

ERRATA CORRIGE

Pagina 158 - paragrafo ALCALINITÀ - 9ª riga

sostituire:

Un valore elevato di alcalinità in un generatore determina corrosione caustica ed idrati in quanto gli idrati stessi sono il prodotto della dissociazione dei bicarbonati.

con:

Un valore elevato di alcalinità in un generatore determina corrosione caustica, favorisce lo sviluppo di schiume, trascinalenti di acqua nel vapore e fragilità caustica.

Pagina 194 - invertire in tabella colonna fluidi e colonna semifluidi:

Fluidi	Semifluidi	Densi
3°E - 5°E	5°E - 7°E	più di 7°E

Pagina 258 - Sostituire interamente la parte inferiore della pagina, dopo la spaziatura, con il seguente testo:

Con olio combustibile si utilizza una linea costituita da:

- **pompa di trasferimento:** trasferisce il combustibile dal serbatoio principale di stoccaggio (cisterna), normalmente interrato, a quello di servizio. Nel serbatoio principale, viene installato un preriscaldatore ad acqua o a vapore, che mantiene, anche a temperature rigide, la viscosità dell'olio a valori (55°C circa) ottimali per consentire il regolare funzionamento della pompa di trasferimento.

- **pompa anello:** mantiene in pressione l'anello di alimento dei bruciatori. Nel serbatoio di servizio alcune resistenze elettriche riscaldano il combustibile fino a valori di viscosità 3 + 5° E. In esercizio, le resistenze vengono sostituite da un serpentino ad acqua o a vapore. In periodi di inattività i tubi mediante cavi scaldanti mantengono la propria temperatura a 40° C, mentre la pompa funziona regolarmente per evitare eventuali tappi di combustibile.

Questa pompa viene installata solo in presenza di elevate potenzialità e viscosità.

- **filtro a rete autopulente:** serve a trattenere le impurità sospese; viene talvolta preriscaldato e regolato alla temperatura di 40° C.

- **pompa ad ingranaggi di polverizzazione:** simile alla pompa installata con gasolio e con prevalenza di 25-60 bar.

- **preriscaldatore:** consente al combustibile di giungere all'ugello con viscosità

LUCA TORELLI

ABILITAZIONE ALLA CONDUZIONE DEI GENERATORI DI VAPORE

IIIª edizione

Reggio Emilia, 1996.

BIBLIOGRAFIA

Ho il piacere di ringraziare per la collaborazione:

- Donatello Annatone autore del testo "Generatori di vapore";
- Ernesto Kuhn autore del testo "Acqua per l'industria";
- Svets Tolubinsk, ... autori del testo "Termotecnica" volumi con i quali potrà approfondire le vostre conoscenze;
- Romano prof. Vecchi per il materiale messo a disposizione.

Ringrazio altresì le ditte che hanno messo a disposizione illustrazioni e materiale didattico

- Baltur s.r.l., via Ferrarese, 10 Centro, Ferrara;
- Caldaie Pelucchi s.r.l., via M. Santo, 20 Monza (MI);
- Culligan Italiana S.p.A., via Gandolfi, 6 Cadriano di Granarolo (BO);
- Ecoflam Industriale s.r.l., via Degola, 6 Reggio Emilia;
- Ferroli, via Rotonda 78/A, S. Bonifacio, Verona;
- Giuliani Anello s.n.c., via F.lli Bandiera, 8 Cento, Ferrara;
- Giussani-Hopkinsons., via Sturla, 67/R Genova;
- Hydrocontrol s.r.l., via Galimberti, 8/A Reggio Emilia;
- Italgestra s.r.l., via Crivella, 18 Vimodrone (MI);
- Ivar s.r.l., via Tolomeo, 11 Verona;
- KSB Italia S.p.A., viale Tunisia, 46 Milano;
- Land Infrared Italiana s.r.l., via dell'Industria, 2 Paderno Dugnano (MI);
- Magnabosco S.p.A., via Roma, 19 Zugliano, Vicenza;
- Majetti F.lli s.n.c. di Maletti Armando & C., via Privata Salvo d'Acquisto 10 Milano;
- Maus Italia - F. Agostino & C. s.a.s., S.S. Paullese km 30, Bagnolo Cremasco Cremona;
- Mingazzini s.r.l., via Pini, 29/A, Parma;
- Pompe Trayaini S.p.A., via Don G. Caprotti, 4 Castano Primo (MI);
- Riello, via Caterina Visconti, 11 Legnago, Verona;
- Spirax Jucker via Donat Cattin, 5 Cernusco S. Naviglio (MI);
- Testo, via F^{lli} Rosselli, 3/2 Settimo Milanese (MI);
- Therma S.p.A., via Modigliani, 25 Segrate (MI);
- Valvosteel s.r.l., via della Pace, 29 S. Giuliano Milanese (MI);

*PROGRAMMA DI ESAME PER L'ABILITAZIONE
ALLA CONDOTTA DI GENERATORI DI VAPORE*

Il candidato agli esami per il conseguimento del certificato di 4° grado, che abilita alla condotta di generatori di vapore di qualsiasi tipo aventi producibilità a 1 t/h di vapore, dovrà conoscere i seguenti argomenti:

Nozioni generali

Elementi sul sistema metrico decimale:

Pesi e misure. Problemi sulle misure lineari, di superficie o cubiche.

Elementi di fisica:

Forza. Lavoro e unità di lavoro. Potenza e unità di potenza. Calore specifico.

Caloria. Temperatura e termometri. Pressione, barometri, manometri. Produzione di vapore: vapore saturo, vapore surriscaldato, acqua calda sotto pressione con temperatura superiore a quella di ebollizione a pressione atmosferica (acqua surriscaldata). Titolo del vapore.

Combustibili:

Caratteristiche generali dei combustibili solidi, liquidi e gassosi, ivi compresi combustibili poveri e residui di lavorazione. Poteri calorifici.

Combustione:

Il fenomeno della combustione dei combustibili solidi, liquidi o gassosi. La funzione dell'aria. Colore della fiamma e dei fumi. Condizioni di migliore combustione e sua regolazione. Combustione di residui di lavorazione e di combustibili poveri.

Focolari:

Principali tipi di focolari in relazione ai diversi combustibili. Griglie. Focolari e griglie speciali per combustibili residui di lavorazione. Bruciatori per combustibili liquidi e gassosi.

Tiraggio e camini:

Giri di fumo. Tiraggio naturale ed artificiale. Regolazione del tiraggio. Tipi di camini. Inquinamento.

Generatore di vapore:

Descrizione dei tipi più comuni di generatori di vapore aventi producibilità fino 1 t/h di vapore.

Accessori dei generatori di vapore:

a) Apparecchi di sicurezza; valvole di sicurezza a peso e a molla;

b) Apparecchi di osservazione: manometri, indicatori di livello e rubinetti di prova;

c) Apparecchi di alimentazione: pompe alternative elettriche e a vapore, pompe centrifughe, iniettori;

Altri accessori: valvole di intercettazione, di ritegno, di scarico e rubinetti vari. Porte di pulizia e di visita.

Acqua di alimentazione:

Nozioni generali sulle caratteristiche delle acque di alimento e di caldaia;

sulla formazione di incrostazioni e di corrosioni. Loro effetti sulla sicurezza e l'economia dell'esercizio. Metodi per prevenire la formazione dell'incrostazione. Controlli essenziali sull'acqua.

Automatismi:

Scopo di applicazione degli automatismi.

Nozioni pratiche.

Controllo del materiale:

Sfaldatura, fessure, rigonfiamenti, corrosioni, soffiature, screpolature, nelle lamiere e nei tubi. Menomazione dell'integrità dei giunti saldati e dell'unione dei tubi alle piastre tubiere e collettori. Conseguenze delle alterazioni.

Norme regolamentari:

Doveri del conduttore. Targa del costruttore. Libretto matricolare. Accessori prescritti dal regolamento.

Condotta del generatore:

Operazione del conduttore per l'avviamento, l'esercizio e la fermata del generatore. Regolazione della combustione. Azionamento degli apparecchi di alimentazione dell'acqua.

Apparecchi di controllo:

Lettura dell'indicazione degli apparecchi di controllo. Interpretazione delle letture ed interventi.

Manutenzione:

Modalità di visita ai generatori di vapore. Criteri per la preparazione del generatore alle visite e prove regolamentari. Montaggio e smontaggio delle portelle di visita e di pulizia e degli accessori prescritti dal regolamento.

Pulizia del focolare, del corpo cilindrico e del fascio tubolare. Metodi per togliere le incrostazioni con sistemi manuali, meccanici e chimici. Guarnizioni e loro messa in opera. Revisione delle valvole di sicurezza, di intercettazione e degli accessori di controllo e di esercizio.

Il candidato agli esami per il conseguimento del certificato di 3° grado che abilita alla condotta di generatori di vapore e di qualsiasi tipo aventi producibilità fino a 3 t/h di vapore, dovrà conoscere, oltre il programma di esame relativo al certificato di 4° grado, anche le nozioni teoriche e pratiche qui di seguito riportate.

Nozioni teoriche.

Combustibili:

Caratteristiche; caratteristiche specifiche dei vari tipi di combustibile.

Composizione dei combustibili.

Combustione:

Aria teorica e reale. Eccesso d'aria. Aria supplementare. Particolarità sulla combustione dei vari tipi di combustibile. Preriscaldamento dell'aria comburente. Composizione dei prodotti della combustione. Metodi di analisi dei prodotti della combustione. Elementi atti a rilevare l'andamento della com-

bustione in camera di combustione e nei circuiti dei fumi. Incombusti gassosi. Perdite di calore al camino. Valutazione ai fini del controllo della combustione degli elementi ricavati dalle predette determinazioni.

Focolari:

Griglie meccaniche. Camera di combustione dei vari combustibili. Refrattari, loro punto di rammollimento e di fusione. Schermature. Focolari e radiazione totale. Focolari in pressione.

Tiraggio:

Soffiato, aspirato, indotto e compensato.

Generatori di vapore:

Descrizione particolareggiata dei vari tipi di generatori di vapore aventi producibilità fino a 3 t/h di vapore.

Accessori speciali:

Separatori di acqua, separatori di condensa, valvole di riduzione della pressione.

Acqua di alimentazione:

Determinazione della durezza. Metodi di depurazione. Principali tipi di depuratori a freddo e a caldo. Alcalinità. Effetti dell'eccessiva alcalinità delle acque di alimentazione. Addolcimento con resine scambiatrici di ioni.

Apparecchi ausiliari:

Economizzatori o preriscaldatori di aria. Surriscaldatori. Desurriscaldatori.

Automatismi:

Descrizione dei principali tipi di automatismi.

Nozioni pratiche.

Condotta dei generatori:

Regolazione della temperatura dell'aria di combustione.

Apparecchi di controllo:

Interpretazione delle letture ed interventi. Installazione dei deprimometri. Pratico uso degli analizzatori di gas.

Manutenzione:

Revisione degli apparecchi di alimentazione, di regolazione e di controllo. Pulizia degli analizzatori e assorbimento e sostituzione dei reagenti.

Il candidato agli esami per il conseguimento del certificato di 2° grado, che abilita alla condotta dei generatori di vapore di qualsiasi tipo aventi producibilità fino a 20 t/h di vapore, dovrà conoscere, oltre al programma di esame relativo al certificato di 3° grado, anche le nozioni teoriche e pratiche qui di seguito riportate.

Nozioni teoriche.

Combustibili:

Metodi per la determinazione dei poteri calorifici. Trattamenti preventivi dei vari tipi di combustibili.

Combustione:

Caratteristica della combustione nei focolari a pressione.

Focolari:

Focolari per carbone polverizzato. Focolari per combustione mista. Focolari per combustione a pressione.

Generatore di vapore:

Descrizione particolareggiata dei principali tipi di generatori di vapore aventi producibilità fino a 20 t/h di vapore.

Acqua di alimentazione:

Demineralizzazione totale. Distillazione. Degasazione termica e chimica. Concetto e uso della grandezza PH. Controllo e regolazione della depurazione. Determinazione dell'alcalinità, della salinità dell'acqua. Dettagliata conoscenza dei metodi e dei sistemi di trattamento delle acque di alimentazione.

Automatismi:

Regolazione automatica della portata dell'acqua di alimentazione, del combustibile o dell'aria per la combustione. Regolazione automatica della temperatura dei fluidi.

Alterazione del materiale:

Degradazione delle caratteristiche di resistenza dei materiali sottoposti ad elevate temperature.

Prove termiche:

Predisposizione delle apparecchiature di misura e di controllo per la effettuazione di prove termiche.

Impostazione del calcolo di rendimento e bilancio termico di un generatore di vapore.

Nozioni pratiche.

Automatismi:

Comando manuale delle apparecchiature di regolazione e controllo a seguito di esclusione degli automatismi durante l'esercizio ed in caso di emergenza. Interventi nei vari settori di esercizio di una centrale termica in caso di segnalazione di condizioni anormali.

Depurazione dell'acqua:

Preparazione e dosaggio dei reagenti in un impianto di depurazione. Rigenerazione delle resine scambiatrici di ioni. Rigenerazione degli scambiatori cationici ed anionici. Determinazione della salinità delle acque di alimentazione con metodi fisici e chimici.

Apparecchi di controllo:

Impiego dei manometri differenziali per la misura di portata dei fluidi. Interpretazione delle letture delle apparecchiature di misura installate nella centrale termica.

Il candidato agli esami per il conseguimento del certificato di 1° grado, che abilita alla condotta di generatori di vapore di tutti i tipi aventi produci-

bilità oltre a 20 t/h di vapore dovrà conoscere oltre al programma di esame relativo al certificato di 2° grado, anche le nozioni teoriche e pratiche qui di seguito riportate:

Nozioni teoriche.

Generatori di vapore:

Descrizione particolareggiata dei principali tipi di generatori di vapore aventi producibilità oltre 20 t/h di vapore.

Apparecchi ausiliari:

Condensatori di vapore.

Automatismi:

Regolazioni automatiche negli impianti di centrali termoelettriche.

Nozioni sulla organizzazione per l'esercizio e per il controllo di una centrale termica con apparecchiature automatiche.

Prove termiche:

Ciclo termico in una centrale termoelettrica.

Impostazione del calcolo di rendimento per il completo ciclo di produzione e utilizzazione del vapore.

Nozioni pratiche.

Automatismi:

Interventi nei vari settori di esercizio di una centrale termoelettrica in caso di segnalazione di condizioni anomale.

INDICE

**CAPITOLO I
CONCETTI GENERALI**

1.1	Sistemi di misura	pag.	1
	<i>Sistema internazionale</i>	»	1
	<i>Sistema tecnico</i>	»	1
	<i>Grandezze e unità di misura fondamentali</i>	»	1
	<i>Unità di misura delle grandezze derivate</i>	»	3
1.2	Meccanica	»	6
	<i>Velocità</i>	»	6
	<i>Forza</i>	»	6
	<i>Forza centrifuga e centripeta</i>	»	7
	<i>Energia</i>	»	9
	<i>Massa volumica - Densità</i>	»	9
	<i>Peso specifico - Volume specifico</i>	»	9
	<i>Lavoro - Potenza</i>	»	9
	<i>Pressione</i>	»	10
1.3	Termologia	»	12
	<i>Temperatura</i>	»	12
	<i>Dilatazione termica lineare e cubica</i>	»	13
	<i>Calore</i>	»	15
	<i>Cambiamenti di stato</i>	»	15
	<i>Vapore</i>	»	18
	<i>Tensione di vapore</i>	»	22
	<i>Titolo del vapore</i>	»	22
	<i>Trasmissione del calore</i>	»	24

**CAPITOLO 2
GENERATORI DI VAPORE**

2.1	Concetti generali	»	29
	<i>Elementi caratteristici dei generatori</i>	»	29
	<i>Classificazione dei generatori</i>	»	32
2.2	Costruzione dei generatori	»	33
	<i>Ciclo di costruzione dei generatori a tubi da fumo</i>	»	34
	<i>Ciclo di costruzione dei generatori a tubi d'acqua</i>	»	35
2.3	Generatori a grande volume d'acqua	»	38
	<i>La Cornovaglia</i>	»	38

2.4	Generatori a tubi da fumo	pag.	44
	Generatore semifisso a tubi da fumo	»	45
	Generatore a tubi di fumo a fondo bagnato	»	52
	Generatore a tubi di fumo ad inversione di fiamma	»	52
	Generatore semifisso verticale	»	57
2.5	Generatori a tubi d'acqua	»	59
	Babcock Wilcox	»	59
	Generatori moderni monoblocco	»	64
	Generatori a due corpi a D	»	64
	Generatori a due corpi cilindrici superiori	»	70
	Generatore per l'impiego di combustibili solidi	»	70
	Generatori a convezione per elevate potenzialità	»	70
2.6	Confronto fra generatori a tubi da fumo e a tubi d'acqua	»	72
2.7	Generatori a fluido diatermico	»	76
2.8	Generatori pressurizzati	»	79
2.9	Recupero del calore	»	79
	Economizzatori	»	80
	Preriscaldatori	»	83
	Surriscaldatori	»	85
	Desurriscaldatori	»	87
2.10	Soffiatori di fuliggine	»	89
2.11	Tiraggio - Camini	»	91

CAPITOLO 3 ACCESSORI DEI GENERATORI

3.1	Accessori di sicurezza	»	95
	Valvole di sicurezza	»	95
3.2	Accessori di osservazione	»	107
	Manometro	»	107
	Indicatori di livello	»	110
3.3	Accessori di protezione	»	114
	Pressostati	»	114
	Ternostati	»	116
	Regolatori di livello	»	116

3.4	Accessori di alimentazione	pag.	122
	Pompe alternative	»	126
	Cavallino a vapore	»	127
	Pompe centrifughe	»	129
	Iniettori	»	132
	Gruppo di alimentazione	»	134
	Valvola di ritegno	»	135
3.5	Accessori vari	»	135
	Valvole di presa	»	135
	Valvole di scarico	»	135
	Porte di pulizia o passo d'uomo	»	139
3.6	Accessori condotta vapore	»	139
	Indicatore di passaggio	»	139
	Giunti di dilatazione	»	142
	Riduttori di pressione	»	144
	Scaricatori di condensa	»	146
	Accumulatori di vapore	»	151

CAPITOLO 4 L'ACQUA ED I SUOI TRATTAMENTI

4.1	Nozioni generali	»	153
	Cationi-anioni	»	153
	Basi-acidi	»	154
	Sali incrostanti	»	154
	Sali non incrostanti	»	154
4.2	Caratteristiche chimico fisiche	»	155
	Durezza	»	155
	PH	»	157
	Alcalinità	»	158
	Ferro	»	160
	Silice	»	160
	Cloruri	»	160
	Solfati	»	161
	Rame	»	163
	Manganese	»	163
	Gas solubili	»	163
4.3	Incrostazioni	»	163
4.4	Corrosione	»	164

CAPITOLO 6
LA COMBUSTIONE

4.5	Resine	pag. 165
4.6	Trattamenti dell'acqua	» 166
	<i>Addolcimento a scambio ionico</i>	» 166
	<i>Decarbonatazione</i>	» 169
	<i>Demineralizzazione con desilicazione</i>	» 170
	<i>Demineralizzazione con desilicazione e torre</i>	» 170
	<i>Demineralizzazione senza desilicazione</i>	» 174
	<i>Osmosi inversa</i>	» 174
4.7	Degasazione	» 174
4.8	Trattamenti chimici	» 178
4.9	Spurgo	» 178
4.10	Le acque di condensa	» 179
4.11	Analisi dell'acqua	» 179
	<i>Determinazione della durezza</i>	» 182
	<i>Determinazione del PH</i>	» 182
	<i>Determinazione dei solidi disciolti</i>	» 182
	<i>Determinazione dell'alcalinità</i>	» 183
	<i>Determinazione dei cloruri</i>	» 183

CAPITOLO 5
COMBUSTIBILI

5.1	Potere calorifico	» 187
5.2	Combustibili solidi	» 188
	<i>Naturali</i>	» 188
	<i>Artificiali</i>	» 189
5.3	Combustibili liquidi	» 190
	<i>Distillati</i>	» 192
	<i>Residui</i>	» 192
	<i>Caratteristiche</i>	» 192
5.4	Combustibili gassosi	» 198

6.1	Nozioni di chimica della combustione	pag. 204
	<i>Gli atomi, le molecole, la materia</i>	» 204
	<i>Composizione chimica del metano</i>	» 204
	<i>Composizione chimica di altri elementi che intervengono nella combustione</i>	» 205
	<i>Reazioni chimiche di combustione, combustibili</i>	» 205
6.2	Reazioni di laboratorio	» 206
	<i>Combustione dell'idrogeno</i>	» 206
	<i>Combustione del carbonio</i>	» 207
	<i>Combustione dello zolfo</i>	» 207
6.3	Aria teorica	» 208
6.4	Combustione pratica	» 208
	<i>Eccesso d'aria</i>	» 209
	<i>Contenuto dei fumi</i>	» 212
	<i>Emissioni di particelle solide</i>	» 214
	<i>Incombusti solidi</i>	» 215
	<i>Slaq</i>	» 215
	<i>Morchie</i>	» 215
	<i>Depositi e corrosioni nelle zone fredde</i>	» 217
	<i>Ossidi di azoto</i>	» 218
6.5	Strumenti di analisi e di misura	» 221
	<i>Apparecchio di Orsat</i>	» 222
	<i>Analizzatore portatile di CO₂</i>	» 224
	<i>Analizzatore elettro-fisico dei gas</i>	» 224
	<i>Misura dell'opacità</i>	» 226
	<i>Analizzatori d'ossigeno a mini sonda</i>	» 228
	<i>Analizzatore portatile di O₂</i>	» 228
	<i>Determinazione dell'ossido di carbonio</i>	» 230
	<i>Termometri</i>	» 230
	<i>Pirometri</i>	» 233
	<i>Pressodeprimometri</i>	» 235
	<i>Contatore</i>	» 237
	<i>Misuratori di portata Venturi</i>	» 237
	<i>Triangolo di Oswald</i>	» 239
	<i>Analizzatore elettrofisico</i>	» 244
	<i>Unità per il controllo della combustione</i>	» 244
	<i>Unità portatile di gas combustibili</i>	» 246

**CAPITOLO 7
GRIGLIE E BRUCIATORI**

7.1	Focolari per combustibili solidi	pag.	249
	<i>Focolari con griglia rotante</i>	»	250
	<i>Focolari sottoalimentati</i>	»	250
	<i>Griglia a doppio movimento alternato</i>	»	252
	<i>Focolari con griglia ad avanzamento meccanico</i>	»	254
7.2	Bruciatori	»	254
	<i>Linea combustibile</i>	»	255
	<i>Linea aria</i>	»	261
	<i>Linea elettrica di controllo</i>	»	264
	<i>Linea accensione</i>	»	264
7.3	Bruciatori (o polverizzatori) per olio combustibile	»	266
	<i>Bruciatore centrifugo</i>	»	266
	<i>Bruciatore con fluido ausiliario</i>	»	266
	<i>Bruciatore a polverizzazione meccanica</i>	»	267
	<i>Bruciatore a polverizzazione meccanica ad emulsione</i>	»	274
7.4	Bruciatori a gas	»	275
	<i>Atmosferici</i>	»	275
	<i>Soffiati</i>	»	275
	<i>Funzionamento del bruciatore a metano</i>	»	278
	<i>Bruciatori misli</i>	»	279
7.5	Cabina di decompressione e di misura	»	279
7.6	Rilevatori di fiamma	»	281

**CAPITOLO 8
BILANCIO TERMICO**

	<i>Perdite per calore sensibile</i>	»	285
	<i>Perdite per calore latente</i>	»	286
	<i>Perdite per irraggiamento</i>	»	288
	<i>Perdite varie</i>	»	288
	<i>Bilancio diretto</i>	»	289
	<i>Bilancio indiretto</i>	»	289
	<i>Bilancio termico secondo il S.I.</i>	»	289
	<i>Applicazioni di bilanci termici</i>	»	293

**CAPITOLO 9
CONDOTTA DEI GENERATORI DI VAPORE**

9.1	Avviamento	pag.	303
9.2	Primo avviamento	»	304
9.3	Accensione	»	304
9.4	Primo avviamento o dopo prolungata sosta	»	305
9.5	Controlli e manutenzione nel normale funzionamento	»	305
9.6	Interventi di emergenza	»	307
9.7	Intervento delle valvole di sicurezza	»	308
9.8	Ebollizione tumultuosa	»	308
9.9	Ritorno di fiamma	»	309
9.10	Conservazione del generatore	»	309
9.11	Preparazione per le verifiche annuali	»	310

**CAPITOLO 10
NORME PRINCIPALI DEL DECRETO MINISTERIALE**

	<i>Norme principali del decreto ministeriale</i>	»	311
--	--	---	-----

CAPITOLO 11

11.1	Termodinamica	»	335
	<i>Leggi dei gas perfetti</i>	»	335
	<i>Gas perfetti</i>	»	335
	<i>Equazione caratteristica ed equazione di stato dei gas perfetti</i>	»	336
	<i>Trasformazioni termodinamiche</i>	»	336
	<i>Ciclo di Carnot</i>	»	338
	<i>Ciclo di Rankine</i>	»	339
11.2	Turbine a vapore	»	341
	<i>Classificazione delle turbine a vapore</i>	»	343
	<i>Turbine a salti di pressione</i>	»	344

Turbine ad azione a salti di velocità (Curtiss)	pag. 345
Applicazione delle turbine a vapore	» 345
Condotta delle turbine a vapore	» 347
Condensatori	» 347
Eiettore	» 348
11.3 Generatori ad irraggiamento	» 350
11.4 Metodi di regolazione automatica dei generatori di vapore	» 351
Sensori e trasduttori dati	» 352
11.5 Accessori vari	» 358
Indicatori di livello	» 358
Turbo-Pompa	» 360
11.6 La chimica dell'acqua	» 361
Alcalinità e durezza	» 361
Alcalinità parziale e totale	» 363
PH	» 366
Fragilità caustica	» 367
Demineralizzazione con letto misto finale	» 367
Osmosi inversa	» 368
Condizionamento dei circuiti acqua-vapore-condensa	» 370
Condizionamento chimico antincrostante	» 371
Condizionamento anticorrosivo	» 373
Considerazioni sui trattamenti per le acque di alimento dei generatori	» 375
Applicazioni di bilanci termici	» 379

CAP. I CONCETTI GENERALI

L'uomo ha utilizzato per millenni determinati gruppi di unità, per le grandezze fondamentali del mondo fisico, in particolare per la lunghezza (quindi anche superficie e volume), la massa e il tempo. Tuttavia, ciò che caratterizzava l'uso antico, era la moltitudine di unità adottate per una medesima grandezza. Ancora all'inizio del 1800, nel solo nostro paese erano in uso contemporaneo centinaia di unità diverse per la superficie, mentre parecchie erano le unità di lunghezza e di volume. Queste incomprensioni hanno favorito il processo di standardizzazione e la creazione di una unità di misura fondamentale per ogni grandezza, assunta come indipendente e definita grandezza fondamentale. Le altre grandezze sono state assunte come grandezze derivate e le loro unità di misura come unità derivate.

1.1 SISTEMA DI MISURA

Sono così sorti con il tempo due sistemi di misura:

- Sistema Internazionale (S.I.)
- Sistema Tecnico (S.T.)

Quest'ultimo, oggi decaduto e quasi in disuso, è stato soppiantato in buona parte dal S.I.. Nonostante ciò, se ne ritiene opportuno una descrizione egualmente approfondita.

I due sistemi assumono come grandezze fondamentali

S.I.	S.T.
- lunghezza	- lunghezza
- intervallo di tempo	- intervallo di tempo
- massa	- forza
- temperatura	- temperatura

LUNGHEZZA

L'unità di misura fondamentale della lunghezza in ambedue i sistemi è il metro (m). Tale lunghezza corrisponde a quella impressa sul metro campione, costituito da un regolo di platino iridio e conservato a temperatura costante negli archivi di stato a Parigi; è pari alla lunghezza del tragitto compiuto dalla luce nel vuoto, in un intervallo di tempo $1/299792458$ di secondo. Sono altresì utilizzati i multipli e i sottomultipli del metro:

- Multipli
 decametro (dam) = 10 m
 ettometro (hm) = 100 m
 chilometro (Km) = 1000 m

- Sottomultipli
 decimetro (dm) = 1/10 di m.
 centimetro (cm) = 1/100 di m.
 millimetro (mm) = 1/1000 di m.

INTERVALLO DI TEMPO *Sec*

Sia il S.I. che il S.T. hanno assunto come unità di base il secondo (sec.). La definizione del secondo è complicata, occorre tuttavia renderla comprensibile. I fisici, nello studiare le particelle elementari, si sono accorti che alcune di queste, e precisamente gli atomi, hanno la proprietà di oscillare, conservando sempre costante il numero delle oscillazioni ad ogni secondo. Pertanto, sono giunti a costruire orologi atomici, nei quali l'atomo sostituisce il

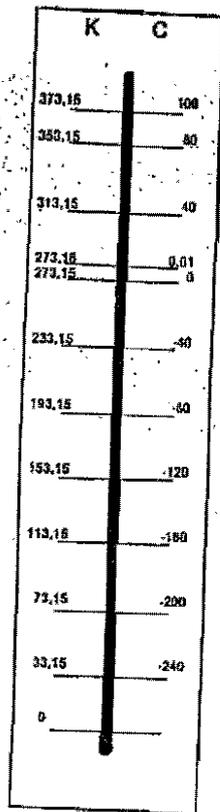


Fig. 1.1.
 Confronto fra scala Celsius e Kelvin

pendolo con la differenza che, mentre l'asta del pendolo impiega un secondo per compiere un'oscillazione completa, all'atomo occorre un tempo molto minore. In particolare se si usa uno speciale elemento quale il cesio, il tempo necessario per compiere una oscillazione atomica è circa un decimiliardesimo di secondo; più precisamente un secondo contiene esattamente 9.192.631.770 oscillazioni di tale tipo.

Essendo il secondo una grandezza relativamente piccola vengono utilizzati alcuni multipli:

- 1 minuto (min) = 60 sec.
- 1 h = 60 min = 3600 sec.

TEMPERATURA

Altra grandezza fondamentale dei due sistemi è la temperatura, che si misura:

- S.I. gradi Kelvin
- S.T. gradi Celsius

È importante apprendere la differenza fra la scala Celsius, detta anche impropriamente scala centigrada, e la scala Kelvin detta anche scala assoluta.

Ebbene, l'intervallo o grado è identico nelle due scale e la differenza risiede soltanto nello zero detto anche origine della scala. L'origine della scala Celsius è molto vicino al cosiddetto punto triplo dell'acqua (che si trova a 0,01°C). Questo si verifica quando il ghiaccio fonde, e si trasforma parzialmente in acqua entro un recipiente si-

gillato, nel quale si trova anche vapore d'acqua a bassa pressione. È il modo più preciso per realizzare la temperatura del disgelo.

Un altro punto fisso molto importante per la scala Celsius è quello segnato con la temperatura di 100°C, che corrisponde al passaggio dell'acqua bollente a vapore d'acqua alla pressione di l'atmosfera normale (unità non S.I. sostituita con l'unità S.I., il pascal; pertanto, occorre scrivere: alla pressione di 101325 pascal).

La scala Kelvin ha il proprio zero coincidente con lo zero assoluto limite inferiore della temperatura, che non riesce mai a raggiungere, ma verso il quale ci si può avvicinare molto. Per esempio, l'elio solidifica a una temperatura di circa 1 Kelvin.

Dalla figura (1.1.) si nota che lo zero della scala Celsius coincide con il 273,15 della scala Kelvin. In conseguenza di ciò, poiché gli intervalli di scala sono identici, tutti i valori della scala Kelvin sono maggiori di quelli della scala Celsius appunto di 273,15 unità (intervalli o gradi).

- L'ultima grandezza fondamentale è differente per i due sistemi, infatti:
 - il S.I. assume la massa
 - il S.T. assume la forza

MASSA

È la grandezza fisica caratteristica della materia. L'unità di misura è il chilogrammo (Kg); il campione fondamentale, cioè quello da cui derivano tutti gli altri, è costituito da un cilindro metallico fuso in lega platino iridio, conservato a Sevres (Parigi). Un sottomultiplo, che ci accompagna nella vita di ogni giorno, è il grammo: 1 gr = 1/1000 Kg.

FORZA

Si intende per forza una qualsiasi causa capace di produrre o di modificare un movimento. L'unità di misura è il chilogrammo peso (Kp), che esprime la forza con cui la massa di 1 Kg viene attirata dalla terra nel vuoto alla latitudine di 45° e al livello del mare.

UNITÀ DI MISURA DELLE GRANDEZZE DERIVATE

SUPERFICIE

Deriva da quella di lunghezza. Le unità di superficie si costruiscono facilmente mediante una serie di quadrati, aventi come lato il metro. Si ottiene così il metro quadrato (m²). Per superfici di differenti dimensioni si utilizzano i multipli o i sottomultipli:

TAB. 1.1

UNITÀ FONDAMENTALI

lunghezza	metro	m
massa	chilogrammo	kg
tempo	secondo	sec.
temperatura	kelvin	K
corrente elettrica	ampere	A
intensità luminosa	candela	cd

TAB. 1.2

UNITÀ DERIVATE

forza	newton	N	kgm/s ²
pressione	pascal (bar)	Pa (bar)	N/m ² (10 ⁵ N/m ²)
quantità di calore	joule	J	Nm
potenza termica	watt	W	J/s
tensione elettrica	volt	V	W/A
resistenza elettrica	ohm	Ω	V/A
volume	—	—	m ³
momento	—	—	mN
portata di massa	—	—	kg/s
portata di volume	—	—	m ³ /s
coefficiente trasmissione termica	—	—	W/m ² °C
conducibilità termica	—	—	W/m°C
calore specifico	—	—	kJ/kg°C
fattore di fouling	—	—	m ² C/W

TAB. 1.4

FATTORI DI CONVERSIONE

forza	1 kg = 9,81 N	1 N = 0,102 kg
quantità di calore	1 kcal = 4,19 kJ	1 J = 0,239 kcal
potenza termica	1 kcal/h = 1,16 W	1 W = 0,860 kcal/h
pressione	1 kg/cm ² = 0,981 bar 760 mmHg = 1,013 bar	1 bar = 1,02 kg/cm ² 1 bar = 750 mm Hg
calore specifico	1 kcal/kg°C = 4,19 kJ/kg°C	1 kJ/kg°C = 0,239 kcal/kg°C
coefficiente trasmissione	1 kcal/m ² h°C = 1,16 W/m ² °C	1 W/m ² °C = 0,860 kcal/m ² h°C
conducibilità termica	1 kcal/mh°C = 1,16 W/m°C	1 kJ/hg°C = 0,860 kcal/mh°C

TAB. 1.3

MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI

PREFISSO	SIMBOLO	ESPONENTE	FATTORE
tera	T	10 ¹²	1.000.000.000.000
giga	G	10 ⁹	1.000.000.000
mega	M	10 ⁶	1.000.000
kilo	k	10 ³	1.000
unità fondamentale			
milli	m	10 ⁻³	0,001
micro	μ	10 ⁻⁶	0,000.001
nano	n	10 ⁻⁹	0,000.000.001
picu	p	10 ⁻¹²	0,000.000.000.001

- Sottomultipli
- decimetro quadrato (dm^2) = $1/100 m^2$
- centimetro quadrato (cm^2) = $1/10000 m^2$
- millimetro quadrato (mm^2) = $1/1000000 m^2$

VOLUME

Il metro impiegato per misurare i volumi ossia la capacità di un recipiente viene chiamato metro cubo (m^3)

- Sottomultipli
- decimetro cubo (dm^3) = $1/1000 m^3$
- centimetro cubo (cm^3) = $1/1000000 m^3$
- millimetro cubo (mm^3) = $1/1000000000 m^3$

CAPACITÀ

L'unità base è il litro e corrisponde esattamente al volume di $1 dm^3$

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| - Multipli | - Sottomultipli |
| decalitro (dal) = 10 l | decilitro (dl) = $1/10 l$ |
| ettolitro (hl) = 100 l | centilitro (cl) = $1/100 l$ |

1.2 MECCANICA

È quella parte della fisica che si occupa dello studio dei movimenti dei corpi. Tradizionalmente la meccanica viene suddivisa in:

- cinematica *INDIPENDENTEMENTE DALLE CAUSE*
- statica *CONDIZIONI DI EQUILIBRIO*
- dinamica *CAUSE*

La cinematica si occupa del movimento dei corpi, indipendentemente dalle cause che lo producono.

