



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DI TRIESTE

Vittorio BUCCI

Progetto di impianti di propulsione navale

9.6 IMPIANTO DEL VAPORE

Anno Accademico 2017/2018

VAPORE-CONDENSE-ALIMENTO

VAPORE. Dire vapore significa riscaldare l' acqua fino al suo punto di ebollizione e quindi incrementare il calore fino a trasformare l'acqua in ebollizione in vapore.

Queste due distinte fasi sono denominate:

- **Entalpia del liquido** (calore sensibile) o h_f
- **Entalpia di evaporazione** (calore latente) o h_{fg}

Con **entalpia del liquido** che ha sostituito il vecchio termine *calore sensibile* si identifica la quantità di calore necessaria per portare l' acqua dalla temperatura ambiente alla temperatura di ebollizione.

Con **entalpia di evaporazione**, termine moderno che è forse meno intuitivamente efficace del vecchio *calore latente*, si intende la quantità di calore necessaria per portare l' acqua dalla temperatura di ebollizione allo stato di vapore.

Durante questa fase, pur aggiungendo calore alla miscela acqua/vapore non si riscontra alcuna variazione di temperatura poiché tutta l' energia (*calore latente*) viene utilizzata per cambiare l' acqua dallo stato liquido a quello di vapore.

La quantità totale di calore ceduta all'acqua per portarla dalla temperatura iniziale all' ebollizione e quindi trasformarla in vapore è identificata con il termine di **energia totale** o h_g .

Dal diagramma di Mollier si ricavano le quantità di calore necessarie alla trasformazione dell' acqua in vapore.

Durante la fase di cessione di calore dal vapore ad un processo, l' **entalpia di evaporazione** è la prima ad essere utilizzata e sfruttata prima che il vapore si ritrasformi in acqua.

Il vapore comunque per essere utilizzato in modo pratico ed essere convogliato in una tubazione deve essere prodotto ad una pressione superiore a quella atmosferica da **generatori di vapore** comunemente chiamati **caldaie**.

Le caldaie generano vapore a pressioni dipendenti dall' utilizzo richiesto al vapore prodotto.

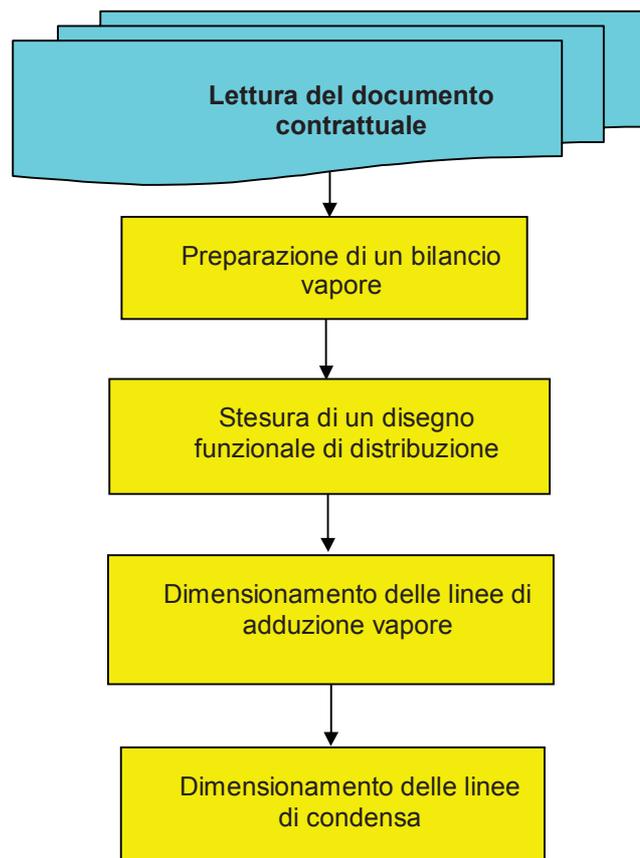
L'acqua tenuta ad una pressione superiore a quella atmosferica raggiungerà il punto di ebollizione a temperature superiori ai 100°C.

