima, più grandi se il tubo è grande e più piccoli se viceversa il tubo è più piccolo). Gli appoggi permettono solo una traslazione ortogonale rispetto al piano del disegno. Queste guide mantengono il soffietto nella posizione assiale, permettendogli di muoversi nella direzione assiale e non lateralmente. Se così non fosse il soffietto potrebbe piegarsi. Il soffietto non ha resistenza a flessione e potrebbe rompersi, per questo non deve piegarsi. Quindi il soffietto, per far sì che si dilati e si comprima solo assialmente, va aiutato con delle guide.

Quali sono gli effetti, durante la fase di lavoro della tubazione, che creano una sollecitazione sul soffietto, che poi va a scaricarsi tramite la tubazione sugli ancoraggi? C'è una precisa sequenza. Un soffietto va montato pretensionato. Quando la tubazione si dilata i due pezzi di tubazione tra cui è montato il soffietto fanno sì che questo si comprima. Il soffietto può variare la sua lunghezza al massimo di 200 mm. Il soffietto appena acquistato ha una certa dimensione. Se si montasse il soffietto esattamente nella sua dimensione "a freddo", ovvero a temperatura ambiente, non sopporterebbe una variazione di lunghezza di 200 mm. Affinché il soffietto possa al massimo subire una dilatazione di 200 mm, si deve montare già allungato, cioè pretensionato. Il pretensionamento (cioè l'allungamento effettuato prima del montaggio del soffietto) deve essere pari a metà della massima ΔL di cui si accorcia per compressione. Il soffietto è come se fosse una molla. Essendo pretensionato, una volta montato a freddo, tenderebbe a tornare alla sua lunghezza originale. In questo modo crea delle sollecitazioni sulla tubazione mettendola in tiro →←. Il tiro della tubazione si scarica sugli ancoraggi. Questo avviene ancora prima della messa in funzione della tubazione, soltanto montando il soffietto a temperatura ambiente questo induce una sollecitazione meccanica (una trazione meccanica sulla tubazione).



Quando si va a caldo si ha una compressione del soffietto, che fa reagire la molla e questa crea una spinta in questa direzione ←→. Quindi, la compressione del soffietto fa reagire la molla, la molla crea una spinta in questa direzione ←→. Si crea l'azione di compressione sulla tubazione che comprime gli ancoraggi. A freddo il soffietto tiragli ancoraggi verso l'interno a caldo invece da una forza di compressione su entrambi gli ancoraggi.



Questo avviene quando la tubazione è a caldo e la pressione interna è pari a quella atmosferica o comunque di poco superiore a quella atmosferica.

Ma noi sappiamo che spesso le tubazioni lavorano in pressione, anche solo grazie all'utilizzo di una pompa o di un compressore, utilizzati per far circolare una certa portata all'interno della tubazione.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 23 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 25 di 104

Vantaggi dei compensatori assiali

- Ingombro ridotto in lunghezza assiale;
- Non è necessario fare la manutenzione

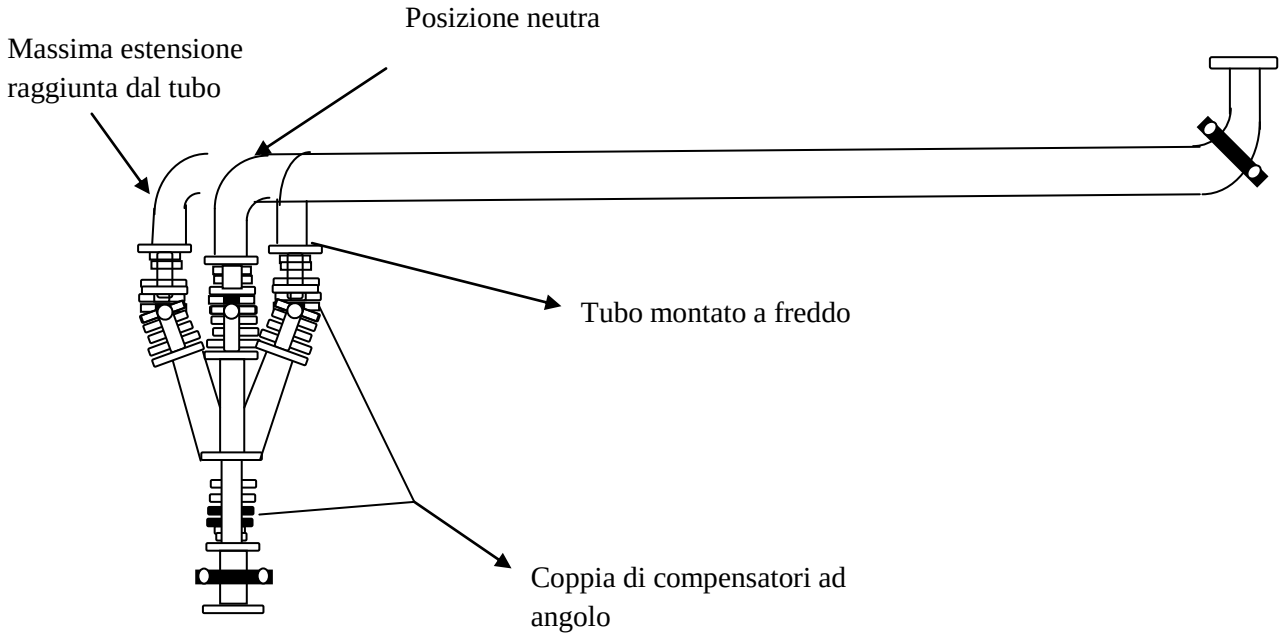
Svantaggi dei compensatori assiali

- Sopporta solo sollecitazioni a fatica assiali. Non sopporta flessioni e torsioni, se no le spire si rompono;
- Richiede manutenzione per fluidi contenenti particelle, perché queste vengono bloccate dalla pancia delle spire e potrebbero creare dei fenomeni di corrosione.

Se a metà del soffietto si mette una cerniera, si passa dal compensatore assiale a soffietto a quello che viene chiamato **compensatore a snodo o ad angolo**.

Compensatore a snodo o ad angolo

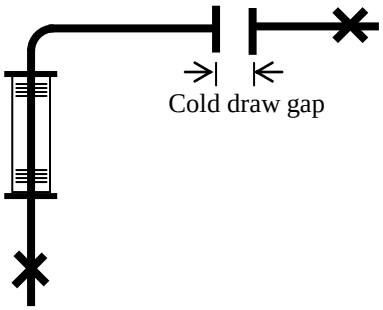
I compensatori a snodo o ad angolo vanno sempre montati in coppia (a volte anche tre), mai da soli. Si ha un gomito con due ancoraggi. C'è una parte di tubo più lungo. Sull'altra parte di tubo si montano due compensatori ad angolo (che vedono un tratto di tubo fisso tra di loro, di una certa lunghezza). La dilatazione nel tratto piccolo è modesta, la gran parte della dilatazione si ha nel tratto lungo. Quando il tubo si scalda si allunga verso sinistra (vedi immagine sotto). I compensatori consentono, proprio perché sono snodati a metà, dov'è introdotta la cerniera, la resistenza a flessione, cosa che non capitava con il compensatore puramente assiale. I due compensatori permettono le due deformate del disegno.



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 25 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 27 di 104

elevata. Ma naturalmente sono molto costosi e piuttosto delicati perché lavorano più a fatica degli altri. Difficilmente si usano.

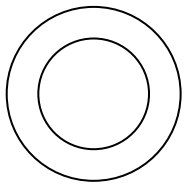


Le due flange non riescono ad essere connesse a freddo con un angolo retto. Le flange hanno una certa distanza detta **cold draw gap**. Questa distanza è pari al 50% della massima dilatazione. Per cui, quando unisco le due flange, sposto il gomito verso destra. Già soltanto col montaggio a freddo ho compensato il 50% della massima dilatazione che il tubo subirà.

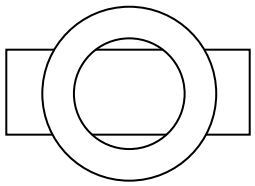
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 27 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 29 di 104

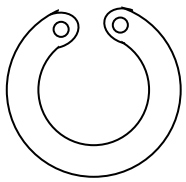
Siccome le due parti che devono dare tenuta possono con l'uso rovinarsi, il corpo ha una filettatura femmina, mentre la sede ha una filettatura maschio, che le permette di essere estratta e sostituita in caso si fosse rovinata. L'otturatore è qualcosa di abbastanza complicato in genere. Deve essere connesso con lo stelo dell'organo di comando meccanico. Lo stelo si alza e si abbassa, ma questo movimento di traslazione è compiuto dallo stelo con un moto di rotazione. Se l'otturatore fosse solidale con lo stelo ruoterebbe con lo stelo stesso. In particolare, quando si è in fase di apertura, l'otturatore ruoterebbe all'interno della sede e in poco tempo la rovinerebbe, alterando gravemente la tenuta della valvola entro poche operazioni di apertura-chiusura. Bisogna far sì che l'otturatore segua il movimento di traslazione dello stelo, ma non quello di rotazione. L'otturatore è quindi costituito di quattro pezzi. C'è una parte inferiore "a coppa" (la parte più tondeggiante), che ha un foro filettato con filettatura a femmina. Dentro il foro filettato finisce una parte forata che porta una filettatura a maschio. Al di sopra è situata una rondella antisvitamento. Le rondelle antisvitamento hanno almeno un'aletta laterale che poi viene ripiegata in una scanalatura in maniera tale da bloccarla.
La rondella classica è questa:



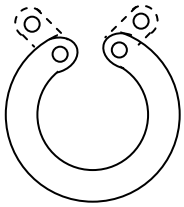
La rondella antisvitamento ha almeno una banda laterale. Nel caso specifico ce ne sono due a 90°.



Queste bande si ripiegano è vanno in due scanalature, per cui la rondella non si sposta più.
La parte terminale dello stelo ha una gola. Nella gola viene posizionato un anello Seger interno. Gli anelli Seger sono delle rondelle classiche aperte con due fori:



Esiste una particolare pinza che all'estremità del coccodrillo riporta due perni che vengono infilati nei fori. Se si apre la pinza si apre la rondella e la si fa salire nella gola. L'anello Seger interno è fatto così come illustrato nella figura sopra. Quello esterno invece è fatto :

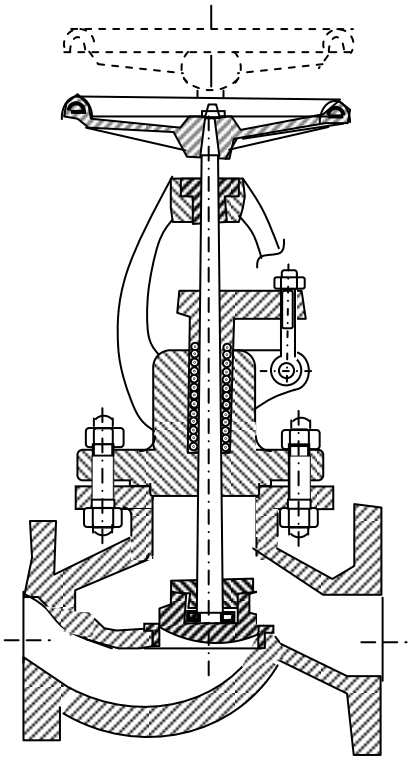


© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 29 di 104

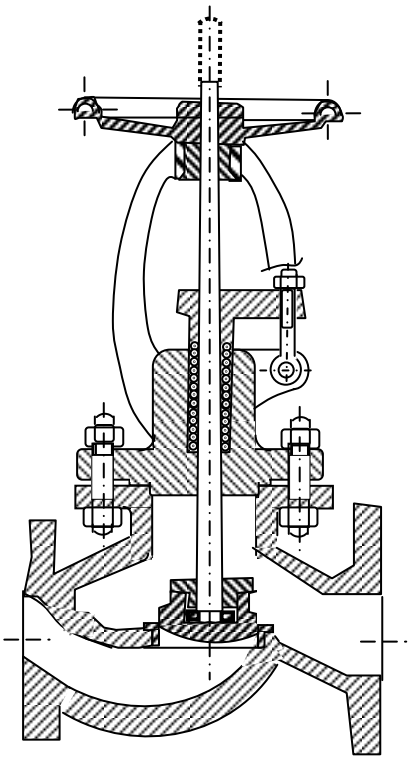
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 31 di 104

i movimento dello stelo), una delle azioni di manutenzione che vanno effettuate sulle valvole è proprio la sostituzione della baderna.

2- Se si vuole e vitare che il sistema vite-madrevite venga a contatto con il fluido e che si corroda, lo si può spostare all'esterno del corpo. Il corpo ha tre bracci che sono a 120° che si uniscono nella parte superiore in un foro filettato con filettatura femmina e la filettatura a maschio dello stelo è stata portata all'esterno. Entrambi questi tipi di montaggio danno allo stelo sia il movimento rotatorio che traslatorio. I premistoppa sono nati solo per dare tenuta a organi meccanici in movimento rotatorio. Non va bene avere entrambi i movimenti. Si vuole eliminare il movimento rotatorio.



3- Per fare ciò si cambia la posizione del volantino rispetto al cappello. Il volantino ruota (ma non si muove longitudinalmente) e lo stelo si muove con moto solo traslatorio.



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 31 di 104

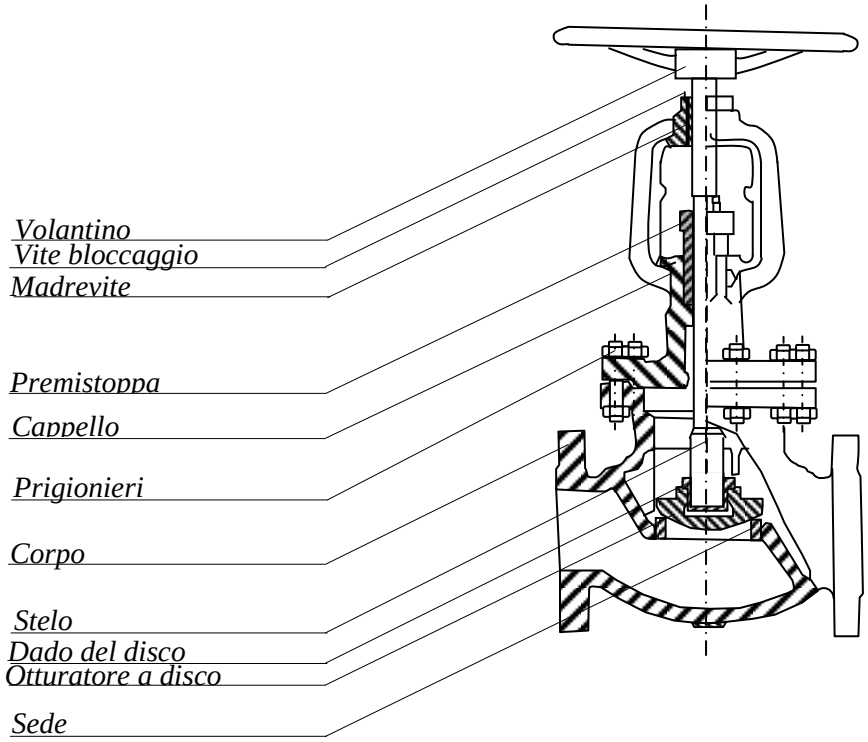
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 33 di 104

come abbiamo visto prima, ogni costruttore si sbizzarrisce). Cappello, guarnizione di tenuta tra cappello e corpo, cappello unito al corpo della valvola con dei prigionieri.
Il bullone è fatto da un corpo filettato con un dado fisso (o solidale). Il prigioniero non ha il bullone di testa. La parte filettata si avvita in un foro filettato, ad esempio nel corpo della valvola, poi si mette il cappello sopra e si chiude con rondella e dado.

Valvole a vite

Sono quelle che abbiamo visto finora. Sono dette a vite perché il movimento dello stelo rispetto all'otturatore e dell'otturatore rispetto alla sede avviene con un movimento a vite, comandata dal volantino per le valvole manuali. Fra le valvole a vite, a seconda di com'è fatto il percorso del fluido all'interno del corpo, ci sono tre tipi di valvole a vite.

