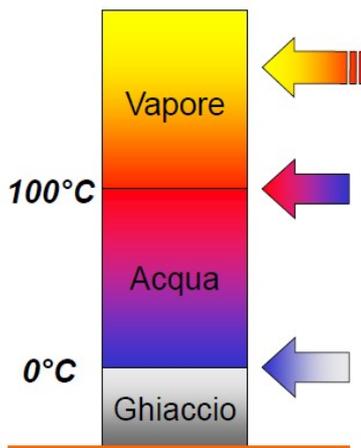


Sezione 1 - Introduzione al vapore

Per definizione il vapore è uno stato aeriforme di una sostanza, ottenuto per ebollizione o evaporazione dallo stato liquido o per sublimazione dallo stato solido.

Che cos'è il vapore?

Per comprendere meglio il concetto di vapore si prenda in considerazione una quantità di acqua e una fonte di calore. La quantità di acqua, dopo essere stata riscaldata, cioè dopo aver acquistato calore dalla sorgente calda, raggiungerà una sua temperatura massima (temperatura di ebollizione) in cui non potrà più rimanere allo stato liquido. Arrivato a questa temperatura massima il fluido se continua ad essere riscaldato avrà un passaggio di stato, dallo stato liquido a **vapore**.



VAPORIZZAZIONE

in condizioni di pressione atmosferica, sopra i 100°C, l'acqua non può più esistere allo stato liquido. Quindi, dopo aver raggiunto tale temperatura e continuando a fornire calore, l'acqua evapora.

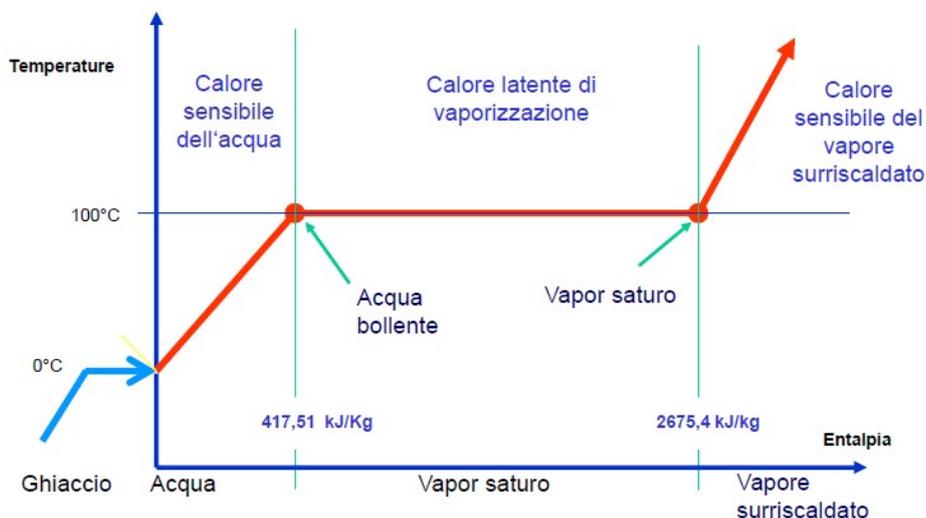
SATURAZIONE

se si continua a scaldare l'acqua, la temperatura aumenta fino al raggiungimento delle condizioni di saturazione.

PUNTO DI FUSIONE

se si scalda il ghiaccio, esso esisterà fino a quando verrà raggiunta la temperatura di fusione.

VAPORIZZAZIONE DELL'ACQUA CON PRESSIONE = A 0 barg



Ecco alcune definizioni necessarie a comprendere il passaggio di stato:

Calore sensibile: calore fornito che permette il raggiungimento della temperatura di ebollizione.

Calore latente: calore fornito che permette un cambiamento di stato mantenendo la temperatura costante. Nel caso del vapore è quella quantità di calore che serve per trasformare l'acqua in ebollizione in vapore.