Dal diagramma di Mollier si nota che l' **entalpia di evaporazione** necessaria a trasformare l' acqua in vapore a pressioni superiori a quella atmosferica è inferiore alla trasformazione a pressione atmosferica viceversa si riscontra che l' **entalpia di evaporazione** utilizzabile nei processi diminuisce all' aumentare della pressione.

Indicazioni per la Progettazione di un Impianto Vapore

IMPOSTAZIONE DI UN IMPIANTO

Il seguente diagramma a blocchi indica a grandi linee le varie fasi necessarie per l'impostazione ed il successivo sviluppo di un circuito vapore/condensato.



Documento Contrattuale

La attenta, accurata lettura ed interpretazione del documento contrattuale è determinante per la valutazione del tipo di ingegneria richiesta. Infatti dalla esatta decifrazione di tale documento si può impostare una prima bozza dello sviluppo delle linee di distribuzione del vapore e delle linee di condensa.

Per quanto riguarda l' applicazione al navale si possono individuare due importanti e diverse tipologie di riscaldamento e precisamente:

- riscaldamenti puliti
- riscaldamenti sporchi.

Per riscaldamenti puliti generalmente si intendono tutti i riscaldamenti dove il vapore riscalda un fluido pulito (acqua dolce, acqua potabile etc) e dove una eventuale perdita del fluido riscaldato nelle linee di ritorno condense non inquina il sistema di riscaldamento.

Per riscaldamenti sporchi si intendono tutti i riscaldamenti dove il vapore riscalda un fluido "sporco" (acqua mare, nafta, olio lubrificante etc) e dove un eventuale perdita del fluido riscaldato nelle linee di ritorno condense va ad inquinare tutto il sistema di riscaldamento.

Altre informazioni altrettanto importanti che si possono attingere dal documento contrattuale, anche in base agli assunti dei punti precedenti, sono le dimensioni (volumi) della cassa osservazione condense e del pozzo caldo, il tipo di accessori e dei macchinari complementari al sistema (condensatori, refrigeranti etc.).

Particolare attenzione si deve porre inoltre alla prescrizioni particolari del Cliente che in certi casi, per ragioni di cautela, può richiedere delle prestazioni molto più restrittive e stringenti delle normali norme di progettazione.

Tali limitazioni possono ad esempio interessare le velocità massime ammissibili nelle linee vapore/condensa e nel caso di valvole di regolazione, dumping vapore (surplus) e/o batterie di riduzione i limiti di rumorosità (dBA).

Preparazione di un Bilancio Vapore

Il secondo gradino nello sviluppo di un impianto di vapore è la stesura di un bilancio del vapore.

Quanto più pignolescamente è redatto il bilancio vapore tanto più è accurata l'evidenza della divisione delle linee del sistema (spurghi sporchi e puliti) e tanto più accurato risulta lo studio preliminare di dimensionamento e distribuzione delle linee del circuito.

Estrapolando dal bilancio la quantità di vapore occorrente al sistema si può inoltre, quando esistono sistemi di produzione a recupero di calore (Calderine a Gas di Scarico – da adesso EGB):

- dimensionare i condensatori atmosferici necessari a mantenere costante la pressione vapore (dumping) nelle tubazioni quando la richiesta degli utenti è minima, ma quando al tempo stesso, a causa della scelta dell'impianto di produzione vapore, non è possibile diminuirne la potenzialità.
Il sistema "dumping", nel caso di EGB al seguito di motori Diesel o turbine a gas, evita la installazione di ingombranti dei costosi by-pass sulle condotte di scarico gas.
I by-pass sono necessari a parzializzare il flusso dei gas di scarico e quindi ridurre la produzione delle EGB quando cala la richiesta di vapore.
- Ricavare le quantità dei ritorni puliti e sporchi da condensare e con tali informazioni disponibili dimensionare i relativi refrigeranti condense.
- Dalla somma delle quantità di vapore da condensare e dalla quantità di ritorni da raffreddare si ricava il calore che deve essere dissipato e si compie un'azione propedeutica per il bilancio di raffreddamento quantificano le masse di acqua di refrigerazione (acqua mare e/o dolce) necessarie allo smaltimento del calore da eliminare.