1. **Valvola a flusso convogliato (globe valve)** Il percorso che fa il flusso dalla flangia d'ingresso a quella d'uscita è quello di entrare orizzontalmente, piegare verso l'alto, passare attraverso la luce scoperta tra otturatore e sede, superare l'otturatore, piegare di nuovo verso destra e uscire in orizzontale dalla valvola, sullo stesso asse della flangia di ingresso. Se



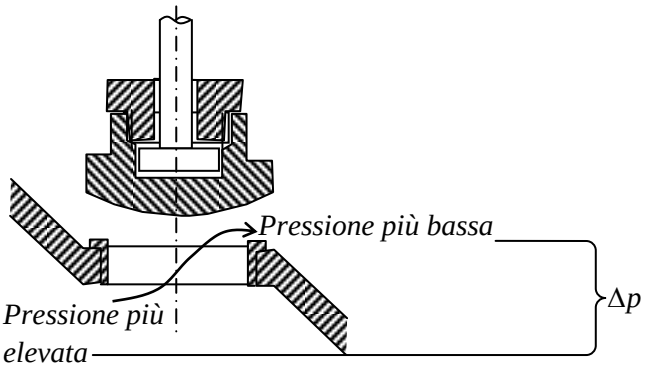
queste variazioni di direzione fossero brusche, ci sarebbero delle perdite di carico consistenti dentro la valvola. Per ridurle si cerca di "smussare" il percorso. Il percorso così convogliato (cioè costretto alle variazioni di direzione) dà il nome alla valvola. Le perdite di carico restano comunque notevoli.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 33 di 104

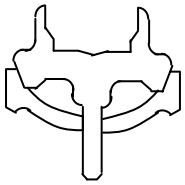
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 35 di 104

Otturatore a disco È quello bombato
Otturatore a spillo È a sezione trapezoidale, ha un'accuratezza elevata nella regolazione.

Quando alzo l'otturatore di una valvola, il fluido passa attraverso la sezione di passaggio, all'interno della quale si ha una perdita di carico. La pressione a monte della sezione è inferiore rispetto a quella a valle del flusso entrante. Si ha quindi una spinta, dovuta a questa perdita di carico, dal basso verso l'alto, che potrebbe provocare degli sbandamenti laterali dell'otturatore, dando dei problemi sullo stelo (facendolo lavorare a flessione!).



Per evitare che questo accada, si fanno gli **otturatori guidati**. La parte al di sotto dell'otturatore ha un peduncolo che si muove verticalmente in un foro ricavato direttamente nella sede. La sede ha tre raggi a 120° che nella parte centrale hanno un foro che è la guida orizzontale all'otturatore (il foro nel quale si colloca il peduncolo dell'otturatore, impedendogli di muoversi lateralmente per via della perdita di carico tra monte e valle della sede).



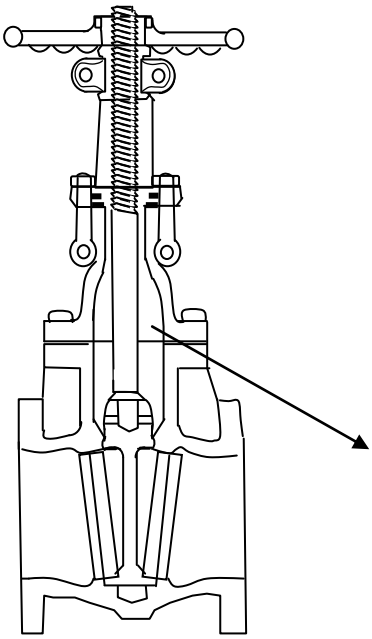
Particolare dell'otturatore con peduncolo nella slide 11

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 35 di 104

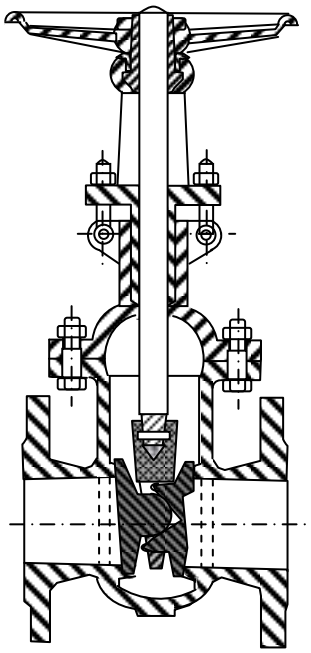
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 37 di 104

Valvole a saracinesca – gate valves

Sono delle valvole d'intercettazione del fluido, infatti vengono utilizzate o completamente chiuse o del tutto aperte. Consistono in un disco fatto a cuneo (in inglese wedge) che va a collocarsi della sede situata nel corpo della valvola, cosicché quando la valvola è completamente chiusa si blocca il passaggio del fluido. Quando è completamente aperto, il disco va a collocarsi in uno spazio ricavato nel cappello, perché non si vuole creare degli ostacoli nel passaggio del fluido. Queste valvole devono creare la minor perdita di carico possibile. Infatti, la sezione di passaggio del fluido a valvola completamente aperta è molto simile alla sezione di un tubo.



Spazio nel cappello dove va a collocarsi il cuneo quando la valvola è aperta

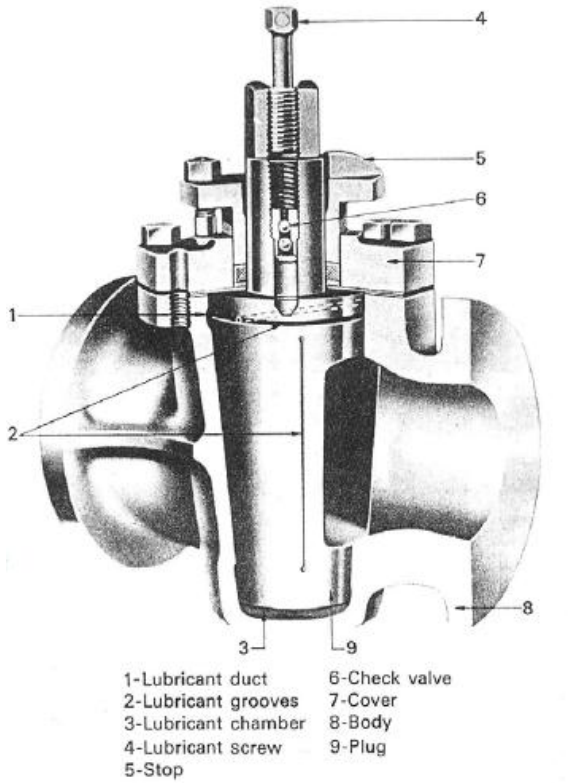


I

l cuneo può essere in un solo pezzo (solid wedge) o in due (split wedge or double disc, immagine in alto a destra). Quando è in un unico pezzo può essere solidale col lo stelo (filettatura vite-madrevite all'esterno), oppure il cuneo può avvitarsi (filettatura vite-madrevite all'interno, si avvita nel foro filettato del disco stesso). Queste due tipologie non hanno altre differenze sostanziali. La diversità sta nel cuneo a due pezzi. È come se fossero due cunei uniti tra loro con una cerniera. Quando si schiaccia, la cerniera dà uno sforzo orizzontale, fornendo un miglior effetto di tenuta quando la valvola è chiusa.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 37 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 39 di 104

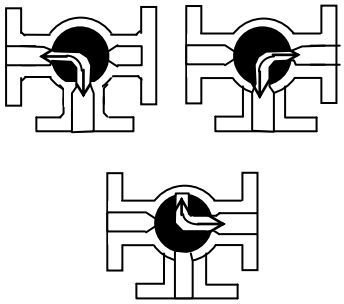


Standard type lubrificated valve. (Courtesy of Serk Audco)

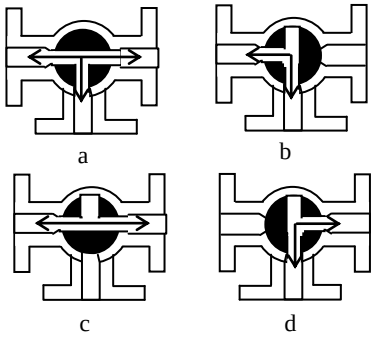
Naturalmente un po' di grasso si consuma nel tempo, perché va a finire nel fluido. Si può usare questo tipo di rubinetti lubrificati quando il grasso che va a finire nel fluido non crea dei problemi nel momento in cui il fluido viene processato.
Se crea dei problemi, si utilizzano dei sistemi autolubrificanti. In questi sistemi le tenute si fanno in grafite oppure in teflon (materiale plastico che resiste fino a 250°C). Sono due materiali autolubrificanti.
Quando la tubazione su cui è montato il rubinetto è sufficientemente piccola, si può usare un maschio cilindrico e il foro di passaggio può essere a sezione circolare. Questi tipi di rubinetto a maschio possono permettere di avere più passaggi. Possono avere tre flange (tre passaggi, da sotto a sinistra, da sotto a destra, uno chiuso). Questo è possibile quando il foro nel maschio è fatto a 90°. Quando invece il foro nel maschio è fatto a T, si hanno varie combinazioni

Divaricazione del flusso

Due flussi che arrivano da due tubazioni diverse che convogliano nella tubazione sotto.
Anche quello a T permette il passaggio di un ramo per volta (da sotto a sinistra, da sinistra a destra, da sotto a destra).



Oppure ci son quelli a 4 vie, dove dentro al maschio ci sono due passaggi a 90°. A seconda di come si ruota il maschio si connette destra col basso- alto con sinistra - sinistra con basso- alto con destra.



A 4 vie

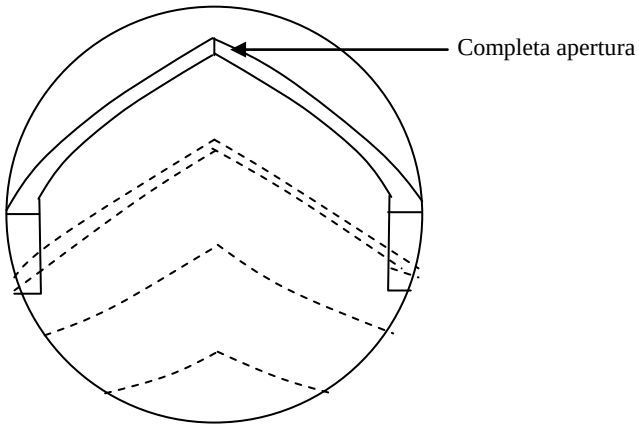
Addirittura valvole di questo genere si costruiscono fino a 24 vie. Naturalmente non sono utilizzate negli impianti, ma in laboratorio per i gas cromatografi. Servono per fare i campionamenti dei fluidi da esaminare, che poi vengono introdotti dentro il gas cromatografo per essere analizzati.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 39 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 41 di 104

il volantino, si fa ruotare anche lo stelo della valvola e conseguentemente si sposta la sfera dalla posizione completamente aperta a quella via via più chiusa fino alla completa chiusura.

Anche questa valvola può essere trasformata in una valvola di regolazione, quando la sfera diviene una sfera cava (che ricorda un elmetto) che ha sempre un'apertura di tipo triangolare. La sezione di passaggio ha sempre una parte triangolare.



Valvola a farfalla –butterfly valves

È sempre un tipo di valvola a rubinetto. È costituita da un disco che ruota attorno ad un perno. Può disporsi parallelamente al flusso del fluido che scorre dentro o perpendicolarmente ed intercettare.
Può essere anche usata come valvola di regolazione, deve avere un servo motore pneumatico che serve al comando della valvola. Questo tipo di valvola non ha corpo, detta anche valvola di tipo wafer. Viene pizzicata tra due flange visto che è senza corpo. Ha un ingombro assiale modestissimo. L'otturatore (il disco) quando si muove entra addirittura nella tubazione, cosa che non accade se la valvola ha il corpo.

Valvola ad eccentrico rotante - Camflex valve

L'otturatore ricorda la forma di una valvola di chiusura dei motori a combustione interna (una specie di fungo). L'attacco al perno è piuttosto grosso, ma è costituito da un gambo sottile, per cui assomiglia proprio ad un fungo. È un rubinetto utilizzato come valvola di regolazione.

Valvola a dischi scorrevoli – gliding disc(Vedi slide 25)

È costituita da un disco fisso (quello nero) è un disco mobile con lo stelo (si muove verticalmente). Nel disco fisso sono riportate delle fessure. Anche il disco mobile porta delle fessure della stessa dimensione. A seconda della sua posizione verticale, le aperture sul disco mobile sono in corrispondenza della parte piena del disco fisso (allora la valvola è chiusa) oppure completamente aperta quando le fessure sono corrispondenti alle aperture sul disco fisso. A seconda della posizione si riesce a regolare la sezione di passaggio. Queste valvole sono nate per la regolazione di flussi di vapore. Nell'immagine della slide 25 la valvola è montata con un servomotore oleodinamico (e non pneumatico come quello visto prima). Questo tipo di servomotore permettere di arrivare fino a 530°C.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 41 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 43 di 104

Valvole di non ritorno - check valves

Sono usate soltanto in una direzione. Possono essere montate solo in un'unica direzione, per cui possono essere montate solo in una direzione. Di nuovo sul corpo della valvola c'è una freccia che indica il verso del flusso del fluido. Ci sono tre tipi di valvole di non ritorno:

1. Valvola a battente (swing) C'è il corpo valvola, il cappello (grosso tappo filettato con guarnizione di tenuta). Il cappello è grosso per poter garantire l'accesso al battente, che è una specie di disco che per peso proprio, se non c'è la spinta del fluido che lo alza per differenza di pressione, rimane sempre chiuso. Se il fluido spinge, la valvola rimane aperta. Nel momento in cui cessa la spinta del fluido, la valvola, per peso proprio del disco, si chiude. Non devono formarsi delle incrostazioni e non devono esserci fenomeni corrosivi che altrimenti possono bloccare la rotazione del battente con il perno rotante a 90°.
2. Valvola a disco piano con molla La chiusura è data da una molla. È un tipo di valvola a flusso convogliato. Il fluido entra da destra, spinge verso l'alto, contrasta la molla e apre. Quando non c'è più la spinta del fluido è la molla che richiude l'otturatore. Sia questa versione che la valvola a battente possono essere montate solo su tratti di tubazione orizzontali.
3. Valvola a sfera Se non c'è la spinta del fluido, la sfera scende sulla sede e chiude il passaggio. C'è sia la versione per tubi orizzontali (ingresso da destra verso sinistra, corpo sagomato a corpo convogliato) che quella per tubazioni verticali. Infatti si usa come check valve di fondo quando si vuole la pompa (per mantenere la canna di aspirazione, una volta che è stata avviata, piena d'acqua).

Valvole riduttrici di pressione – pressure reducing valves

Sono autoregolanti, non necessitano di un dispositivo di controllo manipolato dall'operatore. Ce ne sono due tipi:

1. A contrappeso;
2. A molla.

Valvola a contrappeso Ridurre la pressione vuole dire garantire a valle della valvola un valore ben preciso della pressione (può essere un valore richiesto da esigenze di processo) indipendentemente dalle variazioni della pressione a monte della valvola stessa. Quindi, pur variando la pressione a monte, questo tipo di valvole garantiscono la stessa pressione a valle. È una valvola di grosse dimensioni e lo si capisce dal fatto che l'otturatore ha un doppio corpo, quindi è una valvola bilanciata. Questo serve a ridurre, perché vengono compensate, le forze che sono generate dalla stessa perdita di carico a monte e a valle dell'otturatore. Queste valvole hanno di caratteristico la presenza di un orifizio immediatamente sulla mandata (quindi a valle della valvola stessa) in cui è possibile montare un tubetto che porta la pressione in uscita, quindi quella ridotta, all'organo meccanico compensatore in automatico. La parte inferiore della valvola ha un allargamento con flangia dove viene montata una membrana. Lo stelo continua e va in un sistema di levismo. Quali solo le forze che agiscono su questo levismo? Abbiamo eliminato quelle dovute alla Δp perché la valvola è bilanciata. Agisce la forza che il contrappeso, a seconda di dove lo posizioniamo, crea sullo stelo (è una forza che spinge verso l'alto) una forza che tenderebbe ad aprire la valvola,

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 43 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 45 di 104

pressione p_1, quest'equilibrio cambia a sua volta, ma sempre in maniera tale da ripristinare il valore desiderato di p_2, cioè della pressione ridotta.