Calore totale: somma del calore sensibile e del calore latente

Di seguito una tabella con alcuni dati esemplificativi di calore sensibile, calore latente e calore totale del vapore alle pressioni di utilizzo di 6, 8 e 10 bar:

Pressione				Temperatura		Volume specifico	Calore sensibile acqua		Calore latente		Calore totale	
relativa		assoluta		K	°C		KJ/Kg	Kcal/Kg	KJ/Kg	Kcal/Kg	KJ/Kg	Kcal/Kg
bar	Kg/cm ²	bar	Kg/cm ²			m ³ /Kg						
6,00	6,116	7,013	7,149	438,2	165,0	0,272	697,5	166,7	2066,0	493,8	2763,5	660,5
8,00	8,155	9,013	9,188	448,6	175,4	0,215	743,1	177,6	2030,9	485,4	2774,0	663,0
10,00	10,194	11,013	11,226	457,2	184,1	0,177	781,6	186,8	2000,1	478,0	2781,7	664,8

A seconda delle necessità di impianto, il vapore può avere caratteristiche fisiche diverse:

- Ⓜ **Vapore saturo secco:** vapore che non presenta particelle d'acqua (titolo =1);
- Ⓜ **Vapore saturo umido:** vapore che possiede al suo interno anche quantità di acqua (titolo <1);
- Ⓜ **Vapore surriscaldato:** vapore portato al di sopra della sua temperatura di ebollizione; ciò si ottiene facendo passare vapore saturo all'interno di un surriscaldatore;
- Ⓜ **Titolo:** il titolo del vapore rappresenta la massa di liquido presente all'interno del vapore stesso. Questo dato varia da 0 a 1; più il valore si avvicina a 1, minore sarà la quantità di liquido presente nel vapore (vapore saturo secco). In caso contrario, quando il valore del titolo sarà più vicino a 0, la massa di liquido presente all'interno del vapore sarà alta (vapore saturo umido).

In seguito, scopriremo che il vapore è in grado di fornire grandi quantità di energia termica. Per capire ciò c'è la necessità di comprendere il significato di entalpia e entropia:

- Ⓜ **Entalpia:** grandezza fisica che definisce la quantità di energia interna che possiede un corpo (indicato con la lettera "h")
- Ⓜ **Entropia:** questa funzione di stato è definibile come la quantità di calore necessaria, in una trasformazione, per portare il corpo da uno stato iniziale ad uno stato finale (indicato con la lettera "s").

Utilizziamo la tabella seguente per definire alcune caratteristiche fisiche del vapore, sempre alle pressioni di utilizzo 6, 8 e 10 bar.

Pressione bar	Temperatura °C	Volume specifico m ³ /kg		Energia interna KJ/Kg		Entalpia [h] KJ/Kg			Entropia [s] KJ/Kg*K	
		Vf*10 ³	Vg	Uf	Ug	hf	hfg	hg	sf	sg
6	158.9	1.1006	0.3157	669.90	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	6.7600
8	170.4	1.1148	0.2404	720.22	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	6.6628
10	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	6.5863

Legenda:

- Ⓜ Vg volume specifico vapore saturo
- Ⓜ Vf volume specifico liquido
- Ⓜ uf energia interna liquido
- Ⓜ ug energia interna vapore saturo
- Ⓜ hf entalpia liquido
- Ⓜ hfg entalpia necessaria per passaggio liquido/vapore
- Ⓜ hg entalpia vapore saturo
- Ⓜ sf entropia liquido
- Ⓜ sg entropia vapore saturo

A che cosa serve il vapore e perché si utilizza?

Innanzitutto, sono numerosi i vantaggi:

- Ⓜ il vapore, fluido molto versatile, è utilizzato nelle più svariate industrie. Può essere trovato nel settore alimentare, farmaceutico e ospedaliero, nel settore energetico, nel settore chimico e in moltissimi altri campi.
- Ⓜ con questo fluido possono essere ottenute grandi quantità di energia, alte temperature e alte pressioni attraverso piccole portate.
- Ⓜ se si pensa a ciò di cui si ha bisogno, può essere considerato di semplice ed economica generazione: sono sufficienti acqua e una fonte di calore.
- Ⓜ la temperatura è facilmente regolabile, agendo sulla pressione stessa (vedi entalpia del vapore saturo)
- Ⓜ ultima motivazione, ma non per importanza, è la grande facilità di trasporto (non necessita di pompe per la circolazione) e la possibilità di recupero del calore a termine dei cicli produttivi (grazie alla raccolta delle condense, argomento approfondito nella categoria CP del catalogo).