Regole pratiche per dimensionare:

- Capacità Pozzo Caldo = 8 ÷ 10 minuti portata pompa alimento
- Capacità Pompa Alimento = 3 ÷ 5 volte capacità caldaia a nafta
 - Capacità Pompe Circolazione Calderine = 8 ÷ 10 volte max produzione calderina (normalmente il Fornitore della calderina indica la portata della pompa)

Esempio di bilancio vapore di una nave da Crociera

STEAM CONSUMPTION

Strm evap.heat at 9 barg = **485,6** kcal/kg
 1kg/h steam = **0,56** kW

USER	Steam Consumption		Navigation				Harbour	
	kg/h	kW	Winter		Summer		Winter	
			kg/h	kW	kg/h	kW	kg/h	kW
HFO settl. tk heating 2x150 m3	1356	766	1000	565	1000	565	900	508
HFO serv. tk heating 2x92 m3	972	549	400	226	400	226	350	198
HFO D.B. heating 2x325 m3	1308	739	1100	621	1000	565	1100	621
L.O. renov. Tk 60 m3	170	96	150	85	100	56	150	85
Sludge tk 35 m3	78	44	70	40	50	28	100	56
HFO overflow DB 145 m3	356	201	280	158	150	85	250	141
Oily bilge dirty side tk 145 m3	356	201	100	56	80	45	100	56
Bilge settl. Tk 28 m3	105	59	50	28	30	17	50	28
Tanks heating- Total T1			3150	1779	2810	1587	3000	1694
DD/AA HFO heaters (3 x 450) kg/h	1350	762	1000	565	700	395	350	198
HFO purifier heaters (4)	1230	695	1070	604	535	302	325	184
MGO purifier heater (1 x 40) kg/h	40	23	-	-	-	-	-	-
L.O. purifier heaters (6)	1220	689	1020	576	795	449	1130	638
Sludge purifier heater (1 x 30) kg/h	30	17	30	17	15	8	30	17
Bilge centrifugal purifier htr (1)	250	141	200	113	100	56	250	141
Boiler HFO heaters (2)	170	96	75	42	20	11	75	42
DD/AA F.W. pre-heaters (3)	3460	1954	-	-	-	-	-	-
Feed water heater (2 x 500) kg/h	1000	565	170	96	170	96	170	96
Evap. Booster heater (3 x 8870) kg/h	26610	15025	3310	1869	2360	1333	-	-
E.R. users - Total T2			6875	3882	4695	2651	2330	1316
Air conditioning	23000	12987	11000	6211	1100	621	6400	3614
Potable / sanitary water (4x4500) kg/h	18000	10164	5940	3354	2970	1677	3330	1880
Swimming pools	4350	2456	410	232	140	79	1360	768
Laundry	4600	2597	2700	1525	2700	1525	1500	847
Clean steam generator	250	141	250	141	250	141	250	141
Laundrette Dk9-10-11	450	254	250	141	250	141	250	141
Galleys	5800	3275	4200	2372	4200	2372	2800	1581
Galley FW heaters	1800	1016	1000	565	1000	565	800	452
Total galleys			5200	2936	5200	2936	3600	2033
Health center	100	56	80	45	40	23	80	45
Accommodation - Total T3			25830	14585	12650	7143	16770	9469
Total Ship's Consumption - T4			35855	20246	20155	11381	22100	12479

NB: The two largest fuel oil storage tanks and the overflow D.B. are considered in the steam balance for the simultaneous heating .