Slide 32

A differenza della valvola a molla vista prima, si ha una membrana molto più grande, conseguentemente, a parità di pressione, una maggiore forza. In questo caso le resistenze dentro la valvola sono più grandi e allora per aumentare la forza sullo stelo dovuta alla pressione p_2 si aumenta la dimensione della membrana, ovviamente fino ad un certo limite, altrimenti la valvola diventerebbe troppo grande. Da notare come la lunghezza della membrana sia quasi tre volte la lunghezza assiale del corpo della valvola. Nella realizzazione di un oggetto di questo genere bisogna anche tenere in conto di avere lo spazio per farlo.

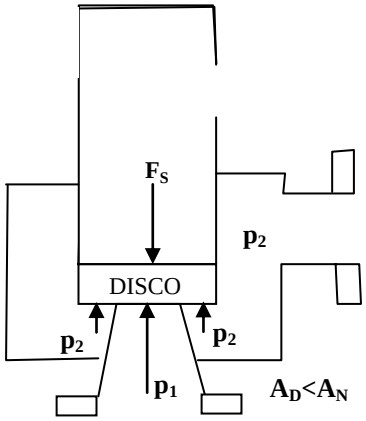
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 45 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 47 di 104

e della massa di quest'ultimo, si varia la forza che viene esercitata verso il basso sull'otturatore e si varia il valore della pressione al di sotto dell'otturatore, la quale lo fa alzare. Sono valvole in cui è trascurabile l'effetto della corrosione. Sono sicure nel tempo.
Nelle valvole a molla l'azione di chiusura sull'otturatore è prodotta da una molla. C'è un sistema di viti attraverso cui si può variare la compressione della molla e la forza di chiusura che questa viene ad esercitare sullo stelo per tenere la valvola chiusa e per farla aprire soltanto quando la pressione all'interno è in grado di contrastare la forza di chiusura. La valvola ha delle dimensioni particolare: la dimensione della flangia d'ingresso è minore di quella d'uscita. Questo perché, quando la valvola va a lavorare in condizioni soniche il Δp della valvola è pari al 50% della pressione d'ingresso. Quindi il Δp è enorme. Ad un grande Δp corrisponde una grande espansione. C'è un aumento enorme del volume specifico, varia la portata volumica. La portata volumica in uscita è molto più grande di quella in ingresso. Per evitare che ci siano delle perdite di carico eccessive a valle della valvola, le flange d'uscita sono sempre più grosse di quelle d'ingresso.
Le valvole a molla si distinguono per tre aspetti:

- Il corpo a L;
- Un duomo superiore piuttosto consistente di dimensioni, perché deve alloggiare la molla di chiusura;
- La flangia d'uscita (nel disegno è filettata) è di dimensioni maggiori di quella d'ingresso.

Di queste due tipologie, quella più utilizzata è la valvola a molla. Sono più contenute di dimensioni. Le SV a molla possono avere dei particolari costruttivi leggermente diversi che influiscono in maniera differente sul loro comportamento all'apertura. Da notare che le dimensioni del disco dell'otturatore cono maggiori di quelle della sede. Al di sotto dell'otturatore la sezione è convergente per facilitare le perdite di carico, una volta che la valvola è aperta, in maniera tale che si raggiungano molto facilmente le condizioni soniche (quelle con Δp molto elevata, pari al 50% della pressione d'ingresso). Questa parte in queste valvole non è chiamata tanto sede, ma **ugello** (nozle), proprio per la sua forma convergente. Il cappello di questa valvola è sempre ventilato, ovvero presenta un'apertura. La ventilazione può avvenire verso l'ambiente esterno o verso quello di scarico, ovvero l'ambiente di mandata. Queste due tipologie costruttive fanno variare il modo di agire della valvola.

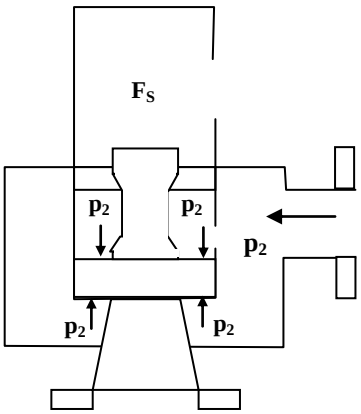


Se facciamo un equilibrio di forze vediamo che la forza che va verso l'alto è data da $p_1 * A_N$ dove p_1 è la pressione d'ingresso e A_N è l'area corrispondente al nozle. Questa forza deve essere contrastata alla forza della molla (F_S). Il fatto che la molla sia ventilata verso l'esterno fa si che nell'anello circolare di area (A_D - A_N)(dove A_D è l'area del disco e A_N è l'area dell'ugello) gravi la pressione p_2.
L'espressione dell'equilibrio è la seguente:
$p_1 A_N = F_S - p_2(A_D - A_N)$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 47 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 49 di 104

SV bilanciata con pistone



Il soffietto può essere sostituito da un pistone. il pistone è fatto in modo tale che l'azione della pressione p_2 di sopra sia esercitata su una superficie pari alla superficie che sta al di sotto che è pari all'area del disco meno quella dell'ugello.

Teoricamente una valvola di sicurezza non dovrebbe mai scattare. Se scatta vuol dire che all'interno dell'apparecchiatura si sono raggiunte delle condizioni di lavoro diverse da quelle operative. La si mette, sperando che non scatti mai. Ma u itivo meccanico che non sta mai in funzione, non è detto che entri in funzione quando è richiesto. Come si fa a capire se le valvole di sicurezza siano funzionanti (ad esempio che la molla per qualche motivo non sia bloccata e possa impedire l'apertura della valvola)? Nella parte terminale, sopra al cappello, c'è una specie di leva, che permette di aprire la valvola e controllare che sia nelle condizioni di funzionamento richiestele.

SV indirette con dispositivo pilota

Ne esistono due tipi:

1. A flusso continuo;
2. A flusso non continuo (con una masserella che si muove).

In queste valvole non è la pressione interna che fa aprire direttamente la valvola. La pressione va ad agire su un pilota che a sua volta apre la valvola. Vi è questa complicazione rispetto alle valvole precedenti perché una valvola di questo genere ha un comportamento in opera che è corrispondente al comportamento teorico di una valvola di sicurezza.

<u>Principio di funzionamento</u>:

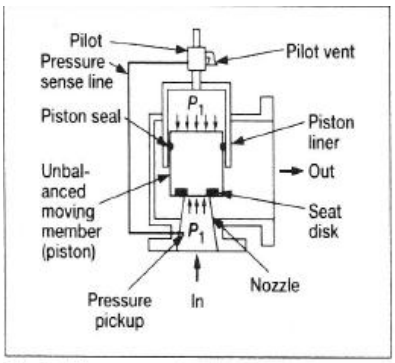


Fig. 3. Pilot-operated valve.

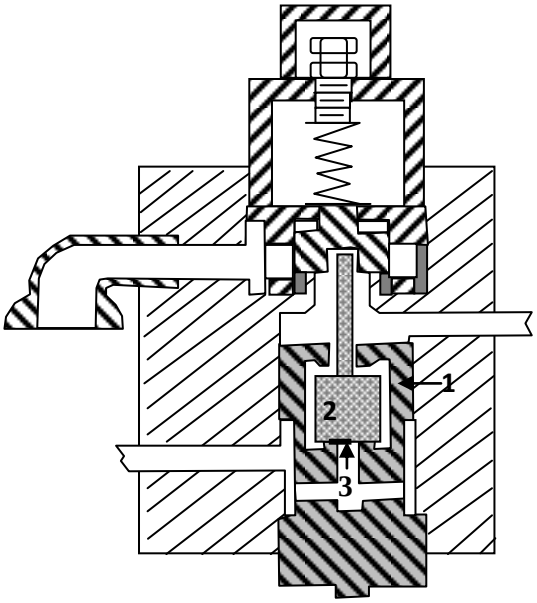
L'otturatore è un pistone (un disco di cui si è aumentata la lunghezza assiale) che quindi ha sia inferiormente, laddove viene a contatto con la sede (quindi con l'ugello) del corpo valvola, che superiormente, lo stesso diametro. Ci sono due superfici aventi la stessa area. Dal corpo dell'ugello si fa un piccolo foro filettato e con un tubetto si porta la pressione che sta a monte dell'otturatore al di sopra di questo. È detto tubetto di supply. La parte al di sopra è detta duomo. Ma prima di arrivare al duomo, il tubetto passa nel pilota. In condizioni statiche, cioè quando la pressione p_1 non ha ancora raggiunto il valore al quale vogliamo che la valvola scatti

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 49 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 51 di 104

come cambia il valore della pressione p_1 dentro l'apparecchiatura. Infatti il tubetto di supply e vuoto e il blowdown adjustment non provoca delle interruzioni nel passaggio.

Nonflowing type pilot È un pilota non di flusso come il primo. Dentro il corpo valvola abbiamo un'apertura che viene riempita da un "aggeggio" . Al di sopra dell'aggeggio vi è il tubo che va al duomo. L'aggeggio è costituito da una specie di tappo (1) (campitura discendente da sinistra verso destra) che è infilato nell'apertura ed è fissato con una ghiera antisvitamento. C'è poi una parte bianca che ha diametro inferiore del foro ricavato nel corpo. Questa parte va a trovarsi in corrispondenza del canale di supply. C'è poi un foro a 90° passante ed un altro foro assiale a 90° che va a finire in quest'apertura. C'è poi una piccola asta che passa con attaccata una masserella (2), che è un cilindretto. Quando quest'ultimo è appoggiato come nel disegno, chiude il passaggio. È come se il cilindretto fosse l'otturatore appoggiato in una sede. Ma è un cilindretto mobile, infatti è chiamato free moving mass (massa che si muove liberamente). Attraverso il tubetto di supply arriva la pressione p_1. Questa pressione cresce, ma finché non ha raggiunto un valore tale, dato dal prodotto della p_1 con questa piccola area (3) da essere superiore al peso della masserella, quest'ultima rimane aderente alla sede. La pressione cresce, conseguentemente cresce la forza (p_1*area), diventa superiore al peso e solleva la masserella. Di conseguenza il gas si scarica attraverso questo passaggio che viene aperto, arrivando nel duomo sotto la valvolina pilota. A differenza della valvola vista prima, dove la pressione p1 variava con continuità sia nel duomo che al di sotto della valvolina pilota, qui la pressione p_1 non cambia con continuità, ma a scatti. Non solo, ma se si immagina una storia tale per cui la pressione p_1 all'inizio cresce, arriva alle condizioni che provocano l'apertura della valvola e poi diminuisce di nuovo, io ho la diminuzione solo la pressione della $p_1$nella parte al di sotto della masserella, ma quella che ho sopra e nel duomo non cambia, rimane quella, perché non c'è niente che la faccia sfogare. Quando con questi aumenti a gradini la pressione p_1 sotto la valvolina è diventata quella pericolosa, la valvolina si apre. Qui non si ha il blowdown adjustment, perché in questo caso è costituito dal percorso tortuoso che deve compiere il fluido per uscire attraverso la valvolina pilota quando si passa dalle condizioni statiche a quelle dinamiche. Il percorso tortuoso ha la stessa funzione dell'anellino di blowdown: crea delle perdite di carico.



Abbiamo tre tipi di valvola a molla:

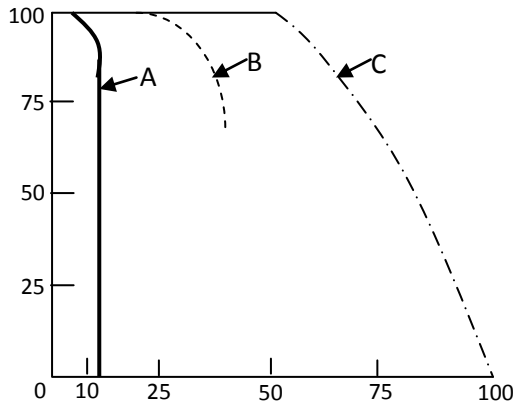
- Quella con la olla semplice;
- Quella bilanciata col soffietto o col pistone;
- Quella pilot.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 51 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 53 di 104

scaricare. L'ambiente dipende dalla storia di tutte le altre valvole che vanno a scaricare nel blowdown. Normalmente l'innesto della tubazione di scarico della valvola di sicurezza nel collettore di blowdown è fatto a 45°. Quando la valvola scarica crea a sua volta, nell'ambiente a valle della valvola stessa, una contropressione p_2 che è dovuta alla storia del flusso che sta passando attraverso la valvola (del fluido che parte dalla pressione di set più il Δp di accumulazione). C'è poi una perdita di carico che grossomodo, se la valvola funziona perfettamente in condizioni soniche, è pari al 50% della pressione p_1. Immaginiamo di avere una pressione di set di 50 bar. Siamo in condizioni statiche. La valvola è connessa al collettore dell'impianto di blowdown e, laddove la valvola è connessa, immaginiamo di avere una pressione di 10 bar (perché nel collettore di blowdown stanno passando dei fluidi). La pressione a monte della valvola (e quindi nell'apparecchiatura che la valvola sta proteggendo) cresce, arriva a 50 bar + 10% = 55bar. La valvola si apre. Quale pressione ho immediatamente a valle della valvola? Lavorando in condizioni soniche la perdita di carico è pari al 50% di p_1. Ho un valore di p_2 a valle della valvola pari a 25 bar (p_1 meno il 50% di p_1). Ma 25 bar è ancora maggiore rispetto alla pressione di 10 bar che c'è nel condotto. Quindi c'è forza spingente affinché la valvola possa scaricare. Se invece nel condotto di scarico ci fosse una pressione di 26 bar, la valvola comincerebbe ad avere dei problemi, perché si trova un tappo fluidodinamico. La contropressione che la valvola crea quando si apre (la p_2 pari a 25 bar citata prima) è chiamata contropressione dinamica, proprio per distinguerla dalla contropressione statica. Quest'ultima è quella imposta dall'ambiente stesso in cui la valvola deve scaricare, invece quella dinamica è quella che si crea la valvola stessa mentre sta scaricando, perciò è chiamata indotta (built-up). È chiaro che la contropressione indotta dalla valvola (quella dinamica) deve essere maggiore di quella statica, altrimenti la valvola ha dei problemi. Infatti questi problemi li evinciamo da questo diagramma.

Questo diagramma illustra come cambia la portata che passa attraverso la valvola in funzione della contropressione che la valvola incontra nell'ambiente dove sta scaricando.



Devo confrontare la pressione statica con quella dinamica. La portata è riportata nel diagramma come percentuale della portata massima, che è quella che si ha quando la valvola sta scaricando in condizioni soniche. Le condizioni soniche durano fino a che la contropressione nell'ambiente di scarico è minore del 50% della pressione di set + Δp di accumulazione. Finché sono in quelle condizioni pressione dinamica è maggiore di quella statica. Non basta quindi sapere cosa sta succedendo della valvola, ma voglio anche che dove la valvola scarica non ci siano tappi fluidodinamici. Cioè la pressione in quell'ambiente deve essere inferiore rispetto alla pressione creata dalla valvola stessa a valle (quindi nella sua flangia di scarico) per la presenza della portata che la valvola sta scaricando. Dal punto di vista teorico, finché la contropressione statica è minore del 50% della pressione di set + quella di accumulazione, la valvola scarica perfettamente (curva teorica). La valvola sta scaricando al 100% della sua portata massima, condizioni soniche (sonic

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 53 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 55 di 104

Martellamento (chattering)

Una delle situazioni in cui si può verificare il martellamento è proprio quella in cui viene posizionata una valvola di sicurezza sovradimensionata rispetto alla portata che deve scaricare. Le cause che possono portare all'aumento della pressione di un'apparecchiatura possono essere varie. Quelle principali sono tre:

- Errore strumentale, cioè apparecchiature di controllo che non funzionano come dovrebbero;
- Mancanza di fluidi di servizio (ad esempio, se venisse a mancare dell'acqua di raffreddamento, la temperatura tenderebbe a salire e la cinetica delle reazioni, soprattutto se di tipo esotermico, aumenterebbe);
- Il verificarsi di un incendio nei pressi dell'apparecchiatura.