La statica studia le condizioni di equilibrio dei corpi.

La dinamica si occupa del movimento dei corpi, in dipendenza delle cause che lo producono, cercando di comprendere le cause di detti movimenti. È la parte fondamentale della meccanica.

VELOCITÀ

Analizziamo un'automobile che si sta muovendo in una determinata direzione e che percorre in ogni unità di tempo la stessa distanza. Ogni qualvolta la distanza percorsa è proporzionale al tempo impiegato a percorrerla il moto si definisce uniforme. Con moto uniforme si percorrono quindi spazi uguali in tempi uguali e la velocità si calcola rapportando lo spazio percorso al tempo impiegato a percorrerlo.

Si misura in m/sec, ma è tollerato l'uso del chilometro all'ora (Km/h)

$$1 m/sec = 3,6 Km/h$$

FORZA

Senza l'intervento di una causa esterna, un corpo inizialmente in quiete non è capace di muoversi, se lo si vuole infatti spostare occorre esercitare su

di esso una forza. Per forza si intende una qualsiasi causa capace di produrre o di modificare un movimento. Per mettere in moto un corpo, è indispensabile anche che il corpo stesso sia libero di muoversi. Si afferma quindi, più precisamente, che a un corpo in quiete è applicata una forza se esso tende a mettersi in movimento.

Per determinare una forza occorre indicare:

- intensità
- direzione
- verso
- punto di applicazione

Una forza viene rappresentata con un segmento che fisicamente viene espresso con il termine vettore.

Vengono definite macchine quei dispositivi che con una determinata forza vincono una forza resistente.

In generale sono quindi applicate due forze:

- una forza resistente da vincere (resistenza)
- una forza motrice che serve a vincere la forza resistente (potenza)

Una macchina è in equilibrio quando i valori delle due forze si equivalgono.

Per vincere la resistenza, occorre applicare una forza motrice con intensità superiore a quella per cui si ha equilibrio.

Una macchina nota è la leva (fig. 1.2). È costituita da un punto fisso detto fulcro (F), al quale sono applicate una forza resistente (F_r) e una forza motrice (F_m). Le distanze tra fulcro-potenza e fulcro-resistenza costituiscono i rispettivi bracci (AB e AC).

Affinchè una leva si trovi in condizioni di equilibrio, occorre che le due forze siano proporzionali ai rispettivi bracci.

$$F_m \cdot AB = F_r \cdot AC$$

$$F_m/F_r = AC/AB$$

FORZE CENTRIFUGA E CENTRIPETA

Vengono così definite le forze dirette secondo un raggio uscente da un punto e rivolto rispettivamente nel verso di allontanamento e di avvicinamento a detto punto.

Sono direttamente proporzionali alla massa del corpo al quadrato della velocità ed al raggio della circonferenza per una determinata velocità angolare; inversamente proporzionali al raggio della circonferenza per una data velocità periferica.

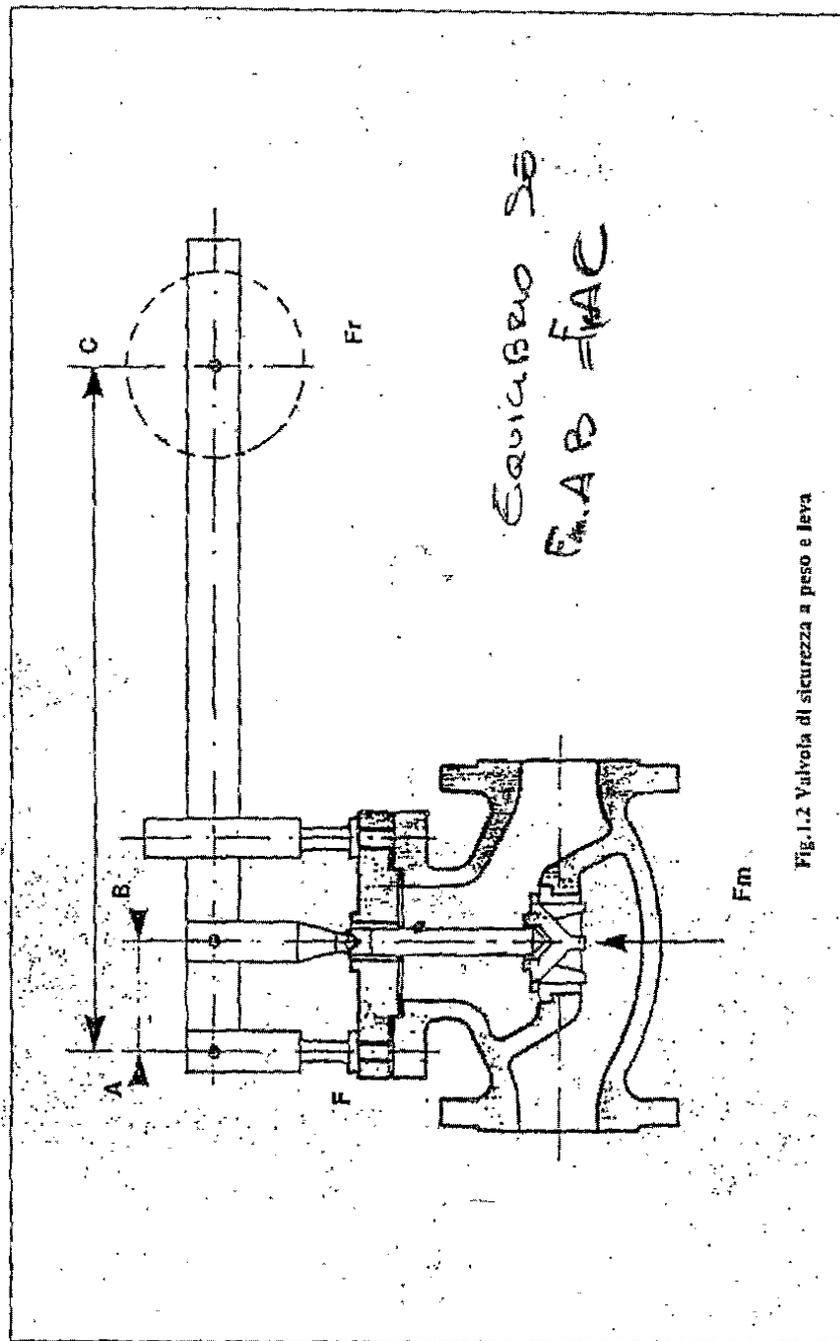


Fig. 1.2 Valvola di sicurezza a peso e leva

ENERGIA

Esprime l'attitudine di un corpo a compiere lavoro. L'energia meccanica può assumere due forme:

Energia potenziale: esprime la possibilità che ha un corpo di compiere lavoro in conseguenza di una particolare posizione o stato in cui si trova.

Energia cinetica: esprime l'energia che possiede un corpo in movimento rispetto ad un sistema di riferimento e può compiere fermandosi rispetto allo stesso sistema.

In assenza di attrito, per effetto della legge della conservazione dell'energia meccanica:

energia cinetica + energia potenziale = costante.

Quando si utilizzano per la massa, il chilogrammo massa e per la lunghezza il metro, l'unità dell'energia è il joule (J).

MASSA VOLUMICA

Indica il rapporto tra la massa del liquido ed il suo volume.

Si misura in Kg/m³ o in Kg/dm³.

DENSITA

È il rapporto tra la massa volumica di un fluido e la massa volumica dell'acqua distillata alla temperatura di 4°C ed alla pressione atmosferica.

La densità è espressa da un semplice numero in quanto è priva di unità di misura.

PESO SPECIFICO

Esprime il rapporto tra il peso ed il volume di un fluido.

Nel S.T. si indica in chilogrammpeso al decimetro cubo (Kp/dm³) o chilogrammpeso al metro cubo (Kp/m³). Nel S.I. viene espresso in N/m³
1 Kp/m³ = 9,81 N/m³.

VOLUME SPECIFICO

Definisce il rapporto tra il volume del fluido ed il suo peso.

Si esprime in m³/N o in dm³/N.
Nel S.T. viene utilizzato il m³/Kp o il dm³/Kp.

LAVORO-POTENZA

Scientificamente si ha lavoro ogni qualvolta si ha un movimento. Infatti, mentre un uomo che sposta un corpo compie un lavoro, un secondo uomo che tiene in mano lo stesso corpo non compie lavoro.

Questo perchè una forza applicata a un corpo, compie lavoro soltanto quando si ha uno spostamento del suo punto di applicazione. Forza e spostamento sono quindi una combinazione fondamentale.

Si afferma che il lavoro (W) su un determinato punto sul quale è applicata

una forza (F) è uguale al prodotto dell'intensità della forza per lo spostamento (s).

$$W = F s$$

Nel S.I. l'unità è il joule (J), che è il lavoro effettuato dalla forza di un newton, quando il suo punto di applicazione si sposta di un metro nella direzione della forza.

$$J = 1 \text{ newton} \times 1 \text{ m}$$

Nel S.T. si usa il chilogrammetro (Kgm), definito come il lavoro di un chilogrammpeso, quando il suo punto di applicazione si sposta di un metro nella direzione della forza.

$$\text{Kgm} = 1 \text{ Kp} \times 1 \text{ m}$$

$$\text{quindi } 1 \text{ Kgm} = 9,80665 \text{ joule}$$

La grandezza che esprime quanto è potente un uomo, un motore, una pompa... è la potenza.

Si definisce **potenza (P)** sviluppata in un lavoro, il rapporto tra il lavoro compiuto e il tempo impiegato per compierlo.

$$P = W/t$$

Nel S.I. l'unità è quella che si sviluppa quando si esegue in un secondo il lavoro di un joule e si chiama watt.

$$W = 1J/1\text{sec}$$

un multiplo molto utilizzato è il KW

$$1 \text{ KW} = 1000 \text{ W}$$

Nel S.T. l'unità è il chilogrammo al secondo (Kg/sec). Viene spesso usato il CV che è uguale a 75 chilogrammetri al secondo.

$$1 \text{ CV} = 75 \text{ Kpm/sec} = 75 \times 9,8066 = 735,5 \text{ W}$$

PRESSIONE

La pressione indica un rapporto tra una forza (F) che agisce su una determinata superficie (S).

Prendiamo un parallelepipedo e appoggiamolo sulla superficie maggiore (fig. 1.3. A). Se lo rovesciamo (fig. 1.3 B), la superficie di appoggio sarà inferiore e il peso sarà quindi più concentrato.

Supponiamo che il peso del parallelepipedo sia 50 Kp e che

$$AB = 100 \text{ cm.} = 1 \text{ m} \quad BE = BC = 50 \text{ cm.} = 0,5 \text{ m}$$

Sapendo che

$$1 \text{ Kp} = 9,80665 \text{ N} \text{ il peso del parallelepipedo è}$$

$$P = 9,80665 \times 50 = 490,3325 \text{ N}$$

Nel caso della fig. A la pressione è

$$P = F/S = 490,3325/0,5 = 980,665 = \text{N/m}^2$$

dove

$$F = \text{peso del parallelepipedo} = 490,3325 \text{ N}$$

$$S = AB \times BC = 0,5 \text{ m}^2$$

Scala 1:1

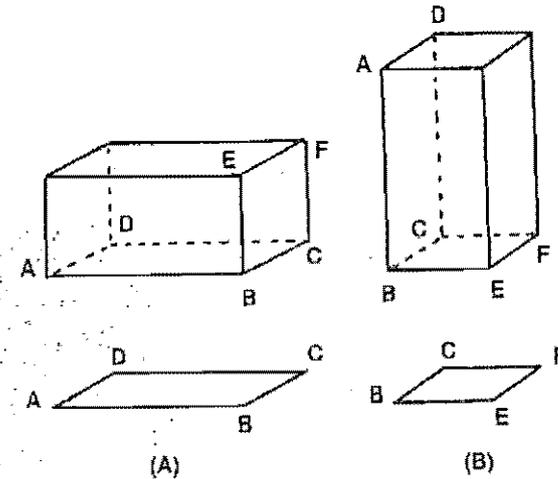


Fig. 1.3 Pressione di un corpo su più superfici

Su ogni m² del parallelepipedo grava quindi una forza di 980,665 N e, che la pressione esercitata per effetto dei 50 Kp del parallelepipedo è di 980,665 Newton per ogni m² di superficie.

Supponiamo che lo stesso parallelepipedo assuma la posizione indicata in fig. 1.3 B

$$P = F/S = 490,3325/0,25 = 1961,33 = \text{N/m}^2$$

$$\text{dove } S = BE \times BC = 0,25 \text{ m}^2$$

Si ha quindi che un corpo esercita pressioni differenti che dipendono, a parità di peso, dalla superficie di appoggio: infatti a parità di forza la pressione aumenta al diminuire della superficie e viceversa diminuisce con l'aumentare della superficie.

Parlando di pressione applicata sulle superfici occorre osservare che sopra tali superfici grava una colonna d'aria, di quell'aria che ci circonda che, come tutti i corpi, ha un peso ed alla quale si deve una pressione conosciuta come pressione atmosferica. Noi non ci accorgiamo del peso dell'aria in quanto la pressione dell'aria stessa si esercita uniformemente sulla superficie di tutti i corpi.

La pressione atmosferica, corrisponde, al livello del mare, ad una colonna d'acqua di 1 cm² alta 10,33 m. Poiché il tubo ha la sezione di 1 cm², la colonna d'acqua pesa 1,033 Kg. Si può pertanto definire che la pressione atmosferica è uguale alle pressioni di 1,033 chilogrammi per ogni centimetro quadrato.

Il fisico Torricelli dimostrò che la pressione atmosferica, sempre a livello del

1 bar = 10⁵ Pa

Press Assoluta = Press + 1 bar di Press Atmosferica

mare, equivale altresì ad una colonna di 1 cm³ contenente mercurio alta 76 cm.

La pressione atmosferica diminuisce con l'aumentare dell'altitudine e conseguentemente con il diminuire della densità dell'aria, densità che diviene minore in montagna.

Se analizziamo ora un manometro che segna lo zero in corrispondenza della pressione atmosferica è evidente che lo strumento, ogni qualvolta indicherà valori di pressione non terrà conto della pressione atmosferica. Installiamo lo stesso manometro in un recipiente in pressione, in breve tempo l'indice si posizionerà in corrispondenza del 10' della scala; ciò significa che il vapore contenuto nel recipiente ha la pressione di 10 bar o 10 Kg/cm².

La pressione misurata viene definita effettiva.

Nella misura della pressione non abbiamo considerato la pressione atmosferica, pressione che si esercita su tutti i corpi della terra e quindi anche all'interno del recipiente. La pressione totale del vapore contenuto nel recipiente sarà quindi di 11 bar o 11 Kg/cm² (10+1) e viene definita pressione assoluta.

In definitiva la pressione effettiva è quella effettivamente indicata dal manometro; la pressione assoluta è invece la pressione effettiva più la pressione atmosferica e quindi la pressione indicata dal manometro più 1 Kg/cm² o 1 bar.

Nel S.I. la pressione si misura in newton al m² (N/m²), e viene detto sistema Pascal. Essendo il Pascal una unità molto piccola, viene usato il bar, nonostante non appartenga al S.I.

1 bar = 10⁵ Pa

Nel S.T. la pressione si misura in chilogrammo peso al metro quadrato (Kp/m²). E' tuttavia invalso nell'uso il Kp/cm² detto anche atmosfera tecnica, che è la pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 735,5 mm alla temperatura di zero gradi e/o di una colonna d'acqua alta 10 mt.

1.3. TERMOLOGIA

TEMPERATURA

È la grandezza che determina lo stato termico di un corpo dal punto di vista macroscopico o più semplicemente, definisce quanto un corpo è caldo o freddo.

Lo stato termico, che ha la proprietà di essere uniforme nei corpi, viene espresso dai nostri sensi, nonostante un'indicazione soggettiva e molto grossolana o, mediante il fenomeno della dilatazione termica, cioè dalla variazione dal punto di vista dimensionale, che subisce un corpo al variare della temperatura (un corpo aumenta il suo volume all'aumentare della temperatura).

Lo strumento che utilizza il fenomeno della dilatazione termica, è il termometro. È costituito da un tubo di vetro con diametro uguale in tutta la lunghezza, e da un bulbo anch'esso di vetro di forma cilindrica o sferica. Il bulbo

e una parte del tubo, contengono mercurio o alcol colorato, il cui livello varia al variare della temperatura. La scala del termometro si ottiene attribuendo al ghiaccio fondente la temperatura di 0 °C, e all'acqua bollente distillata al livello del mare ed alla pressione atmosferica, la temperatura di 100 °C. Lo spazio compreso entro i due valori, viene suddiviso in cento parti uguali, ognuna delle quali viene definita grado centigrado o Celsius.

Nella scala centigrada, la temperatura più bassa teoricamente raggiungibile è -273,15°C (temperatura di zero assoluto). Le temperature misurate a partire dallo zero assoluto vengono definite temperature assolute (si considerano col simbolo K, Kelvin); un grado Kelvin equivale ad un grado centigrado.

Oltre alla Kelvin e alla Celsius esistono:

- scala Reaumur: la temperatura di fusione del ghiaccio e d'ebollizione dell'acqua viene indicata con 0 e 80 e l'intervallo viene suddiviso in 80 parti uguali. Un grado Reaumur corrisponde quindi a 5/4 di grado centigrado.

$$\frac{C}{100} = \frac{R}{80} \text{ da cui } C = \frac{5}{4} R$$

- scala Fahrenheit: la temperatura del ghiaccio fondente corrisponde alla divisione 32 e quella di ebollizione dell'acqua alla 212. La scala viene suddivisa in 180 parti. La relazione tra i gradi Celsius e Fahrenheit si esprime:

$$\frac{C}{100} = \frac{F - 32}{212 - 32} \text{ da cui } C = \frac{5}{9} (F - 32)$$

I termometri più utilizzati sono quelli a mercurio in quanto dispongono di un campo di misura ampio (-30°C + 300°C). Il mercurio bolle alla temperatura di 357,33°C, per contro solidifica a 38,85°C sottozero. Per temperature inferiori si sfrutta l'alcool etilico (solidifica a 130°C sotto zero), il tolnolo, il pentano, ecc.. Per la dettagliata descrizione dei termometri consultare il cap. VI.

DILATAZIONE TERMICA LINEARE

Definisce l'allungamento che un materiale subisce all'aumentare della temperatura. Uno speciale apparecchio consente di conoscere la legge con cui avviene questa dilatazione. Il materiale in esame ha un estremo fisso e l'altro estremo collegato con il braccio dell'indice; in condizioni di riposo l'indice si trova in corrispondenza dello zero. All'aumentare della temperatura, il materiale si riscalda e si allunga determinando così lo spostamento dell'indice. Raffreddando il materiale, questi riassume la lunghezza originaria e l'indice ritorna in condizioni di riposo.

Detto apparecchio consente di determinare la legge con cui la lunghezza di un qualsiasi materiale varia al variare della temperatura, misurandone la lunghezza stessa per diversi valori di temperatura.

La formula che permette di calcolare l'allungamento o la nuova lunghezza viene di solito scritta nella forma:

$$l_t = l_0 (1 + \lambda \cdot \Delta t)$$

dove

l_t = lunghezza finale (m)

l_0 = lunghezza iniziale (m)

Δt = t finale - t iniziale ($^{\circ}\text{C}$)

λ = coefficiente di dilatazione lineare

Tale coefficiente varia da sostanza a sostanza ed è molto piccolo per tutti i solidi.

Tab. 1.5 COEFFICIENTI DI DILATAZIONE LINEARE

Alluminio	24×10^{-6}
Diamante	$1,3 \times 10^{-6}$
Ferro	12×10^{-6}
Piombo	29×10^{-6}
Rame	16×10^{-6}
Vetro (normale)	9×10^{-6}
Zinco	30×10^{-6}

DILATAZIONE TERMICA CUBICA

Esprime la variazione del volume di un corpo al variare della temperatura. La formula che permette di calcolare il volume alla nuova temperatura è

$$V = V_0 (1 + 3\lambda \cdot \Delta t) \text{ se si pone } \alpha = 3\lambda \text{ si ha}$$

$$V = V_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

dove si definisce α coefficiente di dilatazione cubica; per ogni sostanza è pari a 3 volte il suo coefficiente di dilatazione lineare.

In tabella sono riportati i coefficienti di dilatazione cubica di alcuni liquidi, che sono notevolmente maggiori di quelli solidi. È evidente che per i liquidi non ha alcun significato parlare di dilatazione lineare.

Tab. 1.6 CALORE SPECIFICO Kcal/Kg

Acqua	1	Legno di abete	0,65
Alcool	0,7	Ferro	0,118
Ceneri	0,20	Mercurio	0,033
Carbone fossile	0,31	Nichel	0,110
Mattoni	0,20	Piombo	0,031
Olio combustibile	0,5	Rame	0,094
Legno di rovere	0,57	Ottone	0,094

L'acqua si comporta in maniera differente. Il volume di una massa di acqua distillata diminuisce quando la temperatura aumenta da 0°C a $3,98^{\circ}\text{C}$ (coefficiente di dilatazione negativo). Al di sopra dei $3,98^{\circ}\text{C}$ il volume au-

menta all'aumentare della temperatura. Arrotondando a 4°C il valore di $3,98$ si afferma che una massa d'acqua ha il minimo volume e la massima densità.

CALORE

Se si prende un qualsiasi corpo caldo e lo si versa in un recipiente contenente acqua fredda, questo si raffredda, mentre la temperatura dell'acqua sale fino ad un valore in cui acqua e corpo si trovano alla stessa temperatura.

Questo è possibile perché avviene un trasferimento di calore da un corpo ad un altro fino alla eguaglianza fra i due valori di temperatura. Il calore è quindi semplicemente una energia trasferita dal corpo più caldo a quello più freddo ed indica la quantità di calore contenuta da un corpo. Il contenuto di calore di un corpo dipende dal volume, dal calore specifico e dalla temperatura dello stesso.

Si produce calore, mediante trasformazione di energia meccanica in energia termica (definita comunemente calore), facendo ad esempio attraversare corrente ad un filo metallico.

Il calore è dunque una grandezza fisica il cui valore si ottiene mediante un semplice calorimetro.

In commercio esistono:

- calorimetri ad acqua
- calorimetri a ghiaccio
- calorimetri di Bunsen

L'unità di misura della quantità di calore è la caloria, definita come la quantità di calore che occorre fornire alla pressione di 1 bar a un grammo massa di H_2O distillata, affinché la sua temperatura aumenti da $14,5^{\circ}$ a $15,5^{\circ}\text{C}$.

In termotecnica si utilizza la chilocaloria (Kcal) il cui valore corrisponde a 1000 calorie.

$$1 \text{ Kcal} = 1000 \text{ Cal.} = 4,19 \text{ KJ}$$

Si definisce calore specifico di un corpo, la quantità di calore necessaria per elevare di 1°C la temperatura dell'unità di massa del corpo stesso.

L'acqua è la sostanza che ha il calore specifico più elevato.

CAMBIAMENTI DI STATO

La materia può trovarsi in tre stati di aggregazione: solido, liquido ed aeriforme.

Il passaggio da uno stato all'altro mediante una causa esterna (temperatura, pressione) si definisce cambiamento di stato. Si ha

fusione: se il corpo passa dallo stato solido a liquido;

solidificazione: con trasformazione da liquido a solido;

vaporizzazione: con passaggio dallo stato liquido allo stato di vapore;

Tab. 1.7 TEMPERATURE DI FUSIONE E SOLIDIFICAZIONE (GRADI °C)
(alla pressione atmosferica)

Acciaio	1300 + 1400	Nichelio	1450
Acqua	0	Nitrato potassico	340
Alcool etilico	-114	Oro	1063
Alluminio	659	Ossido di calcio	2570
Argento	960,5	Ossido di magnesio	2800
Azoto	-210	Ossigeno	-219
Benzina (peso spec. 0,75)	-150	Ottone	900 ÷ 1000
Benzolo	5,4	Piombo	327
Bronzo	900 ÷ 960	Platino	1764
Calcio	800	Potassio	62,5
Carbonio	sopra 3600	Quarzo	1440
Cloro	-101	Rame	1083
Ferro puro	1530	Saldatura dolce	135 ÷ 200
Ferro omogeneo (acciaio dolce)	1350 + 1450	Saldatura al Bi	95 + 130
Ghisa bianca	1130	Silicio	1420
Ghisa grigia	1200	Stagno	231,9
Magnesio	651	Tungsteno	3370
Mercurio	-38,9	Zinco	419,4
Metano	-184		

Tab. 1.8 TEMPERATURE DI EBOLLIZIONE (GRADI °C)
(alla pressione atmosferica)

Acido nitrico	86	Glicerina	290
Acido solforico	332	Idrogeno liquefatto	-253
Acqua	100	Mercurio	357
Alcool assoluto	78,5	Metano liquefatto	-164
Alluminio	1800	Nichel	3075
Amidride carbonica solida	-78,5	Ossido di carbonio liquefatto	-190
Amidride solforosa liquefatta	-10	Ossigeno liquefatto	-183
Azoto liquefatto	-196	Paraffina	300
Benzolo	80	Propano	-43
Butano	-8	Rame	2310
Cloruro di metile liquefatto	-24	Zinco	918
Elio liquefatto	-269	Zolfo (rombico)	444,5
Ferro	2450		

liquefazione: dallo stato di gas a liquido;

condensazione: se il corpo passa dallo stato di vapore allo stato liquido;

sublimazione: trasformazione da solido ad aeriforme senza passaggio apparente attraverso lo stato liquido.

SOLIDO
AERIFORME

- FUSIONE

Il fenomeno della fusione avviene in modo differente in presenza di:

1) sostanze pure cristalline: la fusione avviene ad una temperatura determinata e costante definita punto di fusione. E' l'unico valore di temperatura nella quale compaiono entrambe le fasi, liquida e solida. Nel periodo di fusione la temperatura resta costante, nonostante il corpo continui ad assorbire calore latente di fusione.

2) sostanze amorfe: la sostanza passa dallo stato solido a liquido senza possibilità di determinare un punto di fusione.

- SOLIDIFICAZIONE

E' il processo inverso della fusione. La temperatura di fusione è uguale a quella di solidificazione.

- VAPORIZZAZIONE

E' il passaggio mediante il movimento molecolare in tutta la massa di un qualsiasi corpo, dallo stato liquido a quello aeriforme. Il fenomeno viene definito:

- evaporizzazione: quando investe la sola superficie del liquido;

- ebollizione: quando con somministrazione diretta di calore coinvolge l'intera massa con rottura della tensione del liquido.

Durante la somministrazione, la temperatura rimane costante, in quanto il calore serve per trasformare il liquido in vapore. La temperatura aumenta soltanto quando tutto il liquido si è trasformato in vapore. Questa temperatura viene definita temperatura di ebollizione.

- CONDENSAZIONE

Sottraendo calore a pressione costante ad una massa di vapore d'acqua saturo secco, il vapore si trasforma in liquido. La temperatura varia soltanto quando tutto il vapore si è trasformato in liquido.

- LIQUEFAZIONE

Si realizza mediante raffreddamento e compressione. Sopra alla temperatura critica l'aeriforme è un gas e non può essere liquefatto per compressione; sotto detta temperatura l'aeriforme è un vapore e può liquefare anche per semplice compressione. Alla temperatura critica la trasformazione avviene ad un valore di pressione definita pressione critica.

- SUBLIMAZIONE

E' la trasformazione di un solido ad aeriforme e viceversa. In particolari condizioni (temperatura e pressione) tutti i solidi possono essere soggetti a sublimazione. In condizioni ordinarie vengono sublimati soltanto quei solidi quali la naftalina, lo iodio, ecc... che hanno una considerevole pressione di vapore.

VAPORE

Supponiamo di avere 1 Kg di acqua contenuto in un recipiente aperto, al livello del mare, nel quale è immerso un termometro. Se all'acqua somministriamo calore constatiamo che, ogni qualvolta il termometro indica un aumento della temperatura di 1 °C, significa che è stato fornita all'acqua stessa 1 Kcaloria.

Continuando a somministrare calore, alla temperatura di 100 °C si verifica il fenomeno dell'ebollizione: nel punto di ebollizione si rileva che il contenuto termico dell'acqua è di 100 Kcal/Kg e la temperatura di 100 °C. Il calore somministrato, indispensabile per elevare la temperatura dell'acqua a 100 °C si definisce calore sensibile.

In un generatore, tutto il calore che attraverso il focolare riscalda l'acqua è calore sensibile.

Se raggiunta l'ebollizione somministriamo altro calore, la temperatura dell'acqua non varia. Il calore somministrato serve unicamente per il passaggio allo stato di vapore, trasformazione che per un Kg di acqua alla pressione atmosferica si ha dopo aver ceduto, una volta raggiunta l'ebollizione, circa 539 Kcalorie. Il calore che determina una trasformazione di stato, senza alcuna variazione di temperatura, si definisce calore latente.

Il calore contenuto nel vapore si ottiene sommando il calore sensibile ed il calore latente.

Il prodotto finale della vaporizzazione è il vapore saturo, vapore che si può ottenere sotto forma di saturo umido se contiene una parte di liquido che lo ha generato, saturo secco se completamente privo di acqua. Entrambi hanno ovviamente stessa temperatura e pressione del liquido che lo ha generato.

Il vapore prelevato in un generatore non è mai secco in quanto contiene una quantità di acqua alla stessa temperatura del vapore. Se nel vapore saturo vogliamo conoscere il contenuto di vapore secco e d'acqua occorre stabilirne il titolo.

Si definisce titolo del vapore, la quantità espressa in percento del peso, di vapore saturo secco contenuto in un Kg di vapore saturo umido.

Raggiunta la vaporizzazione, se aggiungiamo altro calore, una volta vaporizzata l'eventuale umidità presente provochiamo un aumento di temperatura ed otteniamo vapore surriscaldato. Si definisce vapore surriscaldato, quel vapore che ha, rispetto al liquido che lo ha generato, stessa pressione ed una temperatura superiore.

Supponiamo ora che lo stesso recipiente di acqua sia sottoposto ad una pressione di 10 Kg/cm². La maggiore pressione sulla superficie dell'acqua determina un aumento della temperatura di ebollizione; a 10 Kg/cm² si ha infatti l'ebollizione a 183,2 °C. Per mantenere quindi l'acqua in ebollizione occorrerà quindi somministrare una maggiore quantità di calore sensibile; al contrario la quantità di calore latente necessaria per trasformare l'acqua dalla fase di ebollizione in vapore è minore. Dalla tabella 1.9 si ha che a 10 Kg/cm² il vapore ha un contenuto termico maggiore rispetto al vapore a pressione atmosferica di 25,4 Kcal circa (663,9 anziché 638,5), il calore sensibile è aumentato di circa 84 Kcal (183,2 anziché 99,12 ed il calore latente è diminuito di 50,9 Kcal (478,3 anziché 539,4).

Anche lo spazio occupato dal vapore dipende dalla pressione. Somministriamo al nostro recipiente, contenente 1 Kg di acqua, il calore necessario per la trasformazione completa in vapore, esattamente 1 Kg. La stessa quantità di vapore, ottenuta dalla stessa quantità di acqua, occuperà a pressioni differenti due volumi differenti; infatti:

- alla pressione atmosferica 1 Kg di vapore occupa 1,725 m³;
- alla pressione di 10 Kg/cm² 1 Kg di vapore occupa 0,1813 m³.

Aumentando via via la pressione, il vapore occupa sempre meno spazio in quanto subisce una maggiore compressione fino a raggiungere lo stesso volume dell'acqua. Ciò avviene alla pressione critica di 225 Kg/cm² assoluti ed alla temperatura di 374 °C.

Analizziamo ora la tabella 1.9 che viene definita tabella entalpica del vapore d'acqua saturo secco.

Tutti i valori riportati sono il risultato di prove reali eseguite: sul vapore e sono state ottenute dal diagramma di Mollier. Confrontando due o più tabelle sul vapore si riscontrano alcune differenze tra i valori riportati, differenze comunque minime ed ininfluenti per le nostre applicazioni.

La tabella è costituita da sette colonne:

- La prima colonna indica i valori delle pressioni assolute del vapore in Kg/cm²;
- La seconda colonna porta i valori in °C della temperatura del vapore in corrispondenza di ogni pressione: la temperatura del vapore è anche la temperatura dell'acqua in ebollizione alla stessa pressione;
- La terza colonna dà in °K la temperatura dell'acqua e del vapore in corrispondenza di ogni pressione;
- La quarta colonna porta i volumi specifici, cioè i m³ occupati da 1 Kg di vapore ad una determinata pressione;
- La quinta colonna indica il calore sensibile del liquido in Kcal/Kg;
- La sesta colonna dà il calore totale del vapore saturo secco;
- La settima colonna porta il calore di vaporizzazione o calore latente del vapore.