STEAM PRODUCTION

Stm evap.heat at 9 barg = **485,6** kcal/kg
 1kg/h steam = **0,56** kW

Available steam production - **kg/h/kW** at 9.5 barg saturated with n°....Diesel Gen Sets running at 80% of MCR

STEAM GENERATOR		1 D/A running	2 DD/AA running	3 DD/AA running	4 DD/AA running	5 DD/AA running	6 DD/AA running
EGB on DD/AA n° 1		3300	3300	3300	3300	3300	3300
		1863	1863	1863	1863	1863	1863
EGB on DD/AA n° 2			3300	3300	3300	3300	3300
			1863	1863	1863	1863	1863
EGB on DD/AA n° 3				3300	3300	3300	3300
				1863	1863	1863	1863
EGB on DD/AA n° 4					3300	3300	3300
					1863	1863	1863
EGB on DD/AA n° 5						2200	2200
						1242	1242
EGB on DD/AA n° 6							2200
							1242
Total production	kg/h	3300	6600	9900	13200	15400	17600
	kW	1863	3727	5590	7453	8696	9938

Oil Fired Boiler n° 1		15000	15000	15000	15000	15000	15000
		8470	8470	8470	8470	8470	8470
Oil Fired Boiler n° 2		15000	15000	15000	15000	15000	15000
		8470	8470	8470	8470	8470	8470
Total production	kg/h	30000	30000	30000	30000	30000	30000
	kW	16940	16940	16940	16940	16940	16940

Total prod. EGB+OFB	kg/h	33300	36600	39900	43200	45400	47600
	kW	18803	20666	22530	24393	25635	26877

Navigation max. required power	
Propulsion:	46262 kW
Hotel:	14508 kW
Propulsion + Hotel:	60770 kW

Navigation max. developed power	
Engine	(4x12V46CR)+(2x8L46CR)
% of MCR	90

WINTER - NAVIGATION with six engine running at 90 % of MCR				
Steam consumption	kg/h	35855	kW	20246

DD/AA & EGB running	Q.ty	6
EGB stm production (12V)	kg/h	3400
EGB stm production (8L)	kg/h	2280
Total EGB stm production	kg/h	18160
Oil Fired Boiler required production	kg/h	17695
Oil Fired Boiler running	Q.ty	2
Oil Fired Boiler rating	%	59

SUMMER - NAVIGATION with six engine running at 90 % of MCR				
Steam consumption	kg/h	20155	kW	11381

ISO CONDITIONS

DD/AA & EGB running	Q.ty	6
EGB stm production (12V)	kg/h	3400
EGB stm production (8L)	kg/h	2280
Total EGB stm production	kg/h	18160
Oil Fired Boiler required production	kg/h	1995
Oil fired Boilers running	Q.ty	1
Oil Fired Boiler rating	%	13

Harbour service - Option 1

WINTER - HARBOUR with one 12 cyl engine running at 80% of MCR			
Steam consumption	kg/h	22100	kW 12479
DD/AA & EGB running	Q.ty	1	
EGB stm production (12V)	kg/h	3300	
Total EGB stm production	kg/h	3300	
Oil Fired Boiler required production	kg/h	18800	
Oil fired Boilers running	Q.ty	2	
Oil Fired Boiler rating	%	63	

Harbour service - Option 2

WINTER - HARBOUR with one 8 cyl engine running at 80% of MCR			
Steam consumption	kg/h	22100	kW 12479
DD/AA & EGB running	Q.ty	1	
EGB stm production (8L)	kg/h	2200	
Total EGB stm production	kg/h	2200	
Oil Fired Boiler required production	kg/h	19900	
Oil fired Boilers running	Q.ty	2	
Oil Fired Boiler rating	%	66	

Stesura di un disegno funzionale di distribuzione

Si inizia inserendo in un disegno, preferibilmente in modo topografico, tutti gli utenti che devono essere alimentati e tutte le apparecchiature complementari facenti parte del circuito (cassa osservazione condense, pozzo caldo, riscaldatori, etc.).