Quando si fa il dimensionamento di una valvola di sicurezza, bisogna prima di tutto fare un'analisi di quali possono essere le cause che possono portare all'aumento della pressione in quell'apparecchiatura. Ciascuna di queste cause comporta lo smaltimento di una portata differente. Si prende la portata maggiore e su questa si dimensiona la valvola di sicurezza. Questa portata può però essere molto più grande rispetto a quella delle altre due cause. Ma se la causa che fa scattare la valvola di sicurezza fosse quella che prevede il rilascio di una portata molto più piccola di quella di progetto ci troveremmo nel caso di una valvola sovradimensionata rispetto alla portata di scarico. In questo caso, molto rapidamente, ma localmente (cioè nella parte dell'apparecchiatura limitrofa alla zona di montaggio dell'apparecchiatura), la pressione scende. Però non è scesa la pressione di tutta l'apparecchiatura, poiché questa è diminuita solo nei pressi della valvola. Così avviene che la valvola si richiude, perché vede una pressione che si è ridotta al di sotto del Δp_{BD} , ma poi la pressione risale e la valvola si riapre, provocando il fenomeno del martellamento. La soluzione che si pratica è quella di mettere più di una valvola. Ad esempio, se la portata massima su cui dimensioneremmo la valvola è di 100 m^3/s e la portata dell'evento scatenante l'apertura della valvola è 25 m_3/h si potrebbero mettere tre valvole da 33 m^3/s. Proprio per far si che non si verifichi il martellamento, una valvola si apre ad un valore di pressione di set leggermente inferiore, cioè con un valore di accumulazione minore. Le altre due invece si aprono con un valore più grande. In questo modo, la valvola che si apre ad un valore di pressione più piccolo garantisce il non martellamento se la causa di scarico è quella che comporta la portata di 25 m^3/s (per usare sempre i dati dell'esempio). Se la portata di scarico fosse più grande di 25 m^3/s, la pressione continuerebbe a salire e scatterebbero anche le altre valvole.

Non sempre si riesce a posizionare la flangia di ingresso della valvola di sicurezza direttamente sul bocchello d'uscita dell'apparecchiatura, specialmente quando non si sta montando un'unica valvola, ma più di una in parallelo. Un altro motivo di martellamento si ha quando la perdita di carico che c'è tra la flangia di uscita dell'apparecchiatura e la valvola stessa (detta perdita di carico di imbocco) è superiore al 3% della pressione di set. Questo perché questa caduta di pressione fa si che la valvola veda una pressione minore di quella effettivamente presente nell'apparecchiatura. Così la valvola si chiude prima e la pressione risale, causando il martellamento. Bisogna che la perdita di carico d'imbocco non superi il limite del 3%, che è quello che non provoca il martellamento.

L'ultima causa di martellamento è quella che abbiamo già analizzato, cioè l'eccessiva contropressione allo scarico che limita le possibilità di evacuazione.

Spesso capita anche che la valvola vada in ebollizione **(in simmer**). Questo si verifica quando la

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 55 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 57 di 104

Dischi di rottura – bursting discs

È un ulteriore dispositivo di sicurezza per la protezione dell'apparecchiatura. Si mette quando le valvole di sicurezza viste finora non offrono delle garanzie. Sono due flange non cieche, che finiscono con un buco. Tra le due flange è montato un disco che, a seconda del tipo di materiale di cui è fatto e dello spessore, si rompe quando al di sotto di esso la pressione ha raggiunto un certo valore. Ci sono degli intagli proprio per tenere sotto controllo i frammenti del disco. Nel caso le valvole di sicurezza non funzionassero, tramite questo dispositivo si è sicuri di portare la pressione dell'apparecchiatura alla pressione ambiente, se il disco scarica all'atmosfera, oppure alla contropressione statica se scarica nell'ambiente di blowdown. Se ci sono delle corrosioni che indeboliscono la resistenza meccanica del disco, quest'ultimo può essere protetto rivestendolo con un opportuno materiale plastico. In genere il materiale plastico resiste bene agli acidi e alle basi, ma non resiste bene alla temperatura. Il materiale che resiste meglio alla temperatura è il teflon, che comunque non supera i 280-300°C.

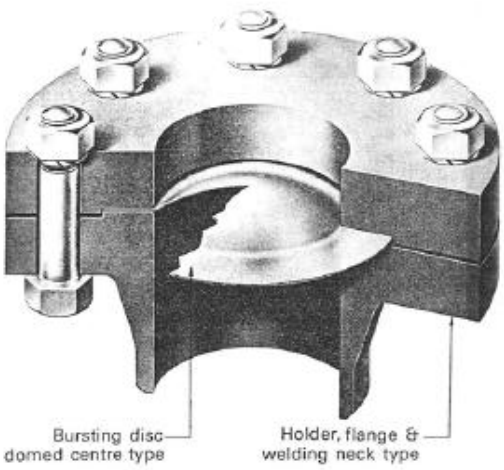


Fig 9.6 Bursting disc assembly. (courtesy of Marston-Excelsior Ltd.)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 57 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 59 di 104

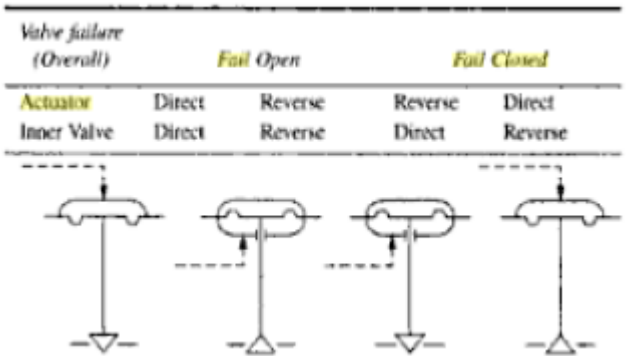
Questa stessa classificazione, diretta o indiretta, la si ha anche per i movimenti dello stelo dentro il servomotore.

Valvola di tipo indiretto

Il movimento dell'aria, introdotta dal basso, fa salire l'otturatore (in quella diretta lo faceva scendere). Quindi la prima è diretta e la seconda è un'indiretta (o inversa).

Possibili accoppiamenti tra movimenti dello stelo del servomotore e movimenti dell'otturatore del corpo valvola

Per quanto riguarda le FO, l'unica possibilità è quella diretta-diretta, oppure inversa-inversa. Se l'aria entra dall'alto vuol dire che il movimento, per effetto dell'aumento della pressione dell'aria, è discendente. Per avere una fail open, otturatore non può che essere diretto. Viceversa, se l'aria entra dal basso, il che vuol dire che il movimento dell'otturatore è indiretto (ascendente) per avere una fail open non posso che avere un otturatore indiretto anch'esso. Per avere una fail closed, devo invertire le due posizioni. Il movimento diretto del servomotore va accoppiato ad un movimento indiretto dell'otturatore. Oppure il movimento indiretto del servomotore va accoppiato ad un movimento diretto dell'otturatore.

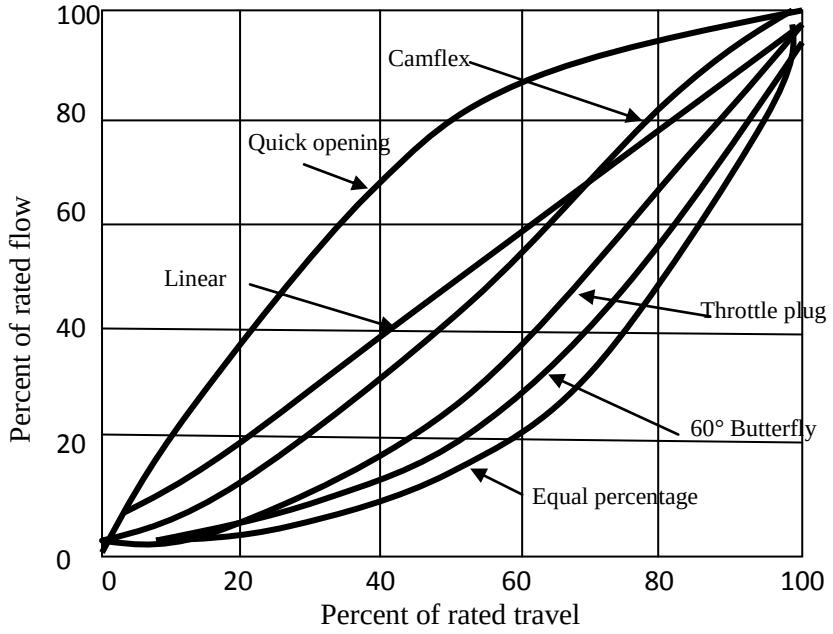


La posizione dell'otturatore rispetto alla sede dipende da un equilibrio. Se prendiamo una valvola bilanciata, dipende dalla forza di una molla e dalla pressione dell'aria sulla membrana. Gli attriti interni, soprattutto nelle valvole di grandi dimensioni, sono molto forti. Quindi, quando l'aria sposta la posizione dell'otturatore rispetto alla sede sta cambiando la geometria interna (che è responsabile della portata che passa dentro la valvola). Se gli attriti sono molto forti, la forza che la pressione dell'aria deve esercitare sulla membrana deve essere molto elevata. Ma la pressione dell'aria non è molto elevata. 3 – 15 psig come pressione relativa vuol dire che si va al massimo fino ad 1 bar. Se voglio avere delle forze molto grandi devo mettere delle membrane di diametro enorme, cosa che non è realizzabile, perché un servomotore di tipo pneumatico richiede come manutenzione proprio la sostituzione periodica della membrana in gomma, dopo un certo numero di cicli. Allora si passa da servomotore a membrana **a servomotore a stantuffo**. Se voglio continuare ad utilizzare dell'aria posso utilizzarla ad una pressione molto più elevata (fino a 6 bar). Il servomotore a stantuffo può essere anche di tipo oleodinamico. Si manda dell'olio, che può esercitare una pressione molto più grande di un gas.
I servomotori a stantuffo possono essere a doppio effetto oltre che a semplice effetto. Ho lo stantuffo, l'aria può entrare sia dall'alto che dal basso. A seconda di dove la mando, posso spostare lo stelo verso l'alto o verso il basso. Lo stantuffo è collegato allo stelo, lo stelo è collegato ad un sistema biella-manovella. Questo servomotore serve a comandare una valvola di regolazione derivata da un rubinetto (il classico rubinetto con il maschio trapezoidale, quello con l'apertura triangolare, la sferetta cava, la camflex o la farfalla).

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 59 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 61 di 104

Valvola lineare (linear) La curva caratteristica intrinseca è una curva a 45° (se si fanno le scale dell'alzata e della portata uguali, risulta proprio essere la diagonale del diagramma). La variazione della portata è perfettamente lineare con la variazione dell'alzata.



Valvola equipercentuale (contoured) La variazione percentuale di alzata è la stessa della portata. Quando si è su bassi valori di portata, l'aumento di portata per variazione infinitesimale d'alzata è piccolo. Quando si è su valori di portata consistenti, la stessa percentuale applicata a quella portata più alta dà un aumento della portata in valore assoluto molto più grande. La curva caratteristica di questa valvola è di tipo esponenziale. La variazione, e quindi la concavità della curva, dipende dal valore di α, che è un valore caratteristico della molla.

$dQ/Q = \alpha\, dS$

Un'altra caratteristica di questa valvola è costituita dal fatto che quando l'alzata è pari a zero (quando la valvola è chiusa) la curva caratteristica non passa per zero. Questo dipende dal fatto che l'espressione è di tipo logaritmico. Il fatto che a valvola completamente chiuda l'otturatore non tocchi la sede vuol dire che non si ha il pericolo che l'otturatore possa rovinare la sede.

Valvola a farfalla (butterfly) L'alzata, che è riportata come angolo di apertura, varia tra 0° e 90°.

Curva caratteristica della valvola a sfera cava È diversa se il flusso è di tipo acqua o quando è gassoso, tipo aria.

Rubinetto plug

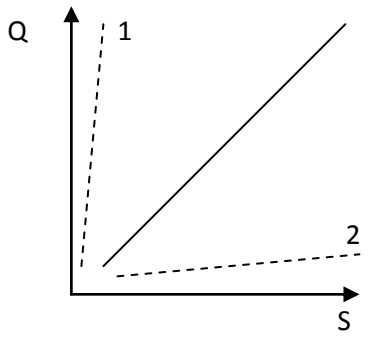
Slide 11 c'è un sistema con un servomotore pneumatico applicato ad una valvola a membrana (tipologia che, come abbiamo già detto, si utilizza soprattutto nel settore alimentare).

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 61 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 63 di 104

Più C_V è grande, maggiori sono le dimensioni della valvola e viceversa. Quindi il C_V dà le dimensioni della valvola. Dividendo il C_V per il diametro nominale della valvola al quadrato si ha il coefficiente di flusso unico (C_d), ma è meglio usare il C_V del costruttore.
$C_d = C_V / d_V^2$

Nella slide 14, 15 e 16 è riportata una tabella in cui sono riportati tre tipi di valvola (1 a globo, 2 a doppio globo e quindi bilanciata, 3 a farfalla, 4 camflex, 5 a sfera, 6 a globo con corpo ad angolo retto, 7 a 90° bilanciata. 8 a membrana, che si chiama Saunders). In questa tabella sono riportati i vantaggi e gli svantaggi che ciascun tipo di valvola di regolazione può avere. Quindi può servire in qualche modo per una scelta guidata. Quello che importa non è tanto la caratteristica intrinseca, quanto la **caratteristica di linea**. La caratteristica di linea è il diagramma portata-alzata quando la valvola viene montata nella linea e deve essere compatibile con ciò che si vuole dalla valvola do regolazione. Quest'ultima deve permettere la variazione con continuità della portata dentro la tubazione dov'è montata la valvola. Ma in particolare si vuole che la portata vari linearmente e soprattutto si vuole che la variazione, rappresentata graficamente, sia più prossima possibile alla diagonale del diagramma portata-alzata. Se una valvola dà una curva di linea lineare, ma troppo lontane della diagonale, non ho una buona valvola di regolazione. Infatti, la retta 1 rappresenta una valvola troppo sensibile, ad una piccola variazione di S (alzata) la variazione di portata Q è estremamente elevata. Il servomotore farebbe impazzire una valvola di questo tipo, la portata continuerebbe ad oscillare senza mai arrivare ad un punto fisso. Se si monta una valvola con curva di linea del tipo 2, la risposta in linea portata-alzata è lineare, ma prima di poter avere le variazioni di portata richieste dal processo l'otturatore deve fare molte alzate rispetto alla sede. È una valvola poco sensibile. Per avere una variazione di portata apprezzabile la variazione di S deve essere molto grande. Con la curva intermedia si ha una buona risposta della variazione della portata per variazioni accettabili (né troppo piccole, né troppo grandi) dell'alzata della valvola.