Vediamo qualche esempio di applicazione, consideriamo la quarta riga, pressione assoluta 0,2 Kg/cm². La temperatura è di 59,67 °C sia per il liquido che

Calore Sensibile = Calore fornito all'acqua x Arrivare a 100 °C
Calore Latente = Calore che determina un cambiamento di stato senza aumento della T°

TAB. 1.9

VAPORE D'ACQUA SATURO SECCO

Pressione assoluta kg/cm ² Atm	Temperatura °C		Volume specifico vapore m ³ /kg	Energia Kcal/kg acqua	Calore latente Kcal/kg	
	l	T				
0,01	6,70	279,86	131,7	6,73	600,1	593,4
0,05	33,55	305,71	28,73	32,55	611,5	578,9
0,10	45,45	318,61	14,95	45,41	617,0	571,6
0,20	59,67	332,83	7,795	59,61	623,1	563,5
0,40	75,42	348,58	4,089	75,36	629,5	554,1
0,60	85,45	358,61	2,783	85,41	633,4	548,0
0,80	92,99	366,15	2,125	92,99	636,2	543,2
1,0	99,09	372,15	1,725	99,12	638,5	539,4
1,5	110,79	384,85	1,180	110,92	642,8	531,9
2,0	119,62	392,78	0,9016	119,87	645,8	528,9
3,0	132,88	406,04	0,6166	133,4	650,3	516,9
4,0	142,92	416,08	0,4706	143,6	653,4	509,8
5,0	151,11	424,27	0,3816	152,1	655,8	503,7
6,0	158,09	431,24	0,3213	159,3	657,8	498,5
7,0	164,17	437,33	0,2778	165,6	659,4	493,8
8,0	169,61	442,77	0,2448	171,3	660,8	489,5
9,0	174,53	447,69	0,2189	176,4	662,0	485,6
10	179,04	452,20	0,1981	181,2	663,0	481,8
11	183,20	456,36	0,1808	185,6	663,9	478,3
12	187,08	460,29	0,1664	189,7	664,7	475,0
13	190,71	463,87	0,1541	193,5	665,4	471,9
14	194,13	467,28	0,1435	197,1	666,0	468,9
15	197,36	470,52	0,1343	200,6	666,6	466,0
16	200,43	473,59	0,1262	203,9	667,1	463,2
17	203,35	476,51	0,1190	207,1	667,5	460,4

TAB. 1.10

VAPORE D'ACQUA SATURO SECCO

Pressione assoluta bar	Temperatura °C	Volume specifico m ³ /kg	ENTALPIA SPECIFICA		
			Acqua kJ/kg	Vapore kJ/kg	Vaporizzazione kJ/kg
0,010	6,98	129,20	29,34	2514,4	2485,0
0,030	24,10	45,2	101,00	2545,6	2444,6
0,050	32,90	28,19	137,77	2561,6	2423,8
0,070	39,03	20,53	163,38	2572,6	2409,2
0,095	44,84	15,40	187,65	2583,0	2395,3
0,15	54,00	10,02	225,97	2599,2	2373,2
0,40	75,89	3,993	317,65	2636,9	2319,2
0,50	81,35	3,240	340,56	2646,0	2305,4
0,70	89,96	2,365	376,77	2660,1	2283,1
1,00	99,63	1,694	417,51	2675,4	2257,9
1,5	111,37	1,159	467,13	2693,4	2226,2
2,0	120,23	0,8854	504,70	2706,3	2201,6
2,5	127,43	0,7184	535,34	2716,4	2181,0
3,0	133,54	0,6056	561,43	2724,7	2163,2
3,5	138,87	0,5240	584,27	2731,6	2147,4
4,0	143,62	0,4622	604,67	2737,6	2133,0
4,5	147,92	0,4138	623,16	2742,9	2119,7
5,0	151,84	0,3747	640,12	2747,5	2107,4
5,5	155,46	0,3426	655,78	2751,7	2095,9
6,0	158,84	0,3155	670,42	2755,5	2085,0
6,5	161,99	0,2925	684,12	2758,8	2074,0
7,0	164,96	0,2727	697,06	2762,0	2064,9
8,0	170,41	0,2403	720,94	2767,5	2046,5
9,0	175,36	0,2148	742,64	2772,1	2029,5
9,0	175,36	0,2148	742,64	2772,1	2029,5
10,0	179,88	0,1943	762,61	2776,2	2013,6
11	184,07	0,1747	781,13	2779,7	1998,5
12	187,96	0,1632	798,43	2782,7	1984,3
13	191,61	0,1511	814,70	2785,4	1970,7
14	195,04	0,1407	830,08	2787,8	1957,7
15	198,29	0,1317	844,67	2789,9	1945,2
16	201,37	0,1237	858,56	2791,7	1933,2
17	204,31	0,1166	871,84	2793,4	1921,5
18	207,11	0,1103	884,58	2794,8	1910,3
19	209,80	0,1047	896,81	2796,1	1899,3
20	212,37	0,09954	908,59	2797,2	1888,6
21	214,85	0,09489	919,96	2798,2	1878,2
22	217,24	0,09065	930,95	2799,1	1868,1
23	219,55	0,08677	941,60	2799,8	1858,2
24	221,94	0,07991	961,96	2800,9	1839,0
25	223,94	0,07139	990,48	2802,0	1811,5
30	233,84	0,06663	1008,4	2802,3	1793,9
40	250,33	0,04975	1087,4	2800,3	1712,9
50	263,91	0,03943	1154,4	2794,2	1639,7
60	275,55	0,03244	1213,7	2785,0	1571,3
80	294,97	0,02353	1317,1	2759,9	1442,8
100	310,96	0,01804	1408,0	2727,7	1319,7
120	324,65	0,01428	1491,8	2689,2	1197,4
150	342,13	0,01034	1611,0	2615,0	1004,0
200	365,70	0,005877	1826,5	2418,4	591,9
221,30	374,15	0,00317	2107,4	2107,4	0

per il vapore. il volume specifico del vapore di 7,795 m³/Kg, il contenuto di calore sensibile di 59,61 Kcal/Kg, il calore totale di 623,1 Kcal/Kg ed il calore latente di 563,5 Kcal/Kg.

Analizziamo la nona riga, la pressione assoluta è ora di 1,5 Kg/cm², la temperatura di 110,79 °C, il volume di 1,180 m³/Kg, il contenuto di calore sensibile di 110,92 Kcal/Kg, il calore totale di 642,8 Kcal/Kg ed il calore latente di vaporizzazione di 531,9 Kcal/Kg. In questo secondo caso si ha che, contrariamente al precedente, il contenuto di calore si differisce dalla temperatura, differenza che si protrae anche in tutti i successivi valori di pressione.

Occorre precisare che la tabella analizzata è quella del vapore saturo secco, nella pratica comune il vapore contiene invece una parte del liquido che lo ha generato. Nonostante i valori indicati in tabella non corrispondono alle caratteristiche reali del vapore, vengono ugualmente accettati in quanto la qualità del vapore è solitamente abbastanza buona. Se viceversa la qualità del vapore è scarsa i valori andranno modificati nella fase di calcolo.

TENSIONE DI VAPORE

Un corpo liquido è costituito da molecole in agitazione. Il loro moto aumenta con l'aumentare della temperatura del liquido. L'evaporizzazione è il risultato di alcune molecole che giungono alla superficie libera con velocità abbastanza elevata per vincere la coesione interna. Esse possono quindi trasferirsi nell'atmosfera sovrastante la superficie libera nella quale il liquido si troverà allo stato di vapore.

Questo fenomeno, con maggiore o minore intensità avviene ad ogni temperatura. Nel caso dell'acqua questo vapore che si è liberato ha una propria pressione (definita tensione di vapore) che è proporzionale alla temperatura dell'acqua da cui proviene. Per esempio, la pressione del vapore generatosi da acqua a 80 °C è di circa 0,5 Kg/cm² (P. assoluta).

Da un punto di vista fisico, la tensione di vapore rappresenta la pressione esercitata, in un recipiente chiuso, dalla parte evaporata del liquido ivi contenuto. Essa può quindi essere definita come la pressione che deve agire sul liquido stesso per impedire la sua ulteriore vaporizzazione. Negli impianti ad olio diatermico si richiede che la tensione di vapore sia la più bassa possibile per realizzare impianti a pressione atmosferica senza necessità di pressurizzazione. Oggi nella maggioranza degli oli diatermici è possibile raggiungere la temperatura di 280 + 300 °C operando in fase liquida a pressione atmosferica.

TITOLO DEL VAPORE

Il vapore si definisce saturo umido quando si trova in presenza del liquido che lo ha generato e forma con questo una miscela di acqua e vapore. Parlando di vapore saturo umido si intende sempre una miscela di vapore con liquido in sospensione e definiremo titolo del vapore la quantità espressa in percento del peso, di vapore saturo secco contenuto in un Kg di vapore saturo umido. La conoscenza del titolo del vapore è estremamente importante perché consente

TAB. 1.11 ENTALPIA DEL VAPORE ACQUEO SURRISCALDATO (Kcal/kg)

Pressione effettiva Kg/cm ²	Temperatura del vapore, °C								
	150	200	250	300	350	400	450	500	550
1	663,2	686,5	709,9	733,5	757,5	781,9	806,7	832,1	858,1
2	661,6	685,4	709,1	732,9	757,0	781,5	806,4	831,9	857,9
4	657,7	683,3	707,5	731,7	756,1	780,7	805,8	831,4	857,5
6		681,1	706,0	730,3	755,1	780,0	805,2	830,9	857,0
8		678,7	704,4	729,3	754,2	779,2	804,6	830,4	856,5
10		676,1	702,8	728,1	753,3	778,4	804,0	829,8	856,1
12		673,3	701,1	726,8	752,3	777,7	803,3	829,4	855,8
14		670,2	699,4	725,6	751,3	776,9	802,7	828,8	855,3
16			697,6	724,4	750,4	776,2	802,1	828,3	854,9
18			695,7	722,2	749,4	775,4	801,5	827,8	854,4
20			694,0	721,9	748,5	774,7	800,8	827,3	854,0
25			688,9	718,6	746,0	772,7	799,3	826,0	852,9
30			683,3	715,2	743,6	770,8	797,7	824,7	851,9
40			669,8	707,8	738,3	766,8	794,6	822,1	849,7
50				699,5	732,9	762,8	791,4	819,5	847,6
60				690,0	727,1	758,7	788,2	816,9	845,4
80				666,8	714,3	750,0	781,6	811,6	841,0
100					699,2	740,4	774,7	806,2	836,6
125					676,4	727,2	765,5	799,2	830,9
150					647,5	712,2	755,8	792,0	825,0
175						695,7	745,2	784,5	819,0
200						676,6	733,7	776,6	812,8
220						657,9	723,8	770,0	807,7

Esempio:

Pressione vapore surriscaldato 20 Kg/cm²
Temperatura 500°C

Da Tab. 1.11
Contenuto termico 827,3 Kcal/Kg

ENTALPIA = Quantità di calore necessaria
per portare 1 kg di acqua a 0°C fino alla
condizione di vapore: saturo umido, secco,
1 surriscaldato.

di calcolare il contenuto di calore del vapore prelevato nel generatore.

Supponiamo di voler conoscere il contenuto termico di 1 Kg di vapore saturo alla pressione assoluta di 20 Kg/cm², con titolo 95%.

Titolo del vapore 95% significa che si hanno, in ogni Kg di vapore 0,95 Kg di vapore saturo secco e 0,05 Kg di acqua alla stessa temperatura del vapore.

Dalla tabella 1.9 del vapore saturo si determina che 1 Kg di vapore saturo secco alla pressione assoluta di 20 Kg/cm² ha un contenuto di calore di 668,5 Kcal. (2797,2 KJ), di cui 215,8 Kcal (908,59 KJ) sono quelle dell'acqua. Il contenuto termico del Kg di vapore saturo umido con titolo 0,95 è di 0,95 x 668,5 = 635,075 Kcal possedute dal vapore e 0,05 x 215,8 = 10,79 Kcal possedute dall'acqua. Il contenuto termico posseduto dal Kg di vapore è:

$$635,075 + 10,79 = 645,865 \text{ Kcal.}$$

Il contenuto termico totale lo si può anche calcolare sommando il calore sensibile al calore latente (tenendo conto del titolo del vapore). Riprendendo l'esercizio precedente si ha pertanto:

$$\text{Cont. termico totale} = \text{calore sens.} + (\text{calore latente} \times \text{titolo vapore}) \\ = 215,8 \text{ Kcal} + (452,7 \text{ Kcal} \times 0,95) = 645,865 \text{ Kcal.}$$

Le calorie possedute dall'acqua non vengono normalmente utilizzate, perché viene eliminata, lungo le tubazioni, mediante gli scaricatori di condensa. In conclusione il calore utilizzabile per ogni Kg di vapore saturo umido con titolo 0,95 risulta. Quindi di 635,075 Kcal che sono ovviamente inferiori delle 668,5 Kcal utilizzabili per ogni Kg di vapore saturo secco.

TRASMISSIONE DEL CALORE

Tre sono i metodi di trasmissione del calore: conduzione, convezione, irraggiamento (fig. 1.4).

Conduzione: si manifesta nei solidi, nei liquidi e nei gas, nonostante sia soprattutto una trasmissione caratteristica dei solidi. Il calore viene trasferito da una parte all'altra dello stesso materiale o ad un materiale contiguo senza spostamenti molecolari. Nella trasmissione per conduzione il calore fluisce infatti dalle parti a temperatura più alta, verso quelle a temperatura più bassa senza spostamento di materia, in quanto ciascuna particella costituente il corpo trasmette il calore a quella adiacente con cui è a contatto.

Riscaldando ad una estremità, con una fonte di calore un tubo di ferro, il calore stesso in un periodo più o meno breve investe l'intero tubo e se il flusso di calore rimane costante, la temperatura diminuisce uniformemente dai punti più caldi a quelli più freddi. Ogni sostanza ha un proprio coefficiente di conduzione, mentre i gas ed i vapori sono i peggiori conduttori, i metalli, in particolare argento, alluminio, zinco, rame, ... sono i migliori.

Convezione: è la trasmissione caratteristica dei soli corpi liquidi e gassosi. Il trasferimento per convezione avviene mediante un movimento della stessa sostanza riscaldata. Le particelle situate nelle zone ad elevata temperatura, ricevono calore e si spostano nelle zone a temperature più basse creando un

TAB. 1.12 - ENTALPIA SPECIFICA DEL VAPORE D'ACQUA SURRISCALDATO

Pressione effettiva bar	ENTALPIA SPECIFICA DEL VAPORE IN KJ/KG A DIVERSI VALORI DI TEMPERATURA ESPRESSI IN °C									
	200	240	260	300	340	360	400	440	480	500
1	2875,4	2954,6	2994,4	3074,5	3153,5	3196,0	3278,2	3361,4	3445,6	3488,1
2	2870,5	2951,1	2991,4	3072,1	3153,3	3194,2	3276,7	3360,1	3444,5	3487,0
3	2865,5	2947,5	2988,2	3069,7	3151,4	3192,4	3275,2	3358,8	3443,3	3486,0
4	2860,4	2943,9	2985,1	3067,2	3149,4	3190,4	3273,6	3357,4	3442,1	3484,9
5	2855,1	2940,1	2981,9	3064,8	3147,4	3188,8	3272,1	3356,1	3441,0	3483,8
6	2849,7	2936,4	2978,7	3062,3	3145,4	3187,0	3270,6	3354,8	3439,8	3482,7
7	2844,2	2932,5	2975,4	3059,8	3143,4	3185,2	3269,0	3353,4	3438,6	3481,6
8	2838,6	2928,6	2972,1	3057,3	3141,4	3183,4	3267,5	3352,1	3437,5	3480,5
9	2832,7	2924,6	2968,7	3054,7	3139,4	3181,6	3266,0	3350,8	3436,3	3479,4
10	2826,8	2920,6	2965,2	3052,1	3137,4	3179,7	3264,4	3349,5	3435,1	3478,3
11	2820,7	2916,4	2961,8	3049,6	3135,3	3177,9	3262,9	3348,1	3434,0	3477,2
12	2814,4	2912,2	2958,2	3046,9	3133,2	3176,0	3261,3	3346,8	3432,8	3476,1
13	2808,0	2908,0	2954,7	3044,3	3131,2	3174,1	3259,7	3345,4	3431,6	3475,0
14	2801,4	2903,6	2951,0	3041,6	3129,1	3172,3	3258,2	3344,1	3430,5	3473,9
15	2794,7	2899,2	2947,3	3038,9	3127,0	3170,4	3256,6	3342,8	3429,3	3472,8
16	—	2894,7	2943,6	3036,2	3124,9	3168,5	3255,0	3341,4	3428,1	3471,7
20	—	2875,9	2928,1	3025,0	3116,3	3160,8	3248,7	3336,0	3423,4	3467,3
26	—	2845,2	2903,0	3007,4	3103,0	3149,0	3239,0	3327,8	3416,3	3460,6
30	—	2822,9	2883,1	2995,1	3093,9	3140,9	3232,5	3322,3	3411,6	3456,2
40	—	—	2835,6	2962,0	3069,8	3119,9	3215,7	3308,3	3399,6	3445,0
50	—	—	—	2923,5	3044,1	3097,6	3198,3	3294,0	3387,4	3433,7
100	—	—	—	—	2883,4	2964,8	3099,9	3216,2	3323,2	3374,6
150	—	—	—	—	—	2770,8	2979,1	3126,9	3252,4	3310,6
200	—	—	—	—	—	—	2820,5	3023,7	3174,4	3241,1
250	—	—	—	—	—	—	2582,0	2901,7	3088,5	3163,9

movimento di particelle fredde verso le zone calde, zona dalla quale si spostano nuovamente una volta ricevuto calore; si crea quindi un movimento definito **moto convettivo**. Il trasferimento di calore si effettua attraverso il fluido caldo in movimento.

Queste correnti di convezione sono naturali quando le particelle di una massa fluida si mettono in movimento solo per effetto della loro diversa densità

TAB. 1.13 CALORE SPECIFICO DEL VAPORE ACQUEO SURRISCALDATO (Kcal/kg °C)

Pressione effettiva kg/cm²	Temperatura del vapore, °C											
	300	350	300	325	350	375	400	450	500	550	600	700
1	0,470	0,472	0,476	0,480	0,483	0,486	0,491	0,498	0,506	0,51		
2	0,477	0,477	0,480	0,482	0,485	0,488	0,492	0,500	0,508	0,52		
4	0,493	0,485	0,485	0,487	0,490	0,492	0,495	0,502	0,510	0,52		
6	0,514	0,493	0,491	0,492	0,494	0,496	0,499	0,506	0,512	0,52		
8	0,538	0,504	0,496	0,496	0,498	0,500	0,502	0,508	0,515	0,52		
10	0,569	0,516	0,504	0,502	0,503	0,505	0,508	0,511	0,517	0,52		
12	0,604	0,532	0,512	0,510	0,510	0,510	0,511	0,514	0,519	0,53		
14	0,650	0,549	0,522	0,517	0,515	0,514	0,515	0,516	0,520	0,53	0,53	
16		0,569	0,531	0,525	0,520	0,518	0,518	0,518	0,522	0,53	0,53	
18		0,590	0,541	0,533	0,526	0,523	0,522	0,521	0,524	0,53	0,53	
20		0,614	0,551	0,540	0,533	0,529	0,527	0,523	0,53	0,53	0,53	0,53
25		0,65	0,56	0,55	0,54	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54
30		0,76	0,59	0,56	0,55	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,55
40		0,89	0,65	0,61	0,58	0,57	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56
50			0,74	0,66	0,62	0,60	0,58	0,56	0,56	0,56	0,56	0,57
60			0,86	0,74	0,68	0,63	0,60	0,58	0,57	0,57	0,57	0,58
80			1,19	0,93	0,79	0,71	0,66	0,61	0,59	0,58	0,58	0,59
100				1,23	0,96	0,82	0,73	0,65	0,62	0,60	0,60	0,60
125					1,27	1,00	0,85	0,70	0,65	0,62	0,62	0,62
150					1,64	1,25	1,01	0,77	0,68	0,64	0,64	0,65
175							1,19	0,86	0,73	0,66	0,66	0,67
200							1,47	0,95	0,77	0,69	0,69	0,70
220							1,90	1,03	0,82	0,72	0,71	0,72

Esempio:

Pressione vapore surriscaldato 30 Kg/cm²
Temperatura 400°C

Da Tab. 1.13
Calore specifico = 0,54 Kcal/Kg °C

TAB. 1.14

VAPORE D'ACQUA SATURO

SISTEMA	Pressione relativa	Pressione assoluta	Temperatura	Calore sensibile	Calore latente	Calore totale	Volume specifico
Tecnico	kg/cm²	kg/cm²	°C	kcal/kg	kcal/kg	kcal/kg	m³/kg
	0	1,033	99,09	99,12	539,4	638,5	1,725
Internazionale	bar	bar	°K	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	m³/kg
	0	1,013	372,15	417,51	2257,9	2675,4	1,725

in funzione del calore assorbito, salgono verso l'alto mentre altre particelle più fredde e con maggiore densità scendono ed occupano lo spazio liberato.

Se il movimento avviene meccanicamente si dice forzato e la trasmissione del calore avviene per convezione forzata:

Per comprendere ancora meglio la convezione applichiamo alla base di una beuta contenente acqua, una sorgente di calore. L'acqua sul fondo si riscalda, si dilata, diminuisce il proprio peso specifico e sale in superficie. La parte più fredda e con maggiore densità precipita sul fondo e divenendo successivamente calda viene a sua volta sostituita; ne consegue un flusso contiguo di fluido più freddo verso la zona calda, mentre il fluido caldo si allontana generando una corrente di convezione.

Irraggiamento: si manifesta attraverso i corpi fisici e soprattutto attraverso il vuoto; è altresì efficace attraverso i corpi gassosi. L'irraggiamento non richiede alcun mezzo di trasmissione; la trasmissione di calore da un corpo a temperatura maggiore ad uno a temperatura minore avviene per onde elettromagnetiche. Queste onde elettromagnetiche sono per lo più comprese come lunghezza d'onda nel campo dell'infrarosso, cioè nel campo delle radiazioni non visibili, e si propagano con una velocità pari a quella della luce. Le radiazioni colpiscono i corpi da riscaldare sulle loro superfici rivolte verso la sorgente di calore, e se vengono assorbite si riscaldano.

Non tutte le radiazioni vengono assorbite, ma solo una parte, in quanto altre vengono riflesse. Questo dipende dalla natura e dalla superficie dei corpi. Le superfici lucide, diversamente da quelle opache, assorbono pochissime radiazioni.

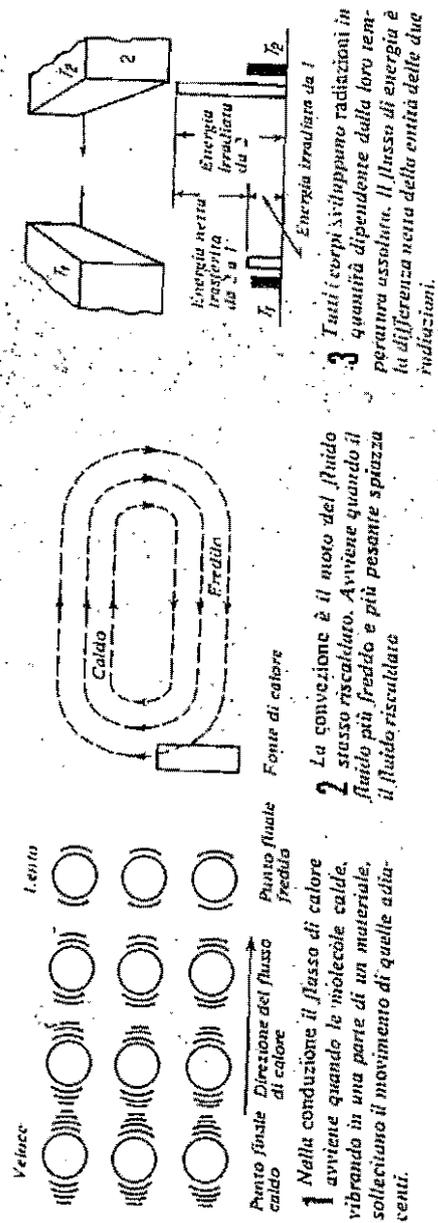


Fig. 1.4 Tre forme di trasferimento di calore lavorano insieme nella generazione di vapore

2.1 CONCETTI GENERALI

Si definisce generatore di vapore una macchina termica capace di trasferire il calore sviluppato ad un liquido che viene riscaldato e trasformato in vapore.

La caldaia è invece un recipiente utilizzato per aumentare la temperatura dell'acqua, mediante riscaldamento diretto o indiretto.

Gli elementi indispensabili per descrivere un generatore di vapore sono:

- corpo a pressione - contiene acqua e vapore ed è costruito in modo tale da resistere alla pressione senza subire deformazioni permanenti. Talvolta viene impropriamente definito caldaia,
- camera di combustione - è il volume del focolare nel quale avviene l'immissione del combustibile e la combustione,
- camera d'acqua - è lo spazio del corpo a pressione occupato dall'acqua (parte inferiore),
- camera di vapore - è lo spazio del corpo a pressione occupato dal vapore (parte superiore),
- specchio vaporizzante - è la superficie che separa la camera di vapore dalla camera d'acqua,
- camera di inversione - è la membratura necessaria per l'inversione dei giri di fumo durante il loro percorso,
- giri di fumo - definiscono il percorso che i fumi compiono, all'interno del generatore, per arrivare al camino,
- livello minimo dell'acqua - è situato 80 mm. sopra il punto più alto della superficie di riscaldamento.

ELEMENTI CARATTERISTICI DEI GENERATORI

Un generatore di vapore si individua attraverso le seguenti caratteristiche:

- produttività o potenzialità totale - è la produzione oraria massima di vapore nelle normali condizioni di funzionamento. Si esprime in Kg/h o t/h, precisando lo stato fisico del vapore (pressione e temperatura),
- produttività o potenzialità specifica - è il rapporto tra la produzione oraria di vapore e la superficie di riscaldamento. Si esprime in Kg/h m²,
- superficie di riscaldamento - è l'area espressa in m² del corpo a pressione da una parte lambita dai fumi e dall'altra dall'acqua. Viene misurata dalla parte esposta ai fumi,
- pressione di hollo - è la massima pressione di progetto del generatore di

TAB. 2.1 PRODUZIONE DI VAPORE IN RELAZIONE ALLA SUPERFICIE DI RISCALDAMENTO

Tipo di generatore	Produzione vapore Kg/h m ²
Cornovaglia	18 ÷ 25
Cornovaglia a ritorno di fiamma	20
Semifisse orizzontali	25
Semifisse verticali	20
Pressurizzate con pressione da 1 a 5 bar da 32-35000 Kcal/m ² h rese corrispondente a	53 ÷ 58
Pressurizzate con: pressione da 8 a 15 bar da 29-31000 Kcal/m ² h rese corrispondente a	40 ÷ 50

TAB. 2.2 CARICO TERMICO VOLUMETRICO DELLA CAMERA DI COMBUSTIONE IN GENERATORI PRESSURIZZATI

Tipo di generatore	Kcal/m ³ h
Pressione di bollo fino a 1 bar	800.000
A tubi da fumo	da 1.000.000 a 1.800.000
A tubi d'acqua	da 800.000 a 1.200.000

$$C_{iv} = \frac{Q_{comb} \cdot P.c.i.}{V_{foc}} \quad \text{dove}$$

C_{iv} = carico termico volumetrico (Kcal/m³h)

Q_{comb} = quantità combustibile (Kg/h - Nm³/h)

P.c.i. = potere calorifico inferiore del combustibile (Kcal/Kg - Kcal/Nm³)

V_{foc} = volume del focolare

TAB. 2.3 CARICO TERMICO SUPERFICIALE DEL GENERATORE DI VAPORE

Tipo di generatore	Kcal/m ² h
Cornovaglia	10.000
A tubi da fumo verticali	11.000
Semifisse orizzontali	15-20.000
Pressurizzate pressione bollo da 1-5 bar	27-35.000
Pressurizzate pressione bollo da 8-15 bar	29-31.000

TAB. 2.4 RENDIMENTI DEI GENERATORI

Tipo di generatori	Rendimento %
Cornovaglia	68-72
Cornovaglia a tubi di fumo	76-80
Semifisse orizzontali a tubi di fumo	77-82
Semifisse verticali a tubi di fumo	68-72
Multitubolari a tubi d'acqua	84-87
Pressurizzato a tubi di fumo	84-87
A circolazione forzata	90

TAB. 2.5 GENERATORI DI VAPORE. POTENZE SVILUPPATE

Produzione vapore Kg/h	Kcal/h	Kwh	Hph
125	75.000	87	116.6
300	180.000	209	280
550	330.000	303	514
750	450.000	523	701
1.000	600.000	697	935

vapore. Viene punzonata sulla targa del costruttore e riportata sul bollo autoadesivo rilasciato dall'ISPESL a fine collaudo,

- pressione di esercizio - è la pressione di lavoro del generatore,
- pressione di collaudo - è la pressione alla quale viene sottoposto il generatore in occasione della prova idraulica in officina o sul luogo d'impianto;
- carico termico volumetrico della camera di combustione - è il rapporto fra il calore sviluppato nell'unità di tempo in camera di combustione e il volume della camera stessa. Si esprime in W/m³ h o Kcal/m³ h,
- carico termico superficiale della camera di combustione - è il rapporto fra il calore sviluppato nell'unità di tempo in camera di combustione e la superficie di riscaldamento della camera stessa. Si esprime in W/m² o Kcal/m² h,
- carico termico totale della camera di combustione - è la massima quantità di calore sviluppata in un'ora in camera di combustione. Si esprime in Kcal/h.
- rendimento - è il rapporto tra il calore utilizzato (cioè trasmesso al fluido) e il calore speso (calore sviluppato dalla combustione completa),
- indice di vaporizzazione - è il rapporto tra i Kg di vapore prodotti in un'ora e i Kg di combustibile bruciati nello stesso tempo: si esprime in Kg. vap./Kg. comb. Per generatori pressurizzati, con buona approssimazione si può definire

che:

1 Kg di olio combustibile può produrre	12-14 Kg vapore
1 Kg di gasolio può produrre	13-15 Kg vapore
1 Nm ³ di metano può produrre	10-11 Kg vapore

CLASSIFICAZIONE DEI GENERATORI DI VAPORE

L'elevato numero di generatori di vapore esistenti in commercio, ha indotto a classificarli in riferimento alle loro principali caratteristiche.

Tipo di installazione

- fisso: quando non è possibile trasportare il generatore senza demolire una parte dell'impianto
- semifisso: quando è possibile trasportare il generatore senza demolire una parte dell'impianto
- semifisso monoblocco: quando il generatore è interamente trasportabile
- mobile: quando il generatore è installato su basamento mobile e fornisce la potenza indispensabile per il movimento.

Contenuto di acqua rispetto alla superficie di riscaldamento

- grande volume: contengono da 130 a 250 litri d'acqua per m² di superficie riscaldata
- medio volume: contengono da 70 a 130 litri d'acqua per m² di superficie riscaldata
- piccolo volume: contengono meno di 70 litri d'acqua per m² di superficie riscaldata.

La classificazione in relazione al contenuto di acqua, consente di conoscere il volano termico che rappresenta la quantità di Kcal posseduta dall'acqua di esercizio. Un volano termico elevato, a parità di superficie di riscaldamento, rende indispensabile un notevole tempo di avviamento ed il generatore meno sensibile alla sollecitazione; per contro permette di fare fronte ad improvvise richieste di vapore.

Pressione di bollo

- bassa pressione: inferiore a 1 bar
- media pressione: da 1 a 15 bar
- alta pressione: da 15 a 100 bar
- altissima pressione: oltre i 100 bar.

Alla disposizione del focolare

- interno: quando il focolare fa interamente parte della superficie di riscaldamento
- esterno: quando il focolare non fa interamente parte della superficie di riscaldamento

Combustibile bruciato

- solido
- liquido
- gassoso.

Circolazione dell'acqua all'interno del generatore

- naturale: quando il moto dell'acqua avviene per effetto dei moti convettivi, cioè per differenza di densità
- mista: quando la circolazione viene aiutata mediante una pompa di circolazione
- forzata: quando l'acqua immessa con pompa nel generatore viene riscaldata, vaporizzata ed eventualmente surriscaldata percorrendo un unico circuito (generatori monotubolari dove la presenza di batterie di tubi non intacca il concetto di circuito costituito da un unico tubo).

Percorso dei fumi

- a tubi da fumo: quando l'acqua bagna la parte esterna dei tubi e all'interno circolano i prodotti della combustione
- a tubi d'acqua: quando l'acqua circola all'interno dei tubi ed i prodotti della combustione investono la parte esterna. Sono a loro volta classificabili in:
 - * suborizzontali: quando i tubi vaporizzatori nei generatori a tubi d'acqua sono leggermente inclinati rispetto all'asse orizzontale
 - * subverticali: quando sono leggermente inclinati rispetto alla verticale
 - * verticali

Pressione in camera di combustione

- depressurizzata: quando la pressione, in camera di combustione causata dall'azione del camino, è inferiore a quella atmosferica
- pressurizzata: quando la pressione in camera di combustione è superiore a quella atmosferica (40 ÷ 150 mm. di colonna d'acqua).

2.2 COSTRUZIONE DEI GENERATORI

L'omologazione all'impiego dei materiali per la costruzione di apparecchi a pressione prodotti secondo specifiche di unificazione nazionale, internazionale o estera, è subordinata dall'approvazione da parte dell'ISPESL su conforme parere del Consiglio Tecnico, delle relative specificazioni di unificazione.

I materiali devono essere sottoposti alle prove meccaniche e tecnologiche prescritte dalle disposizioni di carattere generale e particolare contenute nella Raccolta M, alla presenza di un tecnico dell'ISPESL o da parte di un collaudatore incaricato dalla ditta produttrice o dal costruttore dell'apparecchio, quando sia concesso l'esonero di cui all'art. 32 del D.M. 21/05/1974.

La costruzione dei generatori, viene disciplinata dalla Raccolta M per i materiali, dalla Raccolta S per le saldature, dalla Raccolta VSG per i calcoli di verifica dei generatori di vapore e dalla Raccolta VSR per i calcoli di verifica degli apparecchi a pressione di vapore o di gas, tutte emanate in attuazione del D.M. del 21/11/1972.