Dopo aver indicato gli utenti e le apparecchiature si passa alla fase di collegamento degli utenti al collettore od anello principale di distribuzione

Tenendo sempre conto della topografia del sistema e partendo dal collettore od anello di distribuzione si collegano i vari utenti con i rami di distribuzione cercando di utilizzare la strada più breve.

Un ramo di distribuzione ovviamente può (generalmente deve) alimentare più utenti.

Le derivazioni dal ramo principale sono dette branchetti di distribuzione.

Una volta alimentati tutti gli utenti si percorre la strada a ritroso e sempre in modo possibilmente topografico si collegano gli utenti ai collettori dei ritorni o condense. In questo caso si parla di collettori in quanto le condense da raffreddare sono di due tipi le sporche e le pulite.

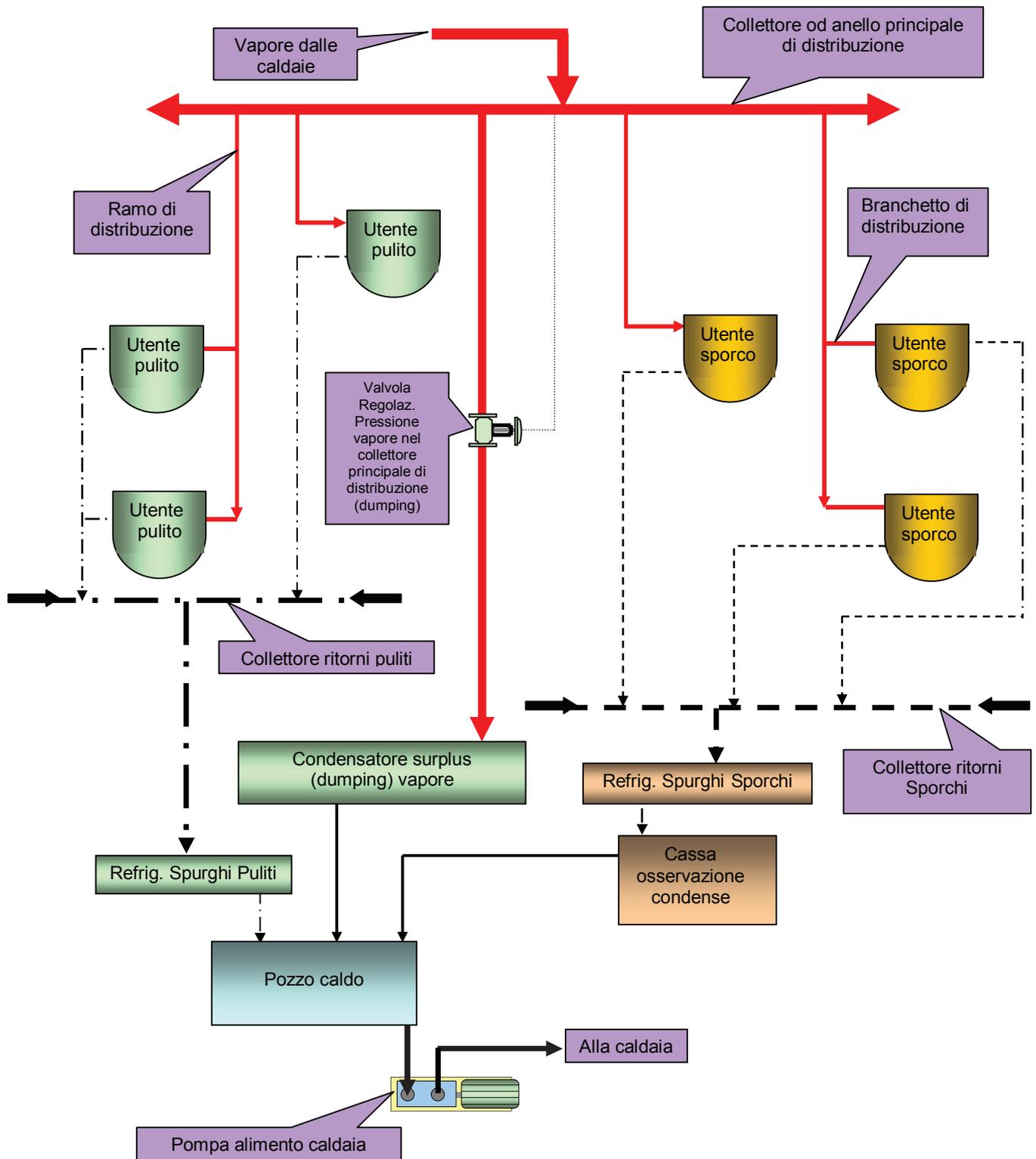
Le condense sporche saranno convogliate alla cassa osservazione od allo scomparto del pozzo caldo facente questa funzione mentre le condense pulite saranno convogliate direttamente al pozzo caldo.