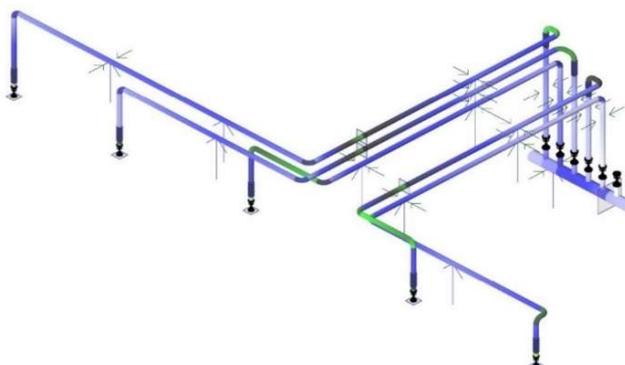
Quali possono essere alcuni accorgimenti del vapore e come possono essere risolti?

- Ⓜ La non corretta coibentazione, lo scambio termico che si ha tra la temperatura molto alta del vapore e la temperatura più fredda della tubazione o degli organi dell'impianto, oppure lo scambio termico che si ha tra vapore e condensa presente all'interno della tubazione, sono tutte motivazioni per cui si può avere formazione di condensato. Per tanto la presenza di condensa all'interno delle tubazioni non può essere considerato assolutamente vantaggioso; potrebbe essere la causa della produzione di altra condensa e addirittura potrebbe creare problemi per lo scontro con organi interni dell'impianto, causate dal trasporto della condensa attraverso il vapore, vista la sua elevata velocità (colpi d'ariete). Un altro svantaggio causato dal condensato all'interno della tubazione è il suo basso coefficiente termico.

La soluzione a questi problemi si chiama **scaricatori di condensa**. Il loro compito è quello di generare energia termica tramite lo scarico della condensa. Solitamente le tubazioni che compongono impianti a vapore hanno una piccola pendenza per appunto far fluire il condensato e non farlo stagnare in un tratto di tubazione piana. Questi strumenti, che ci permettono lo scarico della condensa, vengono posti nel punto più basso della tubazione, così da poter raccogliere e scaricare la condensa, dando il via ad un processo di recupero termico.

- Ⓜ Un altro accorgimento di cui bisogna tenere conto è la possibile **dilatazione delle tubazioni**. Ciò può avvenire a causa di una sbagliata scelta della tubazione in base al liquido trattato (viste le temperature che posseggono alcuni fluidi), può essere dovuto ad uno scorretto dimensionamento e spesso può causare deformazioni o addirittura rotture delle tubazioni e delle strutture circostanti.

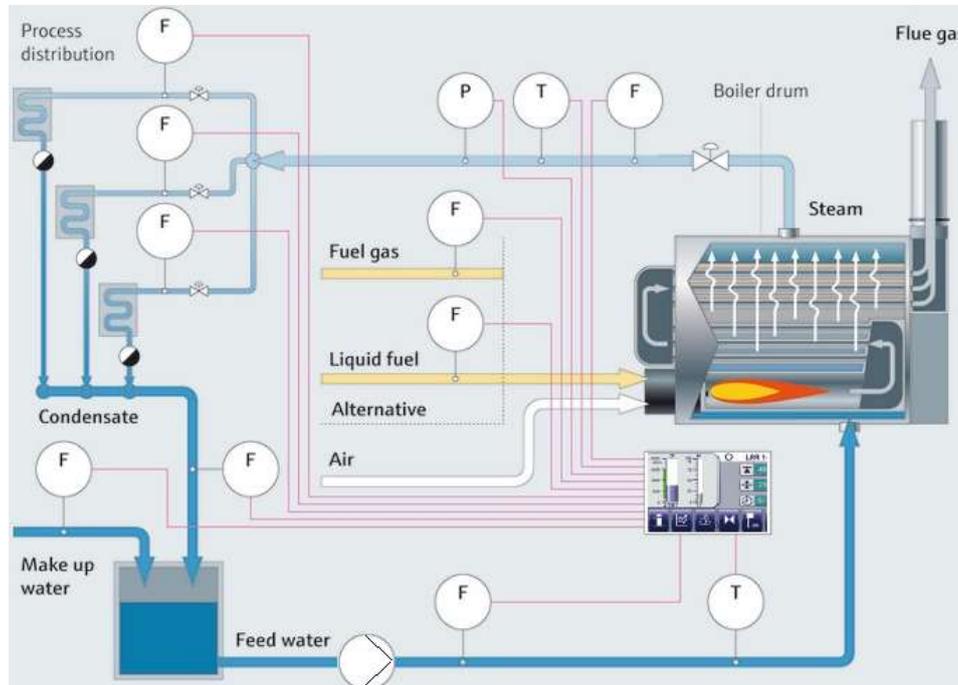
Per questo problema, la soluzione può essere trovata nei giunti di compensazione o addirittura la compensazione può essere svolta dalle tubazioni stesse, tramite un'auto compensazione. Il compito dei giunti è quello di compensare le dilatazioni delle tubazioni affinché rimangano intatte senza presentare rotture. La dilatazione che non richiedono l'utilizzo di giunti, ma svolgono un'auto compensazione sono quelle che presentano piccoli tratti di tubazione; a differenza gli impianti caratterizzati da lunghi tratti di tubazione devono essere compensate, viste le grandi quantità di dilatazioni termiche che presentano.