Una valvola di regolazione è caratterizzata dal fatto di dare delle perdite di carico piuttosto alte. Questo è intrinseco nel concetto di regolare una portata all'interno di una tubazione, nel senso che, se si vuole avere questa regolazione, in qualche modo bisogna pagare in termini di perdita di energia o di energia da spendere per avere la regolazione della portata. Il Δp_V è elevato (Δp_V è il Δp di valvola). Questo Δp_V deve essere confrontato con la Δp della linea. Bisogna immaginare di togliere la valvola e di misurare le perdite di carico del circuito senza questa, come fossero due unità separate. Si confronta quindi la perdita di carico della linea al variare della portata e la perdita di carico della valvola al variare della portata. A questo punto, se la Δp_V è maggiore o dello stesso ordine di grandezza della perdita di carico del circuito, questo garantisce che la valvola conservi la sua caratteristica intrinseca. Ad esempio una valvola lineare darà una risposta di linea lineare. In questo caso la valvola a caratteristica intrinseca lineare è quella che devo montare sul circuito. Se invece la perdita di carico del circuito è molto più grande rispetto la perdita di carico della valvola (e questo accade quando si vuole montare una valvola di regolazione su circuiti molto lunghi o che hanno un notevole numero di fittings che danno numerevoli perdite di carico localizzate) l'unica

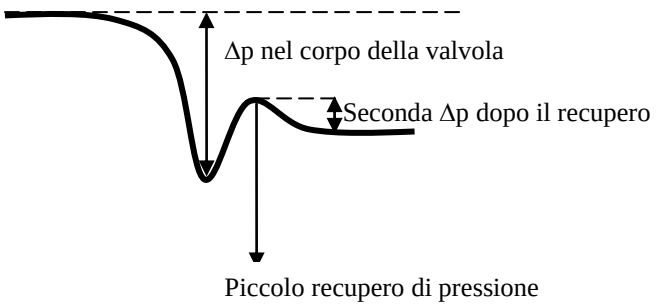
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 63 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 65 di 104

Mettendosi nelle condizioni più pessimiste, lasciando perdere il termine detrattivo e prendendo solo il primo termine, il Δp che porta nelle condizioni critiche viene ad essere direttamente proporzionale alle condizioni di pressione d'ingresso nella valvola. È chiaro che se si ha una Δp critico molto piccolo, è molto facile che la valvola possa andare in condizioni di cavitazione. Per fare si che ciò non accada, è necessario far sì che la Δp critica sia molto grande, cosicché la perdita di carico effettiva nella valvola possa essere superiore alla perdita di carico che porta nelle condizioni critiche.
Ma se la cavitazione dov'esse accadere anche quando la valvola è posta a valle di una pompa, bisognerà cambiare la valvola e metterne una più grande. Si calcola quindi un nuovo coefficiente di flusso, detto operativo. Nella sua espressione, porta C_f al denominatore. Siccome C_f è minore di 1, si avrà un $C_{V,OP}$ maggiore, il che vuol dire scelta di una valvola di dimensioni maggiori, che dovrebbe consentire di uscire dalle condizioni di criticità. Dovrebbe andare meglio una valvola di dimensioni maggiori perché avrà minori perdite di carico, riportando la Δp della valvola minore rispetto alla Δp critica moltiplicata per C_f al quadrato.

2- <u>Il fluido è un gas</u> Le condizioni critiche sono quelle soniche. Non devono verificarsi nelle valvole di regolazione. Vuol dire che la valvola sta lavorando alla massima portata e che non ho opportunità di regolare. Abbiamo già visto che le condizioni soniche si raggiungono quando si lavora al 50% della pressione p_1 d'ingresso. Quindi è tanto più critica una valvola quanto più è piccola la pressione che ho all'ingresso della valvola stessa. Onde evitare di arrivare in condizioni soniche, la valvola viene montata di nuovo nel punto della linea in cui la pressione è più alta, cioè immediatamente a vale di un compressore.

Quando una valvola entra in condizioni di criticità non è più in grado di regolare la portata che passa al suo interno.



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 65 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 67 di 104

Lezione 10: SERVIZI AUSILIARI – Servizio di blow-down

Scarichi di emergenza stabilimento petrolchimico

Scarichi che in situazioni di emergenza sono emessi da uno stabilimento petrolchimico.

Emergenza "normale" Può avvenire con una frequenza elevata, quindi sono visti come emergenza normale. Gli scarichi sono comunque discontinui e di durata contenuta. Questo tipo di scarichi sono dovuti:

- Alla mancanza di fluidi di servizio Caso più particolare e la mancanza di fluido di raffreddamento. Bisogna ricordare che lo scarico di emergenza è provocato dall'aumento di pressione all'interno delle apparecchiature e ciò che fa scattare le valvole di sicurezza. Quindi sono le cause che portano alla mancanza dei fluidi di servizio ad essere anche causa della produzione dello scarico.
- A errore di manovra strumentale È simile ai guasti di strumentazione di controllo di apparati. La differenza sta nel fatto che quest'ultimo si riferisce anche al sistema che controlla la valvola (il sistema di controllo pneumatico) o al sistema elettronico (può succedere che il controllo vada in crisi senza che ci vada la valvola) . Gli errori di manovra sono invece dovuti a guasti delle valvole di regolazione.
- A formazione di vapori per riscaldamento esterno dovuto a incendi Vapori che si formano per riscaldamento degli apparati, dovuto all'irraggiamento da incendi esterni che non coinvolgono direttamente l'apparecchiatura se non per il fatto che la riscaldano, provocando l'evaporazione dei fluidi contenuti e conseguentemente l'aumento della pressione.
- A accumulo di sostanze incondensabili Lo stesso vapore di riscaldamento, o il vapore che si produce da un'operazione di concentrazione, va ad aumentare la pressione negli apparati. I gas disciolti nei liquidi si liberano e provocano l'accumulo di sostanze incondensabili. In genere sono le valvole off gas che tengono sotto controllo queste operazioni. Questo è il tipo di operazione più normale possibile che provoca l'emergenza.
- A reazioni chimiche con andamento anomalo, prossime al runway I sistemi di controllo non riescono a gestire l'aumento della temperatura in reazioni esotermiche, quindi vi è un aumento della cinetica con aumento di sostanze reagenti. Si può arrivare al ranway, aumento della temperatura, evaporazione, aumento della pressione all'interno dell'apparecchiatura.

Posso coinvolgere:

- Apparecchiature singole Durata modesta 5 - 10 minuti al massimo, frequenza di circa 10 volte l'anno, modesta. Singolarmente la massa di sostanza contenuta nel apparecchiatura che viene rilasciata dentro l'impianto di blowdown è modesta, però, se si tiene conto di tutte le apparecchiature all'interno di uno stabilimento e della contemporaneità con cui questi fenomeni possono avvenire, si hanno dei flussi medi totali che non sono trascurabili. 2-3 t/h di prodotto con potere calorifero medio di 33 MJ/kg sono equivalenti a 18,3 - 27,5 MW. Si ha un recupero importante.
- Gruppi di apparecchiature di un impianto e in alcuni casi anche un intero impianto o un reparto produttivo In questo caso la durata è modesta 3 - 5 minuti, ma la frequenza è inferiore, una volta ogni 2 - 3 anni.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 67 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 69 di 104

Espressione generale con cui si può calcolare la velocità del suono in un mezzo gassoso che abbia un rapporto costante (k) tra il calore specifico molare a pressione costante e quello a volume costante.

$Mach=(k \cdot g \cdot R \cdot T/PM)^{0.5}$ [m/s], PM = kg/kmol

Cp/Cv = costante = k;

R = 848 m³ (kg m/m^2)/kmol/K match

- Temperatura allo scarico inferiore di quella di autoaccensione(se no incendio);
- Rispetto al dettato legislativo, in particolare Hc (altezza del camino) deve essere tanti metri (quanto previsto dalla normativa) più alta delle costruzioni vicine.
- L'impianto deve essere dotato della possibilità di produrre gas di purga (sniffing steam) che possa essere inviato con comando a distanza in caso di necessità. È un gas che serve a creare all'interno del sistema quella dimensione che dovrebbe essere garantita dall'energia cinetica di uscita. Infatti, non si può mettere un camino per ogni rilascio. Se il camino vinee dimensionato per la massima portata di rilascio, quando il rilascio avviene per portate inferiori le condizioni cinetiche di uscita non sono rispettate. Il gas di purga serve ad aumentare la portata in queste situazioni.

- <u>In torcia</u> La torcia è un sistema che non soltanto rilascia una parte dello scarico in atmosfera, ma lo distrugge anche, facendo avvenire la reazione chimica di ossidazione. Condizioni per cui ciò possa accadere:

- Nello scarico la concentrazione dell'ossigeno deve essere minore rispetto a quella corrispondente al UEL (limite superiore di esplosività).
- Nello scarico possono essere presenti sostanze tossiche, purché dopo la combustione diano dei prodotti innocui. HCN (acido cianidrico, estremamente pericoloso) dà H_2O, CO_2, N_2.
- Nello scarico non deve esserci vapor d'acqua, potrebbe formarsi del ghiaccio nelle tubazioni a seguito del raffreddamento.

Scarichi allo stato liquido

Bisogna analizzare la composizione prevalente.

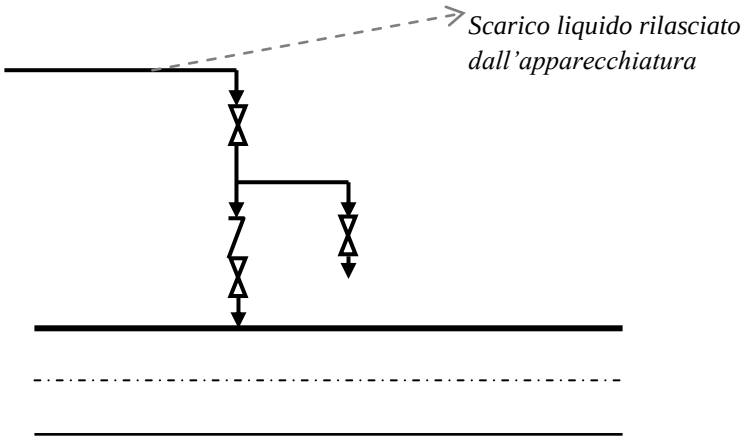
- Se in prevalenza sono costituiti da acqua, che ovviamente ha all'interno sostanze organiche, possono essere rilasciati nella fognatura tecnologica dello stabilimento (andranno nell'impianto centralizzato di trattamento dello stabilimento);

- Se in prevalenza sono formati da sostanze organiche (poca acqua all'interno) bisogna recuperarli. Il recupero avviene attraverso lo scarico definito **in closed drain (drenaggio chiuso)**, cioè lo scarico va a finire più o meno direttamente in serbatoi, dove eventualmente avviene la separazione tra la fase acquosa più pesante e la fase organica più leggera, e queste vengono raccolte e recuperate. Se la sostanza è pura può essere riciclata alle operazioni produttive di stabilimento, tornando all'impianto che l'ha generata. Se invece, come accade abbastanza spesso, il liquido recuperato è una miscela di varie sostanze idrocarburiche, diviene oneroso separarle, per cui viene utilizzato come combustibile liquido. In uno stabilimento petrolchimico ci sono reti di distribuzione di combustibili liquidi e gassosi (in genere con idrocarburi a basso peso molecolare con due o massimo tre atomi di carbonio)

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 69 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 71 di 104

Raccolta degli scarichi in CLDR (Closed Drain)



La tubazione di rilascio dall'apparecchiatura immette nel collettore di blowdown, che nel caso specifico è detto collettore di closed drain. Questo collettore va a rilasciare nel serbatoio da cui quello scarico viene successivamente recuperato mediante un sistema di pompe. Per l'immissione nel collettore di blowdown l'apparecchiatura che ha rilasciato lo scarico non deve essere influenzata da ciò che è presente nell'impianti di blowdown. Si ha quindi una prima valvola che è una saracinesca, un T che finisce con un'altra saracinesca che funzione da spurgo, una valvola di non ritorno (check valve) e infine un'altra saracinesca prima dell'innesto nel collettore. L'innesto avviene sempre nella parte alta del collettore e mai nella parte bassa. La valvola di non ritorno serve ad evitare che, qualora all'interno del collettore di blowdown la pressione fosse superiore a quella presente nell'apparecchiatura, le sostanze presenti nel collettore vadano all'interno dell'apparecchiatura seguendo il percorso opposto. Quando si gestiscono gli scarichi di closed drain bisogna stare molto attenti che non si formino dei **clatrati**. Questo accade in particolare quando nello scarico è presente del GPL (gas di petrolio liquefatto, miscela di butano e propano) oppure quando è presente dell'acqua. Infatti per abbassamento della temperatura l'acqua forma dei cristalli che si aggregano tra loro in forme diverse che sostanzialmente vengono stabilizzate quando al loro interno vanno a finire della molecole. Il verbo clatrare vuole appunto dire imprigionare con sbarre. I clatrati si formano a temperature via via minori man mano che aumenta la pressione. Infatti si trovano infondo agli oceani dove la pressione è molto elevata per il battente dell'acqua. Queste sostanze allo stato solido possono andare ad intasare la tubazione dell'impianto di blowdown. Questi cristalli si distruggerebbero se non fossero stabilizzati dall'inglobamento di molecole organiche al loro interno.

Torri di lavaggio

Si usano soprattutto per lavare sostanze contenenti degli acidi (HCl, ossidi di azoto, HS ecc) con sostanze basiche. Sono torri a riempimento classiche

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 71 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 73 di 104

vaporizzate ed escono da due tubazioni laterali, che poi confluiscono in una sola tubazione, e proseguono verso la torcia. Ciò che rimane allo stato liquido nel serbatoio deve essere estratto. Ci sono due fasi liquide: quella acquosa, più pesante e sempre presente, e quella organica più leggera che sta sopra. La fase acquosa viene raccolta in un mammellone inferiore, da cui viene estratta e mandata in fognatura. La SWS (in basso a sinistra) è la pompa di estrazione che va in fognatura. Lascia un certo livello minimo d'acqua all'interno del mammellone. La fase organica viene estratta tramite una pompa dedicata e viene recuperata. In genere, in sistemi di questo genere in cui arrivano più tubazioni di raccolta dall'impianto di blowdown, non può essere che una miscela di sostanze idrocarburiche allo stato liquido, che vanno a finire nell'insieme dei combustibili liquidi dello stabilimento.

Serbatoio abbattimento gocce condensato: Knockout Drum KOD

Serbatoio che si trova sui collettori di blowdown. È il serbatoio di knockout. Questo serbatoio abbatte le goccioline liquide. Viene progettato con un diametro di taglio, cioè gocce con un diametro superiore ad un certo valore vengono trattenute all'interno del serbatoio, mentre quelle più piccole possono proseguire. Le goccioline che potrebbero arrivare alla torcia, se sono sufficientemente piccole, hanno il tempo di bruciare nell'aria e non raggiungono il suolo. Se invece fossero troppo grandi provocherebbero una pioggia infuocata intorno alla torcia, diventando causa d'incendi. Ci sono due tipi di serbatoi di knockout, ad asse orizzontale e ad asse verticale. Sostanzialmente bisogna fare in modo che la velocità di trascinamento delle goccioline nella fase gassosa all'interno del serbatoio sia inferiore rispetto alla loro velocità di caduta libera, per cui le goccioline rimangono sul fondo del serbatoio, da cui vengono estratte.