Tutti e due tipi di condensa prima di arrivare alle rispettive casse passeranno attraverso i relativi refrigeranti per essere condensati ed arriveranno al pozzo caldo a temperature tra gli 80 ed i 95 °C.

Le condense sporche una volta verificato, con sensori e/o visivamente, che non sono inquinate rigurgitano al pozzo caldo per essere, come del resto le condense pulite, inviate in caldaia per ricominciare il ciclo di produzione vapore.

Il seguente diagramma indica a grandi linee come si potrebbe presentare il lay-out di un sistema con inseriti solamente utenti e tubazioni.

Diagramma a blocchi di un sistema vapore-ritorno condense



Dimensionamento delle linee di adduzione vapore

Il vapore generato dalla caldaia deve essere distribuito attraverso tubazioni fino al punto di utilizzo.

Partendo dalla bocca di mandata vapore della caldaia e conoscendo, dal bilancio vapore, la quantità massima richiesta dal sistema si comincia a dimensionare il collettore principale di distribuzione, tenendo in considerazione tutti gli input avuti dallo studio del documento contrattuale.

Nel dimensionamento delle tubazioni si tende naturalmente a scegliere un diametro di adduzione vapore uguale alle connessioni poste sugli utenti tralasciando che questi, per ragioni di standardizzazione, possono essere dimensionati per condizioni di pressione diverse quelle da noi prese in considerazione.

Da questa erronea impostazione si possono avere due risultati che magari per motivi opposti possono dare vita al dimensionamento di un impianto non corretto.

Per quanto sopra le dimensioni delle tubazioni devono essere scelte in base a:

- La velocità del fluido
- La portata richiesta alla pressione di progetto

Il dimensionamento delle tubazioni secondo la velocità è basato sul volume totale del vapore fluente nella tubazione, essendo uguale all' area della sezione della tubazione per la velocità:

$$S \text{ (m}^2\text{)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} / V \text{ (m/s)} \times 3600$$

Conoscendo la superficie di passaggio S possiamo facilmente calcolare il diametro della tubazione.

La portata Q si evince dalla lettura del bilancio vapore.

Come velocità assumiamo valori, risultati ottimali dalla pratica, di 25 – 40 m/s per i rami di distribuzione e di 15 – 20 m/s per i collettori principali di distribuzione

Dimensionamento delle Linee di condensa

Nel riscaldamento degli utenti (corpi freddi) il vapore trasferisce la sua energia al corpo freddo per cui il vapore si trasforma in acqua di condensa.

Questa cessione di calore può essere valutata in circa il 75% dell' energia fornita dalla caldaia mentre in 25 % rimane contenuto nell' acqua di condensa.

La condensa recuperata oltre ad avere una certa energia termica è anche acqua distillata che è l' ideale per l' alimentazione della caldaia e che quindi deve essere recuperata.

Il condensato viene recuperato tramite scaricatori di condensa cioè è scaricato da un sistema con una determinata pressione ad un sistema a pressione inferiore rispetto al precedente.