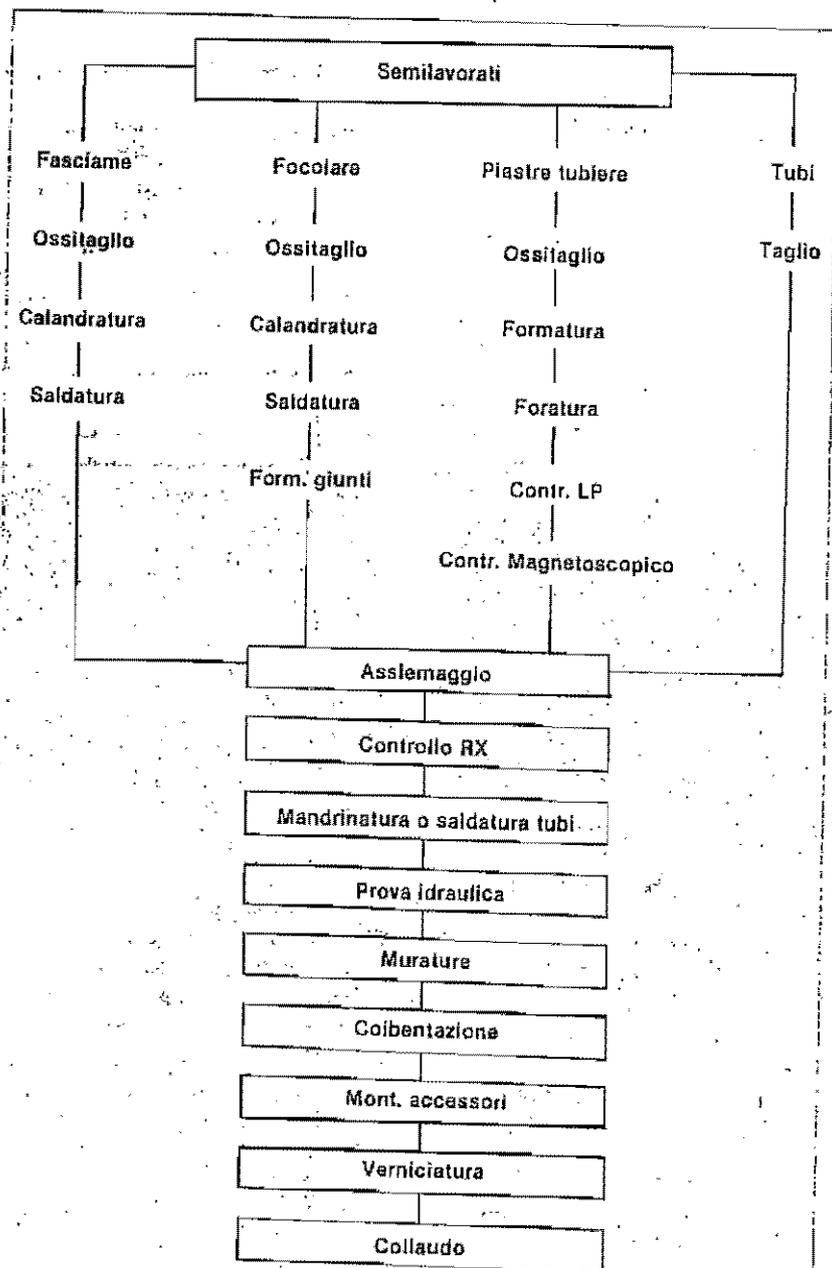


Fig. 2.1 Ciclo di lavorazione di un generatore a tubi da fumo

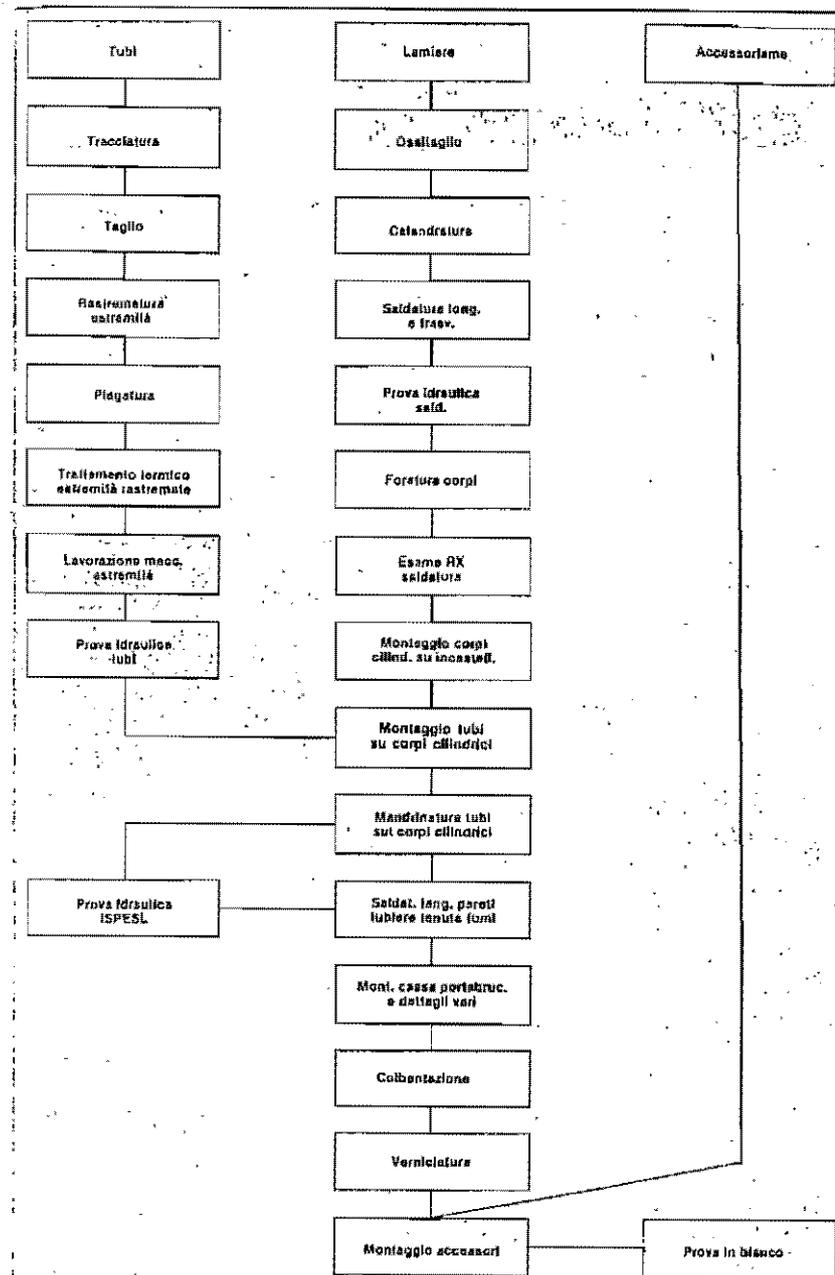


Fig. 2.2 Ciclo di costruzione di un generatore a tubi d'acqua

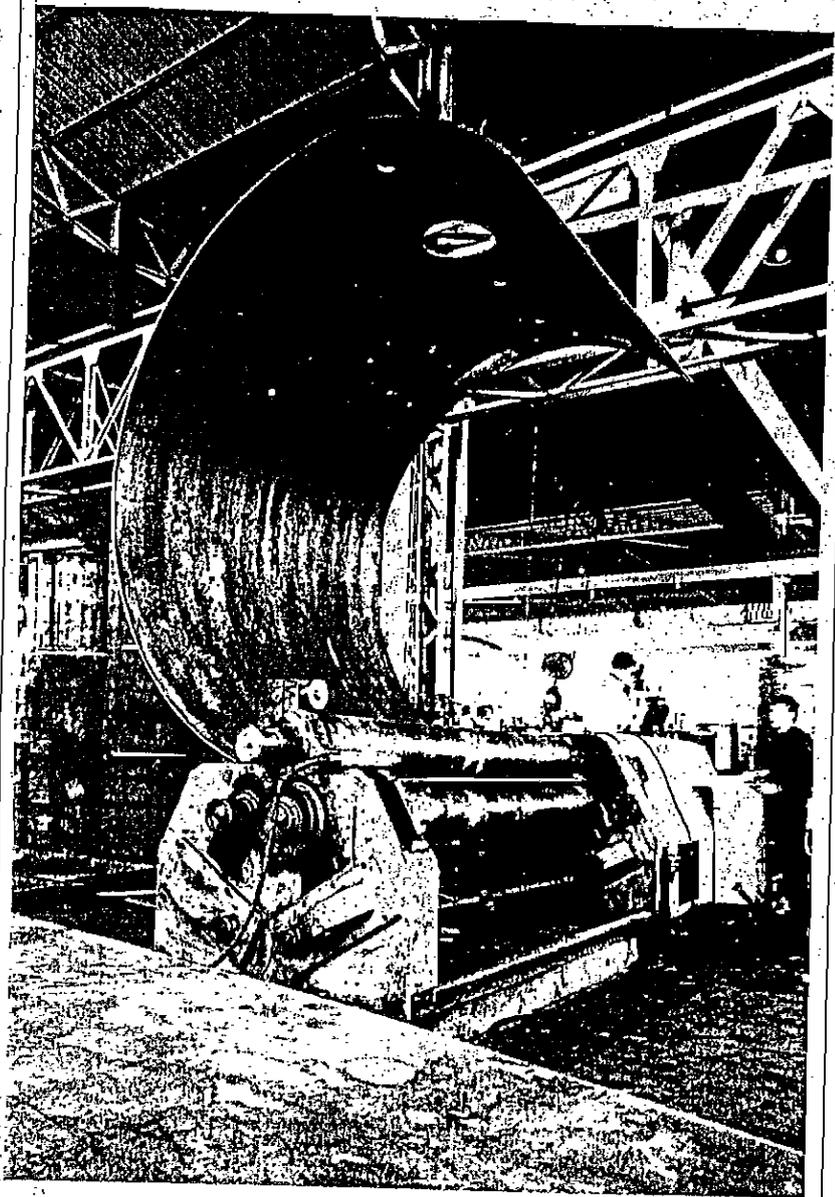


Fig. 2.3 Calandratura del fasciame



Fig. 2.4 Saldatura del fasciame (Magnabosco).

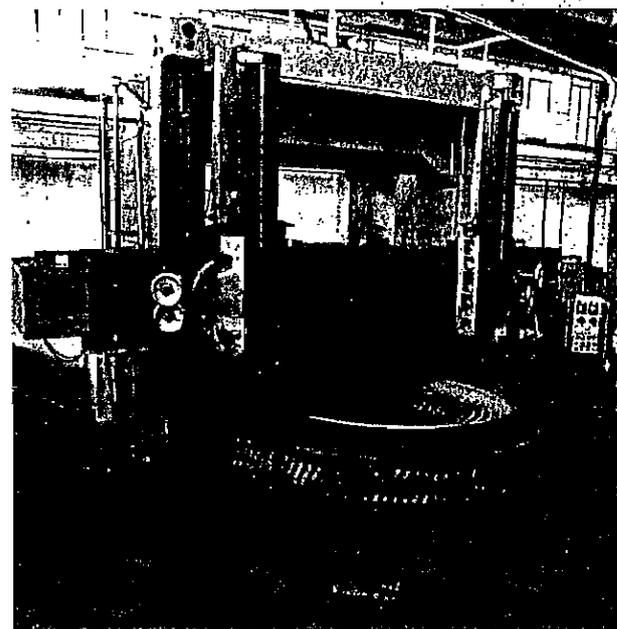


Fig. 2.5 Tornitura piastre e preparazione lembi (Mingozzini).

Solitamente nei generatori a tubo da fumo
- fasciame e piastre vengono costruiti in Fe 410.1 KW - UNI 5869
- tubi in Fe 35.1 o Fe 35.2 - UNI 663/68

Nei tubi d'acqua

- fasciame e piastre vengono costruiti in Fe 410.1 KW
- tubi in C14 o C18

Vengono generalmente utilizzati:

- 1) acciai non legati al carbonio per pressioni inferiori a 40 bar e temperature non superiori a 400 - 450 °C
- 2) acciai legati al Molibdeno per pressioni inferiori a 120 bar e temperature massime di 500 °C
- 3) acciai legati al Cromo-Molibdeno per pressioni inferiori a 120 bar e temperature non superiori a 580 °C
- 4) acciai austenitici al Cromo-Nichel per pressioni superiori a 120 bar.

* CLASSIFICAZIONE DEI GENERATORI IN FUNZIONE DELLE CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE

130/501 A - Generatore a grande volume d'acqua (Cornovaglia)

B - Generatore a medio volume d'acqua

* A tubi di fumo

* A tubi di fumo a fondo bagnato

* A tubi di fumo ad inversione di fiamma

* Semifisso verticale

C - Generatore a tubi d'acqua

* Babcock Wilcox

* Moderni monoblocco

D - Generatori a fluido diatermico

E - Generatori ad irraggiamento (vedi cap. XI)

70/30

2.3 GENERATORI A GRANDE VOLUME D'ACQUA

LA CORNOVAGLIA

Così chiamata perché costruita per la prima volta in Cornovaglia, una regione della Bretania, viene definita un generatore:

- fisso
- a grande volume d'acqua
- a focolare interno
- a media pressione
- a circolazione naturale

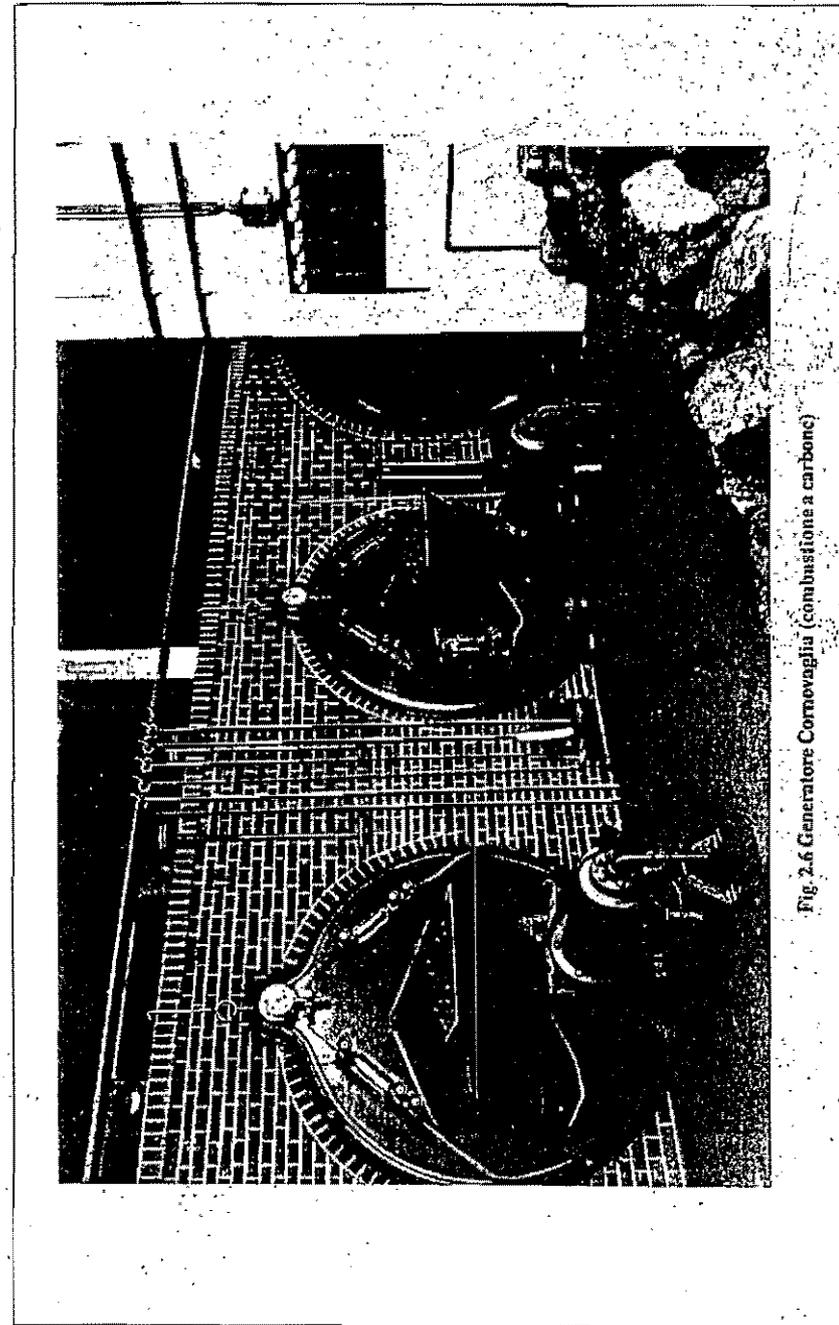


Fig. 2.6 Generatore Cornovaglia (combustione a carbone)

Il corpo a pressione è costituito da un corpo cilindrico orizzontale chiuso da due fondi convessi raccordati, ai quali vengono fissati uno o due focolari. Nella parte superiore viene installato il duomo e un tubo di alimentazione. Il tutto viene appoggiato su due o più sostegni (fig. 2.6 - 2.7).

Corpo cilindrico: detto anche fasciame, è costituito da diversi anelli o virole, ottenuti da lamiere e uniti fra loro con chiodatura o saldatura. Ha diametro 1400 ÷ 2400 mm e lunghezza 5000 ÷ 9000 mm.

Camera di combustione: detta anche focolare è costituita da un tubo con diametro 700 ÷ 1000 mm. Il focolare può essere:

- **liscio:** ha diametro uniforme e presenta due o più anelli per ridurre la spinta sui fondi e aumentare la resistenza alla pressione che tende a schiacciarlo (fig. 2.8). Le forti dilatazioni prodotte dal calore della combustione vengono in parte assorbite dagli anelli del focolare e dall'elasticità dei fondi.

- **ondulato:** presenta (fig. 2.9) rispetto al focolare liscio:

- a) maggior superficie riscaldata (circa il 10%)
- b) maggior elasticità e quindi miglior assorbimento delle dilatazioni
- c) maggior resistenza alla pressione
- d) miglior scambio termico per effetto delle nervature e della presenza di uno spessore inferiore.

Il focolare viene installato rispetto al fasciame:

- **in centro:** il centro del focolare (fig. 2.10) cade sulla mezzeria verticale del fasciame; è tuttavia spostato verso il basso

- **fuori centro:** il centro del focolare (fig. 2.11) è posto lateralmente rispetto al fasciame per attivare la circolazione dell'acqua e aumentare lo scambio termico. L'eccentricità permette inoltre, mediante un ferro a L fissato al fasciame sul quale è possibile camminare, una migliore pulizia interna.

I fondi vengono costruiti:

- **piani:** presentano squadre di rinforzo fissate ai fondi stessi e al fasciame.

- **convessi:** presentano maggior resistenza e favoriscono una miglior dilatazione

Duomo: è costituito da un corpo cilindrico, (\varnothing 500 mm) installato verticalmente sul fasciame, con un'apertura a forma ellittica nella parte superiore, passo duomo, per accedere alla camera acqua-vapore. Sul duomo sono installate la presa del vapore, per avere vapore con titolo maggiore, le valvole di sicurezza, la presa del manometro e dell'iniettore.

Nella sua installazione il corpo a pressione viene posto su un piano in cemento armato, definito comunemente piano di posa, con una leggera inclinazione verso la parte anteriore per consentire un completo svuotamento ed una facile espulsione dei fanghi.

Per permettere le necessarie dilatazioni che si verificano al variare della temperatura il generatore viene fissato al solo primo sostegno; i restanti sono mobili per mezzo di appositi rulli.

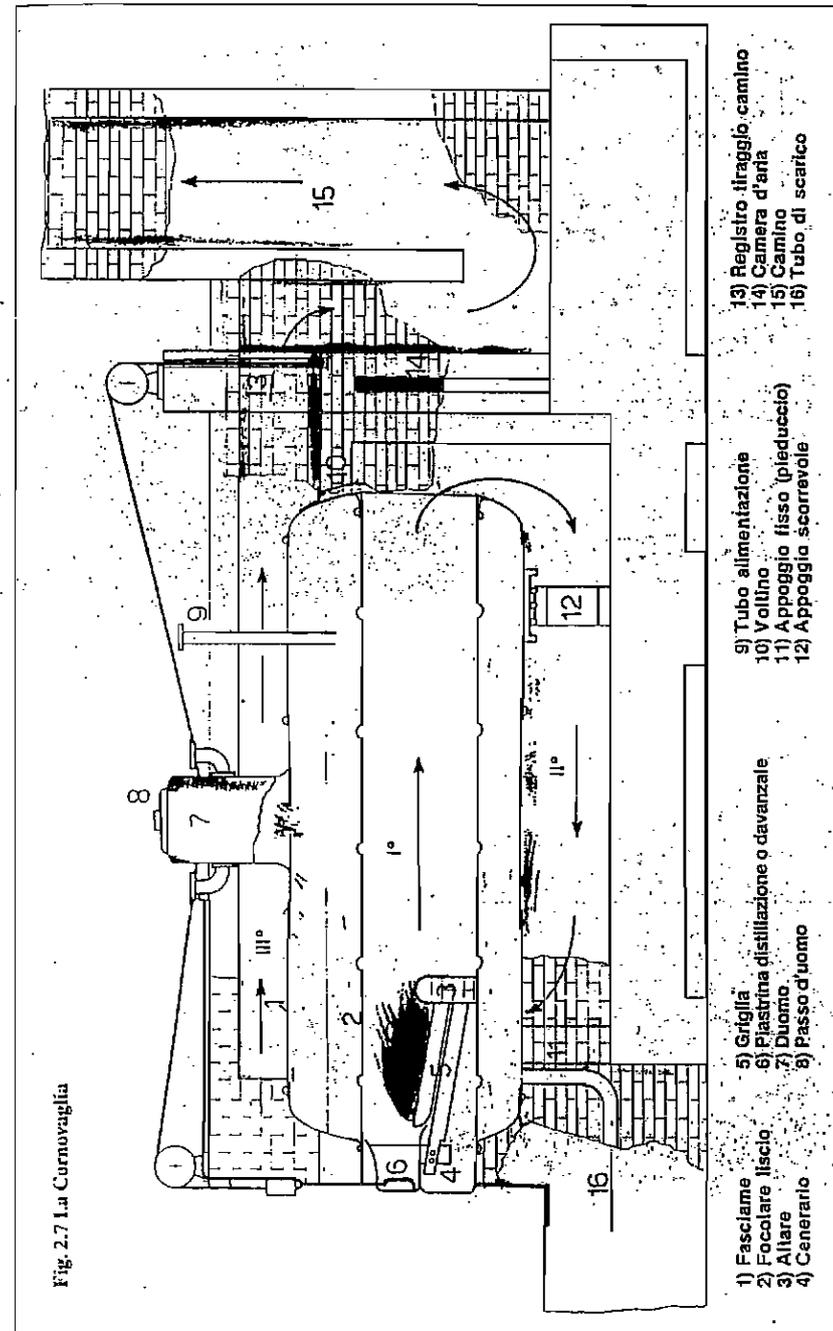


Fig. 2.7 La Cornovaglia

13) Registro irraggio camino
14) Camera d'aria
15) Camino
16) Tubo di scarico

9) Tubo alimentazione
10) Valtino
11) Appoggio fisso (pieduccio)
12) Appoggio scorrevole

5) Griglia
6) Piastrina distillazione o avanzale
7) Duomo
8) Passo d'uomo

1) Fasciame liscio
2) Focolare
3) Allare
4) Cenerario

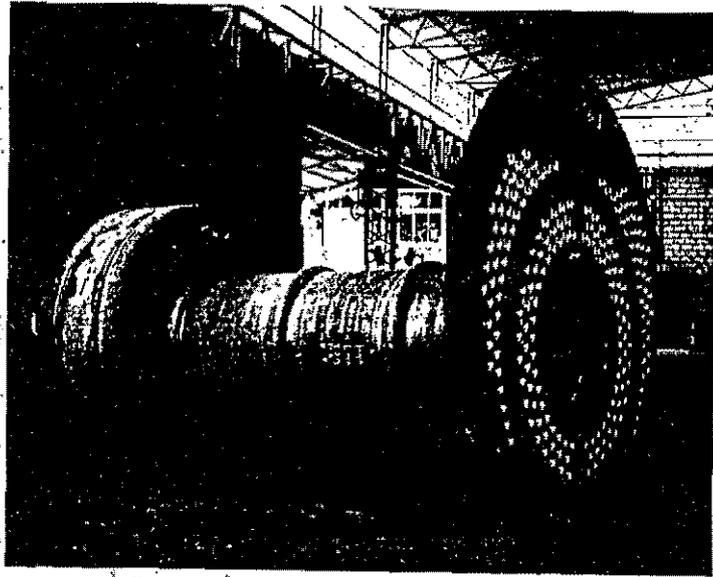


Fig. 2.8 Focolare liscia

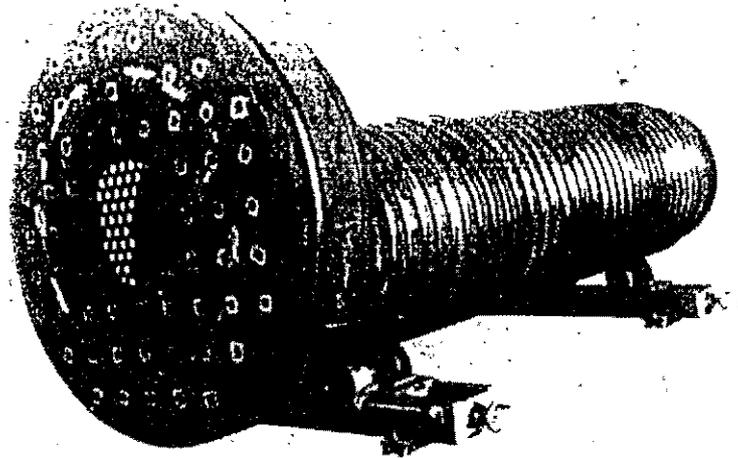


Fig. 2.9 Focolare ondulato (Mingozzi)

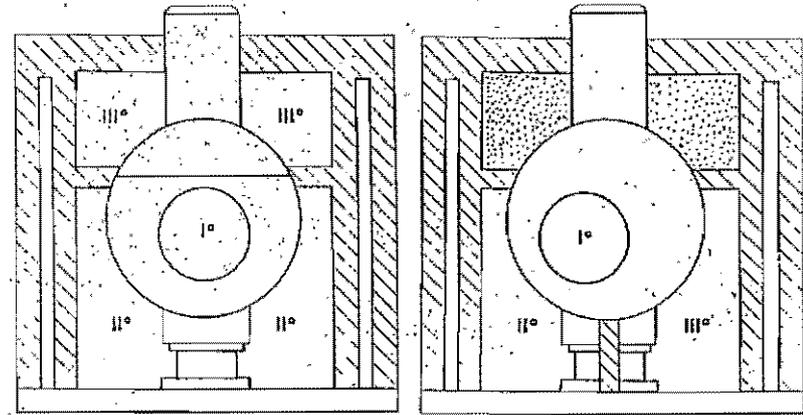


Fig. 2.10
Focolare in centro

Fig. 2.11
Focolare fuori centro

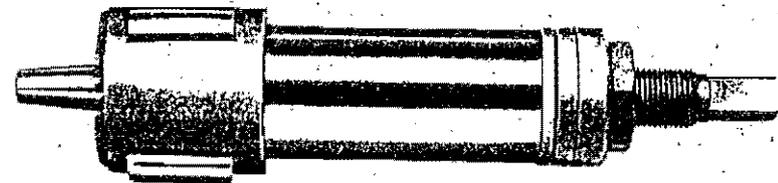


Fig. 2.12 Mandrino automatico a frizione (Maus Italia)

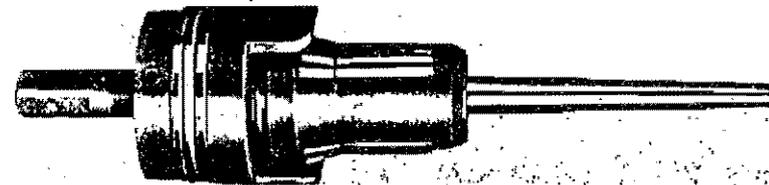


Fig. 2.13 Mandrino per mandrinare e svasare (Maus Italia)

La Cornovaglia viene classificata come un generatore fisso, perché ad eccezione della facciata e della parte superiore del duomo, viene completamente rivestita mediante mattoni refrattari. Nello spazio tra il corpo a pressione e la nitratura circolano i prodotti della combustione, definiti anche fumi.

I fumi generalmente compiono "tre giri". Nel primo giro percorrono il focolare, nel secondo con direzione opposta, investono la parte bassa del fasciame a contatto con l'acqua; nel terzo giro investono la parte superiore del fasciame e fuoriescono dal camino.

Quando il focolare non è in centro rispetto al corpo cilindrico i fumi percorrono il focolare stesso, primo giro, investono nel secondo giro la parte sinistra o destra del generatore bagnata dall'acqua e ritornano nel terzo giro nella parte posteriore del generatore lambendo la parte destra o sinistra a contatto con l'acqua. Al termine dell'ultimo giro si dirigono al camino. Il secondo giro investe la parte destra o sinistra a seconda che il focolare sia installato a destra o a sinistra rispetto al fasciame.

La Cornovaglia presenta:

- pressione max di bollo 18 Kg/cm²
- potenzialità specifica max 25 Kg/h m²
- superficie di riscaldamento max 180 m²
- rendimento max 72%

I principali vantaggi di una Cornovaglia sono:

- elevato volume di acqua in grado di far fronte a rapide richieste di vapore
- possibilità di una completa pulizia interna ed esterna
- estrema semplicità di costruzione
- possibilità di installare, per il trattamento dell'acqua, un impianto estremamente semplice
- basso costo di manutenzione

Per contro presenta:

- elevato ingombro a parità di potenzialità
- produzione max di vapore inferiore a 2000 Kg/h
- intervallo di tempo elevato per funzionare a regime
- installazione lunga e laboriosa.

2.4 GENERATORI A TUBI DI FUMO

Ad un generatore Cornovaglia supponiamo ora di aggiungere intorno al focolare una serie di tubi, mandrinati e/o saldati sui fondi, che attraversano interamente la camera dell'acqua. I fumi dopo aver percorso il focolare, invertono per effetto della presenza del voltino (definito anche cassa da fumo o camera d'inversione), il loro moto ed anziché lambire esternamente il fasciame, percorrono internamente i tubi. Un generatore così costruito si definisce Cornovaglia a ritorno di fiamma o più semplicemente generatore di vapore a tubi di fumo. La denominazione deriva dal fatto che, nei generatori di questo

tipo, la superficie di riscaldamento dei tubi da fumo è notevolmente maggiore di quella del focolare.

GENERATORI SEMIFISSI A TUBI DI FUMO

Vengono così definiti poiché nei generatori di questo tipo i fumi percorrono internamente i tubi. Il generatore viene normalmente costruito in esecuzione monoblocco; il corpo a pressione è disposto su un basamento in acciaio e corredato di tutti gli accessori e dispositivi ausiliari. Viene classificato, tra i semifissi in quanto non ha murature ed è rivestito di materiale isolante per ridurre la dispersione di calore.

Il generatore a tubi da fumo a fondo asciutto è costituito da un fasciame cilindrico racchiuso sui fondi dalle piastre tubiere, sulle quali vengono fissati il focolare, i tubi da fumo e due casse da fumo.

Fasciame: è di forma cilindrica in quanto una configurazione geometrica di questo tipo, a parità di pressione, richiede il minimo spessore di calcolo e consente di ottenere tensioni di lavoro uniformi sulle lamiere. Costituito da vari anelli (diametro 1800 ÷ 2800 mm) uniti tra loro da saldatura, viene coibentato da uno strato di lana di roccia per ridurre le dispersioni termiche e ricoperto da un lamierino di protezione (mantello). Nella parte superiore viene installato il passo duomo per consentire l'ispezione della camera del vapore e dell'acqua e la presa del vapore.

Focolare: può essere del tipo liscio o ondulato; ha un diametro 400 ÷ 1200 mm. Nel liscio gli anelli di dilatazione vengono saldati in tratti del focolare per aumentare la resistenza alla pressione ed assorbire le dilatazioni. Il tipo ondulato viene solitamente installato in generatori con potenzialità totale superiore alle 6 t/h.

Piastre tubiere: generalmente raccordate, vengono collegate al fasciame e al focolare mediante saldatura di testa e riprese a rovescio. Hanno generalmente uno spessore di 15 mm circa. Nei generatori a pressione di bollo inferiore a 15 bar si possono impiegare piastre tubiere piane con saldatura d'angolo al fasciame ed al focolare. Quest'ultima applicazione viene tuttavia sconsigliata.

Le piastre tubiere vengono rinforzate con nervature saldate nei tratti dove non abbiamo i tubi o il focolare.

I tubi da fumo, diametro 48,3 ÷ 88,9 mm, vengono fissati alle piastre tubiere mediante:

Mandrinatura: consiste nel fare aderire la superficie esterna del tubo al foro della piastra tubiera. L'operazione si effettua utilizzando il mandrino, apparecchio costituito da un corpo cilindrico con quattro feritoie longitudinali leggermente inclinate rispetto all'asse centrale (fig. 2.12). All'interno delle feritoie vi sono dei rulli che vengono spostati radialmente e longitudinalmente da una spina conica. Vengono talvolta costruiti mandrini che hanno tre dei quattro rulli divisi in due parti, con l'estremità finale inclinata di 30°, inclinazione che consente durante la normale mandrinatura, di allargare maggiormente la

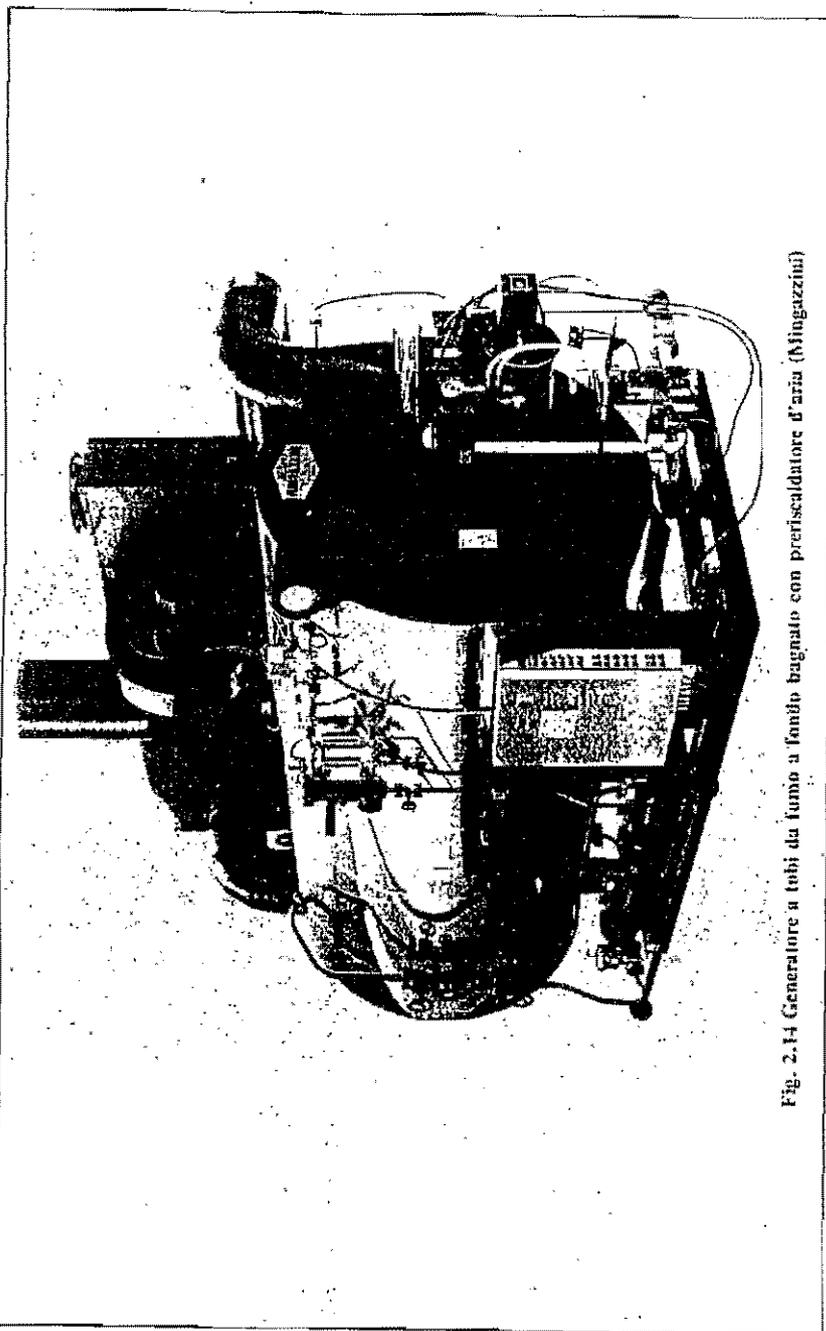


Fig. 2.14 Generatore a tubi a fondo bagnato con preriscaldatore d'aria (Mingazzini)

sezione terminale del tubo sporgente dalla piastra (scampanatura); il quarto rullo elimina eventuali rigature formatisi sul tubo (fig. 2.13).

L'operazione di mandrinatura si effettua inserendo il mandrino nel tubo e ruotando la spina affinché i rulli del mandrino aderiscano perfettamente al tubo. Per effetto della pressione esercitata dai rulli il tubo si allarga, si snerva ed aderisce al foro della piastra tubiera, foro il cui diametro non deve superare di $1/10$ il diametro del tubo. Successivamente la rotazione della spina lamina le pareti del tubo e provoca una riduzione dello spessore e conseguentemente l'aumento del diametro del tubo. Se si esercita una pressione insufficiente sul tubo, nel ritorno elastico del tubo stesso, effetto conseguente alla sfilatura del mandrino, si può verificare che l'acqua trafigli tra il tubo e la piastra tubiera (quando la perdita è minima si usa dire che la mandrinatura lacrima).

Se al contrario la pressione è troppo elevata, o il tubo viene assottigliato eccessivamente e si riducono notevolmente le proprie caratteristiche di resistenza o si rompono i campetti della piastra tubiera. Per evitare gli inconvenienti sopracitati è opportuno ricorrere ad un operatore esperto, indipendentemente che l'operazione venga effettuata manualmente e/o con trapani.

Oggi molte ditte impiegano mandrinatrici automatiche che, raggiunta la pressione desiderata, interrompono automaticamente l'operazione. Per assicurare una migliore tenuta ed una maggiore resistenza allo sfilamento, si suole effettuare all'interno del foro della piastra tubiera uno o due canalini.

Saldatura: i tubi subiscono prima una leggera mandrinatura e successivamente vengono saldati dalla sola parte fumi. Tutti i tubi svolgono la funzione di tubi tiranti; aumentando la resistenza delle piastre tubiere e con una adeguata saldatura non si hanno perdite tra tubo e piastre. Quando è necessario sfilare i tubi, occorre inizialmente asportare con un flessibile la saldatura senza intaccare la piastra tubiera. L'operazione deve essere eseguita da personale specializzato che abbia conseguito il patentino di saldatore. I tubi sostituiti dovranno essere corredati di certificato di omologazione.

Camere d'inversione o casse da fumo: costituiscono solitamente un prolungamento del fasciame. Racchiusi all'esterno da due portelloni che permettono l'ispezione e la pulizia delle casse da fumo, vengono internamente rivestiti con mattoni refrattari per salvaguardare le lamiere e ridurre la dispersione termica.

GENERATORE A TUBI DA FUMO A FONDO ASCIUTTO

È un generatore con la prima camera d'inversione esterna alla camera d'acqua e rivestita in materiale refrattario. Viene classificato in funzione del numero dei giri dei fumi.

A due giri di fumo

È il generatore più semplice nella sua costruzione e, a parità di condizioni, possiede il costo iniziale minore. Vari sistemi vengono utilizzati per avere il massimo scambio di calore.