Produzione del vapore

Il concetto della produzione di vapore può essere paragonato al funzionamento della pentola da cucina: l'acqua viene portata alla temperatura di ebollizione da fonti di calore che possono essere differenti, per poi essere trasformata in vapore.

Questi macchinari che ci permettono la produzione di vapore vengono chiamati **generatori di vapore**, progettati e costruiti secondo le normative europee in materia di attrezzature a pressione, **direttiva PED 2014/68/EU**.



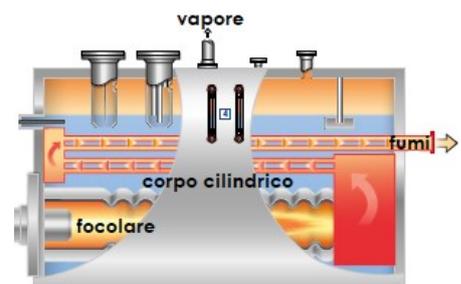
Generalmente la produzione di vapore può avvenire con l'utilizzo di caldaie all'interno di centrali termiche, può essere generata tramite cogenerazione, oppure si ottiene vapore anche grazie ai fumi di combustione.

I due principali metodi di produzione industriale di vapore sono:

generatori di vapore a tubi da fumo

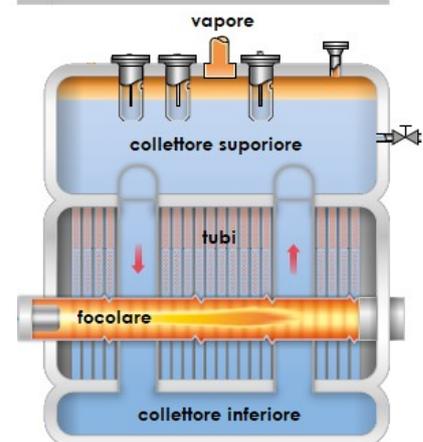
i prodotti della combustione percorrono il focolare della caldaia (camera di combustione) e il giro forzato dei tubi, mentre l'acqua è contenuta nel mantello esterno (corpo cilindrico).

Questa la tipologia più utilizzata e presente nell'industria, con pressioni indicative di 12 o 18 bar.



generatori di vapore a tubi d'acqua

dove l'acqua ed il vapore poi anziché essere confinati sul mantello sono all'interno dei tubi, consentendo quindi pressioni d'esercizio molto più elevate. Presenti nell'industria "pesante".



I **generatori di vapore a tubi da fumo** utilizzano i fumi di combustione che vengono recuperati e fatti passare attraverso i tubi immersi nell'acqua che tramite conduzione scambiano calore con il fluido circostante.

I principali vantaggi di questi generatori di vapore sono:

- Ⓜ alte efficienze e rendimenti garantiti dal 95 ... 97,5% (con gestione e automazione intelligente di processo)
- Ⓜ ottimizzazione dello scambio termico, che garantisce uniformità avendo un giro di fumo unico
- Ⓜ fondo bagnato, cassa completamente immersa nell'acqua, per aumentare la superficie direttamente esposta all'irraggiamento della fiamma
- Ⓜ grande contenuto di acqua e una notevole superficie dello specchio evaporante con conseguente elevato volume termico ed un altissimo titolo di vapore
- Ⓜ possibilità di accessoriare il generatore per migliorare l'efficienza e la riduzione delle emissioni inquinanti



Le **caldaie a tubi d'acqua** sono costituite da una camera di combustione, due tubi tangenti tra loro attraversati da acqua e da due collettori, uno inferiore e uno superiore. All'interno della camera di combustione si sviluppa appunto la combustione che ci permette di riscaldare l'acqua passante attraverso i due tubi. Il collettore inferiore invece ha la funzionalità di collettore d'acqua per i tubi e per la camera di combustione, mentre il collettore superiore ha il compito di raccogliere la miscela acqua/vapore.