A causa della differenza di pressione parte del condensato rievapora e questo vapore è denominato “ **vapore di rievaporazione** ”.

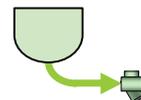
La quantità del vapore di rievaporazione dipende dalla differenza tra la pressione del vapore e quella della condensa, ma generalmente si può quantificare tra il 10% ed il 15% del peso della condensa.

Il dimensionamento delle linee del condensato è influenzato da molti fattori per cui è difficile stabilire un semplice elenco di raccomandazioni a cui fare riferimento essendo in gioco molte variabili:

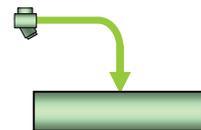
- il sistema di controllo
- la pressione di esercizio del vapore
- il tipo di scaricatori usati
- il modo di installazione
- la temperatura ambiente

Si può comunque dividere il problema in due parti:

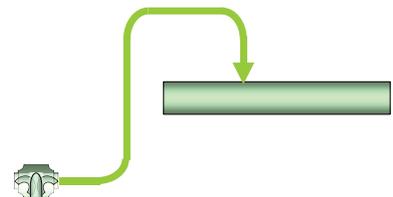
1 – Linee di collegamento dagli utenti agli scaricatori



2 – Linee di scarico dagli scaricatori



3 – Linee di scarico con pompe



Linee di adduzione del condensato agli scaricatori

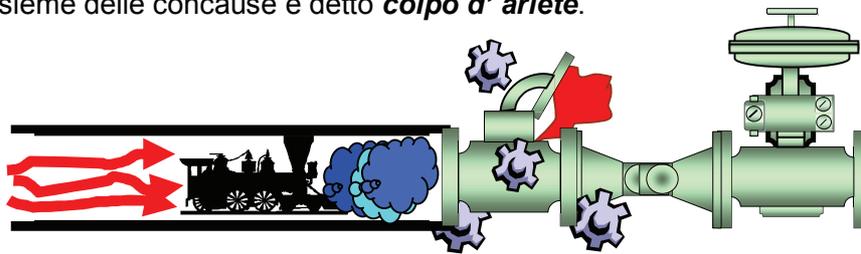
In questa parte dell' impianto il condensato deve fluire dall' uscita dell' utente allo scaricatore.

Poiché la pressione del vapore nell' utente e nello scaricatore sono uguali, il condensato potrà fluire solo per gravità e quindi lo scaricatore DEVE essere installato inferiormente all' apparecchio cui è collegato.

Se infatti l' acqua formatasi per condensazione e non è opportunamente drenata, si raccoglie nei punti più bassi della tubazione, ai piedi delle risalite od in corrispondenza di accessori o raccordi male installati e si forma un' ostruzione che messa in movimento dal vapore viene scagliata violentemente contro il primo ostacolo esistente sulla linea, valvola od altro apparecchio o componente.

Questa massa in movimento (con velocità a volte superiori ai 30 m/sec) acquista una notevole energia cinetica che viene totalmente rilasciata al momento dell' impatto causando elevata rumorosità, violente vibrazioni e delle istantanee sovrappressioni che come sopra detto possono danneggiare gravemente le tubazioni e le apparecchiature connesse.

L' insieme delle concause è detto **colpo d' ariete**.