Talvolta impartendo una forte turbolenza all'aria ed ai prodotti della combu-

stione, si ottiene un eccellente rendimento di combustione ed un elevato scambio termico.

Estrema importanza hanno, per le ispezioni e la pulizia, il numero e la sistemazione dei tubi del secondo passaggio. Inoltre una sistemazione sfalsata consente una più attiva circolazione dell'acqua e migliora lo scambio di calore.

A tre giri di fumo

Aumentano il percorso dei gas di combustione e alcuni elementi all'interno del generatore. Alla camera sul retro viene applicato uno schermo refrattario per convogliare i prodotti della combustione verso il secondo e il terzo passaggio (fig. 2.16).

I vari modelli si differiscono essenzialmente nel numero, dimensione e sistemazione dei tubi. Per ottenere il massimo rendimento con la minor perdita di carico, in questi tipi di generatori, i fumi nel secondo giro percorrono internamente circa il 60% del fascio tubiero e nel terzo giro il restante 40%.

A quattro giri di fumo

Nell'intento di aumentare ulteriormente il percorso dei gas dalla camera di combustione al camino e aumentare di conseguenza il rendimento si è rivolta l'attenzione nei confronti di una costruzione a quattro giri, soluzione adottata solo in caldaie ad acqua surriscaldata.

Esigenze particolari hanno indotto le case costruttrici a progettare nuovi generatori a combustione pressurizzata a fondo bagnato (fig. 2.17-2.18-2.19).

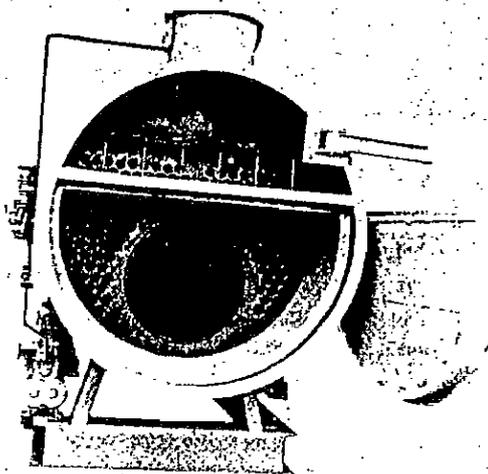


Fig. 2.16 Camera di inversione a fondo asciutto

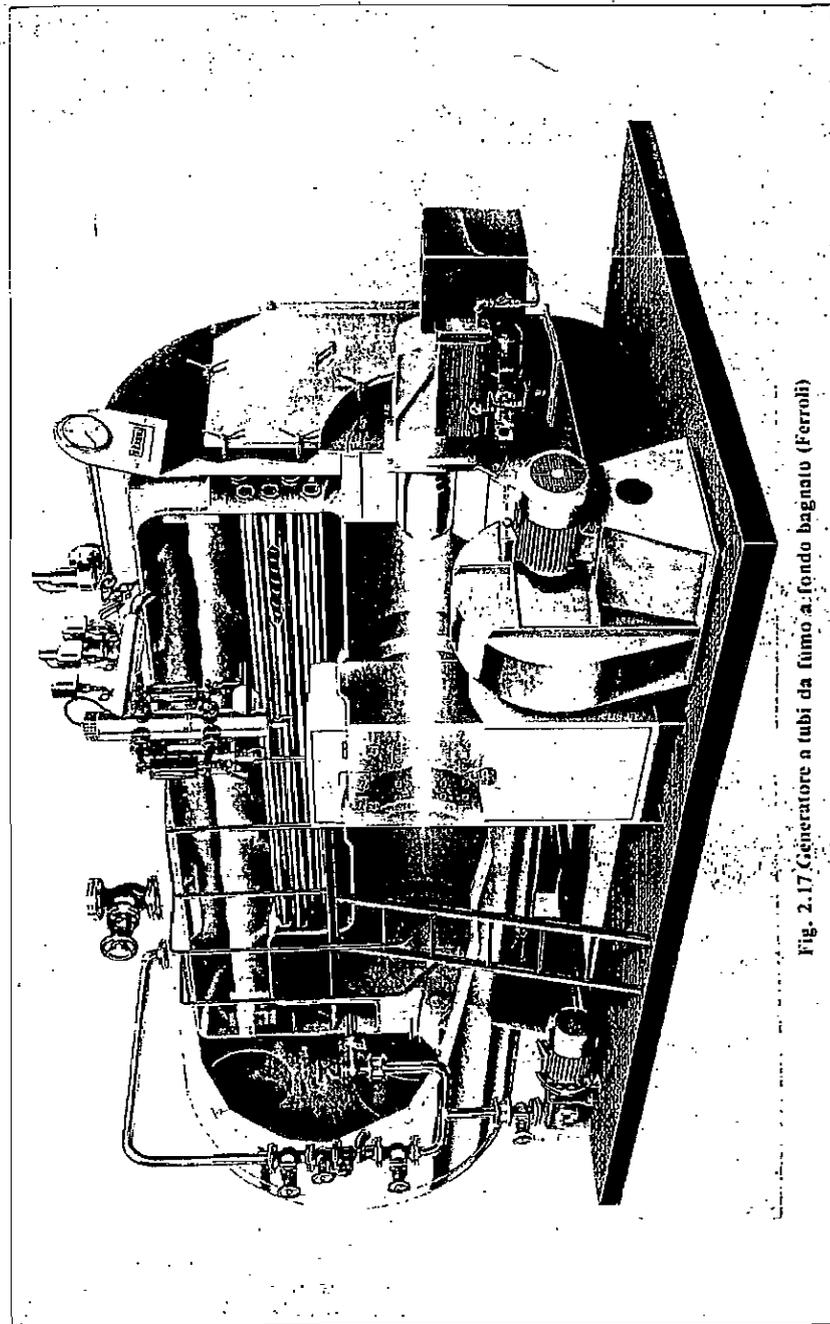


Fig. 2.17 Generatore a tubi da fumo a fondo bagnato (Ferrotti)

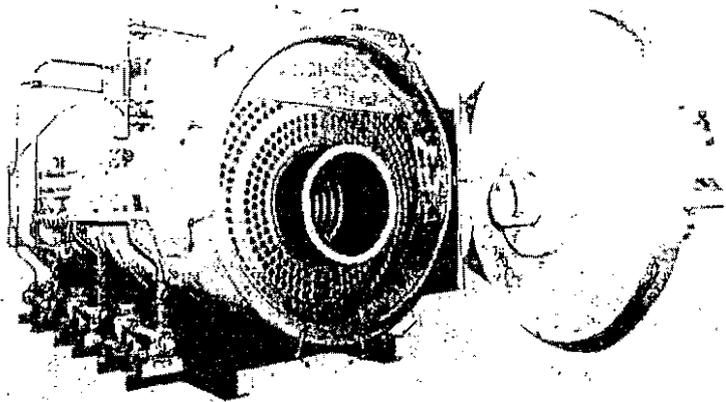


Fig. 2.18 Generatore a tre giri di fumo a fondo bagnato

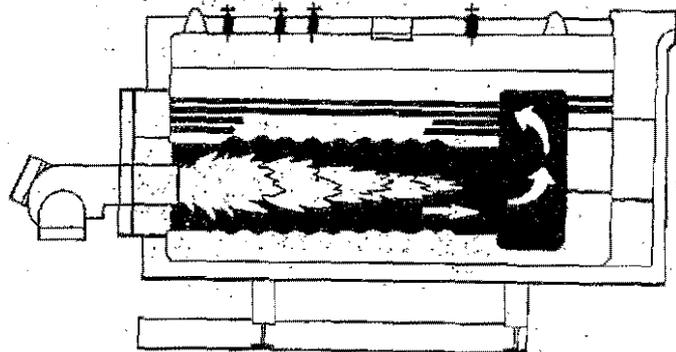


Fig. 2.19 Generatore a tre giri di fumo a fondo bagnato

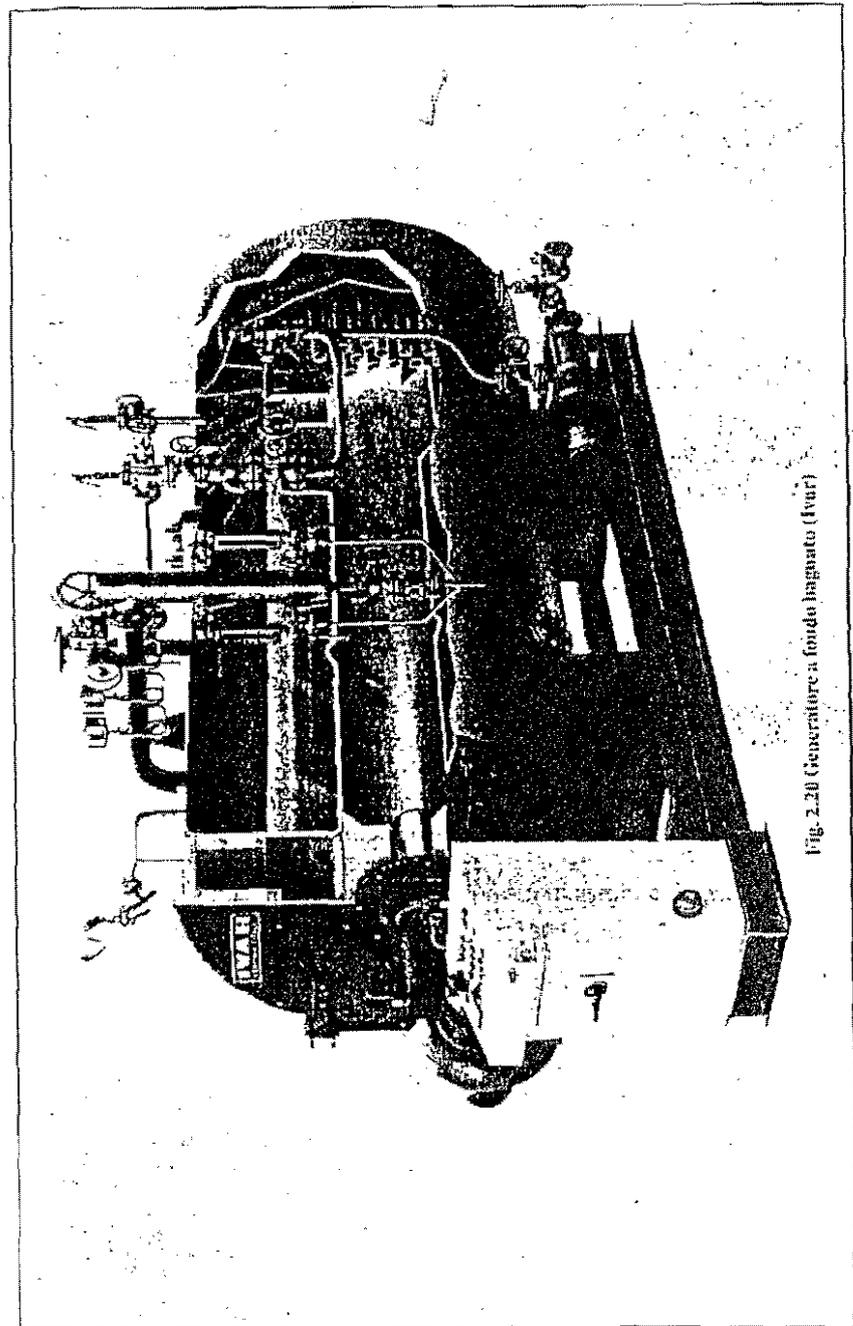


Fig. 2.20 Generatore a fondo bagnato (Ivar)

GENERATORE A TUBI DI FUMO A FONDO BAGNATO

La camera d'inversione posteriore anziché essere fuori dal corpo a pressione è interna e circondata dalla acqua di esercizio del generatore (fig. 2.20); così installata la camera d'inversione diviene superficie di riscaldamento. Sono tradizionalmente generatori a combustione pressurizzata (fig. 2.22); la fiamma sviluppandosi completamente all'interno del focolare con moto turbolento permette di ottenere uno scambio termico bilanciato per convezione e per irraggiamento.

I prodotti della combustione entrano nella camera d'inversione bagnata ad una temperatura di $1000 + 1100^{\circ}\text{C}$ e subiscono un forte raffreddamento. All'interno dei tubi, secondo giro, attraverso i quali i fumi ritornano nella parte anteriore, la temperatura dei fumi stessi scende fino a $400 + 450^{\circ}\text{C}$. Attraverso i rimanenti tubi, i fumi percorrono il terzo giro e ritornano nella parte posteriore del generatore e giungono alla base del camino; la temperatura è scesa a $210 + 230^{\circ}\text{C}$.

In seguito all'elevata potenzialità specifica ed alla mancanza del duomo è necessario porre all'interno del fasciame, sotto la presa del vapore, degli schermi protettivi per obbligare il vapore ad effettuare un maggior percorso prima di uscire e liberarsi della maggiore quantità di acqua possibile. È importante anche, per ottenere un titolo maggiore e ridurre gli squilibri termici, installare un opportuno regolatore di livello; si sconsiglia l'utilizzo dei regolatori del tipo discontinuo, attacca e stacca (on-off), in quanto introducono un'elevata quantità d'acqua provocando forti squilibri termici.

Occorre porre particolare attenzione nella fase costruttiva affinché l'acqua d'alimento, caratterizzata da una temperatura relativamente bassa, non vada ad investire direttamente il focolare.

Rispetto ai generatori a fondo asciutto, il fondo bagnato offre:

- minor manutenzione ai refrattari;
- minore dispersione di calore;
- maggiore potenzialità specifica;
- maggiore rapidità a raggiungere la pressione di esercizio;
- minor ingombro a parità di superficie di riscaldamento;
- miglior rendimento termico;

Per contro si hanno:

- possibilità di tensioni sul fondo bagnato se il carico termico non è uniformemente distribuito;
- necessità di un controllo periodico all'acqua di reintegro e di esercizio;
- necessità di una ottimale regolazione del bruciatore per evitare elevate temperature dei fumi nella camera d'inversione.

GENERATORI A TUBI DI FUMO AD INVERSIONE DI FIAMMA

Costruttivamente presentano rispetto ad un generatore a fondo bagnato, aventi stesse caratteristiche un focolare con diametro maggiore e chiuso sul fondo (fig. 2.21-2.23).

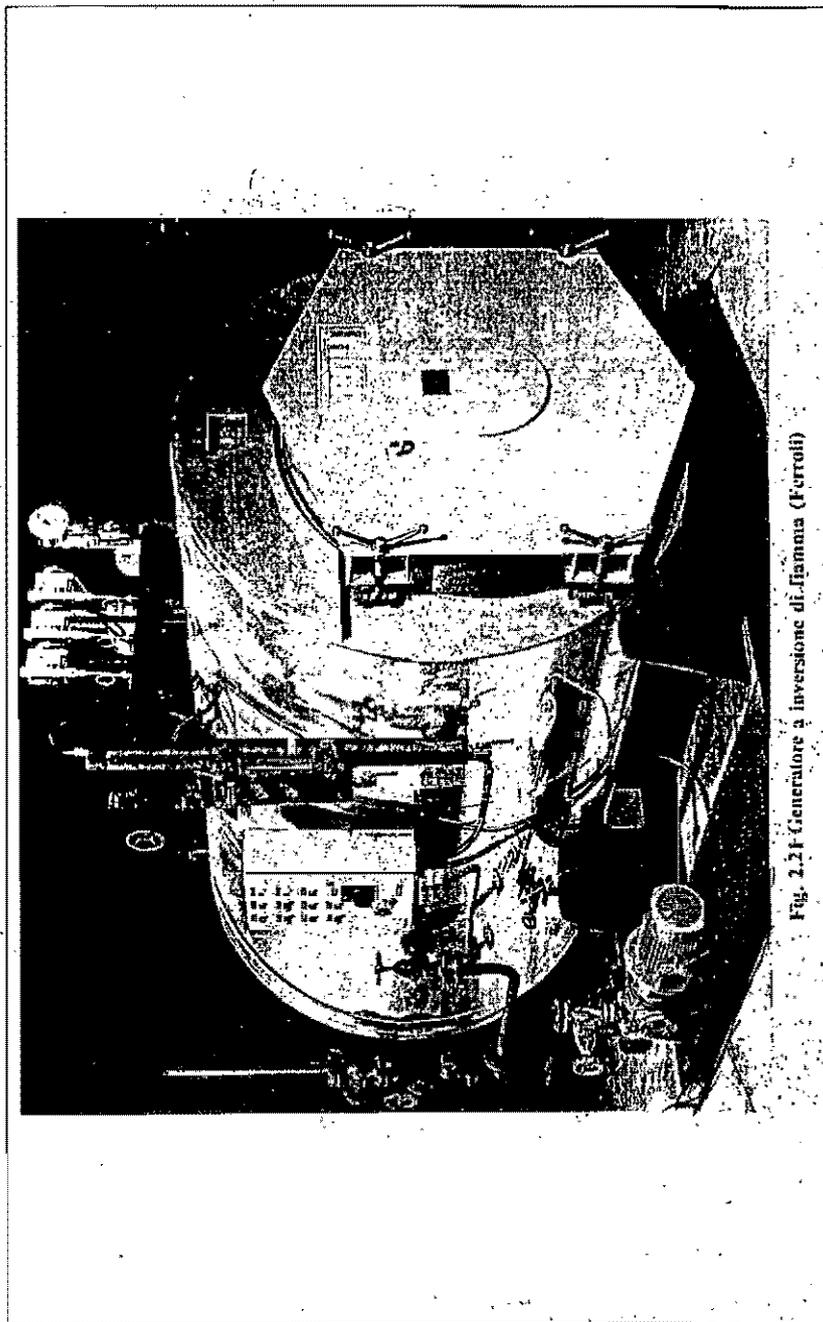


Fig. 2.21 - Generatore a inversione di fiamma (Ferrol)

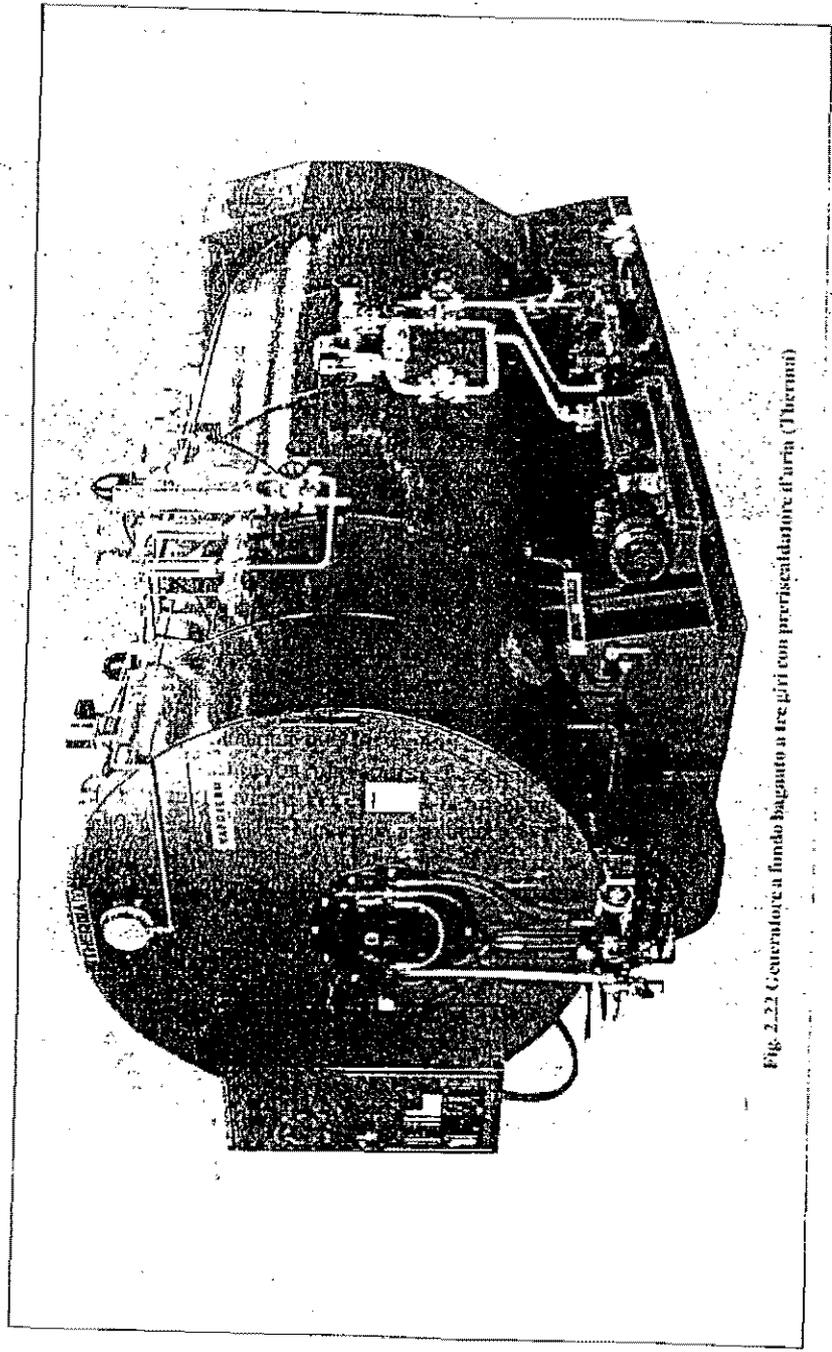


Fig. 2.22 Generatore a fondo bagnato a tre giri con preriscaldatore d'aria (Thermal)

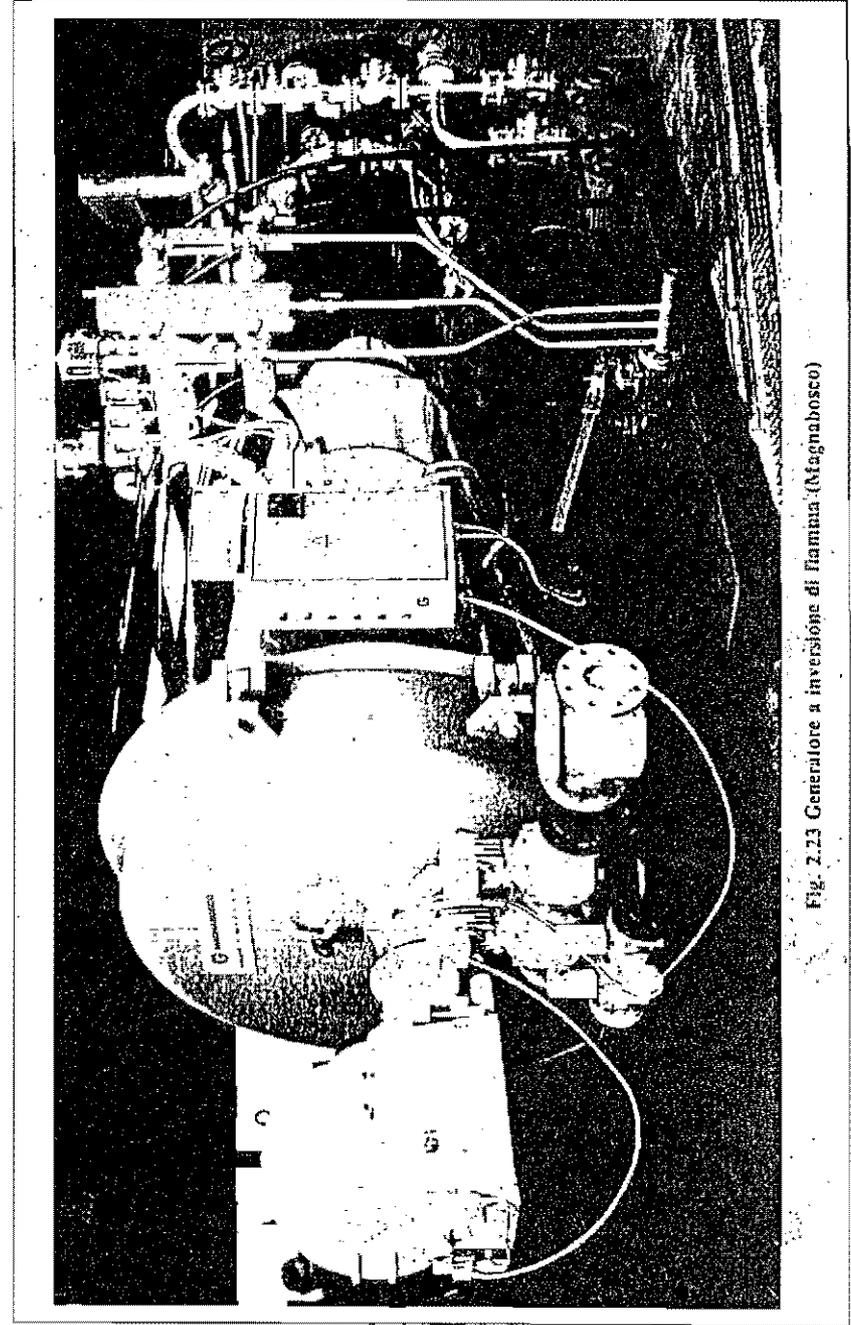


Fig. 2.23 Generatore a inversione di fiamma (Magnabosco)

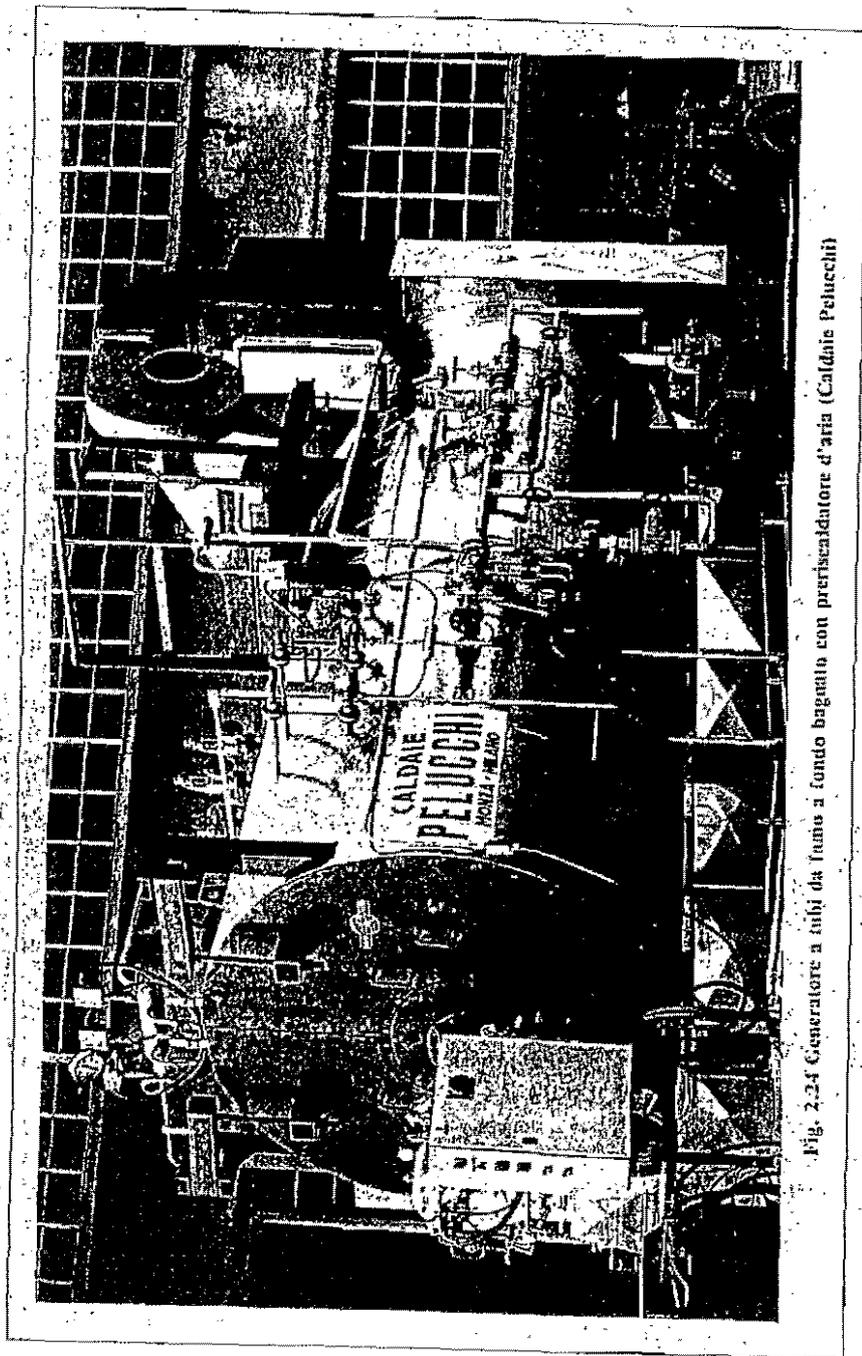


Fig. 2.24 Generatore a tubi da fumo a fondo bagnato con preriscaldatore d'aria (Caldaie Pelucchi)

I fumi percorrono la camera di combustione, raggiungono il fondo dove il focolare cieco ne obbliga una prima inversione. In senso inverso e circolarmente sulla parete esterna ritornano sul davanti e raggiungono la camera d'inversione anteriore in refrattari ricavata nel portellone. Dalla camera anteriore imboccano i tubi da fumo, sistemati in modo sfalsato intorno al focolare, e giungono alla camera posteriore dove vengono convogliati al camino.

I generatori ad inversione di fiamma vengono sempre costruiti a combustione pressurizzata in quanto la presenza dei turbolatori ed il particolare percorso dei fumi rendono irrilevante il tiraggio naturale. La richiesta di una pressurizzazione superiore obbliga ad una attenta valutazione nel dimensionamento del bruciatore, in quanto il ventilatore deve fornire una pressione tale da poter vincere le perdite di carico del generatore indipendentemente dal tiraggio naturale.

Tale particolarità consente di:

- * equilibrare il carico termico sulla superficie del focolare
- * aumentare la turbolenza dell'aria migliorando la combustione e la trasmissione del calore
- * diminuire la superficie di scambio a convezione (fascio tubiero)
- * eliminare i refrattari riducendo l'inerzia termica del generatore e le opere manutentorie

Questi prototipi sono idonei per basse-medie pressioni; potenzialità fino a 2-3 t/h e/o per produzione di acqua calda

GENERATORE SEMIFISSO VERTICALE

Viene costruito per piccole industrie o nei casi in cui limitazioni di spazio impediscono l'installazione di altri tipi di generatore (fig. 2.26).

Le caratteristiche sono:

- bassa produttività specifica di vapore
- rapida messa in pressione
- facilità di installazione e di conduzione

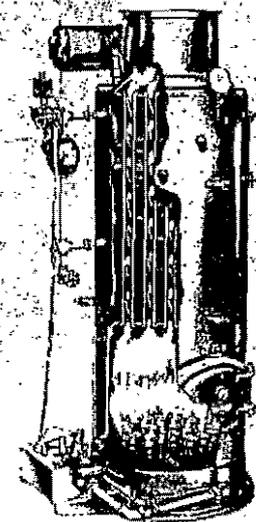


Fig. 2.25

In questa unità verticale a tubi da fumo, speciali inserti elicoidali inseriti nei tubi dove passano i gas aumentano il trasferimento di calore. Una camera ad acqua circonda la camera di combustione della caldaia per impedire il surriscaldamento.

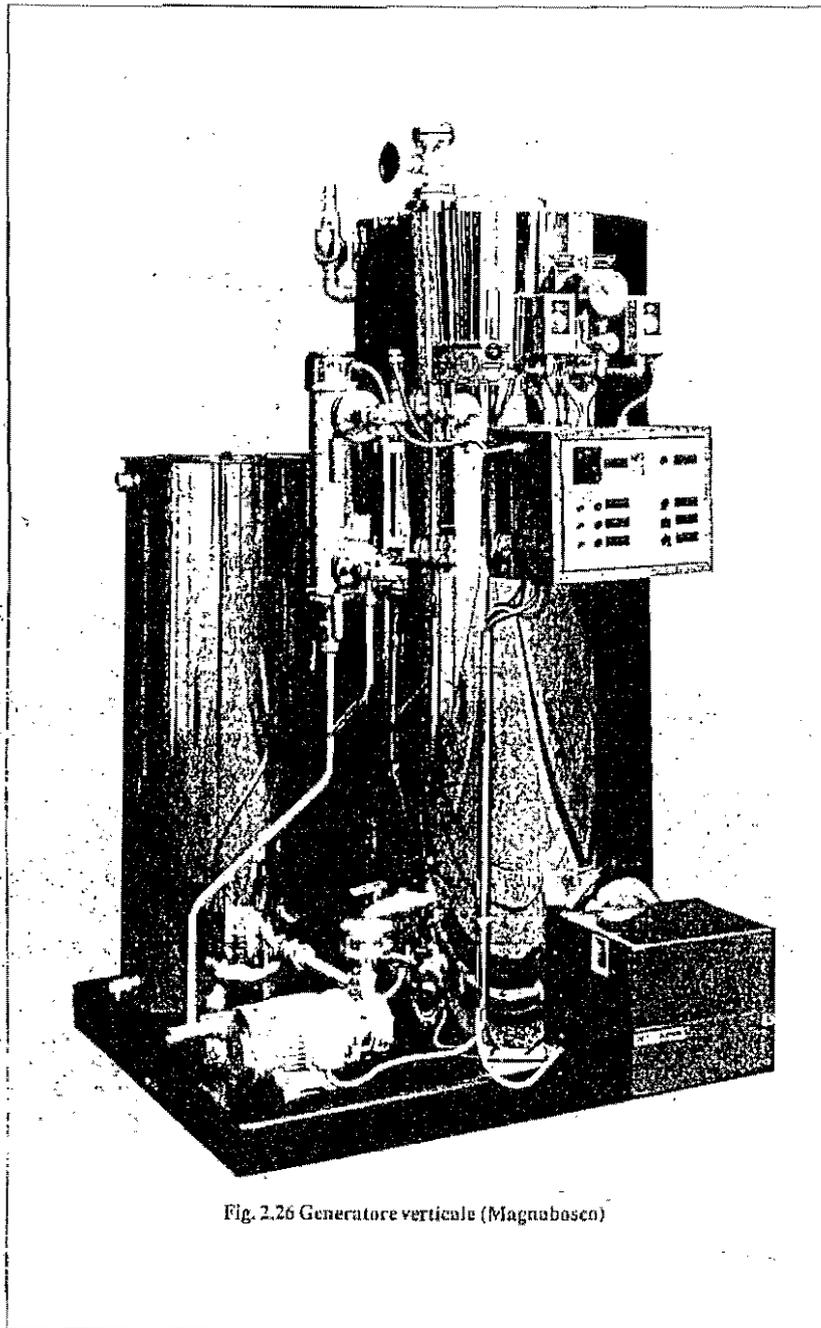


Fig. 2.26 Generatore verticale (Magnobosco)

E' un generatore costituito da piastre tubiere stampate, unite al fasciame ed al focolare mediante saldatura elettrica; i tubi vengono mandrinati e sbordati verso la camera di combustione.

Per aumentare lo scambio termico di calore nell'unico passaggio dei prodotti della combustione, elementi elicoidali vengono applicati all'interno dei tubi, determinando così un moto circolare del gas caldo contro le stesse superfici dei tubi (fig. 2.25).

La massa dei tubi e le dimensioni ridotte non consentono la completa pulizia interna; occorre quindi alimentare il generatore con acqua trattata.

E' caratterizzato da un basso rendimento termico.

2.5 GENERATORI A TUBI D'ACQUA

Aumentando le potenze e soprattutto le pressioni d'esercizio, l'impiego dei generatori a tubi di fumo diviene problematico, in quanto le alte pressioni comportano forti aumenti di spessore del fasciame rendendo antieconomica la costruzione di tali generatori. Si preferisce pertanto ricorrere a generatori a tubi d'acqua che consentono pressioni d'esercizio notevolmente più elevate.

La costruzione dei primi generatori di vapore a tubi d'acqua risale al 18mo secolo. Il modello originale, brevettato da un certo Blakey, è ormai lontano rispetto alle progettazioni d'oggi; gli ultimi venti anni in particolare hanno rappresentato un periodo di trasformazioni altamente significative.