La principale differenza tra questi due generatori di vapore, che si deve tenere conto al momento della scelta, è in base alle differenti condizioni di esercizio: nel caso l'impianto lavori con potenze e pressioni di esercizio molto alte e portate contenute, non si potranno utilizzare generatori di vapore a giri di fumo, ma bisognerà adottare le caldaie a tubi d'acqua. Se invece l'impianto richiederà alte portate e moderate potenze e pressioni di esercizio si utilizzeranno generatori di vapore a giri di fumo.

Schemi applicativi – equipaggiamento base per generatori di vapore

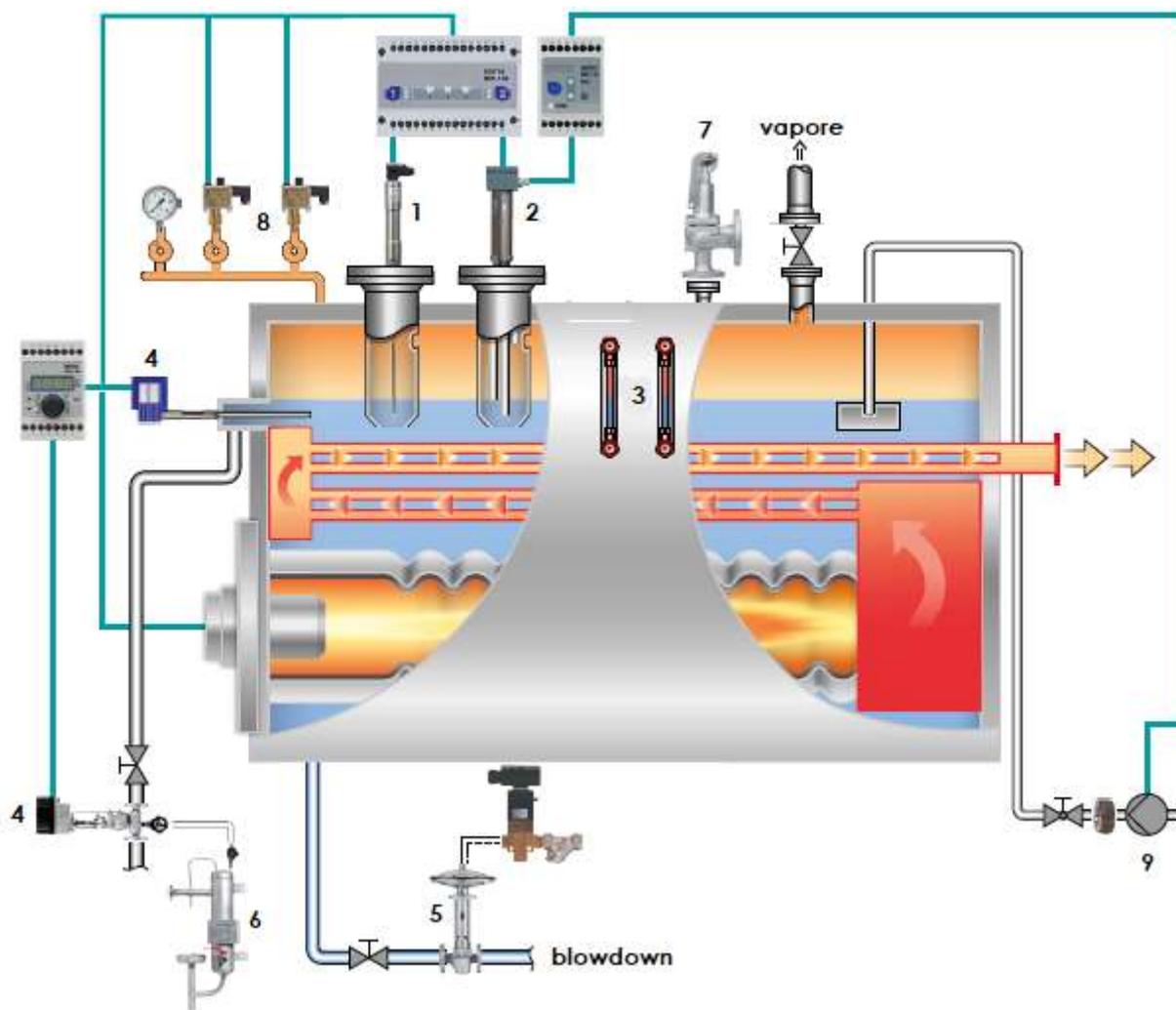
I generatori di vapore sono concepiti per minimizzare i consumi a tutti i regimi di funzionamento, attraverso la gestione flessibile e intelligente del sistema.