Serbatoio di guardia idraulica alla torcia: Flare Seal Drum FSD

Sta immediatamente prima della torcia e può addirittura farne parte integrante trovandosi alla sua base, invece di essere un pezzo separato. È il serbatoio (drum) di tenuta (seal) della torcia (flame). La torcia funziona quando si mandano dei gas o dei vapori che l'impianto di blowdown non è riuscito a recuperare. Quando non funziona, essendo un inceneritore aperto, l'aria può infilarsi dentro. Ci sono degli accorgimenti che cercano di evitare che questo accada, ma se dovesse comunque entrare dell'aria, la parte bassa della torcia sarebbe piena di ossigeno. Se ciò accade, quando arriva la sostanza comburente, se questa è a temperatura sufficientemente alta, può avvenire lo scoppio nella canna della torcia. Questo scoppio potrebbe addirittura propagarsi, tornare indietro ed interessare tutto l'impianto di blowdown. La presenza del flare seal drum evita che lo scoppio possa propagarsi alla parte a monte dell'impianto di blowdown. È l'unico serbatoio che viene progettato alla pressione di 10 bar (gli altri vengono progettati per resistere al battente idrostatico di ciò che può essere contenuto all'interno del serbatoio stesso) che è superiore alla pressione massima che si può raggiungere in situazione di scoppio. Infatti non si vuole che il serbatoio si rompa se dovesse avvenire lo scoppio nella parte sottostante la torcia. L'acqua è sempre presente in questi sistemi e può portare a fenomeni di corrosione, anche per la presenza di tracce di H_2S o di alogenati, tipo HCl. Il serbatoio viene rivestito internamente proprio per resistere alla corrosione. Si dice che è gunitato. Il rivestimento viene, infatti, fatto utilizzando dei silicati, che sono sparati con gun (sottopressione) sulla parete e rimangono aderenti. I gas entrano nel serbatoio e da lì vanno direttamente alla torcia. Il serbatoio ha un ingresso d'acqua che garantisce che ci sia sempre un

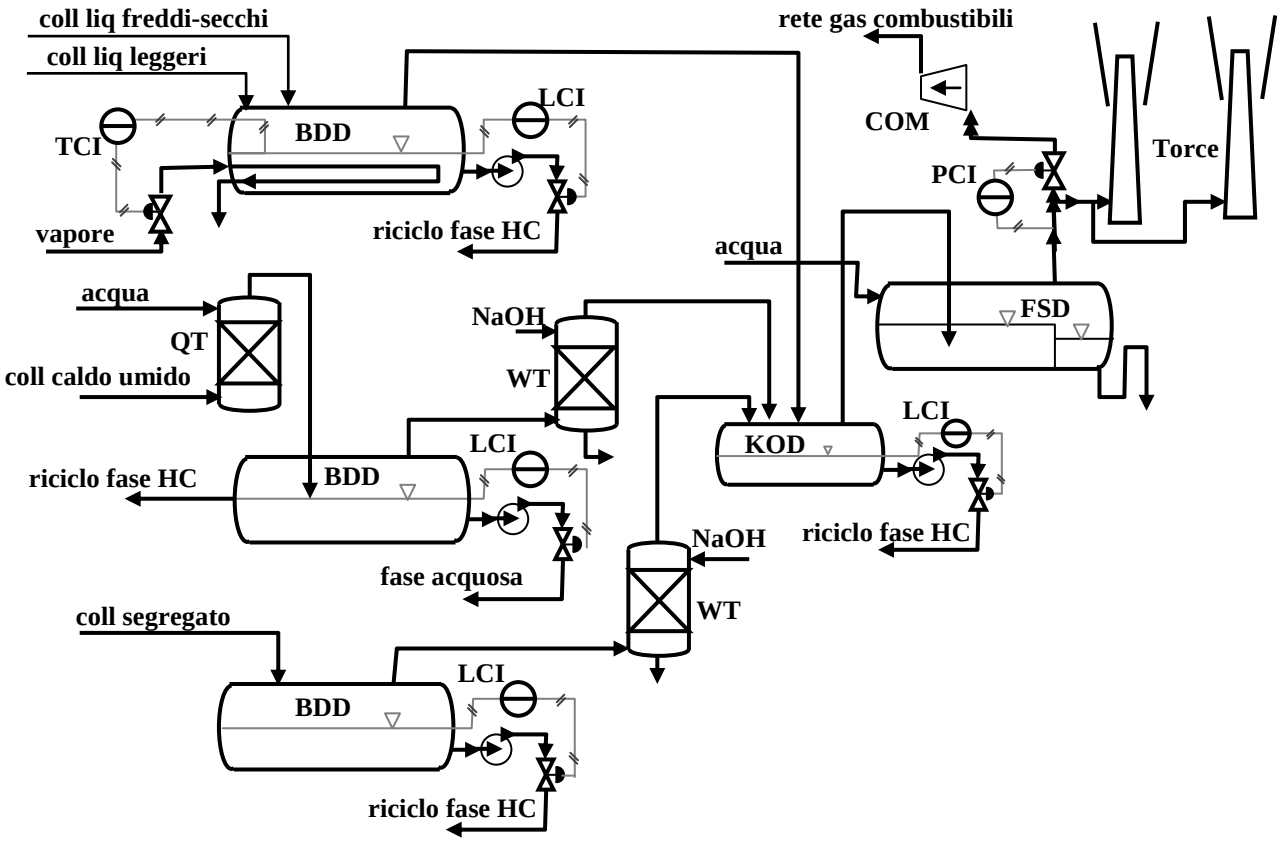
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 73 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 75 di 104

possano drenare e non restare nelle tubazioni. I tubi hanno una pendenza del 2 per 1000. Queste tubazioni si propagano per chilometri. Questa percentuale sta a significare che su una tubazione di 1km c'è un dislivello di 2 metri. Il secondo particolare è il terminale del tubo di arrivo annegato, quello che in caso d'esplosione può creare il tappo di liquido che torna indietro per 3 m. il tubo è tagliato a denti si sega, offrendo tanti triangoli equilateri, che fanno si che anche piccole portate possano gorgogliare. Piccole portate interesseranno sono una piccola parte, quella verso il vertice, dei triangoli, area che andrà man mano aumentando al crescere della portata che passa nel serbatoio. Questo è fatto per evitare che ci siano degli sbalzi di pressione.

Blow-Down speciali segregati ("tossici")

Sono definiti tossici quegli scarichi che contengono prodotti a base di zolfo, che non sono le sostanze organiche originariamente presenti nel greggio, ma quelle che derivano dalle lavorazioni all'interno dello stabilimento. Praticamente queste sono state separate dalla molecola organica, sono diventate acido solfidrico, acido solforico, acido cloridrico oppure dei solventi clorurati (fenoli, tossici). Queste sostanze vanno trattate in collettori particolari, perché vanno opportunamente trattate. Schema generale di un impianto di blowdown, con collettori principali.



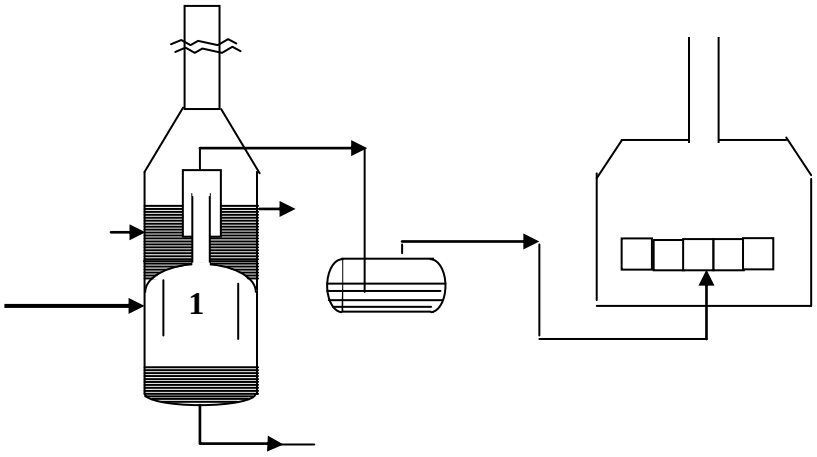
Al primo serbatoio di blowdown arriva un collettore che contiene degli scarichi liquidi secchi, quindi che non contengono acqua. Ho degli scarichi con idrocarburi allo stato liquido, ma con pochi atomi di carbonio. Questi si preferisce farli vaporizzare e non tenerli allo stato liquido. Arrivano al serbatoio di blowdown visto prima con il serpentino di riscaldamento mediante vapore per far evaporare gli idrocarburi leggeri. L'ingresso del vapore avviene mediante controllo di temperatura e

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 75 di 104

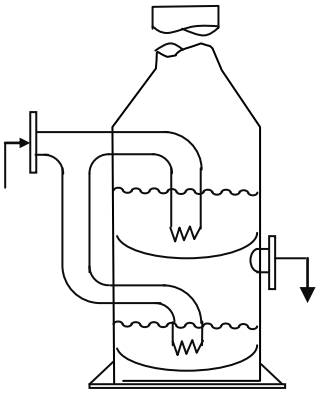
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 77 di 104

Torcia

Schema della torcia: da notare l'elemento di separazione dei flussi e che funge da seal drum. (1) La torcia è in elevazione. Ciò che esce va ad un sistema di seal per la torcia a terra e poi il flusso prosegue verso la torcia a terra.



Segue un altro schema, con un doppio sistema di seal. La tubazione che arriva ha la possibilità di andare a gorgogliare su due battenti differenti: quando la pressione è bassa, ma tale da vincere il battente minore, il flusso va alla torcia al suolo. Quando la pressione sale, una parte del flusso va ala torcia al suolo e l'altra alla torcia in elevazione.



La torcia al suolo è un tipico generatore di vapore a tubi d'acqua che utilizza come combustibile ciò che viene recuperato a livello di miscela gassosa o di vapori bassobollenti (con elevato tensione di vapore).

La torcia in elevazione ha una serie di parti che la compongono. La parte più elevata si chiama il terminale di fiaccola o terminale di torcia ed è detto **tip**. Può essere estremamente semplice: c'è la parte terminale del tubo, dei materiali refrattari che proteggono il materiale metallico intorno e ci sono delle fiamme pilota che mantengono sempre la fiamma accesa (è l'innesco dei gas che passano).

Torcia **non smokeless**: è una torcia che produce particella carboniose. La combustione è estremamente difficoltosa, non avviene bene il mescolamento dell'ossigeno dell'aria esterna con le sostanze combustibili e quindi l'ossidazione è incompleta e si forma molto nero fumo.

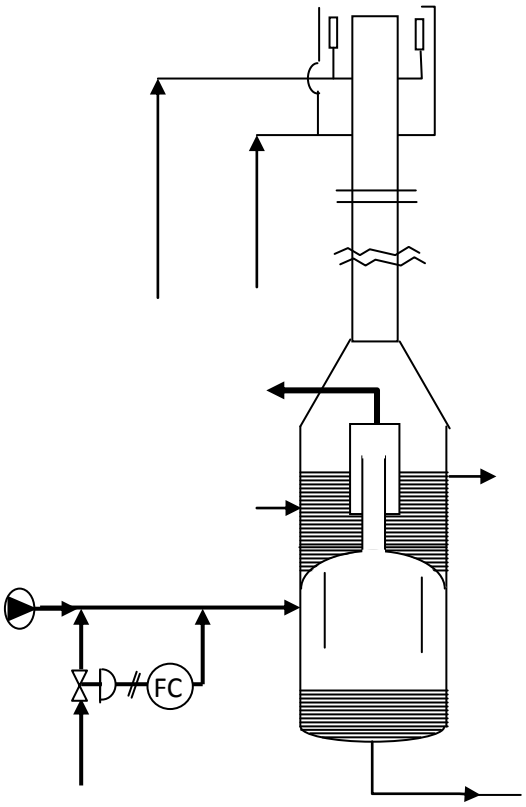
È una torcia estremamente visibile sia per la presenza del fumo sia perché la fiamma è molto luminosa. Infatti le particelle carboniose, quando sono all'interno della fiamma diventano incandescenti. Una fiamma di questo genere ha un elevato potere d'irraggiamento, proprio per la presenza delle particelle incandescenti. È però una torcia che costa poco. Questo tipo di torcia ha un impatto pesante con l'ambiente esterno. Quando la torcia funziona significa che c'è qualcosa all'interno dello stabilimento che funziona male. La torcia in elevazione non dovrebbe quasi mai funzionare, perché quando entra in funzione vuol dire che non si è riusciti a recuperare qualcosa. Se l'impianto di blowdown è fatto bene dovrebbe essere in grado di recuperare la maggior parte degli

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 77 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 79 di 104

Una fiamma pilota ha due circuiti, entrambi costituiti da aria e combustibile che devono essere miscelati. Uno è quello dell'alimentazione continua al pilota, l'altro è quello dell'accensione – riaccensione della fiamma. Lo schema è completo e quindi comprende anche la parte di accensione-riaccensione. RO (Rate Orifice) è un misuratore di portata a flangia tarata. Se in una tubazione si inserisce un restringimento, esso provoca una caduta di pressione proporzionale alla portata che sta passando. RO misura questa Δp e calcola la portata che sta passando. La stessa misura è fatta sul flusso secondario che arriva al venturimetro. I due flussi arrivano alla camera dove si forma la scintilla quando è necessario. C'è un sistema di questo tipo per ogni igniter. Questo vale a prescindere che il tipo di torcia sia smokeless o non smokeless.

C'è poi il camino della torcia. Eventualmente abbiamo un sistema d'introduzione di gas di purga che viene fatto con N_2, con CO_2 o con vapor d'acqua. La purga ha la funzione di assicurare la guardia fluidodinamica al tip per evitare che possa entrare dell'aria, anche semplicemente per diffusione. Affinché questo avvenga è necessario mettere in testa quella che è chiamata la guardia fluidodinamica. Per capire cos'è (guardare le immagini di slide 18): la canna ad un certo punto di restringe, scarica in una specie di bicchiere rovesciato e quindi, da passaggio a sezione piena, ma più piccola si passa a passaggio discendente di una sezione anulare e poi a passaggio ascendente in un'altra sezione anulare e infine al terminale. Questo è chiamato la tenuta molecolare. È semplicemente una tenuta dinamica, cioè un tappo fluidodinamico. Un sistema di questo genere produce una caduta di pressione localizzata (che accade purché ci sia un flusso gassoso che passa) evita che l'aria possa penetrare all'interno. Il gas di purga si usa quindi soltanto quando momentaneamente non ci sono scarichi presenti nel collettore finale di blowdown e quindi nella torcia. C'è infatti una misura di portata (FC = flow control) che apre la valvola on-off che introduce il gas di purga (oppure si fa con misure di pressione, ma il migliore è il sistema di misura della portata). Il gas di purga permette in funzionamento fluidodinamico del molecular seal ed evita che ci possa essere ingresso d'aria dal terminale di torcia.



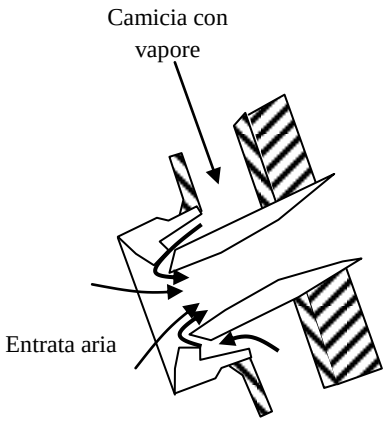
La torcia viene dimensionata sulla massima portata che si prevede possa arrivare, in funzione dell'eventuale contemporaneità degli scarichi e di ciò che non viene recuperato come combustibile gassoso alla torcia al suolo e come combustibile gassoso nella rete dei combustibili gassosi dello stabilimento. Viene dimensionata di modo che la velocità allo sbocco al tip sia pari al 20% della velocità del suono. Con valori più alti comincia ad avvenire il distacco della fiamma (la fiamma si solleva rispetto al terminale) e se la velocità supera il 50% di quella del suono si ha il blowoff, cioè lo spegnimento. Al di sotto del 20%, per vedere cosa succede nella fiamma, analizziamo il diagramma

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 79 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 81 di 104

L'effetto coanda Immaginiamo di mettere una camicia immediatamente prima del terminale sulla parte esterna. All'interno di questa introduciamo del vapore. La camicia nella parte alta è aperta. Quindi lascia uscire il vapore che introduciamo attraverso una fessura anulare. Ma questa porta un profilo sagomato detto **profilo Coanda**. Ci aspettiamo che il vapore esca perpendicolarmente all'asse, ma per effetto Coanda varia di direzione di 180°circa e viene mandato alla base del tip. Praticamente il vapore si muove sulla superficie del profilo Coanda. Questo vapore si trascina dietro dell'aria (frecce nere vapore, frecce bianche aria). In questo modo si spara dell'aria alla base della torcia. Questa è una torcia smokeless semplice.

La seconda è più efficace. Introduce l'aria prima del tip. Comincia immediatamente prima delle fiamme pilota a fare una premiscela del combustibile con l'aria. L'effetto Coanda si ha tramite dei "bottoni", uno dei quali è zoomato nel disegno per vedere com'è fatto: c'è la solita camicia del vapore. Il vapore esce da degli ugelli (fessura a 360° anulare). Per effetto Coanda rimane aderente alla superficie e ritorna dentro trascinandosi dell'aria, che si premiscela con i gas in arrivo e non forma nerofumo. C'è la combustione perfetta, non si vedono effetti di colorazione. Una fiamma smokeless è visibile solo di notte, quando si nota la sua colorazione azzurrina.