Questi generatori sono caratterizzati dal contenere un minor volume d'acqua e schematicamente costituiti da un insieme di tubi all'interno dei quali circola l'acqua; tubi collegati a corpi cilindrici definiti collettori; l'acqua all'interno dei tubi è scaldata, vaporizzata e surriscaldata dai fumi che lambiscono la parte esterna dei tubi. Questi generatori consentono di raggiungere elevatissime potenze, altissime pressioni, elevate produzioni specifiche di vapore, rendimenti termici oltre il 94%, minore pericolosità allo scoppio, minore ingombro a parità di potenza; per contro richiedono attenzione alle variazioni di carico per la piccola quantità di acqua involta ed in genere maggiore attenzione da parte dei conduttori.

BABCOCK WILCOX

Rappresenta il prototipo dei generatori multitubolari suborizzontali. È costituito da un corpo cilindrico superiore, disposto orizzontalmente e un fascio di tubi vaporizzatori paralleli leggermente inclinati, facenti capo a testate collettrici collegate a loro volta, mediante tubi detti di circolazione, al corpo bollitore che funge anche da separatore di vapore (fig. 2.27).

Il corpo cilindrico è chiuso da due fondi convessi raccordati e allestiti con lamiera calandrate e unite tra loro mediante chiodatura o saldatura.

Le testate collettrici sono a sezione quadra e spesso sagomate per consentire una disposizione sfalsata dei tubi, tale da obbligare i gas a lambire efficacemente i tubi d'acqua (fig. 2.28).

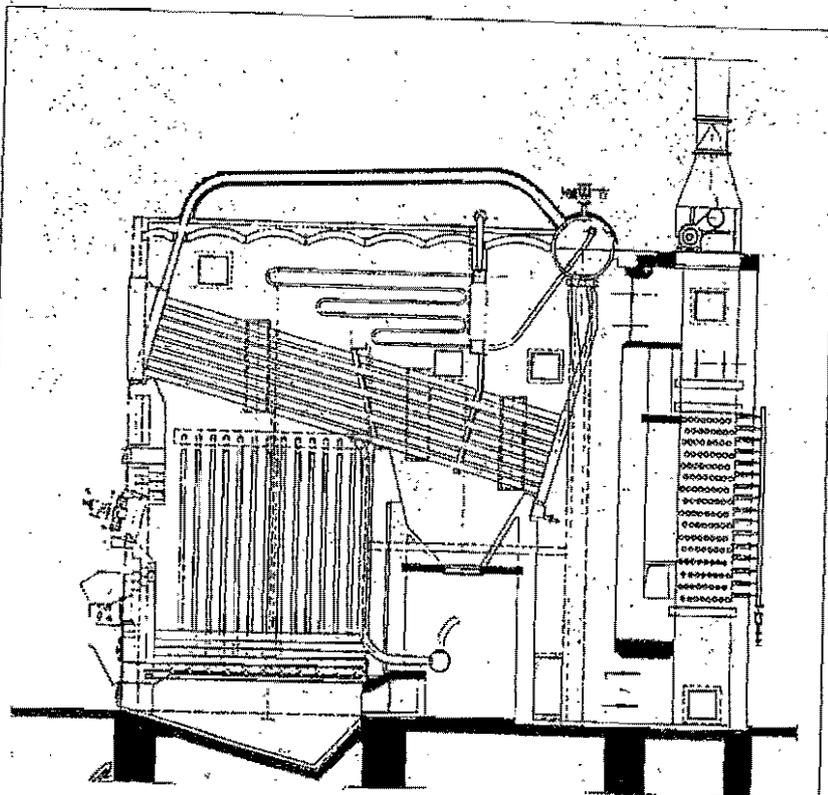


Fig. 1.27 Babcock Wilcox



Fig. 2.28 Testata collettrice



Fig. 2.29 Tappo di chiusura ad autoclave

Sulle pareti opposte a quelle dove vengono fissati i tubi, sono praticati dei fori, chiusi durante il funzionamento da tappi ad autoclave (fig. 2.29) che consentono la mandrinatura, la pulizia ed eventualmente la sostituzione dei tubi.

Ai collettori della testata posteriore viene collegata una cassetta a sezione quadra, definita collettore, per raccogliere i depositi fangosi.

Il generatore è privo del duomo di vapore; l'estrazione del vapore avviene attraverso una serie di intagli praticati in un tratto di tubo collegato con la presa. Il tubo chiuso alle estremità è installato nella parte superiore della camera del vapore.

L'acqua scende, mediante i tubi di caduta, nei collettori posteriori; mista a vapore, sale in quelli anteriori e ritorna al corpo cilindrico dove si separa il vapore.

La circolazione è quindi naturale, cioè affidata alla sola differenza fra la densità del liquido e della miscela acqua-vapore.

La muratura con l'apporto di opportuni diaframmi refrattari determina i tre giri dei prodotti della combustione. I fumi si innalzano dal focolare, posto sul davanti, e investono una parte dei tubi vaporizzatori, ripiegano verso la parte inferiore dietro il primo diaframma, risalgono dopo il diaframma; lambiscono l'ultima parte del fascio tubiero e si dirigono al camino. I fumi lambiscono anche una parte del corpo cilindrico.

Il generatore Babcock Wilcox è generalmente dotato di economizzatore posto alla base del camino, talvolta seguito dal preriscaldatore dell'aria comburente.

Esistono anche generatori multitubolari a tubi subverticali, con ampia camera di combustione (Tosi-Garbe).

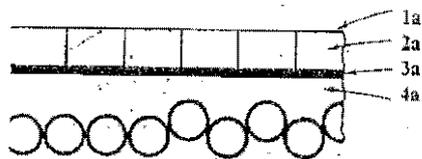
I tubi vaporizzatori disposti con fortissima inclinazione sono collegati a più corpi cilindrici mediante mandrinatura; talvolta il corpo inferiore viene sostituito da un semplice collettore in quanto l'acqua contenuta non partecipa alla circolazione. I tubi hanno solitamente uno sviluppo elevato nella camera di combustione. Nella parte più fredda dei condotti del fumo si applicano i condotti per alimentare i tubi vaporizzatori.

Presentano:

- circolazione più rapida dell'acqua
- elevata produzione specifica di vapore.

La caratteristica negativa dei generatori multitubolari a grande camera di combustione è che la grande quantità di refrattari presenti, accumula molto calore; rendendo poco elastico il generatore alle rapide variazioni di carico; i refrattari cioè svolgono azione di grande volano termico. Inoltre gli ossidi metallici presenti nelle ceneri dei fumi attaccano i refrattari sgretolandoli.

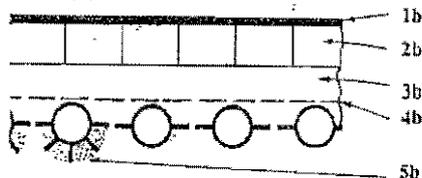
Lo sviluppo di tali generatori ha portato a rivestire le pareti del focolare mediante tubi evaporatori che ricevono la massima quantità di calore per irraggiamento e svolgono la funzione di schermo alle pareti refrattarie della



- 1a) Carcassa leggera d'acciaio
- 2a) Blocco isolante
- 3a) Carcassa pesante d'acciaio
- 4a) Isolante plastico

a) I tubi tangenti sono preferiti nelle camere di combustione di molte caldaie piccole e grandi. In alcuni progetti i tubi sono sfalsati. Questa disposizione offre un'ampia superficie assorbente calore, rinforzata da blocchi solidi e da isolanti plastici e da una pesante carcassa esterna di acciaio.

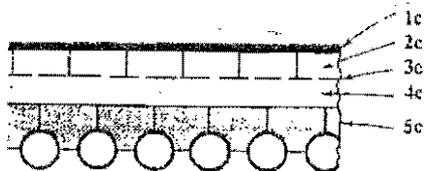
A



- 1b) Carcassa esterna d'acciaio
- 2b) Blocchi isolanti
- 3b) Isolante plastico
- 4b) Intelaiatura metallica
- 5b) Cromo o scorie naturali

b) Perni d'acciaio o alette longitudinali sono spesso saldati ai tubi di parete non tangenti. In alcuni progetti sporgono dal tubo nella camera di combustione e sono ricoperti da un refrattario a base di cromo o scorie. Per assicurare la tenuta della camera di combustione, vengono spesso saldati dei perni adiacenti (illustrazione a destra).

B

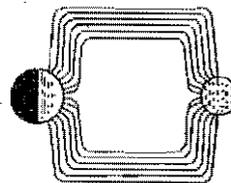


- 1c) Carcassa esterno d'acciaio
- 2c) Blocchi isolanti
- 3c) Intelaiatura metallica
- 4c) Isolante plastico
- 5c) Mattone modellato a fuoco

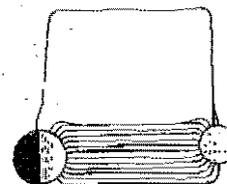
c) Nel caso di richiesta di raffreddamento modesto è previsto un progetto con tubi distanziati e superfici di parete composte da parti di mattoni a fuoco. Il mattone è rinforzato da molti strati isolanti e da una pesante carcassa d'acciaio. Nelle costruzioni di pareti è spesso usata una intelaiatura rinforzata metallica.

C

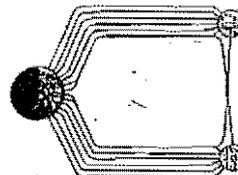
Fig. 2.30 Variazioni tipiche al progetto di pareti raffreddate ad acqua



Il tipo "O" è anch'esso un generatore di vapore di tipo compatto. Il trasporlo limita l'altezza della camera di combustione per cui, a pari capacità, è spesso richiesta una caldaia più lunga. Il fondo delle caldaie di tipo "D" e "O" è generalmente pavimentato con mattonelle.



Il tipo "D" permette una maggiore flessibilità. Qui i più attivi ascendenti di vapore entrano nel collettore vicino alla linea d'acqua. I bruciatori possono essere sistemati alla fine delle pareti o fra i tubi nel rigonfiamento della "D", ad angoli retti rispetto al collettore.



Il tipo "A" è composto di due piccoli corpi cilindrici o collettori in basso. Il collettore in alto è più grande per permettere la separazione dell'acqua e del vapore. La maggior parte della produzione di vapore ha luogo nei tubi centrali della parete della camera di combustione che entrano nel collettore.

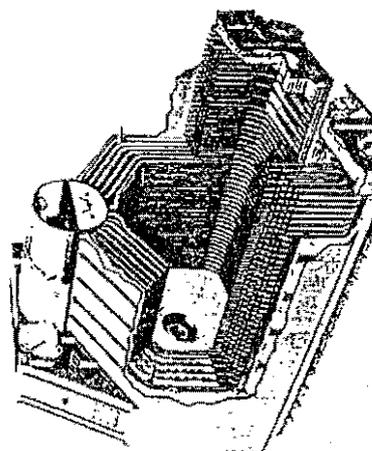
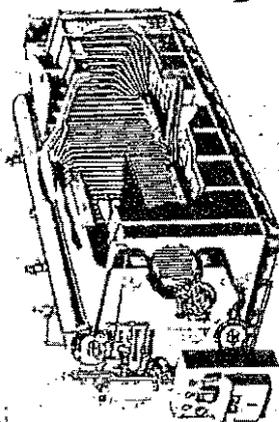
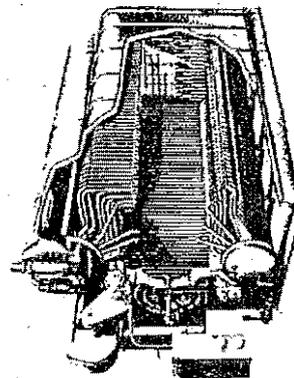


Fig. 2.31 Generatori moderni monoblocco

camera di combustione.

Vengono costruiti generatori con:

- camera di combustione completamente schermata: tutte le pareti della camera sono totalmente rivestite da tubi vaporizzatori

- camera di combustione parzialmente schermata: non si hanno in tutte le pareti presenza di tubi vaporizzatori.

Queste due soluzioni consentono di ottenere i seguenti vantaggi:

- * minor spesa di manutenzione alle murature;
- * minor ingombro a parità di superficie di riscaldamento;
- * minor tempo a portarsi a regime;
- * maggior potenzialità specifica;
- * maggior rendimento termico.

Soluzioni diverse sono state applicate per la schermatura della camera di combustione.

Molto utilizzato è il sistema di costruzione a tubo tangente (fig. 2.30a) con l'intento di ottenere la massima superficie di scambio tra acqua e fumi.

Se viene eliminato un tubo su due e rimpiazzato da una aletta di metallo (fig. 2.30b) questa trasferisce efficacemente il calore ai tubi contigui, la circolazione all'interno dei tubi è molto più rapida e talvolta è sufficiente ad aumentare l'assorbimento di calore di ogni tubo senza che la temperatura del metallo divenga troppo elevata.

Infine se i tubi vengono disposti distanziati (fig. 2.30c) ricevono il calore per irraggiamento diretto della fiamma e del refrattario.

GENERATORI MODERNI MONOBLOCCO

Sin dalla loro apparizione sul mercato hanno avuto una diffusione straordinaria di impiego e crescita in dimensioni.

La maggior parte seguono oggi le configurazioni strutturali indicate in fig. 2.31; cioè i tipi A, D, O.

La produzione oraria di vapore per questi tre prototipi è compresa tra le 5 t/h e le 350 t/h.

GENERATORE A DUE CORPI A D

Risponde ai moderni requisiti di:

- ingombro limitato
- rapida messa in pressione ed adattabilità ai vari carichi
- grande produzione di vapore con elevato rendimento termico
- semplice e veloce installazione

Il generatore (fig. 2.33, 2.34, 2.35) è formato nella sua forma classica da due corpi cilindrici, da una camera di combustione prismatica costituita da tubi tra loro tangenti e percorsi dall'acqua. Nella camera di combustione, che scambia

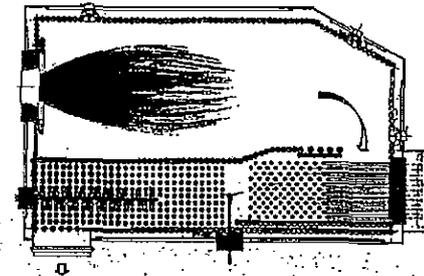


Fig. 2.32A A due giri di fumo

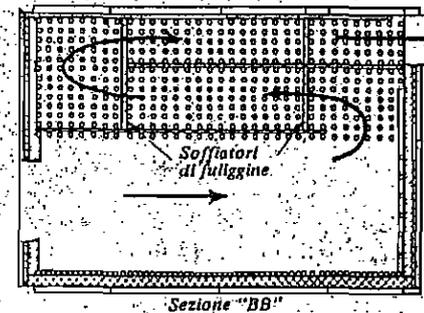


Fig. 2.32B A tre giri di fumo

Fig. 2.32 Percorso dei fumi in generatore a D a tubi d'acqua

calore per irraggiamento, viene ovviamente sviluppata la combustione. Nella parte laterale opposta del generatore, vi sono i due corpi cilindrici orizzontali, uno superiore ed uno inferiore. Quello superiore ha la funzione di raccogliere la miscela acqua/vapore proveniente dai tubi bollitori e di separare il vapore dall'acqua. Quello inferiore funge da collettore d'acqua per i tubi del fascio e della camera di combustione.

I due corpi cilindrici sono collegati tra di loro nei seguenti modi:

- da un fascio di tubi verticali che costituisce la zona di scambio termico a convezione. I tubi nelle zone più fredde fungono da tubi di caduta non essendo previsti tubi specifici;

- da un gruppo di tubi a forma di "D" tangenti e saldati tra loro, innestati in testa nei corpi cilindrici lungo una generatrice formando una parte della camera di combustione per lo scambio termico per irraggiamento. La parte inferiore della camera di combustione, definita comunemente suola, viene rivestita di mattoni refrattari per ridurre lo scambio termico per irraggiamento. La considerevole lunghezza dei tubi determina un percorso piuttosto lungo, con possibile formazione di sacche di vapore che talvolta pregiudicano la resistenza dei tubi e disturbano una omogenea circolazione.

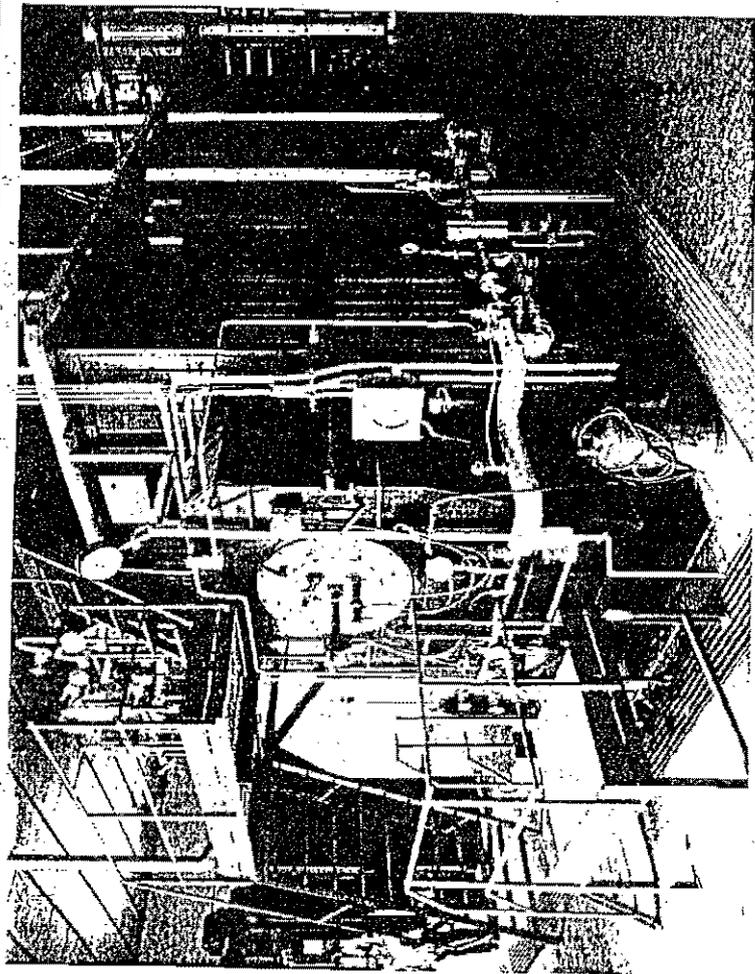


Fig. 2.33 Generatore a tubi d'acqua a D (CCT)

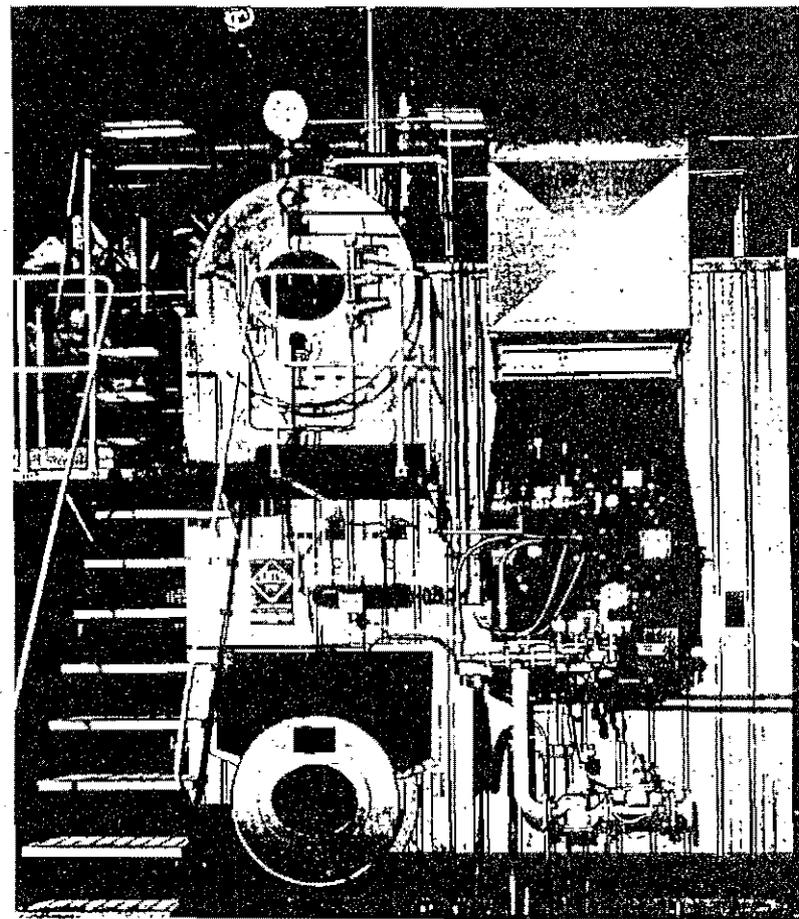


Fig. 2.34 Generatore a tubi d'acqua a D (Caldale Pelucchi)

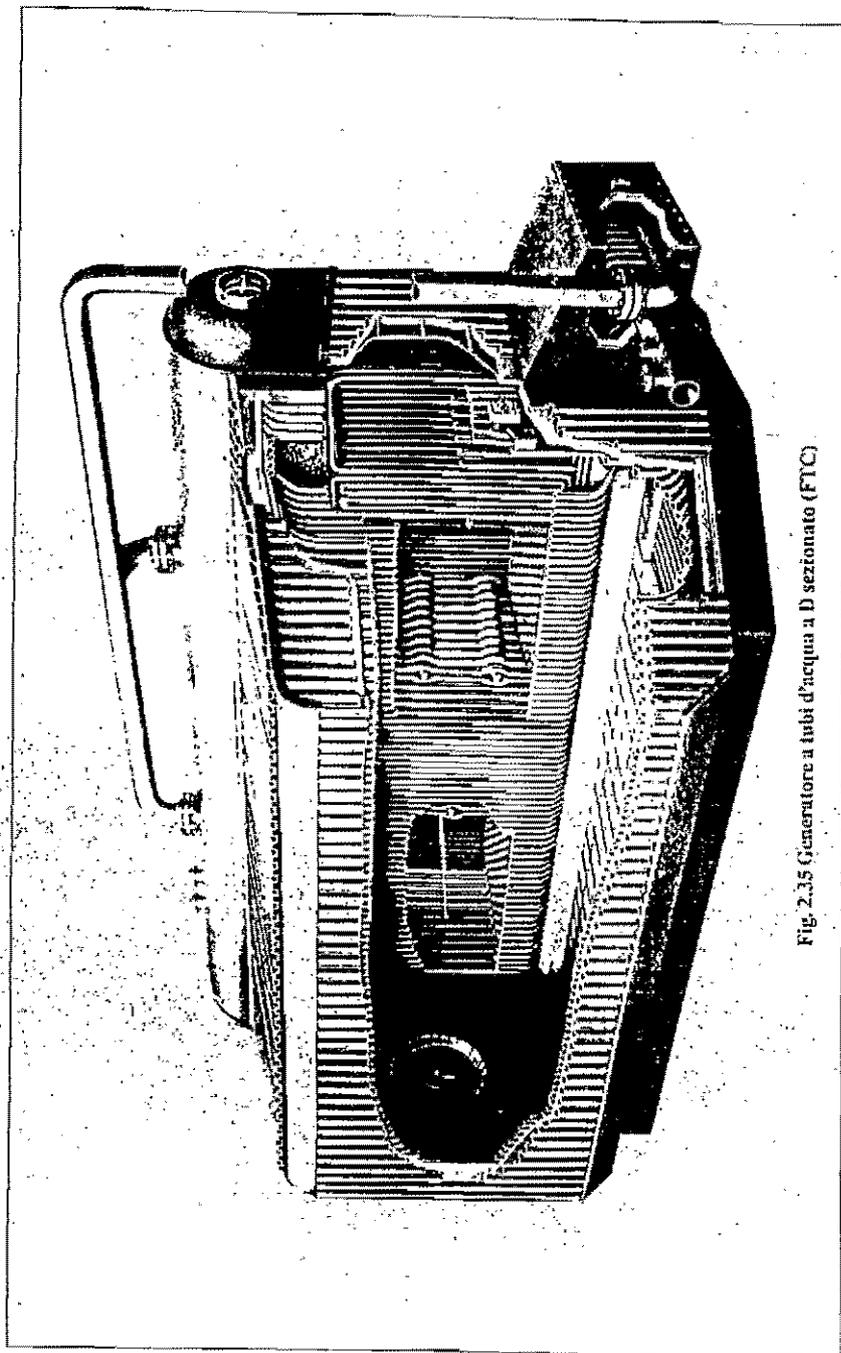


Fig. 2.35 Generatore a tubi d'acqua a D sezionato (FTC)

- da pareti di tubi tangenti verticali, saldati tra loro e collegati ai due collettori per realizzare la chiusura frontale e posteriore della camera di combustione. Sulla parete frontale è realizzata l'apertura per l'alloggiamento del bruciatore.

Lato acqua

- l'acqua di alimento arriva al corpo cilindrico superiore e viene distribuita al suo interno, tramite un tubo opportunamente formato assicurando una uniformità di distribuzione lungo tutto il corpo;

il flusso termico in camera di combustione e nel fascio tubiero richiama l'acqua che viene così distribuita in tutti i tubi a seconda di quanto è il loro contributo allo scambio;

- la miscela acqua/vapore che si forma nei tubi, arriva nel corpo cilindrico superiore in cui il vapore viene separato e prelevato, mentre l'acqua ritorna in circolazione.

Lato fumi

La combustione che avviene nella camera a "D" è del tipo pressurizzato. Nella camera avviene lo scambio termico per irraggiamento dovuto all'alta temperatura delle fiamme ed alla loro luminosità.

I prodotti della combustione escono dalla camera tramite apposito vano imboccando il fascio tubiero. La turbolenza che deriva dal percorso in mezzo ai tubi dei fumi caldi, realizza uno scambio termico prevalente a convezione con la miscela acqua-vapore che circola nei tubi del fascio; ne deriva una diminuzione di temperatura dei fumi all'uscita del generatore. I prodotti della combustione possono percorrere due (fig. 3.32A) oppure tre giri (fig. 3.32B) prima di raggiungere il camino. Se richiesto può essere installato il surriscaldatore alla fine della camera di combustione eliminando la parte terminale dei tubi vaporizzatori.

Tali generatori appartengono tradizionalmente ai semifissi monoblocco ed hanno una pressione massima di 128 bar e produzione oraria massima di 50 t/h. Se anziché monoblocco vengono montati sul luogo di installazione hanno una produzione oraria di 250 t/h.

Solitamente costruiti a combustione pressurizzata vengono impiegati quando le pressioni d'esercizio richieste superano i 15 bar o quando la produzione di vapore supera le 10-12 t/h. Se utilizzati con combustibili poveri vengono costruiti con combustione depressurizzata (fig. 2.34).

Indicato anche per combustibile liquido o gassoso, offre un buon rendimento anche privo di economizzatore qualora vi sia un buon recupero di condense nell'impianto utilizzatore.

Offre un rendimento effettivo non inferiore all'87% senza l'ausilio di recuperatori di calore e del 93% con l'adozione di detti apparecchi, generalmente installati nell'ultima parte del fascio tubiero al termine dei giri da fumo.

GENERATORI A DUE CORPI CILINDRICI SUPERIORI

I due corpi cilindrici superiori, consentono di avere a disposizione un notevole specchio evaporante ed una grande riserva di vapore; la camera di combustione è costituita da una serie di circuiti elementari con alimentazione dell'acqua indipendente e con tubi evaporanti del massimo sviluppo possibile onde ottenere, già al suo arrivo ai corpi cilindrici, un valore al più elevato grado di saturazione. I tubi di caduta sono esterni al giro dei gas e separati da particolari schermi nella zona corrispondente alla camera di combustione.

Le particolarità costruttive del generatore consentono una circolazione abbondante e unidirezionale a qualsiasi carico e pressione; è inoltre possibile effettuare rapidi avviamenti grazie alla elevata produzione specifica.

L'alimentazione dell'acqua avviene nei due corpi cilindrici contemporaneamente e in modo continuo per ridurre la dispersione di calore.

GENERATORE PER L'IMPIEGO DI COMBUSTIBILI SOLIDI

Viene solitamente applicato in industrie in cui risultano residui solidi di lavorazione utilizzabili come combustibile e definiti con termine generico "combustibili poveri" (polverino, segature, pezzi di legno ecc.). Si ottiene in questo modo il doppio scopo di distruggere, per incenerimento, voluminosi materiali di risulta e di sfruttarne le calorie di combustione con grandi economie di esercizio.

Per ogni tipo di combustibile occorre un appropriato sistema di trasporto e di introduzione nella camera di combustione: nel caso di legna il generatore viene corredato di un ampio focolare in refrattario, con griglia inclinata; se si dispone di polverino di legna si impiegano particolari dosatori con trasporto pneumatico; in ogni caso al generatore vengono applicati uno o più bruciatori di nafta per l'avviamento a freddo e per un esercizio autonomo in mancanza di combustibile solido.

E' un generatore a maggiore volume d'acqua, con corpi cilindrici trasversali; la camera di combustione è interamente schermata.

I fumi dopo aver percorso tre giri in altrettanti settori di tubi, vengono avviati al camino solitamente a tiraggio meccanico.

Tra i vari settori dei fasci tubieri, sono ricavati ampi spazi per la deposizione dei residui solidi contenuti nei fumi, ed apposite portelle, sistemate sulle fiancate, che permettono il controllo e la pulizia dell'interno con soffiatori di fuliggine.

GENERATORI A CONVEZIONE PER ELEVATE POTENZIALITÀ

La pressione di progetto può raggiungere i 128 bar, valore massimo per poter utilizzare una circolazione naturale.

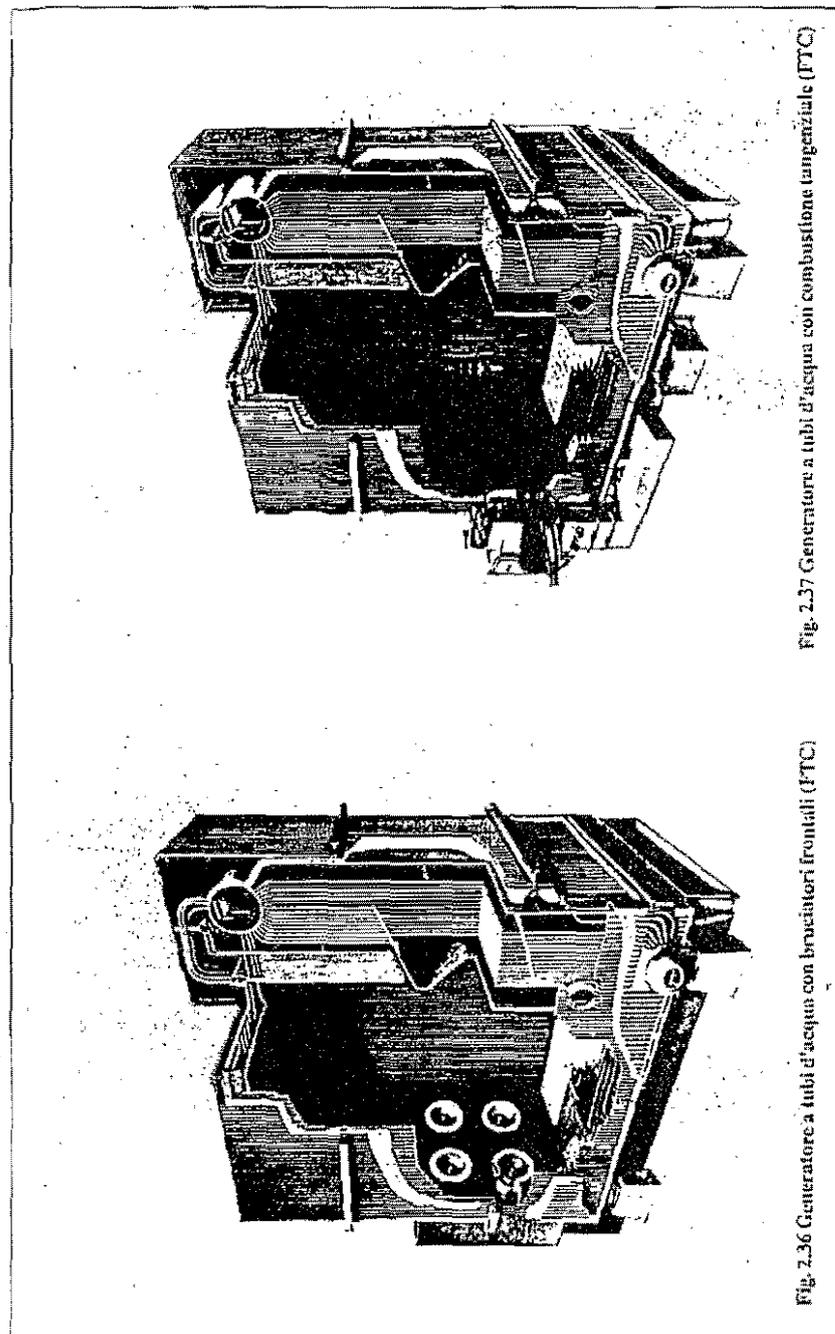


Fig. 2.37 Generatore a tubi d'acqua con combustione tangenziale (PTC)

Fig. 2.36 Generatore a tubi d'acqua con bruciatori frontali (FTC)

Vengono costruite unità a struttura portante per potenzialità fino a 450 t/h ed una temperatura del vapore di 540 °C.

Sono generatori costituiti da due collettori sovrapposti; la diversa disposizione dei tubi e dei giri da fumo consentono di installare il surriscaldatore sul cielo della camera di combustione in zona radiante. Il percorso dei fumi trasversale ai corpi stessi avviene in una unica direzione dal davanti verso la parte posteriore.

I bruciatori possono essere disposti frontalmente (fig. 2.36) o sugli angoli per una combustione tangenziale (fig. 2.37).

2.6 CONFRONTO FRA GENERATORI A TUBI DA FUMO E A TUBI D'ACQUA

I due tipi di generatori hanno strutture totalmente diverse, ma, entro certi limiti vengono utilizzati indifferentemente alle stesse condizioni di potenzialità e di pressione.

È perciò interessante mettere a confronto i due sistemi senza tener conto della potenzialità e/o della pressione, per soppesare gli eventuali vantaggi e svantaggi dell'uno e dell'altro generatore.

I vantaggi che presentano i generatori a tubi d'acqua sono:

- migliore idoneità a produrre vapore ad alta pressione in quanto essendo costituiti prevalentemente da tubi e collettori a dimensioni ridotte, vengono impiegati spessori inferiori. Nei generatori ad alta pressione i collettori non costituiscono superficie di riscaldamento;
 - avviamento in minor tempo in quanto contengono piccoli volumi d'acqua;
 - maggiore potenzialità specifica da 40 a 80 Kg/hm² con possibilità di oltrepassare i 100 Kg/hm²;
 - minor ingombro a parità di superficie di riscaldamento;
 - rendimento termico maggiore se costruiti con spessori opportuni e corredati di recuperatori di calore;
 - possibilità di corredare in fase di progetto, senza alcuna difficoltà, i generatori di surriscaldatori;
 - minore pericolosità in caso di scoppio, non avendo corpi cilindrici (collettori) a diretto contatto della fiamma e per effetto del minor contenuto d'acqua.
- Al contrario, gli svantaggi dei tubi d'acqua, rispetto ai tubi da fumo sono:
- non sono in grado di fare fronte a grossi sbalzi di richieste di vapore, per effetto del basso contenuto di acqua in rapporto alla superficie di riscaldamento (volano termico);
 - necessitano di un regolatore di livello del tipo continuo per il verificarsi di continue oscillazioni del livello dell'acqua;
 - richiedono una particolare attenzione nella scelta e nella gestione dell'impianto del trattamento dell'acqua;
 - necessitano per effetto dell'elevata pressione di esercizio, dell'aggiunta di prodotti chimici in grado di proteggere il generatore da eventuali corrosioni e/o trascinalenti.