Si possono dotare e accessoriare con una serie di componenti dedicati e preposti all'esercizio sicuro della caldaia in esenzione della presenza continua del fuochista 24/72h, apportando un ulteriore beneficio in termini di costi di esercizio e risparmio energetico.

Equipaggiamento tipo di un generatore di vapore a tubi da fumo "Steam Boiler Equipment"

Sistema con supervisione limitata, come da TRD 602 Boiler Standard

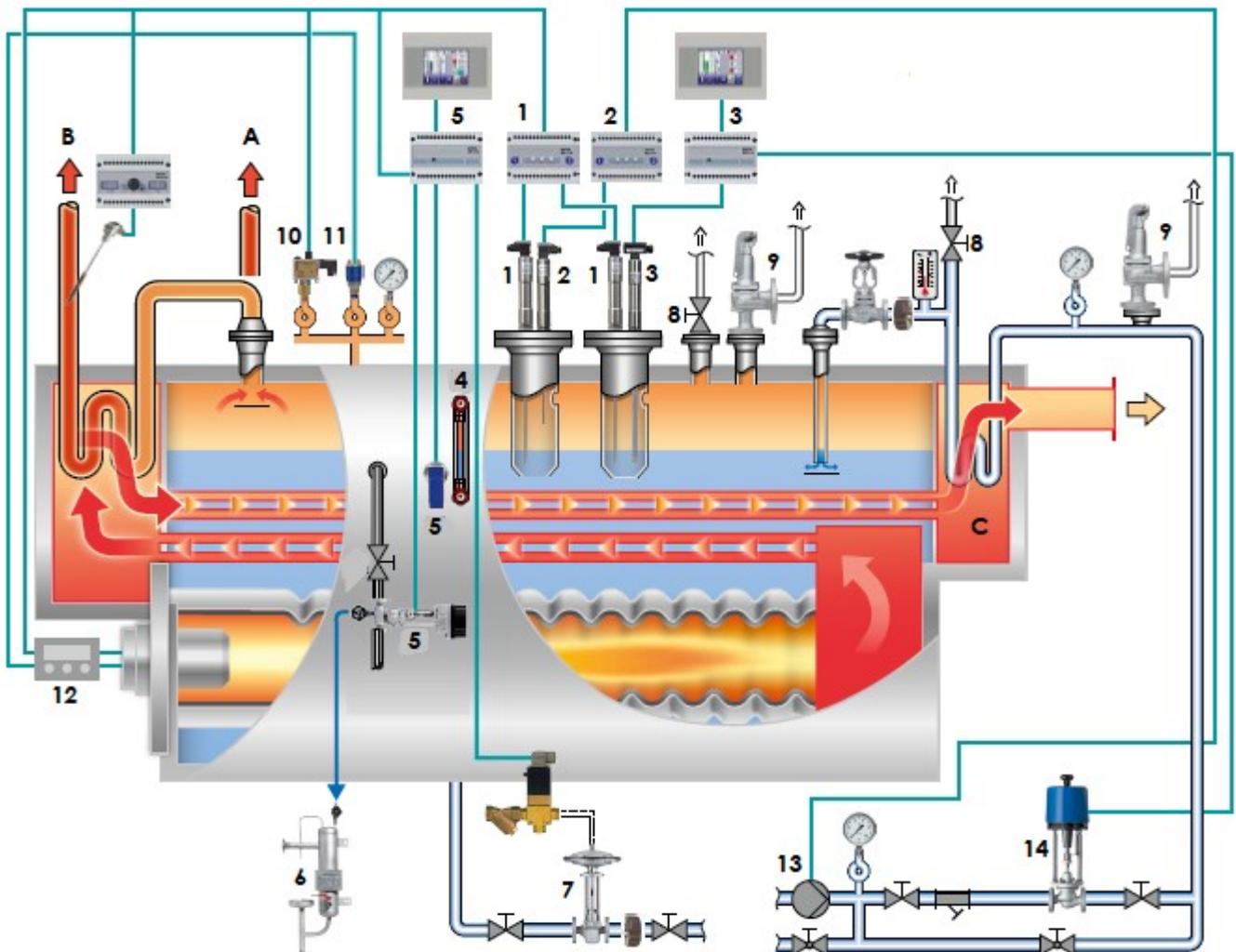
1. limitatore di minimo livello
2. controllo di livello con allarme di massimo livello
3. indicatore di livello visivo
4. controllo di conducibilità e valvola di spurgo continuo
5. valvola di spurgo intermittente "defangatore"
6. dispositivo di raffreddamento del campione
7. valvola di sicurezza
8. regolatore di pressione (lavoro) e limitatore di massima pressione (sicurezza)
9. pompa di alimento