Rumorosità della fiamma

Comunque, anche se non si vede la fiamma, una torcia è molto rumorosa. La rumorosità dipende dalla velocità elevata del fluido (20% della velocità del suono è sui 120 - 150 m/s). La combustione, inoltre, di per sé è un fenomeno chimico che produce rumore. Quest'ultimo è proporzionale al quadrato della portata di gas combustibile. Più portata passa nella torcia, maggiore è il rumore. Man mano che ci si allontana dall'asse della torcia il rumore è smorzato con andamento logaritmico (slide 22 curve di smorzamento del rumore della torcia, nella direzione sottovento, downwind). Siamo sugli 85 db (decibel), si sente abbastanza.

Irraggiamento termico al suolo della fiamma

La torcia può arrivare ad una lunghezza di un centinaio di metri e anche superarli. Nonostante ciò, per considerare l'irraggiamento termico prodotto dalla torcia, si assume che la potenza termica prodotta dalla combustione sia localizzata in un punto, che viene chiamato il centro della fiamma. Ci sono due scuole di pensiero: una afferma che il centro della fiamma si trovi ad 1/3 della lunghezza della fiamma a partire dalla base del tip (quindi alla base della fiamma stessa), l'altra che sia localizzato esattamente a metà della fiamma, alla mezzeria (comunque non cambia molto). In genere per essere più cautelativi conviene considerare che il centro della fiamma sia alla distanza di 1/3 dalla base. Infatti l'irraggiamento termico prevede la propagazione dell'energia termica mediante delle onde. Queste, partendo dal centro della fiamma, si propagano secondo delle superfici

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 81 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 83 di 104

Il diagramma della slide 25 riporta invece la combinazione irraggiamento areico – tempo di esposizione che porta alla soglia del dolore per le persone. In ascisse è riportato il tempo di esposizione, in ordinate la potenza areica. Ci sono due curve che inizialmente partono dallo stesso valore e poi si biforcano, rimanendo una più alta e la seconda più bassa. Quella più alta si riferisce alle persone vestite. I vestiti sono un "coibente" alla trasmissione del calore, danno dei tempi di esposizione più alti a parità di energia raggiante rispetto alle persone a pelle nuda, per le quali il raggiungimento della soglia del dolore avviene prima. Quando una persona è esposta a 1350 kcal/m^2/h può restare un tempo indefinito perché non raggiunge la soglia del dolore. Questo valore è un limite di sicurezza.

Nella slide 26 il diagramma è lo stesso. Infatti, il fatto di essere a pelle nuda succede d'estate, mentre indossare più vestiti d'inverno. L'irraggiamento solare non è assolutamente trascurabile: a seconda delle stagioni varia da 500 a 800 kcal/m^2/h, cioè da 580 - 930 W/m^2, quindi da un minimo di 1/3 a quasi il 57 -58% rispetto alla soglia del dolore. Lascia uno spazio piuttosto modesto a quello che è il contributo della torcia. In genere l'altezza della fiamma di una torcia viene stabilita imponendo che alla distanza di 60 m il termine dell'irraggiamento complessivo sia quello di sicurezza delle persone. Le torce si mettono sempre in una posizione tale che ciò sia rispettato. Una volta dimensionata la torcia è molto importante andare a definire le zone d'interdizione, cioè quelle in cui non deve mettere piede nessun operatore, e identificare quelle in cui possono stare le persone perché hanno il tempo di fuggire in sicurezza quando la torcia si accende. Questo tempo va considerato tenendo presente che c'è un tempo di reazione. Il tempo di reazione medio è di 5 secondi. Quindi, nel tempo necessario a mettersi in sicurezza bisogna aggiungere il tempo di reazione. Si ragiona dicendo che il tempo di reazione più il tempo di fuga disponibile all'operatore moltiplicato per il q_{pain} (valore che deve tenere conto del contributo della torcia e solare) deve essere uguale al tempo di fuga disponibile per un valore di esposizione raggiante medio logaritmico. Quest'ultimo tiene conto del fatto che la persona, che si muove dalla posizione (perché sta fuggendo) in cui si trova (dove è esposto all'irraggiamento massimo) fino ad arrivare dove l'irraggiamento complessivo è quello di sicurezza, è esposta a valori d'irraggiamento variabili e via via decrescenti. Si fa una media di questa variazione attraverso un valore medio logaritmico. Infatti q_0 è l'esposizione complessiva nella posizione iniziale mentre q_{LP} è quella limite sopportabile. Il valore medio logaritmico è la differenza fratto il logaritmo del rapporto. Per far sì che si abbia l'uguaglianza identificata dalla prima formula si procede per tentativi, si varia il tempo di fuga finché l'uguaglianza non è verificata. Se il valore del tempo di fuga coincide con il valore di ascissa accoppiato al q_{pain} del diagramma vuol dire che è il valore reale. Se non coincide rifaccio il calcolo con altri valori. Trovo il tempo di fuga a disposizione dell'operatore per portarsi dal punto corrispondente a q_0 al punto di sicurezza. Questo tempo lo si confronta con il tempo che l'operatore impiega a compiere quel percorso. Se questo tempo risulta minore di quello che l'operatore ha a disposizione la zona è di sicurezza, ma se cos' non fosse la zona sarebbe di pericolo e andrebbe interdetta. Bisogna anche tenere conto del fatto che l'operatore possa essere più o meno libero nei movimenti. Attorno alla perpendicolare al suolo del centro della fiamma vengono fuori delle aree concentriche d'interdizione e delle aree a cui invece l'operatore può accedere se magari deve fare delle operazioni di manutenzione.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 83 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 85 di 104

compressore. La valvola con regolazione PIC (pressure indicator control) è una valvola modulante che è fatta in base alla pressione che si ha sul flarestack. È la pressione che mi dice se ho una grossa portata nel sistema di blowdown o se ne ho una piccola. Quando la pressione è sufficiente a far lavorare il compressore con ricircolo, ma non lo sarebbe per garantire l'ingresso dell'aria dal tip, si agisce sul ricircolo stesso, modulandone la portata di ricircolo in funzione di qual è la pressione sul flarestack. Se la pressione sale fino al punto tale da garantire che la portata aspirata di combustibile sia sufficiente a non far entrare aria senza che sia necessario il ricircolo, la valvola è chiusa, si chiude o si apre la valvola a seconda del flusso che si può recuperare che a sua volta determina la pressione nel serbatoio di knockout principale.

C'è poi un'altra particolarità (ricordare che i compressori di questo tipo sono molto grossi, per portate molto grandi). Bisogna garantire la tenuta all'albero del compressore. Questa è una tenuta a labirinto. Una tenuta su un albero si ottiene con premistoppa. Questi non danno sicurezza, perché col tempo si usurano, la baderna deve essere sostituita e così via. Allora si preferisce non mettere le superfici a contatto, ma mettere delle alette sull'albero in movimento e sulla parte in uscita. Anche se queste alette costituirebbero una zona di uscita per il gas, il cammino che questo dovrebbe percorrere è talmente tortuoso da creare una perdita di carico troppo elevata e il gas non esce comunque e prende la strada del compressore. Per essere comunque sicuri che questo meccanismo funzioni, nella tenuta del labirinto si manda del gas. Si crea così un tappo fluidodinamico visto nel terminale della torcia. Questo gas viene riutilizzato come sniffing gas per la torcia.

Slide 32. Il primo schema è simile al precedente. Vediamo che all'uscita del serbatoio di knockout si può andare alla torcia oppure al recupero del compressore. C'è poi un cooler (per raffreddare), il secondo knockput drum sul gas che viene recuperato. Quest'ultimo va a un ulteriore sistema di separazione di goccioline e infine allo stoccaggio. Anche qui c'è la possibilità di avere il ricircolo di parte di questo gas sul compressore.

Nell'altro schema, invece, le cose sono leggermente diverse. C'è un sistema di compressione a due stadi con un intercooler. Si parte sempre da dove c'è il pallino rosso. C'è il knockout della torcia, l'uscita dei gas poi separati che vanno o alla torcia (prima si trova il serbatoio di tenuta della torcia) o al compressore. C'è un primo stadio di compressione, intercooler di raffreddamento, abbattimento delle goccioline, secondo stadio di compressione e poi si va al sistema di raffreddamento con successivo knockout e stoccaggio, oppure, anche qui, al ricircolo. Tutte le fasi liquide sono raccolte e mandate eventualmente a un sistema di separazione della fase organica.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 85 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 87 di 104

L'umidità relativa è indicata con la φ, ma spesso in letteratura si trova con l'acronimo RH (relativy humidity), ed è il rapporto tra la pressione parziale che ha l'acqua nelle condizioni in cui si trova, riferita alla tensione di vapore che avrebbe l'acqua alla temperatura della miscela (p_w^0). È uguale al rapporto tra la frazione molare e la frazione molare in condizioni di saturazione. Se questo rapporto lo mettiamo nell'espressione della percentuale di saturazione viene fuori che la percentuale di saturazione RH per il rapporto tra 1-ys e 1-y. Questo rapporto è minore di 1. La stessa aria, se esprimo il contenuto di umidità riferendolo alle condizioni di saturazione come percentuale di saturazione ho un valore percentuale inferiore rispetto alla definizione leggermente diversa dell'umidità relativa. Il valore dell'umidità relativa è tanto più grande quanto più si è lontani alle condizioni di saturazioni.

Volume umido molare (m^3 riferiti alle kmoli di aria secca). Questi parametri sono sempre riferiti a ciò che nel sistema rimane costante e cioè la massa di aria secca. Il volume umido è dato da 22,4 (volume occupato da una mole in condizioni normali) moltiplicato per T su 273 P (per considerarlo in condizioni diverse da quelle normali) per 1+Y che tiene conto delle moli di aria secca più le moli del vapor d'acqua e quindi considera le moli totali.

$$V_h = (1 + Y)\, 22.4 \cdot T/(273 \cdot P)$$

Il calore specifico $c_{p,h}$ è uguale al calore specifico dell'aria secca, più il calore specifico dell'aria secca più quello del vapor d'acqua moltiplicato per il rapporto molare del vapor d'acqua rispetto all'aria. La presenza del vapor d'acqua fa aumentare il volume specifico.

$$c_{p,h} = c_{p,A} + Y c_{p,w}$$

Quindi a parità di temperatura, tanto più un'aria è umida tanto più diventa leggera e raggiunge il massimo del suo volume specifico alle condizioni di saturazione. Analogamente per quanto riguarda la sua conducibilità termica. Un'aria secca è meno conduttiva, quindi meno coibente.

Entalpia dell'aria umida (miscela aria vapore).

Contributo dell'aria secca più quello del vapore per il suo rapporto molare (umidità).

Entalpia dell'aria con contributo del calore latente valutato a T_0.

$$H = H_A + Y H_w = c_{p,A}(T - T_0) + Y\left[\lambda_0 + c_{p,w}(T - T_0)\right] = \left(c_{p,A} + Y c_{p,w}\right)(T - T_0) + Y\lambda_0$$

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 87 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 89 di 104

Condizionamento di un ambiente

Il condizionamento di un ambiente non interessa solo per quanto riguarda le persone, ma anche dal punto di vista industriale. Ci sono certi processi che non solo necessitano che venga controllata la temperatura, ma anche l'umidità. Soprattutto nel campo tessile, in un capannone i cui ci sono i telai, se non si lavora con un contenuto di umidità controllato (tra il 50-55%) i telai impazziscono, i fili si rompono, bisogna riannodarli e si è sempre fermi. Inoltre il condizionamento serve per il corretto funzionamento di alcuni macchinari, specialmente nei computer di grande capacità che, siccome sviluppano energia termica che deve essere asportata, devono lavorare in ambienti condizionati, che mantengano la temperatura dentro i limiti di corretto funzionamento de3lla macchina. Oppure, quando si trattano degli alimenti particolarmente idroscopici, bisogna tenere sotto controllo l'umidità di modo che questa non vada a finire sugli alimenti e li possa danneggiare. Ci sono anche alcune operazioni in cui si sviluppa tanta energia elettrostatica quanto più elevato è il contenuto di umidità nell'aria.

Benessere delle persone in un ambiente

Un altro aspetto molto importante, anche per la vastità dell'applicazione che il condizionamento dell'aria trova, è quello dell'uso civile. Nell'utilizzo civile si condiziona l'aria dell'ambiente per perseguire quello che è il benessere delle persone che vi si trovano (stanno lavorando).

Dipende da vari fattori:

- Temperatura e umidità dell'aria;
- Turbolenza dell'aria attorno alle persone: immaginando di essere in un ambiente in cui l'aria è a 20°C e ha un'umidità del 60% (condizioni ideali di temperatura ed umidità) se la turbolenza è eccessiva non si è in condizioni di benessere;
- Presenza nell'ambiente di superfici raggianti poiché calde;
- Intensità dell'attività fisica espletata dalla persona: le persone producono calore metabolico;
- Tipo d'indumenti indossati dalla persona: gli indumenti da un lato proteggono, ma dall'altro sono una barriera allo smaltimento del calore metabolico che producono.

Per rappresentare le condizioni dell'aria umida si utilizzano i **diagrammi psicrometrici** (o diagrammi dell'aria umida). Ce ne sono due: il diagramma europeo, noto col nome di **diagramma di Mollier**, e il **diagramma americano**.

Anche se sono due rappresentazioni grafiche dello stesso fenomeno, sono alquanto diversi tra loro.

Il diagramma di Mollier riporta in ascisse il valore della Y', cioè i valore della massa di vapor d'acqua riferita a quella dell'aria secca. In ordinata riporta una temperatura dell'aria (che può essere di bulbo umido, di bulbo secco, di globo termometro). Da notare l'andamento delle isoterme non è orizzontale, ma leggermente inclinato con una pendenza positiva. Ci sono poi delle curve dell'umidità relativa (φ) dal 10% (0,1) al 100% (1). Ma al 100% troviamo tre curve invece di una. Tutte le curve e la prima l 100% sono valutate alla pressione di 1 bar, mentre le ultime due al 100% sono a pressione inferiore, 0.9 e 0.8 bar. Da notare anche che, presa una temperatura (ad esempio di 25°C), le intersezioni dell'orizzontale con le tre curve al 100% di umidità relativa danno tre valori di Y' crescenti al decrescere della pressione. Ci sono poi le rette dei processi di saturazione adiabatica, poste parallelamente tra loro. Danno il valore dell'entalpia dell'aria che cresce al di

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 89 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 91 di 104

carattere generale. Il parametro ET* è stato valutato dalla ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers).

Nella slide 8, si trova un'altra rappresentazione delle condizioni di benessere. Il primo diagramma si riferisce ad una condizione in cui si è poco vestiti (estate), il secondo a quando si è mediamente vestiti (stagione autunnale-primaverile) e poi ce n'è un terzo (non rappresentato nella slide) in cui si tiene conto di un abbigliamento inverale. In ascissa è riportata la temperatura di bulbo secco o di globo, in ordinate la velocità con cui l'aria arriva. Ci sono varie curve di benessere relative all'attività in cui il soggetto è impegnato, correlata al calore metabolico che sviluppa e che deve smaltire. Le curve si spostano da un diagramma all'altro. Infatti all'aumentare della resistenza d'isolamento termico dovuto all'abbigliamento, a parità di attività metabolica, le curve si spostano verso valori inferiori di temperatura.

Nella slide 9 è riportata invece una tabella che fa notare, a seconda dell'attività che una persona sta svolgendo, qual è il calore totale metabolico che produce. Il calore metabolico dev'essere smaltito. Quali sono le modalità di smaltimento? Per conduzione o per irraggiamento. Infatti, la nostra temperatura corporea è costante (circa 37°C) ed è maggiore della temperatura dell'ambiente esterno. Queste due modalità non sarebbero in genere sufficienti per lo smaltimento, perché c'è un effetto per cui noi cerchiamo di mantenere la nostra temperatura corporea generando del vapore, cioè smaltendo il calore metabolico come calore latente attraverso la respirazione (l'aria che espiriamo è satura di vapor d'acqua) e attraverso la traspirazione dell'epidermide (secretiamo sudore che il nostro calore corporeo fa evaporare). A seconda dell'entità di calore metabolico che produciamo, a parità di temperatura esterna dell'aria (che può essere temperatura di bulbo secco o di globo termometro se ci sono delle superfici raggianti), cambia la proporzione del calore metabolico emesso come calore sensibile (irraggiamento e conduzione) rispetto a quella emessa come calore latente. Ad esempio prendiamo la prima riga della tabella dove si producono 90 kcal/h. A 20°C se ne producono 65 come calore sensibile e 25 come calore latente. A 24°C passiamo a 60 come calore sensibile e 30 come calore latente, perché è diminuita la forza spingente del calore sia sotto forma di convezione che sotto forma di irraggiamento. All'aumentare della temperatura bisogna incrementare il meccanismo di trasmissione del calore verso l'esterno attraverso l'evaporazione dell'acqua (diventa più importante il termine di smaltimento con calore latente).