Confrontiamo ora i due tipi di generatori con pressione massima di 18 bar, producibilità compresa fra 5 e 25 t/h, predisposti per combustibile liquido o gassoso e con circolazione naturale dell'acqua.

POTENZIALITÀ E PRESSIONE MASSIMA

I generatori a tubi d'acqua possono essere costruiti per montaggio sul luogo, senza limiti di potenzialità, pressione e temperatura; l'unico limite è espresso dalla reperibilità dei singoli materiali.

I generatori a tubo da fumo di tipo trasportabile ad un focolare, che rappresentano quelli presi a base in suddetto confronto, possono raggiungere una potenzialità di 15 t/h con pressione di 16 bar; a due focolari la produzione può arrivare a 25 t/h.

RENDIMENTO

Tra i vari elementi presi in considerazione per la scelta di un generatore, hanno particolare influenza il costo e il rendimento, fattori che sono legati fra loro da uno stretto rapporto.

Il rendimento dipende dalle perdite al camino e dalle perdite per convezione e irraggiamento delle pareti esterne. Questo vale sia per generatori a tubi da fumo che a tubi d'acqua. Per esempio con una temperatura dei fumi di 250 °C e CO₂ del 13,5% è possibile ottenere un rendimento del generatore di circa l'89% (combustione con olio combustibile).

Considerato che la differenza tra la temperatura dei fumi e dell'acqua è di 50 - 70 °C, fino ad una temperatura dell'acqua di circa 200 °C pari ad una pressione di 15 bar, non si rende necessario un economizzatore.

Per pressioni comprese tra 15 e 30 bar occorre valutare attentamente se il guadagno di alcuni punti del rendimento ed il corrispondente risparmio di combustibile giustificano sia il maggior costo per installare l'economizzatore o il preriscaldatore, sia il loro maggiore ingombro, sia il più elevato fabbisogno di energia.

Per pressioni superiori a 30 bar l'adozione di un mezzo economizzante è di uso corrente.

Generalmente i generatori a tubo da fumo sono installati senza mezzi di recupero, eccezion fatta per particolari applicazioni (fig. 2.22) mentre sono frequentemente applicati a generatori a tubi d'acqua.

INFLUENZA SUL CONTENUTO D'ACQUA

Una caratteristica essenziale del generatore a tubi da fumo è il suo elevato contenuto di acqua; viene infatti installato dove sono previste punte frequenti con i fabbisogni maggiori della potenzialità nominale.

In un generatore a tubi d'acqua il contenuto è sostanzialmente inferiore e risulta quindi anche inferiore, rispetto ai tubi da fumo; la possibilità di accumulo del vapore.

Poiché i generatori a tubi da fumo hanno superficie evaporante maggiore, il livello non risente di variazioni repentine del carico ed è sufficiente effettuare quindi una normale regolazione "aperto-chiuso" del livello; al contrario nei tubi d'acqua occorre una regolazione del tipo continuo.

Il contenuto di acqua è proporzionale al tempo di messa a regime. Negli impianti che vengono avviati sovente e con i quali occorre raggiungere il pieno carico nel più breve tempo possibile è vantaggioso un generatore a minor contenuto di acqua.

Tuttavia nelle costruzioni attuali, i tempi per portare a regime i due tipi di generatori si discostano molto l'uno dall'altro.

POSSIBILITA' DI TRASPORTO

I generatori a tubi da fumo sono generalmente costruiti e trasportati completi di tutti gli accessori fino ad una potenzialità di 15 t/h, cioè, fino a 9 milioni di Kcal/h.

Ciò non accade per i generatori a tubi d'acqua, in quanto, per la potenzialità indicata, gli accessori vengono spediti a parte.

Quindi per potenzialità inferiori alle 17 t/h, i generatori a tubi da fumo sono, da questo punto di vista, vantaggiosi rispetto a quelli a tubi d'acqua. Sopra le 15 t/h il trasporto avviene per ambedue i tipi con gli accessori smontati.

FABBISOGNO DI ENERGIA

La quantità di energia necessaria per alimentare gli accessori del generatore varia a seconda delle caratteristiche corrispondenti. La potenza elettrica diviene pertanto estremamente importante, in quanto influenza il rendimento globale del generatore.

Per produzioni superiori a 15 t/h di vapore i generatori a tubi da fumo richiedono un maggior consumo di energia per l'alimentazione del secondo bruciatore. Nei generatori a tubi d'acqua può infatti essere applicato un solo bruciatore anche per potenzialità superiori alle 15 t/h.

APPARECCHI DI ALIMENTAZIONE E CARATTERISTICHE DELL'ACQUA

Le caratteristiche dei mezzi di alimentazione devono corrispondere a quelle prescritte dalle norme vigenti valide, sia per i generatori a tubi da fumo, sia per quelli a tubi d'acqua.

Per ogni impianto si richiedono in genere non meno di due dispositivi di alimentazione che dispongano, come forza motrice, di due sorgenti di energia indipendenti l'una dall'altra.

L'acqua prima di essere immessa in caldaia deve subire un adeguato trattamento, per evitare la formazione di incrostazioni calcaree ed eventuali corrosioni.

I generatori a tubi d'acqua, richiedono una qualità dell'acqua migliore e

quindi un apparecchio per il trattamento più costoso di quello necessario per i generatori a tubi da fumo.

Si può inoltre asserire che, a confronto con i generatori a tubi d'acqua, quelli a tubi da fumo, all'occasione funzionano con temperature dell'acqua di ritorno relativamente più basse.

POSSIBILITA' DI PULIZIA

Per quanto i generatori vengano corredati di bruciatori ad alta tecnologia per olio combustibile, si può tuttavia manifestare, in particolari condizioni d'esercizio, un insudiciamento delle pareti riscaldate: per poter funzionare sempre al massimo del loro rendimento, le superfici devono essere pulite periodicamente ad intervalli prestabiliti.

Nei generatori a tubi da fumo, l'entità dei depositi dipende dalla velocità dei gas nei tubi e dalla loro capacità di trasporto della fuliggine; questi elementi sono meno importanti per i generatori a tubi d'acqua poiché in essi i tubi, disposti trasversalmente al flusso dei gas, vengono avviluppati da questi, con velocità relativamente basse; quindi in essi la formazione dei depositi è notevolmente più facile.

La pulizia di un generatore a tubi da fumo consiste nell'aprire le porte delle camere di inversione (posteriore e anteriore) e nel rimuovere e asportare i depositi formati nei tubi, tutti facilmente raggiungibili, con una speciale spazzola. Diversamente nei generatori a tubi d'acqua, per la pulizia delle superfici riscaldate, vengono installati soffiatori di fuliggine fissi, manovrati dall'esterno, in modo che la pulizia avvenga anche durante il funzionamento e la fuliggine abbattuta asportata dai fumi stessi.

COSTI

Il paragone tra i costi dei due tipi di generatori avviene supponendo due forniture equivalenti.

Appare evidente che i generatori a tubi d'acqua per quanto più piccoli e più leggeri dei corrispondenti a tubi da fumo sono essenzialmente più costosi. Ciò è dovuto al fatto che i tubi e i collettori, il cui spessore è stato calcolato sulla base di determinate necessità di lavorazione, richiedono spessori molto maggiori di quelli prescritti dalle norme relative alla pressione di funzionamento. Per i generatori a tubi da fumo è invece possibile scegliere gli spessori così come prescritti dalle norme; infatti questi risultano superiori agli spessori minimi imposti dalle necessità di lavorazione e quindi, anche alle pressioni più basse, lo spreco di materiale risulta minimo.

Una parità di costo nei due tipi di generatori si raggiunge a pressioni e potenzialità elevate poiché nei generatori a tubi da fumo gli spessori diventano notevolmente più alti.

CONCLUSIONI

Come si può dedurre da quanto detto si possono installare, in linea

massima, indifferentemente i due tipi di generatori. Nel caso di produzione di vapore surriscaldato la scelta richiede uno studio più approfondito. Il confronto nel campo del vapore saturo dimostra che esistono diversi elementi tenendo conto di tutti i punti di vista, per dare la preferenza ai generatori a tubi da fumo fino a producibilità di circa 9 milioni di Kcal/h e pressione inferiori a 18 at.e. Al di sopra di questi valori la scelta cade generalmente sui generatori a tubi d'acqua. Quanto detto sopra non vuole affatto diminuire i pregi dei generatori a tubi d'acqua che talvolta risolvono in maniera ottimale problemi specifici molto delicati.

2.7 GENERATORI A FLUIDO DIATERMICO

Sono generatori che utilizzano anziché l'acqua, oli diatermici di provenienza petrolifera o organica a circolazione forzata, con i quali si raggiungono temperature elevate con valori di pressione ridotti (inferiore sempre ad un Kg/cm²) o a pressione atmosferica. (fig. 2.38-2.39).

La massima affidabilità in fase di esercizio, l'elevato rendimento termico e consistenti risparmi di combustibile sono stati ottenuti mediante:

- una struttura multitubolare tale da assicurare la migliore velocità dell'olio, evitando rischi del "cracking",
- una camera di combustione e un fascio a convezione con ridotti carichi termici, volumetrici e superficiali,
- la riduzione massima dell'inerzia termica del riscaldatore ottenuta eliminando, per quanto possibile, le protezioni di refrattario installati solo nel cono di fiamma e nelle portine di ispezione e pulizia,
- l'adozione di un preriscaldatore d'aria.

I principali componenti di un generatore a fluido diatermico sono:

- camera di combustione costituita da tubi sagomati, fra loro tangenti, per assicurare la tenuta dei gas della combustione, saldati a collettori di distribuzione,
- banco tubiero a convezione con tubi disposti su file parallele, alimentati in controcorrente per il massimo sfruttamento della trasmissione di calore,
- rivestimento esterno di tenuta dei gas in lamiera d'acciaio applicata a contatto dei tubi tangenti,
- portine d'ispezione che consentono un comodo accesso alla camera di combustione.

È altresì corredato di tutti i suoi accessori e di un preriscaldatore d'aria solitamente installato nella parte anteriore.

Il principale vantaggio di questo sistema di distribuzione del calore, è la possibilità di far circolare un fluido con temperature elevate (anche oltre i 300°C) a pressione atmosferica; mentre per raggiungere le stesse temperature con l'impiego di vapore saturo prodotto da generatori tradizionali, occorrono pressioni elevatissime (40 bar per 250°C, 88 bar per 300°C) con costi di

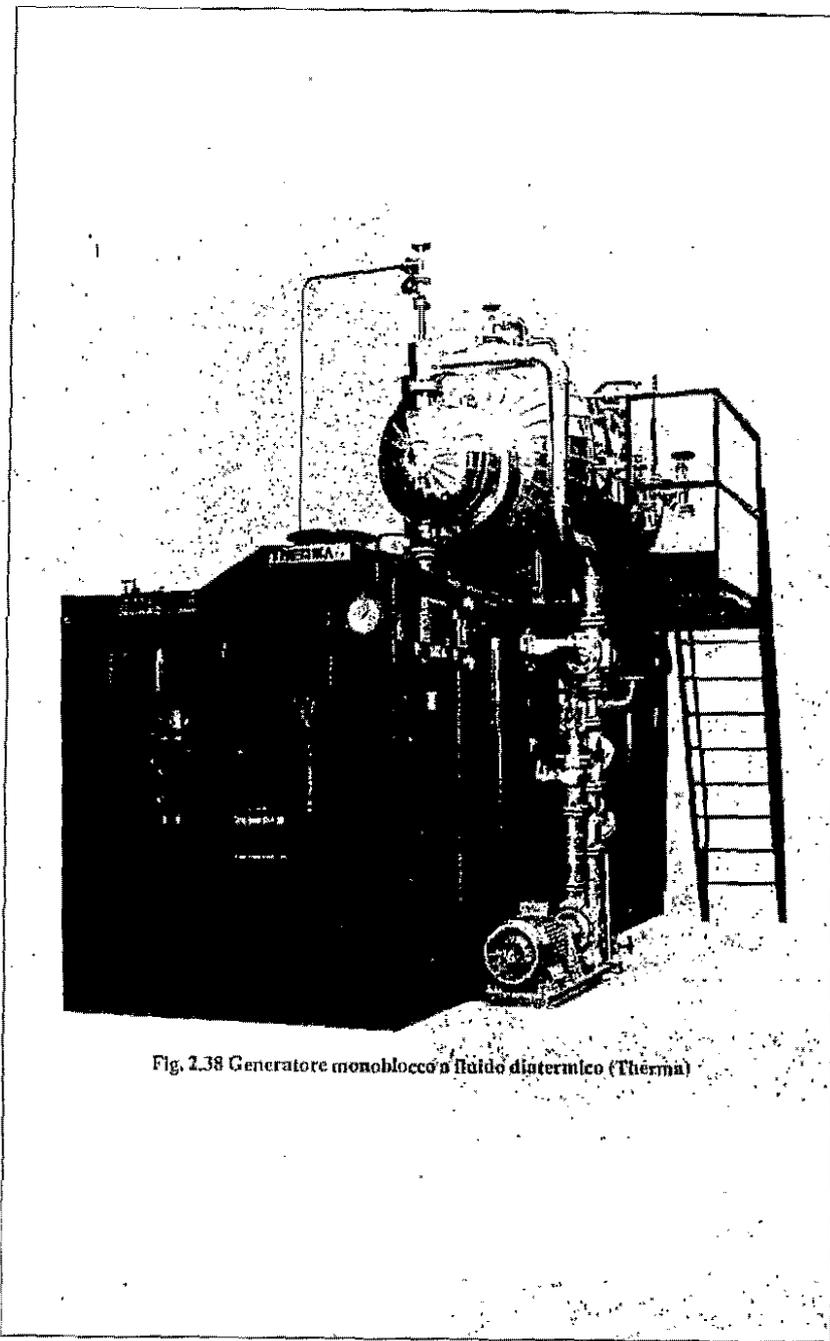


Fig. 2.38 Generatore monoblocco a fluido diatermico (Therma)

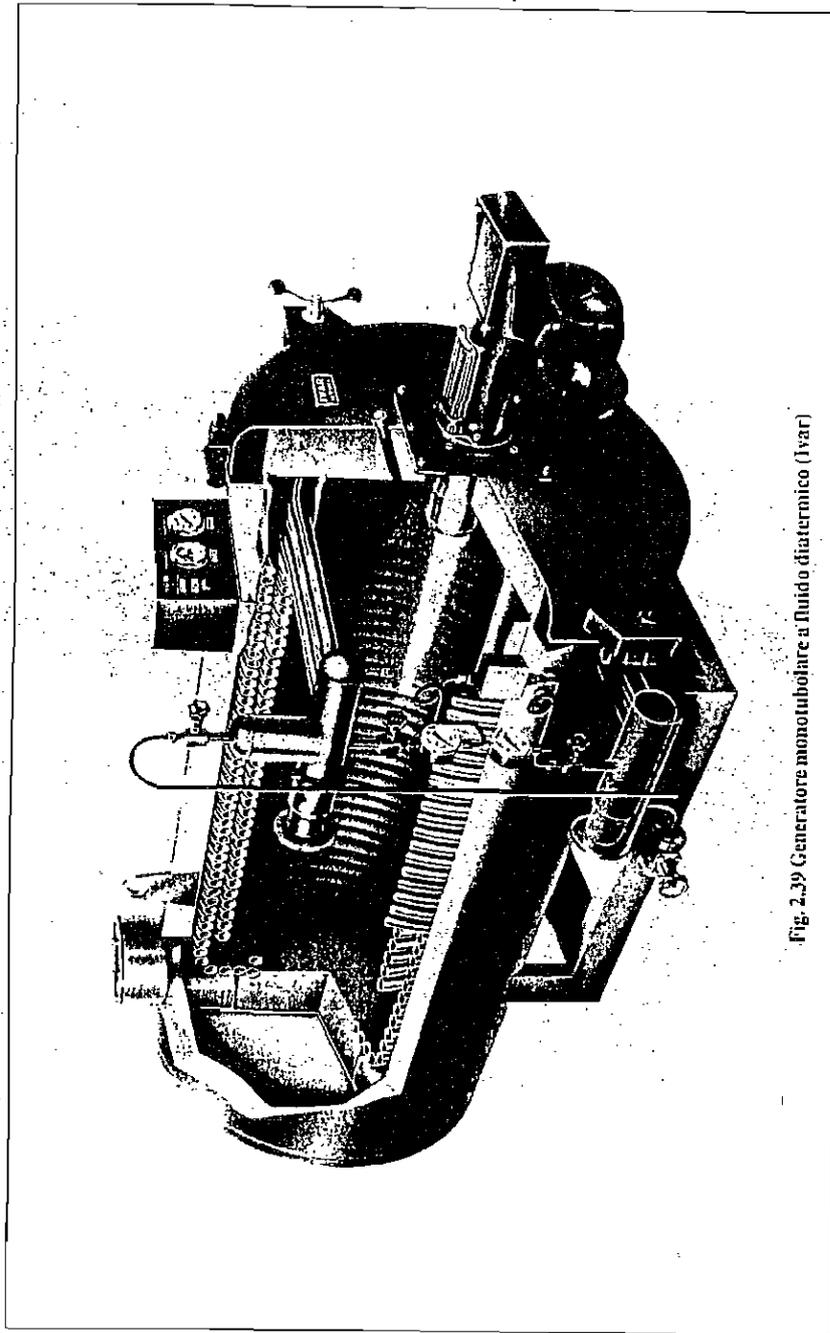


Fig. 2.39 Generatore monotubolare a fluido diatermico (Ivar)

generatore, accessori, rete di distribuzione, ed apparecchi assai elevati; altro vantaggio importante è l'esenzione dall'obbligo della conduzione dell'impianto da parte di un fuochista patentato; infine il riscaldamento di apparecchi mediante circolazione di fluidi diatermici in ciclo chiuso, elimina il delicato problema degli scarichi condensa e quello oneroso del trattamento delle acque di alimento per il generatore.

*04-15
Ivar*

2.8 GENERATORI PRESSURIZZATI

I generatori a combustione pressurizzata hanno in camera di combustione una pressione superiore a quella atmosferica, (circa 40 ± 150 mm di colonna d'acqua) realizzata mediante un ventilatore ad alta prevalenza che, miscelando combustibile con comburente permette di bruciare in minor spazio una maggiore quantità di combustibile (carico termico $1.000.000 \div 1.500.000$ Kcal/h m³) aumentando il rendimento di combustione per effetto della pressione e della turbolenza in camera di combustione. La pressione determina inoltre una maggiore velocità dei fumi aumentando così lo scambio termico lungo il percorso per effetto dell'attrito contro le pareti.

Nei generatori a tubi da fumo la presenza di tubi con diametro e spessore inferiore migliora lo scambio termico per convezione con temperatura all'uscita dei fumi inferiore. Pur diminuendo l'aria in eccesso la turbolenza permette una migliore miscelazione e combustione; si ottengono quindi, una più alta percentuale di anidride carbonica (CO₂, 14% con olio combustibile) senza produrre incombusti e minori perdite per calore sensibile.

I generatori pressurizzati sono caratterizzati da un rendimento termico elevato (89-94%).

Vengono costruiti indifferentemente a tubi da fumo e a tubi d'acqua a due o più giri di fumo.

Si differenziano da quelli depressurizzati in alcuni particolari:

- lo spioncino per l'ispezione della fiamma viene protetto da un vetro temprato,
- l'aria comburente entra solo attraverso il ventilatore del bruciatore,
- la presenza di portine di pulizia chiuse ermeticamente con miglior isolamento termico,
- non vengono installati: la serranda al camino, l'altare, le normali portelle d'espansione, se non trattenute da molle e il duomo.

2.9. RECUPERO DEL CALORE

Al momento di lasciare la zona di scambio termico di un generatore, i gas combusti contengono una considerevole quantità di energia termica. Il calore nei gas secchi combusti rappresenta la maggior perdita singola in un gene-

ratore di vapore. Una notevole porzione di questo calore può essere recuperata dagli economizzatori e dai preriscaldatori d'aria.

L'economizzatore riscalda l'acqua di alimento. Per ogni 5 - 6 °C di aumento nella temperatura dell'acqua di alimento, il rendimento del generatore di vapore aumenta di circa l'1%.

Nel preriscaldatore d'aria, il calore residuo del gas combusto è trasferito nell'aria comburente in entrata. Con i combustibili comuni (carbone, olio, gas) in una camera di combustione a parità di condizioni, il risparmio di combustibile è di circa il 2% per ogni 40 °C di aumento della temperatura dell'aria comburente.

ECONOMIZZATORI

I fumi che abbandonano il generatore contengono generalmente una quantità di calore che andrebbe dispersa nell'atmosfera attraverso il camino. Gli economizzatori sono apparecchi, installati tra generatore e camino, che recuperano parte del calore posseduto e lo riutilizzano per riscaldare l'acqua di alimento. È evidente che più è elevato il contenuto termico dell'acqua di alimento, tanto minore è la quantità di calore necessaria per vaporizzarla.

Trovano larga applicazione in generatori ad irraggiamento dove i fumi possiedono temperature prossime ai 500 °C. Al contrario, vengono sconsigliati in presenza di generatori a pressione di bollo inferiore a 15 bar e temperatura dei fumi relativamente bassa (circa 250 °C). L'installazione dell'economizzatore è sconsigliata nei generatori ad impiego stagionale (conserviere, lavorazione vinacce, uso civile...) in quanto non sempre è possibile ammortizzare il costo d'acquisto e di installazione. Sono generalmente costituiti da un fascio di tubi all'interno dei quali circola l'acqua di alimento ed esternamente vengono lambiti dai fumi. Il percorso dell'acqua e dei fumi avviene in senso opposto. All'economizzatore occorre accoppiare quattro termometri: uno all'ingresso dell'acqua, uno all'uscita dell'acqua preriscaldata, uno all'entrata dei fumi e l'ultimo all'uscita dei fumi stessi. Deve essere altresì installato in modo da poter essere escluso dall'impianto in caso di guasti o impedire ulteriormente il riscaldamento dell'acqua e inviare direttamente i fumi al camino.

Il regolamento prescrive, art. 23 "Qualora l'acqua di alimentazione passi per riscaldatori o economizzatori e fra questi e il generatore vi sia una valvola di intercettazione prima di questa valvola deve essere collocata una valvola di sicurezza che può essere caricata dalla pressione di un Kg/cm² superiore a quella del generatore. Tra detta valvola di sicurezza e gli apparecchi di alimentazione non deve essere interposta nessuna valvola di intercettazione. La valvola non è prescritta quando l'apparecchio di alimentazione è un iniettori, una pompa manuale o centrifuga."

Un economizzatore consente di:

- aumentare il rendimento dell'impianto (4 - 6%)
- alimentare il generatore con acqua preriscaldata evitando:

- * turbamenti nella circolazione interna
- * contrazioni nel metallo con perdite ai giunti
- * abbassamento della pressione.

L'aumento del rendimento dell'impianto dipende:

- dalla temperatura dei fumi all'ingresso
- dalla temperatura dell'acqua all'uscita
- dal tipo di economizzatore installato
- dalla sua superficie rispetto a quella del generatore
- dallo stato di pulizia, interna ed esterna, delle superfici di scambio.

Gli economizzatori possono essere a tubi lisci o a tubi alettati.

- Economizzatori a tubi lisci.

Costruiti in ghisa sono costituiti da tubi disposti verticalmente e riuniti in sezioni, da 4 a 12 tubi, da collettori trasversali (uno inferiore e uno superiore).

Le sezioni sono collegate ad un tubo inferiore, dove adduce l'acqua da riscaldare, e a un tubo superiore che raccoglie l'acqua calda. I tubi vengono lambiti esternamente dai prodotti della combustione che hanno movimento inverso rispetto all'acqua.

Per rimuovere la fuliggine che aderisce alle pareti dei tubi gli economizzatori vengono costruiti con appositi raschiatori a forma di manicotto, azionati da motore elettrico. Vanno inoltre alimentati con acqua degasata, per eliminare l'azione aggressiva dell'ossigeno, e relativamente calda affinché la temperatura dei fumi non scenda al di sotto del suo punto di rugiada. In presenza di impianti tali, da non determinare corrosioni sulle superfici esterne dei tubi vengono impiegati economizzatori a tubi lisci in acciaio.

- Economizzatori a tubi alettati

Sono gli apparecchi più impiegati in quanto resistono a pressioni maggiori, hanno ingombro minore a parità di scambio termico e costo inferiore rispetto ai tubi lisci (fig. 240A). Le alettature di forma cilindrica o quadrangolare, aumentano notevolmente la superficie esterna: un metro di tubo alettato corrisponde a tre-quattro metri di tubo liscio. Le alettature hanno in genere un'altezza di 30 mm, passo di 20 mm e spessore di 5 mm.

Gli economizzatori possono essere costruiti in ghisa o in acciaio. La ghisa ha una resistenza alla corrosione superiore all'acciaio. In presenza di generatori a pressione di esercizio superiore a 30 bar, vengono applicati economizzatori con tubi in acciaio e alettatura in ghisa. (fig. 240B).

In questi apparecchi la fuliggine viene rimossa mediante soffiatura di vapore o di aria compressa attraverso appositi ugelli. Gli economizzatori ad alette hanno minori infiltrazioni di aria nei condotti; per contro presentano maggior resistenza al passaggio dei fumi e quindi richiedono maggior tiraggio.

Nei generatori ad elevate pressioni vengono talvolta installati economizzatori in acciaio del tipo a serpentino. Sono costituiti da un collettore superiore, uno inferiore ed una serie di fasci o pacchi di tubi a serpentino in acciaio al carbonio. I collettori vengono installati dietro la muratura ed il fascio di tubi sostenuti da

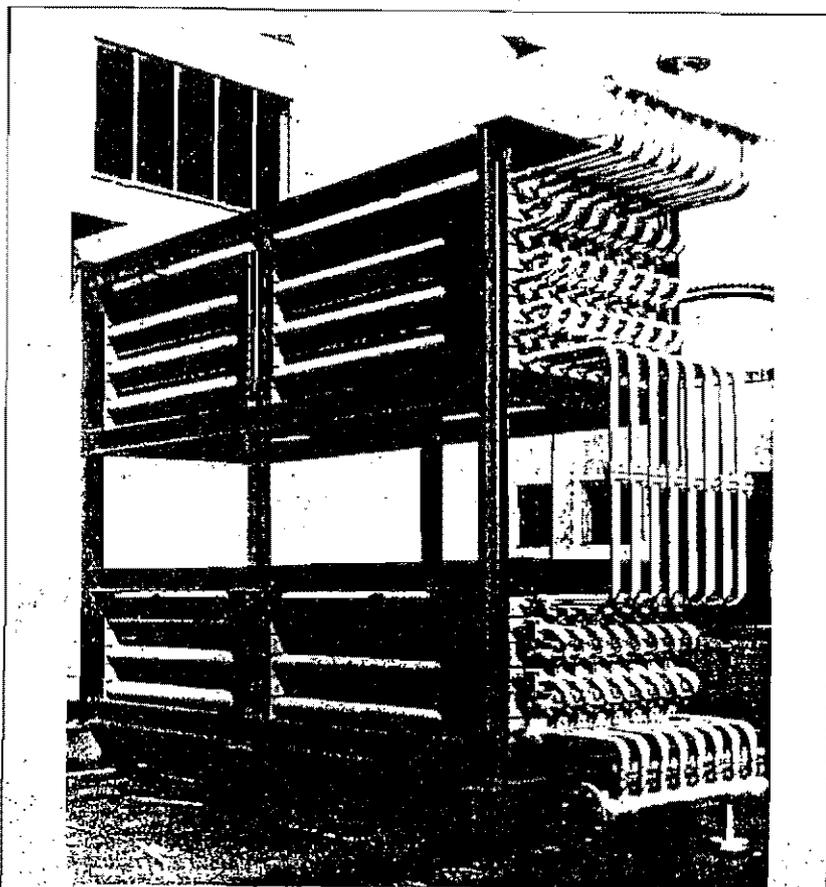


Fig. 2.40A Economizzatore in due banchi a tubi in acciaio-carbonio rivestiti con alettature radiali in ghisa

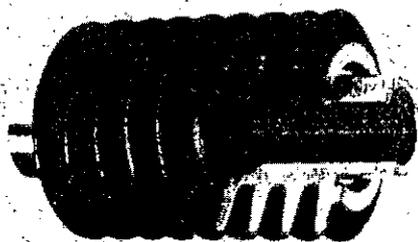


Fig. 2.40B Tubo in acciaio-carbonio rivestito con alettature radiali in ghisa

travi in acciaio raffreddate.

L'acqua di alimento viene immessa nel collettore inferiore, percorre internamente i tubi, si riscalda e termina nel collettore superiore. I fumi al contrario si muovono dall'alto in basso lambendo esternamente i tubi. Il moto dell'acqua dal basso in alto facilita l'eliminazione di gas c/o di vapori formatisi. Per non arrecare nelle serpentine di uscita eventuali corrosioni e la separazione della miscela acqua-vapore, la velocità dell'acqua nei tubi non deve essere inferiore a 0,5 m/s. Per evitare altresì corrosioni esterne, la temperatura dell'acqua d'alimento non deve essere inferiore a quella del punto di rugiada dei prodotti della combustione.

PRERISCALDATORI

Vengono installati, tra il camino e l'ultimo giro dei fumi, per riscaldare l'aria comburente utilizzando il calore ancora posseduto dai fumi stessi.

Talvolta i fumi uscenti dal generatore, attraversano prima l'economizzatore e successivamente il preriscaldatore dell'aria comburente.

Un preriscaldatore presenta vantaggi quali:

- migliore combustione per combustibili umidi e poveri
- aumento della temperatura di combustione
- riduzione delle perdite per calore sensibile
- miglior scambio di calore tra il fumo da una parte e l'acqua e il vapore dall'altra.

I preriscaldatori d'aria si classificano in statici o recuperativi e rifattivi o rigenerativi.

Nei recuperativi il calore contenuto nei fumi si trasmette continuamente attraverso le superfici che separano fumi ed aria.

Nei preriscaldatori rigenerativi i fumi e l'aria lambiscono alternativamente la stessa superficie; superficie che accumula il calore trasmesso dai fumi e successivamente la cede all'aria.

Gli statici si suddividono in preriscaldatori a tasche e preriscaldatori tubolari.

Il tipo a tasche è costituito da stretti canali di lamiera affiancati, attraverso i quali passano in senso inverso e separati fra loro, il fumo e l'aria da riscaldare. Il calore passa dai fumi all'aria, attraverso la parete metallica di separazione; il percorso dell'aria è sempre notevolmente superiore rispetto a quella dei fumi per aumentare lo scambio termico.

I preriscaldatori tubolari sono costituiti da un parallelepipedo con due piastre tubiere alle due estremità collegate a uno o più fasci di tubi (fig. 2.43).

Nel tipo a tubi di fumo (fig. 2.41b), il fumo percorre verticalmente i tubi mentre l'aria attraversa lo spazio tra involucro e tubi stessi.

Viceversa nel tipo a tubi d'aria (fig. 2.41a) i tubi orizzontali sono investiti all'interno dall'aria e all'esterno dai fumi. Possono essere del tipo in controcor-

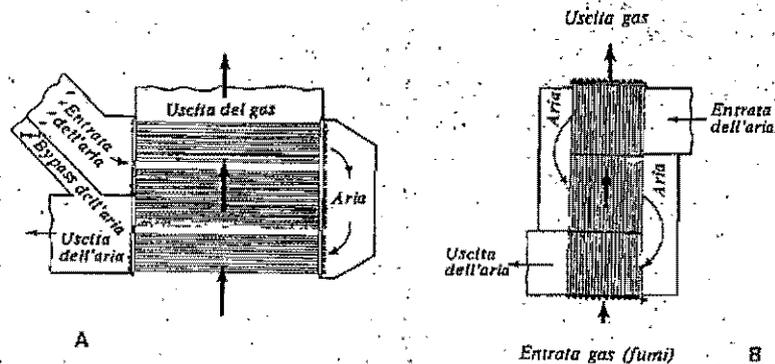


Fig. 2.41 Preriscaldatore tubolare

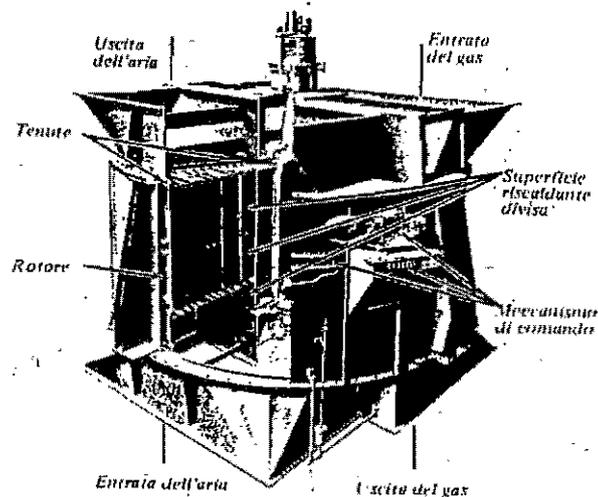


Fig. 2.42 Preriscaldatore Luigstrong

rente o in equicorrente. La prima soluzione offre un maggior scambio termico ed una più rapida corrosione dalla parte fumi per effetto delle basse temperature che si raggiungono.

Nella seconda soluzione diminuisce leggermente il rendimento, per contro si ottiene una maggiore durata dell'impianto.

La scelta delle due soluzioni va effettuata in funzione delle caratteristiche dell'impianto. In entrambi i casi per ridurre la corrosione nella fase di avviamento, per effetto delle condense acide molte volte la soluzione più semplice consiste nell'inviare parte dell'aria fredda a valle del preriscaldatore; in questo modo i fumi usciranno dal preriscaldatore a temperature più alte (= 160°C).

Il principale preriscaldatore rotante è il "Luigstrong" (fig.2.42) costituito da un tamburo orizzontale ad asse verticale che contiene, nel suo interno, numerose lamelle metalliche generalmente saldate ad un telaio. Il tamburo azionato da un motore elettrico durante il funzionamento è in parte investito dai fumi caldi e nella restante parte dall'aria fredda. Le lamelle, investite dai fumi, accumulano calore che cedono quando il tamburo si trova in una posizione tale in cui le lamelle calde vengono a contatto con l'aria fredda. Le lamelle raffreddate si riscaldano successivamente con i fumi. La continua rotazione del tamburo determina la ripetitività del fenomeno descritto.

Viene generalmente applicato a generatori ad elevata potenzialità con funzionamento a ciclo continuo.

I preriscaldatori vengono corredati di quattro termometri posti

- all'ingresso dei prodotti della combustione e dell'aria
- all'uscita dei prodotti della combustione e dell'aria.

SURRISCALDATORI

Sono apparecchi installati alla fine o sul cielo della camera di combustione, collegati alla presa del vapore, che trasformano il vapore saturo in vapore surriscaldato. Detto vapore viene impiegato per produrre forza motrice e in presenza di condotte che adducono il vapore del generatore agli utilizzi con sviluppo rilevante, nei quali il vapore saturo lambendo le pareti fredde è soggetto a parziale condensazione.

Un surriscaldamento è costituito da una serie di tubi in acciaio, piegati a U a W o a serpentino, dal diametro 25 - 40 mm, disposti orizzontalmente o verticalmente le cui estremità sono saldate in testate collettrici a sezione quadra o tonda. Proveniente dal generatore, il vapore saturo entra in una testata collettrice ed esce surriscaldato dall'altra, mentre i tubi vengono lambiti esternamente dai fumi caldi.

I surriscaldatori sono costruiti con acciaio speciale particolarmente resistente alle elevate temperature; sono infatti installati in zone del generatore in cui i prodotti della combustione possiedono temperature oscillanti tra 600 + 900 °C.