Equipaggiamento tipo di un generatore di vapore a tubi da fumo "Steam Boiler Equipment"

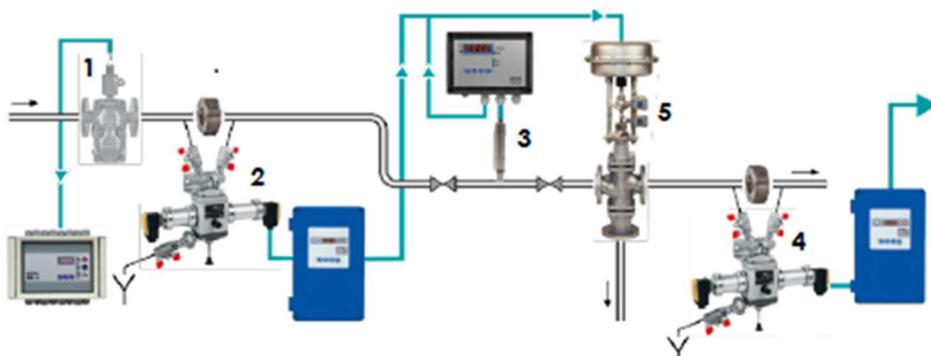
Sistema con funzionamento senza supervisione costante secondo EN 12953 (72h)

- A. uscita vapore saturo
 - B. uscita vapore surriscaldato e limitatore di temperatura (sicurezza)
il generatore sarà costruito per generare vapore saturo o surriscaldato (uno esclude l'altro)
 - C. economizzatore, preriscaldamento acqua di alimento
1. limitatore di minimo livello
 2. limitatore di massimo livello
 3. controllo di livello (lavoro) e allarme di massimo livello
 4. indicatore di livello visivo
 5. controllo di conducibilità e valvola di spurgo continuo
 6. dispositivo di raffreddamento del campione
 7. valvola di spurgo intermittente "defangatore"
 8. valvola di sfiato (lato vapore e lato acqua)
 9. valvola di sicurezza (lato vapore e lato acqua)
 10. regolatore/trasmittitore di pressione (lavoro)
 11. limitatore di pressione massima (sicurezza)
 12. unità di controllo bruciatore
 13. pompa di alimento acqua
 14. valvola di regolazione alimento acqua



Sistema di monitoraggio condense "Steam Boiler Equipment" secondo EN 12953 (72h)

1. scaricatore di condensa con "test set"
2. rivelatore di torbidità a monte del sistema
3. rivelatore di conducibilità
4. rivelatore di torbidità a valle del sistema
5. valvola 3V per lo scarico delle condense contaminate



Note:

il sensore di torbidità **2** rileva la presenza di olii, grassi etc., mentre il rivelatore di conducibilità **3** rileva la presenza di acidi, alcali e acqua non trattata. In caso di inquinamento, la valvola **5** devia il flusso evitando di alimentare il serbatoio di raccolta e il generatore poi, con condense inquinate. Il sensore **4** a valle è un'ulteriore sicurezza, ridondanza.

Equipaggiamento tipo di un generatore di vapore a tubi d'acqua "Steam Boiler Equipment"

Sistema dedicato per il settore navale, "Marine Boiler" e l'industria pesante

1. limitatore di minimo livello
2. limitatore di livello massimo
3. controllo di livello
4. regolatore di pressione (lavoro) e limitatore di massima pressione (sicurezza)
5. valvola di sicurezza
6. valvola di spurgo intermittente defangatore
7. pompa di alimento acqua
8. valvola di regolazione alimento acqua