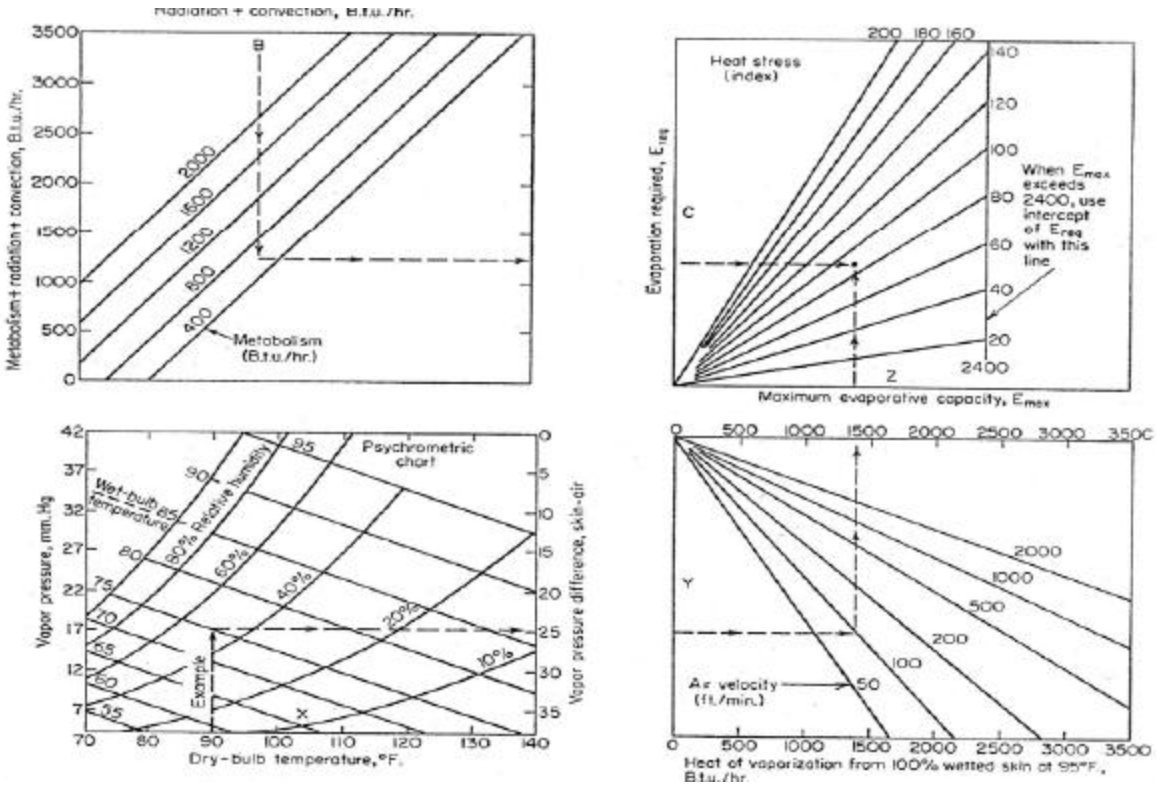
Il nomogramma slide 10, permette di valutare la temperatura equivalente (ET*). La prima scala ha la temperatura di globo termometro o quella di bulbo secco. La seconda scala, quella riportata in basso, riporta la temperatura di bulbo umido. Nell'esempio c'è la temperatura di bulbo secco di 25°C e quella di bulbo umido di 14°C. Bisogna conoscere anche la velocità dell'aria, individuata da delle curve del nomogramma. Ricordiamo che un nomogramma è un piano cartesiano distorto. In particolare le curve della velocità dell'aria, se il nomogramma fosse un diagramma cartesiano ordinario, rappresenterebbero delle rette più o meno verticali. Nell'esempio la velocità dell'aria è 1,01 m/s (valore abbastanza usuale). Unendo con una retta la temperatura di bulbo umido con quella di globo termometro, si va a trovare l'intersezione con la curva della velocità dell'aria. Sull'altra scala della ragnatela si individua la temperatura ET*, nel caso specifico 21°C.

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 91 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 93 di 104

velocità dell'aria e si legge sull'asse delle ascisse il calore che la persona riceve dall'ambiente, 600 Btu/h. La persona riceve questo calore e lo deve smaltire insieme al calore metabolico prodotto durante l'attività il calore metabolico è calcolato entrando con la stessa verticale nel secondo diagramma.

Qui ci sono delle rette tra loro parallele che hanno come parametro il calore metabolico prodotto dalla persona in funzione dell'attività che sta effettuando. Nel caso dell'esempio la persona emette 600 Btu/h. Complessivamente deve smaltire 1200 Btu/h. Deve emetterle come calore latente per forza, perché si trova ad una temperatura inferiore a quella esterna e quindi non c'è forza spingente, il calore arriva dall'esterno. A questo punto si deve prolungare l'orizzontale dal secondo diagramma ed entrare nel terzo, dove Questo calore viene confrontato con quello smaltibile dal corpo che dipende dalla forza spingente (tensione vapore sulla pelle - 42 mmHg - meno pressione parziale dell'acqua nell'aria) e dal coefficiente di scambio (si assume un valore medio per la superficie, la pelle dell'operatore). Il fatto che l'acqua emessa come sudore possa evaporare dipende dalle condizioni dell'aria in cui si trova, quindi dalla temperatura di bulbo secco e umido (anche dall'umidità relativa, ma bastano due di questi tre parametri per individuare le condizioni dell'aria). Ma non dipende solo da questi due parametri. Infatti, il vapore prodotto dall'evaporazione del sudore deve essere allontanato dal corpo, altrimenti non c'è più forza spingente verso l'esterno. Quindi entriamo nel quarto grafico dove troviamo in ascissa la temperatura di bulbo secco (e non globo termometro), nell'esempio pari a 90°F (rispetto ai 110°F di globo termometro, quindi ci sono delle superfici raggianti). Ci sono le temperature di bulbo umido (anche di saturazione adiabatica) e le curve di umidità relativa. In questo esempio, le condizioni sono di 90°F di temperatura di bulbo



secco, 75°F di temperatura di bulbo umido e circa il 50% di umidità relativa. A queste condizioni la pressione parziale che il vapor d'acqua ha dentro quest'aria la si legge sull'asse delle ordinate di sinistra, 17mmHg. Questo vuol dire che la pressione parziale del vapor d'acqua nell'aria è di

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 93 di 104

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 95 di 104

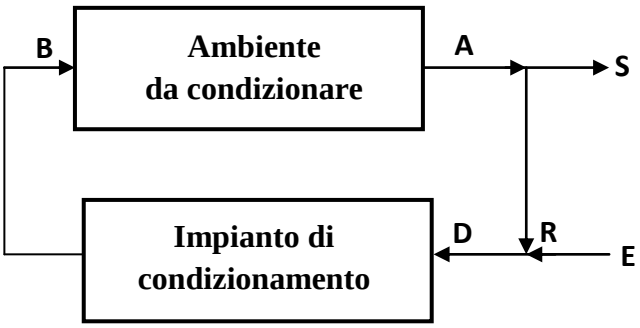
- in m^3/h, cioè quante volte il volume dell'ambiente deve essere ricambiato in un'ora. Nella prima riga c'è scritto che in un'ora bisogna ricambiare da 1 a 3 volte il volume dell'ambiente;

- In numero di persone. Questo è un parametro notevole. Nell'ambiente le sostanze inquinanti possono essere emesse dalle persone. Dipende dal numero di persone presenti. Più persone ci sono maggiore è il ricircolo d'aria che va effettuato. Il ricircolo viene espresso come portata d'aria che dev'essere ricambiata per persona presente nell'ambiente.

Nell'ambiente da condizionare devo fare un ricircolo, quindi devo sapere a priori quanto vale questo ricircolo.

Impianti di condizionamento aria

Ho un ambiente da condizionare e lo considero perfettamente miscelato dal punto di vista fluidodinamico. Voglio mantenere in tale ambiente le condizioni A, cioè le condizioni di benessere e d'igiene dell'aria. Di quest'aria una parte la spurgo, un'altra la riciclo e reintegro la frazione spurgata con dell'aria prelevata dall'esterno, in maniera tale che la portata (come massa di aria) secca che ho nel punto A, in B e in D, rimanga sempre la stessa. Dopo aver miscelato l'aria ricircolata (quella uscente dall'ambiente che ricircolo), la miscela va nell'impianto di condizionamento e soltanto quando è condizionata viene rimessa nell'ambiente che voglio condizionare.



A noi interessano le condizioni dell'aria che entra nell'impianto di condizionamento, nel punto D. questa dovrà essere trattata e portata alle condizioni del punto B. Le condizioni del punto B non sono quelle dell'aria dell'ambiente, cioè le condizioni d'uscita dall'impianto di condizionamento. Quest'ultime sono le condizioni che l'aria raggiunge in base alla quantità di vapor d'acqua e di energia termica complessiva che sono presenti nell'ambiente. Quindi, se vogliamo, il completamento del condizionamento avviene nell'ambiente stesso. L'impianto deve preparare l'aria per raggiungere le condizioni d'uscita dall'impianto di condizionamento necessarie al mantenimento dell'ambiente delle condizioni desiderate, cioè quelle del punto A. vogliamo poter posizionare sul diagramma psicrometrico (di Mollier o americano) il punto D. Il punto A lo conosciamo già, dovrà essere un punto qualunque all'interno dell'area del benessere. Il punto D lo troviamo facendo due bilanci, uno di materia al vapor d'acqua e l'altro di entalpia. I due bilanci sono fatti sull'aria secca ai nodi di spurgo-reintegro Il primo è:

$$(W'_A - W'_E) \cdot Y'_A + W'_E Y'_E = W'_A Y'_D$$

da cui ricaviamo la Y'_D, essendo noti:

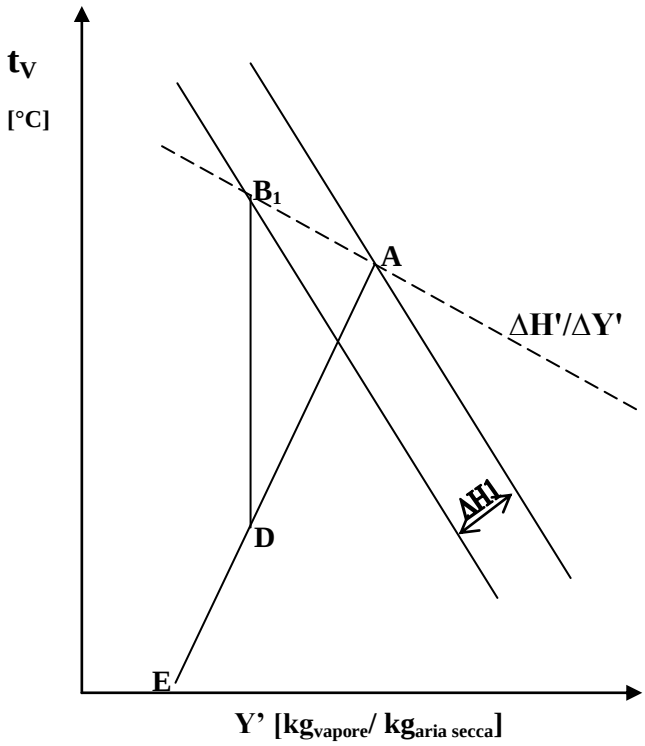
- Y'_E
- Y'_A

© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 95 di 104

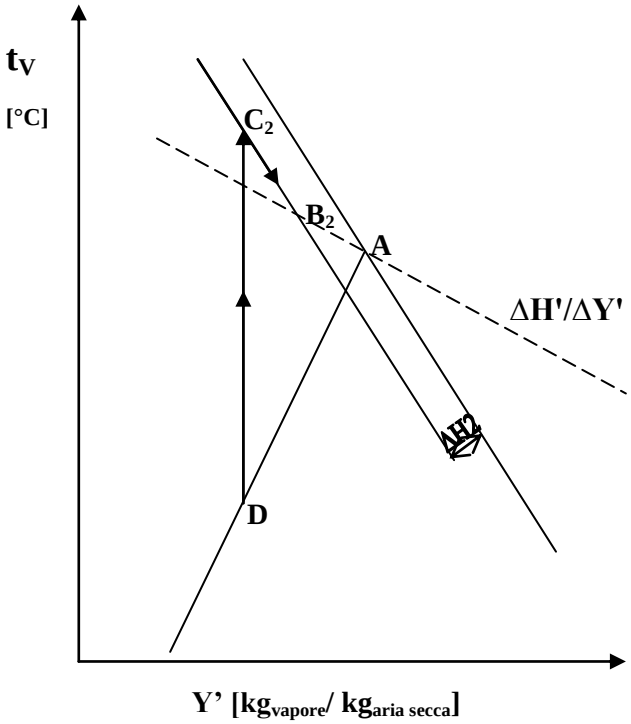
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 97 di 104

delle trasformazioni dell'aria in ingresso che diventa l'aria che noi vogliamo mantenere nell'ambiente da condizionare. Noi abbiamo le condizioni dell'aria al punto D, che sono quelle dell'aria che sta entrando nell'impianto di condizionamento. Conosciamo anche le condizioni d'uscita (punto B) dall'impianto di condizionamento. Quello che non abbiamo visto è come l'impianto di condizionamento debba lavorare per portare l'aria dal punto D a quello B. Queste operazioni, che devono essere effettuate nell'impianto di condizionamento, cambiano a seconda che si stia effettuando un condizionamento invernale o estivo. Le vediamo ora entrambe, sia con diagramma di Mollier sia con quello americano.

Inverno



Il punto D sarà presente sulla retta congiungente A ed E (rappresentativo dell'aria). A seconda della portata che spurghiamo o ricircoliamo, applicando la regola della leva o con i bilanci visti prima, individuiamo la posizione del punto D. avendo ricavato dai bilanci ΔH' e ΔY', facciamo il loro rapporto e, con l'ausilio della cornice presente nel diagramma di Mollier, individuiamo la pendenza della retta ΔH'/ΔY' . Ma sul diagramma di Mollier questa retta passa per l'origine. Noi dobbiamo quindi spostarla parallelamente a se stessa, fino a farla passare sul punto A. sappiamo che il punto B deve stare su questa retta ΔH'/ΔY'. Se vogliamo usare, per posizionare il punto B, il valore di ΔH', faremo passare la retta isoentalpica per il punto A e ci sposteremo perpendicolarmente a quest'isoentalpica di un valore pari al ΔH' calcolato. Se mi sposto di $\Delta H_1'$, traccio una seconda isoentalpica passante per l'estremità del segmento $\Delta H_1'$ e vado ad intersecare la retta ΔH'/ΔY'. Qui si trova il punto B_1. Se voglio usare il $\Delta Y_1'$ per trovare il punto B, considero la retta verticale passante per A, mi sposto di $\Delta Y_1'$, tiro su una retta verticale e, intersecando la retta ΔH'/ΔY', trovo il punto B_1. Detto ciò, si capisce che si può fare a meno delle informazioni che dà la cornice del diagramma di Mollier. Infatti, basta avere le variazioni di $\Delta H_1'$ e $\Delta Y_1'$. Tracciando le rette (l'isoentalpica e la verticale) sul loro punto di intersezione sta il punto B_1 che deve stare sulla retta ΔH'/ΔY'. In questo modo riesco ad individuare la retta ΔH'/ΔY' senza l'ausilio della



© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 97 di 104