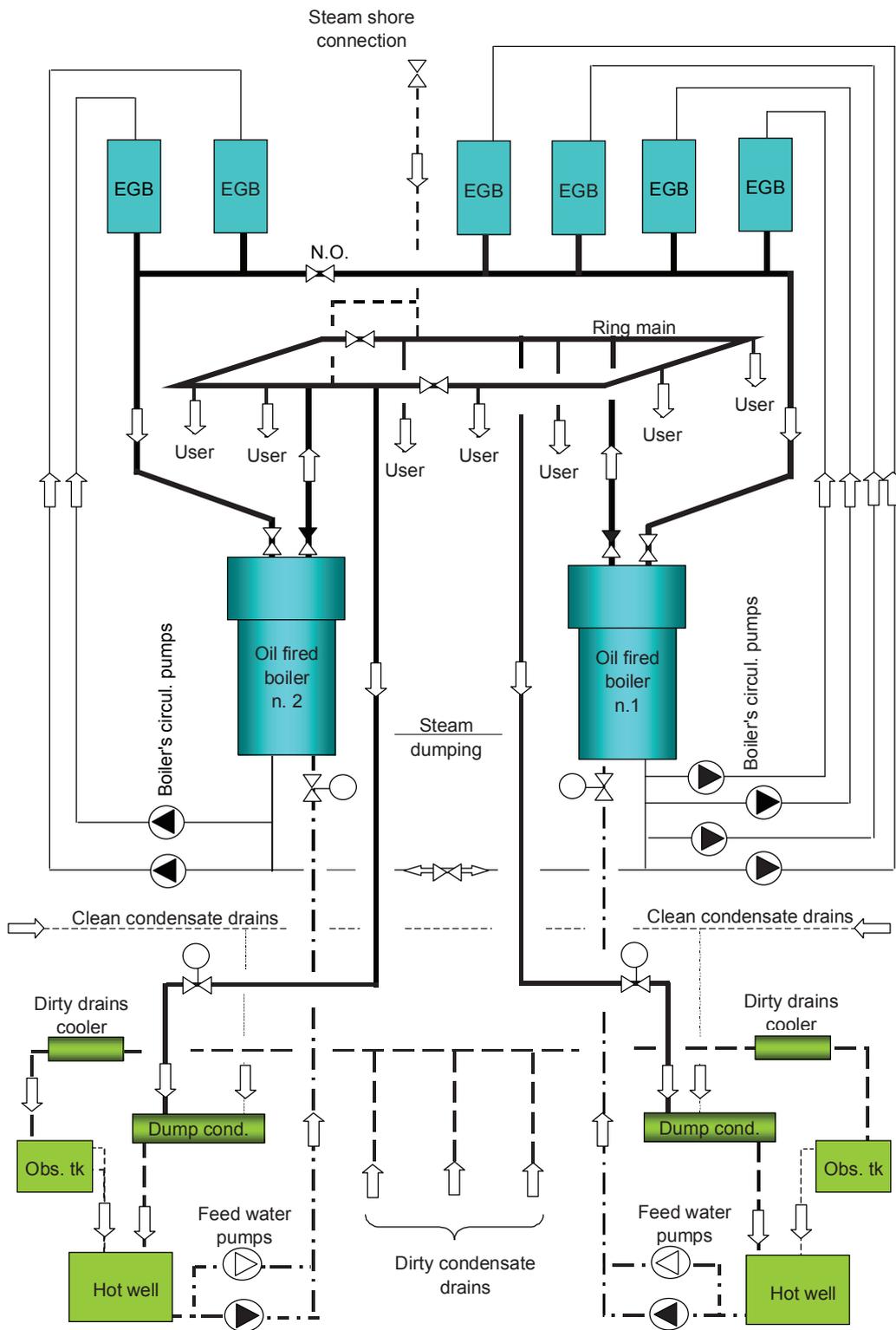


Le tubazioni dal punto di scarico allo scaricatore devono essere installate con pendenza verso il basso.

Nella scelta del diametro della tubazione di scarico condensa si deve tenere presente che la quantità di condensato da scaricare può essere molto superiore al valore corrispondente a pieno carico dell' utente.

Quanto sopra in quanto sia all' avviamento dell' impianto che alla ripresa dopo una fermata prolungata notevoli quantità d' aria si mescolano al vapore e la portata richiesta risulta addirittura raddoppiata.

Schema di Principio Impianto Alimento/Vapore/Condense di una Nave da Crociera



Macchinari di una nave da Crociera che direttamente od indirettamente sono legati all' impianto vapore