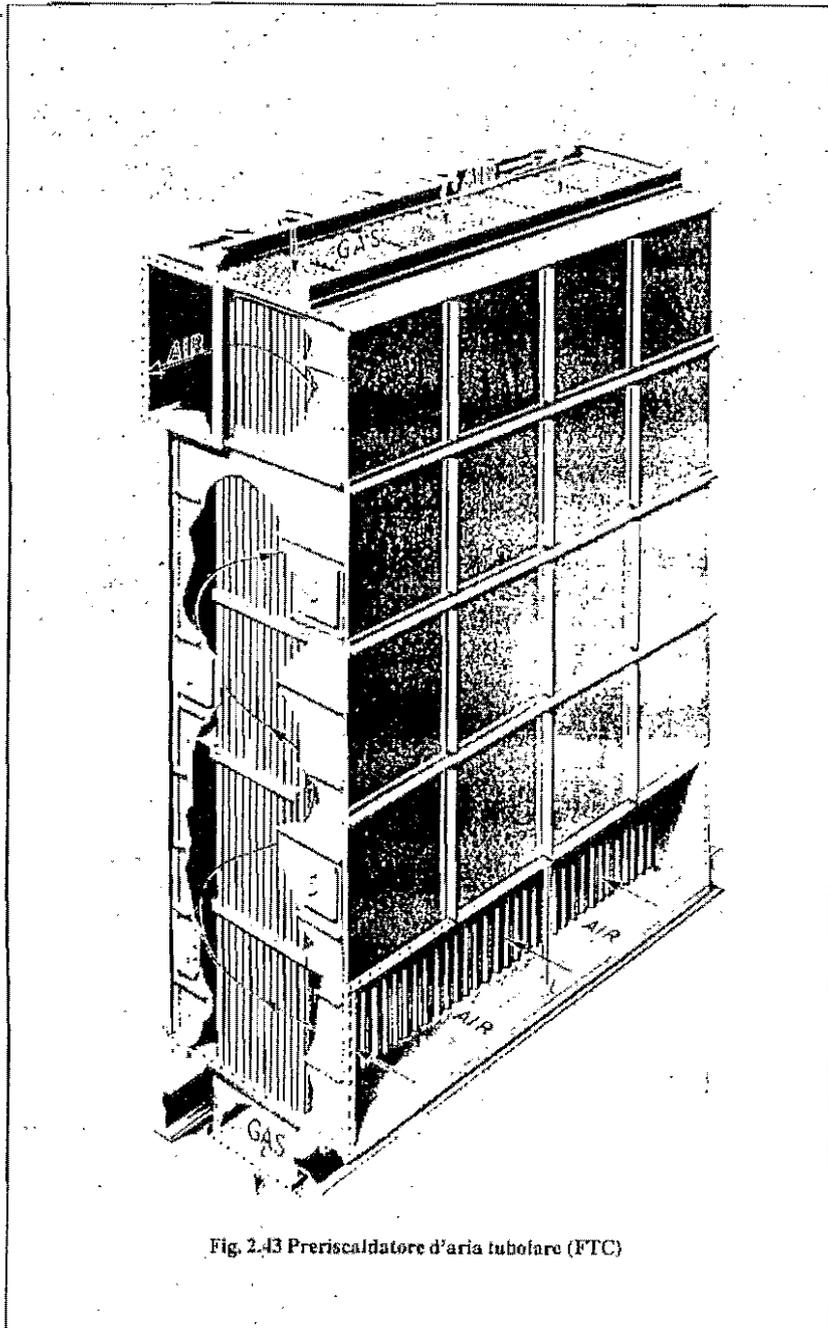


Fig. 2.43 Preriscaldatore d'aria tubolare (FTC)

I surriscaldatori vengono classificati in:

- surriscaldatori posti in zona convettiva: sono costituiti da un fascio di tubi di diametro relativamente piccolo. Vengono installati in modo da ricevere il calore per convezione ed in parte per irraggiamento. Possono essere di tipo orizzontale o verticale. In questo caso la temperatura del vapore sale con l'aumento del carico termico poiché la portata di gas dal lato fumo aumenta più velocemente del flusso di vapore all'interno del tubo.

- surriscaldatori in zona radiante: possono essere disposti

* sulle pareti della camera di combustione quando si vuole alzare la temperatura del vapore a valori non molto alti. Questa soluzione viene anche utilizzata quando si ha, per la combustione di combustibili solidi, una camera di combustione molto ampia. Per ridurre il calore scambiato per irraggiamento una parte dei tubi vengono sostituiti dal surriscaldatore; la quantità di calore trasmessa sarebbe infatti troppo elevata rispetto alla richiesta, con inevitabili surriscaldamenti nei tubi vaporizzatori e scompensi nella circolazione dell'acqua.

* sul cielo della camera di combustione, definiti anche pendenti, ricevono un intenso calore dalla radiazione diretta, subiscono un abbassamento della temperatura del vapore con l'aumento del carico termico, a causa dell'alto indice di assorbimento del calore da parte delle pareti della camera di combustione, via via appunto che il carico aumenta con la stessa velocità del flusso del vapore all'interno dei tubi.

Per mantenere la temperatura del vapore il più possibile uniforme e costante con l'aumento del carico termico, i surriscaldatori nei grandi generatori di vapore sono spesso suddivisi in sezioni primarie, secondarie e spesso correttive (o terziarie). Alcune sezioni si trovano nella camera di combustione e altre molto più lontane dietro alla zona di convezione.

- surriscaldatori esterni; vengono utilizzati quando non risulta pratico averne uno interno nell'impianto di un generatore. Es., quando il vapore è generato nello scambiatore di calore o nell'evaporatore o in alcuni processi chimici di recupero del calore o in un reattore nucleare.

I surriscaldatori esterni sono di tipo diretto e possono contenere eventualmente una sezione del risurriscaldatore.

Sulla estremità di uscita del vapore surriscaldato viene installato un termometro o eventualmente un pirometro.

Un'applicazione in serie di un surriscaldatore a irraggiamento e uno a convezione consente di stabilire un valore di temperatura relativamente costante anche in presenza di variazioni di carico del generatore.

Il surriscaldatore è quasi sempre del tipo ad allagamento per permettere che il generatore all'avviamento vada a regime e lo stesso non bruci (surriscaldi) prima del passaggio del vapore.

DESURRISCALDATORI

Vengono impiegati quando si presenta la necessità di dover utilizzare va-

pore saturo o a temperatura moderata e si dispone al contrario di vapore surriscaldato o a pressione superiore a quella richiesta dall'utilizzazione, o si vuole mantenere costante la temperatura del vapore prodotto.

L'esigenza, sentita da grandi complessi industriali di produrre energia elettrica a basso costo con macchine azionate da turbine a contro pressione, impone l'installazione di generatori per la produzione di vapore ad alto livello termico.

E' noto infatti il favorevole influsso che il surriscaldamento esercita sul consumo di vapore, sia in virtù del maggior stato entalpico disponibile nelle giranti della turbina, sia per il miglior rendimento meccanico, dovuto al minor attrito del vapore surriscaldato, specialmente nelle zone della turbina a bassa pressione.

La costruzione dei desurriscaldatori presenta particolari esigenze tecniche, soprattutto per elevate temperature di esercizio; oltre i 350 °C si impiegano di norma acciai legati al Cromo-Molibdeno con particolari accorgimenti per il controllo dei materiali e delle saldature.

Particolare attenzione dovrà essere data alle caratteristiche di resistenza alla corrosione dei materiali, sui quali la presenza contemporanea di acqua in fase di evaporazione e di vapore surriscaldato facilita l'attacco chimico e l'ossidazione. L'efficienza dei desurriscaldatori è legata anche alla turbolenza del vapore, alla sua velocità di efflusso ed alla separazione delle gocce di umidità.

- desurriscaldatori assiali o attemperatori

Sono i più semplici ed economici desurriscaldatori a miscela, dal punto di vista costruttivo, ma hanno un ingombro in lunghezza piuttosto rilevante e non sempre ammissibile nell'impianto (fig. 2.44).

Sono di forma tubolare e provvisti di ugelli polverizzatori dell'acqua di desurriscaldamento applicati in corrispondenza all'ingresso del vapore; possono essere installati sia orizzontalmente che in posizione verticale. Sono

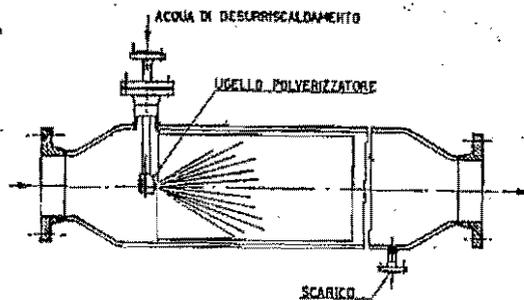


Fig. 2.44 Desurriscaldatore assiale

normalmente provvisti di flange di raccordo alle due estremità, di attacchi per l'introduzione degli ugelli polverizzatori e di un foro di spurgo per lo scarico del condensato o dell'eventuale eccesso di acqua raffreddata. Per garantire un efficiente desurriscaldamento, quando lo sviluppo in lunghezza deve forzatamente essere limitato, il desurriscaldatore può avere una sezione maggiore di quella della tubazione. Quando la temperatura del vapore in ingresso è piuttosto elevata, vengono provvisti di una camicia di rivestimento interno facilmente estraibile e preferibilmente in acciaio inossidabile.

2 mm ≈ 15%

2.10 SOFFIATORI DI FULIGGINE

Riveste notevole importanza la pulizia dei generatori dalla parte fumi, in quanto sono sufficienti 2 mm di fuliggine per aumentare il consumo di combustibile del 15%. La fuliggine e le incrostazioni formatisi riducono infatti fortemente:

- il potenziale di scambio termico
- il rendimento del generatore
- il tasso di inquinamento per le polveri trasportate in atmosfera, ed aumentano il processo corrosivo dal lato fumi.

Si rende perciò consigliabile e talvolta necessaria la rimozione della fuliggine, rimozione che può avvenire con generatore in marcia e/o spento.

Con il sistema in marcia è possibile, tramite spruzzatori, iniettare in camera di combustione prodotti chimici che riducono sensibilmente il deposito della fuliggine e delle ceneri sui tubi; si rende comunque sempre necessario una pulizia completa. Talvolta nei generatori a tubi d'acqua si possono utilizzare soffiatori di fuliggine che, opportunamente disposti e con bruciatore acceso, sono in grado, utilizzando vapore il più secco possibile o surriscaldato, di svolgere una discreta pulizia. Nelle piccole e medie unità lo spostamento angolare e la rotazione del soffiatore avviene manualmente con una catena; nelle alte potenzialità il tutto è comandato automaticamente in funzione del tempo di lavoro, della temperatura dei fumi e nei momenti in cui la richiesta di vapore è ridotta (fig. 2.45).

Con generatore spento è possibile nei generatori a tubi da fumo effettuare la pulizia dei tubi con scovoli manuali posti all'estremità di un'asta metallica. Esistono in commercio apparecchi costituiti da un tubo flessibile al quale viene collegato ad una estremità un vibratore ed uno scovolo ed all'altra un aspiratore e l'entrata dell'aria compressa.

Collegato l'apparecchio all'aria compressa ed all'aspiratore, lo scovolo viene inserito all'imbocco del tubo da pulire; automaticamente lo scovolo avanza nei due sensi del fascio tubiero effettuando una pulizia completa senza fuoriuscita di fuliggine.

Nelle unità ad elevate potenzialità la pulizia avviene con getti d'acqua ad una pressione di 400-800 bar; la pressione rimuove la fuliggine e le incrostazioni

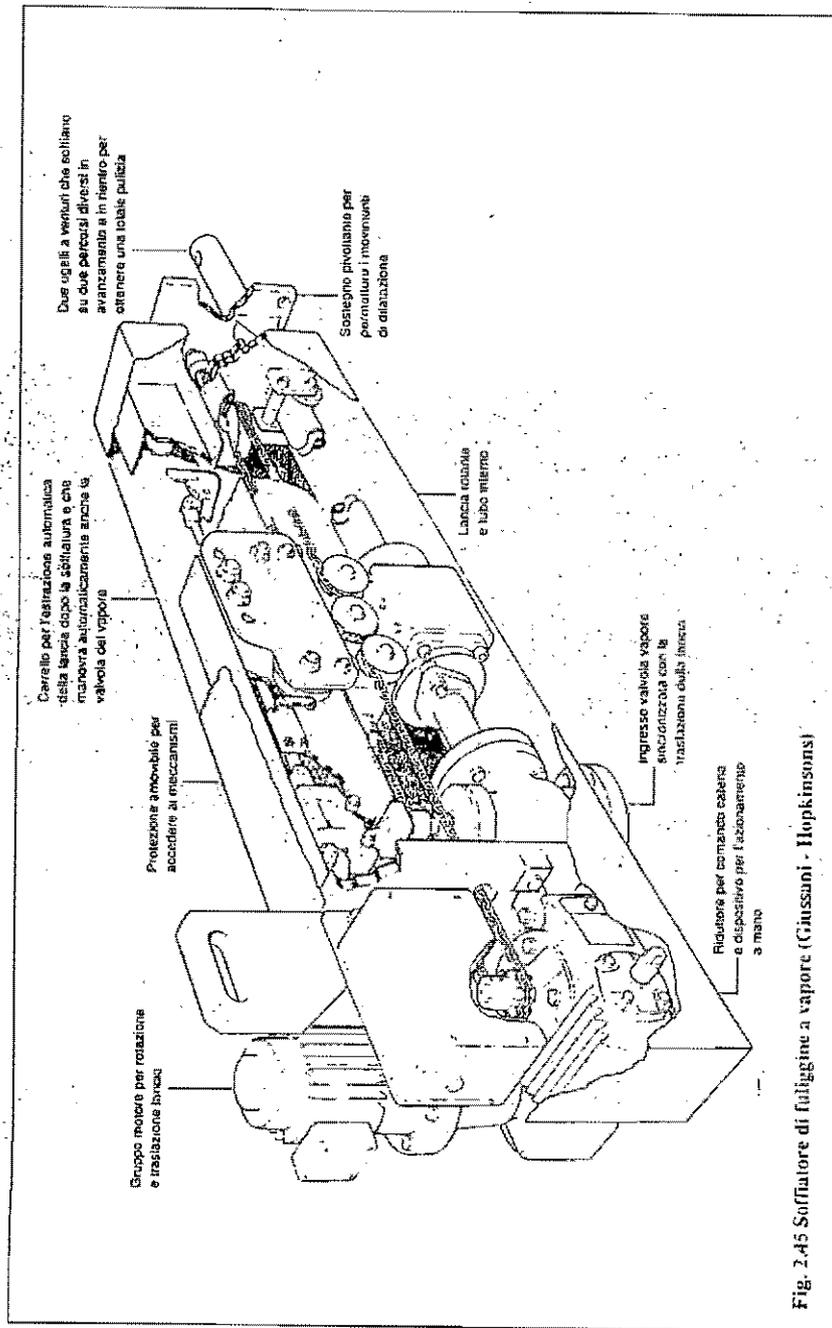


Fig. 2.45 Soffiatore di fuliggine a vapore (Güssuni - Hopkins)

formatasi. Questa operazione viene eseguita da ditte specializzate in quanto all'acqua viene miscelato un opportuno prodotto, che viene scelto in funzione del tipo e/o della quantità di materiale da asportare.

2.11 TIRAGGIO - CAMINI

Nel processo di combustione va fornito al combustibile un adeguato quantitativo d'aria. Nei primi generatori l'aria entrava in camera di combustione richiamata dalla depressione che vi si formava. Per ottenere questa depressione è indispensabile che i prodotti della combustione uscenti dal generatore vengano scaricati in atmosfera ad un'altezza superiore a quella del generatore tramite una struttura definita camino. In questo modo la pressione statica esistente nella camera di combustione corrisponde al peso della colonna atmosferica esistente alla bocca del camino diminuita del peso della colonna dei gas caldi contenuti nel camino e quindi inferiore a quella esistente all'ingresso dell'aria nel generatore risultante dal peso di sola aria fredda.

Tale differenza di pressione viene definita tiraggio che costituisce il trasferimento della massa gassosa dall'esterno verso il bruciatore, alla camera di combustione ed al condotto di evacuazione. Tale processo viene chiamato tiraggio naturale. Questo sarà tanto più grande quanto più alto è il camino e quanto maggiore sarà la differenza di temperatura tra fumi ed aria comburente. (fig. 2.46A).

La buona efficienza del sistema implica:

- alti camini con perfetto isolamento
- camera di combustione a perfetta tenuta senza infiltrazioni dall'esterno
- temperatura dei gas scaricati al camino con valori alti, salvaguardando le perdite per calore sensibile ed il rendimento

L'introduzione di recuperatori e scambiatori di calore abbassa la temperatura finale dei fumi, aumenta le perdite di carico lato aria e rende difficoltoso se non nullo l'effetto del tiraggio naturale.

L'introduzione di un ventilatore che spinga l'aria ed i gas di combustione costituisce il tiraggio forzato. Il tiraggio forzato si suddivide in:

tiraggio aspirato: viene realizzato con l'installazione alla base del camino di un ventilatore che aspira i fumi del generatore per poi spingerli nel camino (fig. 2.46B). Il ventilatore deve avere caratteristiche costruttive particolari dovendo la girante sopportare alte temperature e resistenze ad eventuali corrosioni dovute a presenza di composizioni acide sviluppatesi dal tipo di combustibile (anidride solforica). Una serranda posta alla base del camino ed in aspirazione del ventilatore permette una grossolana regolazione di portata gas. L'efficienza di tale sistema è compromessa se la camera di combustione non è a perfetta tenuta verso l'esterno.

tiraggio indotto: viene realizzato installando un ventilatore all'esterno del camino che possa aspirare una parte dei fumi uscenti dal generatore per poi spingerli nel camino stesso tramite un acceleratore di velocità che potrebbe

essere un iniettore (fig. 2.46C). La parte di fumo soffiato dal ventilatore nel camino spinge la colonna rimanente dei gas caldi verso la bocca del camino con alta velocità, contemporaneamente dalla parte aspirante del ventilatore si crea una depressione che determina il tiraggio forzato nella camera di combustione. Il camino ha una struttura tronco-conica rovesciata, per ridurre la velocità dei fumi in uscita ed utilizzare il calore ancora posseduto.

L'efficienza del tiraggio indotto è compromesso se la camera di combustione non è a perfetta tenuta verso l'esterno.

tiraggio equilibrato o compensato: viene ottenuto con due ventilatori, uno che spinge l'aria comburente nel generatore e l'altro che aspira, prodotti della combustione e li spinge al camino (fig. 2.46D). Il ventilatore che immette l'aria comburente nel generatore è denominato ventilatore premente mentre quello che spinge i prodotti della combustione è denominato ventilatore aspirante. Per ottenere un buon processo di combustione i costruttori di generatori regolano la prevalenza dei ventilatori in modo da mantenere nella camera di combustione una leggera depressione (5-10 mm di colonna d'acqua) cioè il ventilatore aspirante ha una prevalenza superiore a quello premente. Nei generatori pressurizzati il ventilatore premente dovrà mantenere la pressione entro valori ottimali che garantiscano una perfetta combustione.

L'intento è quello di evitare nella camera di combustione fuoriuscite di gas caldi o forti rientrate d'aria fredda che penalizzerebbero il buon funzionamento. Per contro tale sistema è molto delicato, richiede continue tarature ed il suo costo di installazione e di esercizio è sostenuto.

tiraggio con generatore pressurizzato: l'introduzione da alcuni anni dei generatori a combustione pressurizzata ha eliminato la maggior parte dei generatori con i sistemi sopradescritti. Infatti per eliminare tutti gli inconvenienti derivanti da un tiraggio alquanto approssimativo è stato ideato il bruciatore a combustione pressurizzata il quale ha incorporato il ventilatore premente che conferisce all'aria comburente, aspirata dall'esterno, la pressione o prevalenza necessaria per vincere tutte le perdite di carico del circuito aria-fumi-camino.

Presenta alcuni vantaggi quali:

- dimensioni contenute del generatore
- minor potenza elettrica assorbita
- minor costi di esercizio e di manutenzione.

$p_{s.a.} = 1 \text{ bar}$ 10^2 m

$\times 10^2 \cdot 1$

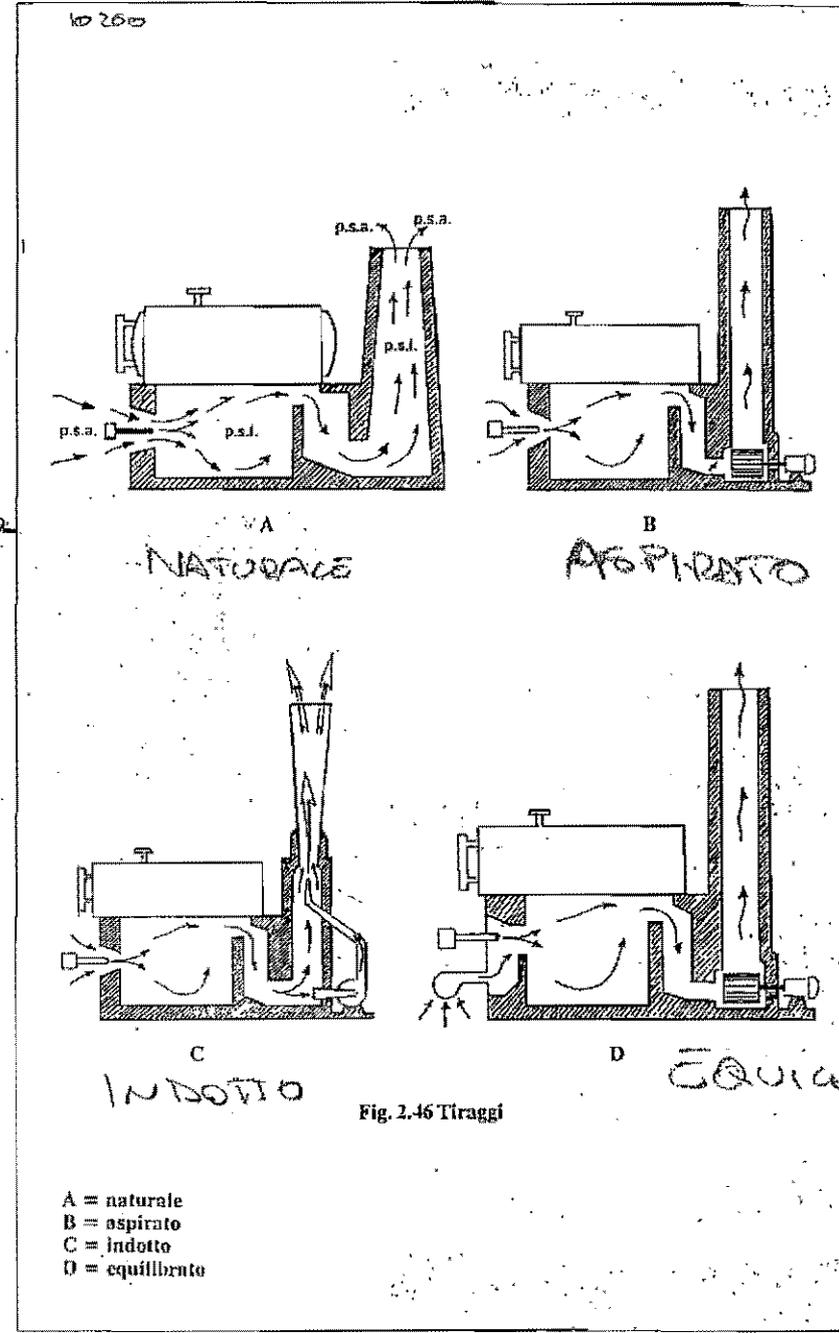


Fig. 2.46 Tiraggi

- A = naturale
- B = aspirato
- C = indotto
- D = equilibrato

CAP. 3 ACCESSORI DEI GENERATORI

Gli accessori solitamente installati, in un qualsiasi impianto, vengono classificati in:

- Accessori di sicurezza: valvole di sicurezza
- Accessori di osservazione: manometri, indicatori di livello, rubinetti di prova
- Accessori di protezione: pressostati, termostati, livellostati, apparecchi per il controllo della fiamma
- Accessori di alimentazione: pompe, iniettori, gruppo alimentazione
- Accessori vari: valvole di presa, valvole di scarico, porte di pulizia o passo d'uomo
- Accessori condotta vapore: giunti di dilatazione, indicatore di passaggio, riduttori di pressione, scaricatori di condensa, accumulatori di vapore.

3.1 ACCESSORI DI SICUREZZA

VALVOLE DI SICUREZZA

Il Regolamento prescrive:

art. 16 - "Ogni generatore di vapore deve essere munito di almeno due valvole di sicurezza, a sede piana, ciascuna delle quali sia capace e caricata in modo da dare sfogo al vapore quando è stata raggiunta la pressione massima effettiva di lavoro."

Sono considerate rispondenti a questa condizione le valvole la cui sezione complessiva (A) espressa in cm² corrisponda alla seguente formula:

$$A = \frac{q}{(0.9 K) (113.8 C)} \sqrt{\frac{V_1}{p_1}} \quad (1)$$

dove A = area della minima sezione trasversale netta dell'entrata valvola

q = portata massima da scaricare in Kg/h

C = coefficiente di espansione

K = coefficiente di efflusso

V₁ = volume specifico, in m³/Kh alle condizioni di progetto

p₁ = pressione in bar assoluta

(1) = vedi D.M. 21-5-1974 capo IV

E' consentita la riduzione di tale sezione al 40% del valore dato dalla formula, quando le due valvole siano del tipo a grande alzata.

Il calcolo della forza (peso o molla) facente equilibrio alla pressione esercitata dal vapore sulla valvola, deve essere eseguito in base al diametro del fo-

ro della valvola aumentato di 2 mm.

La sede delle valvole non deve avere larghezza maggiore di 2 mm; ognuna delle valvole non può avere un diametro inferiore a 25 mm, quando la superficie riscaldata dal generatore non sia inferiore a mezzo metro quadrato, né avere un diametro tale che la pressione totale del vapore sulla valvola superi 800 Kg. Quando la superficie riscaldata sia inferiore a mezzo metro quadrato, il diametro deve essere di almeno 10 mm.

Nei generatori fissi le valvole di sicurezza devono essere caricate con un peso di un sol pezzo applicato o direttamente o mediante leva. In questo ultimo caso all'estremità del braccio maggiore di leva deve essere applicato un arresto tale da impedire l'uscita del peso dalla leva.

Il peso e le lunghezze dei bracci di leva, determinati dall'agente tecnico dell'Ente di controllo, non devono per nessun motivo essere aumentati.

Per i generatori funzionanti a non oltre un Kg/cm² una delle valvole di sicurezza deve essere, di regola, caricata con un peso diretto.

Quando il numero delle valvole, calcolate a norma del terzo alinea, sia maggiore di 4, possono essere applicate valvole a molla diretta in sostituzione di quelle a peso alle condizioni seguenti:

1) che le valvole a molla siano del tipo omologato e che ciascuna valvola sia provvista del dispositivo di arresto che limiti la reazione elastica della molla in relazione alla pressione di bollo;

2) che delle valvole complessivamente occorrenti, almeno due siano a peso e leva;

3) che sia applicato un dispositivo a portata di mano del conduttore, atto a consentire uno sfogo efficace del vapore, in eccesso, attraverso un tubo scaricante all'esterno del locale della caldaia e possibilmente provveduto di silenziatore.

Negli altri generatori il caricamento delle valvole di sicurezza può farsi con molle agenti direttamente o applicate alla estremità della leva. La tensione della molla, stabilita all'atto della prova, deve essere resa invariabile mediante apposito dispositivo."

Le valvole di sicurezza sono accessori che hanno la funzione di dare libero sfogo al vapore quando, all'interno del generatore, viene superata la pressione di bollo (massima pressione consentita).

Una valvola di sicurezza è costituita da un corpo metallico cavo, che pone in comunicazione la camera di vapore del generatore con l'atmosfera, senza l'interposizione di organi di chiusura o tronchi di tubo di minor diametro, che possono ostacolare il passaggio del vapore stesso.

In condizioni di normale funzionamento il condotto è chiuso da un otturatore sul quale grava ad un estremo un carico costituito da un peso o da una molla, e all'altro la spinta del vapore del generatore.

Se la pressione di esercizio si avvicina a quella di taratura l'otturatore rimane appoggiato alla sede nonostante la minima differenza tra la forza che spinge

l'otturatore stesso e la pressione del vapore. Aumentando via via leggermente la pressione di esercizio la valvola incomincia a soffiare prima di iniziare la fase di apertura. Questa perdita iniziale della valvola comporta, in un tempo più o meno breve, l'erosione della sede e talvolta la staratura della valvola stessa. Pertanto è indispensabile mantenere la pressione di esercizio a valori inferiori ad almeno il 10% rispetto alla pressione di taratura della valvola. In questo modo quando la pressione del generatore riesce a vincere la forza esercitata dal peso o dalla molla, l'otturatore si alza e permette la fuoriuscita del vapore.

In una valvola di sicurezza (fig. 3.1) si definisce:

otturatore: parte di una valvola di sicurezza, mobile rispetto al corpo della stessa, che impedisce la fuoriuscita del fluido quando è premuta contro la sede della valvola stessa;

sede: superficie di una valvola di sicurezza, fissa rispetto al corpo della stessa, contro cui si esercita, per garantire la tenuta, la spinta dell'otturatore;

orizzio: parte di una valvola percorsa dal fluido che precede la sede nel senso del flusso;

alzata: corsa assiale dell'otturatore dalla posizione di chiusura a quella di completa apertura;

uscita valvola: parte di una valvola percorsa dal fluido che segue la sede nel senso del flusso;

scarto di chiusura: abbassamento di pressione sotto il valore di taratura necessario per ottenere la richiusura della valvola di sicurezza;

contropressione: pressione nell'ambiente in cui scarica la valvola di sicurezza;

pressione di taratura: pressione, in corrispondenza della quale la valvola di sicurezza comincia a scaricare il fluido in modo continuo;

sovrapressione: incremento di pressione al di sopra della pressione di taratura, necessario per consentire lo scarico della piena portata;

portata di scarico: quantità di fluido (gas-liquido) che può scaricare alla massima

alzata (Kg/h). Nei generatori di vapore la portata di scarico complessiva equivale alla potenzialità massima oraria di vapore a carico continuo.

Es. Si ha un generatore di vapore con pressione di bollo di 12/Kg/cm² e portata di vapore di 4000 Kg/h, determinare la portata di scarico delle valvole. Si possono scegliere in un generatore di questo tipo due valvole che abbiano: pressione di taratura 12 Kg/cm², portata di scarico > 2000 Kg/h. Talvolta si preferisce attribuire ad ogni valvola di sicurezza la portata totale del generatore.

Per generatori con pressione di bollo ≤ 1 bar, superficie di riscaldamento < 100 m² e portata del vapore < 2000 Kg/h il decreto ministeriale concede l'installazione di una sola valvola di sicurezza idonea a scaricare alla massima pressione di esercizio la quantità di vapore producibile al carico massimo continuo.

1 bar = 100 m² = 2000 Kg/h

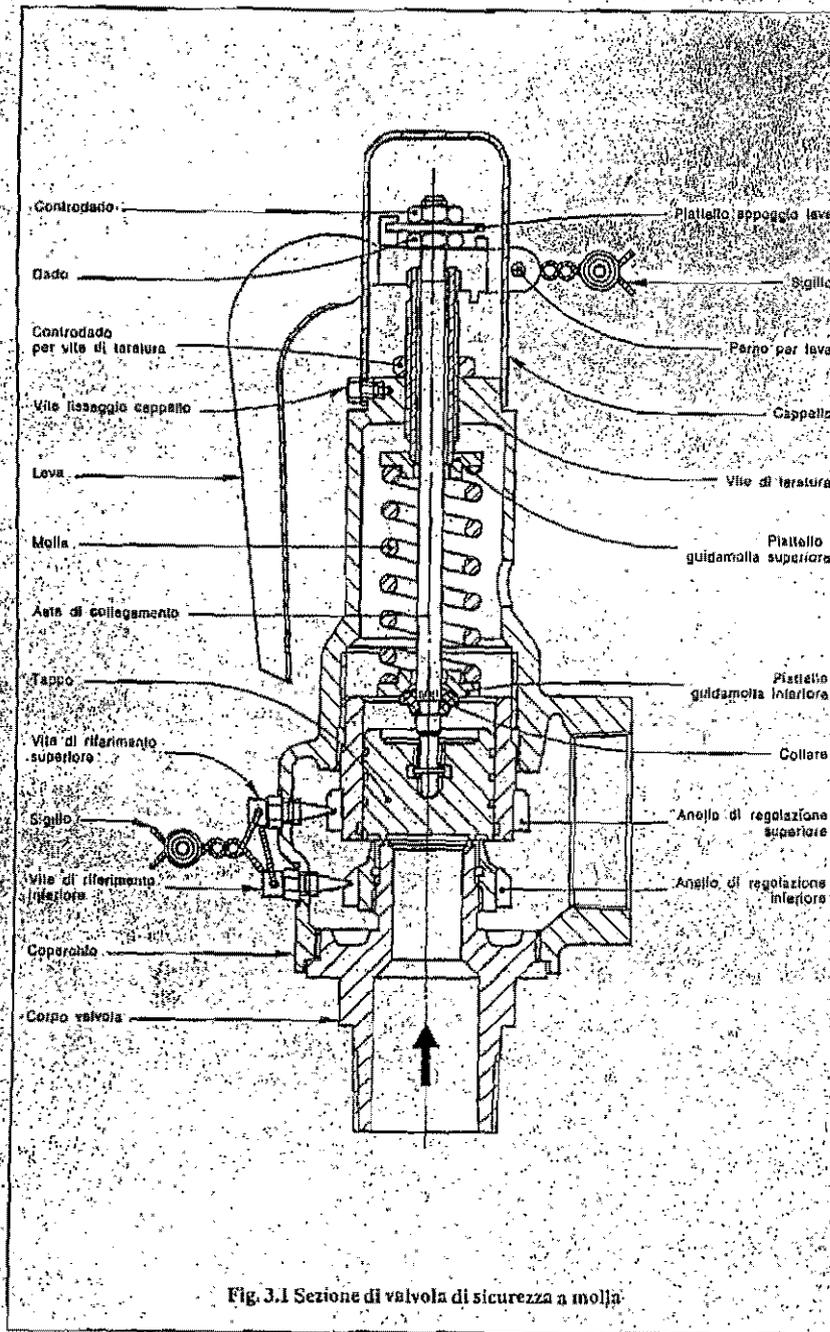


Fig. 3.1 Sezione di valvola di sicurezza a molla

CARATTERISTICHE DELLE VALVOLE DI SICUREZZA

- Le valvole di sicurezza possono essere caricate da peso diretto, da peso e leva o da molla diretta;
- La costruzione delle valvole di sicurezza ed i materiali impiegati devono essere idonei; a giudizio del costruttore, per le condizioni di pressione e per le altre proprietà del fluido a contatto;
- Le sedi delle valvole di sicurezza devono di norma essere piane. Sono ammesse sedi coniche purché il semiangolo di apertura del cono non sia inferiore a 45°;
- Nel caso in cui la tenuta delle valvole sia realizzabile solo con l'adozione di una guarnizione fra sede ed otturatore, il tipo di guarnizione da applicare deve essere di materiale tale che, anche in prolungato esercizio, conservi buone caratteristiche di resistenza e non provochi fenomeni di incollamento dell'otturatore sulla sede;
- L'otturatore e/o lo stelo delle valvole devono essere guidati nel loro movimento in modo che l'azione di guida non venga mai a mancare;
- Lo stelo non deve essere munito di premistoppa;
- Il sistema di taratura delle valvole di sicurezza deve essere meccanicamente bloccabile;
- La sovrappressione delle valvole di sicurezza non può superare il 10% della pressione di taratura. Per pressioni di taratura non superiori a 1 Kg/cm², la sovrappressione non deve superare il maggiore dei seguenti valori: 20% della pressione di taratura, 0,1 Kg/cm².

In funzione del carico sull'otturatore le valvole si distinguono in:

VALVOLE DI SICUREZZA A PESO DIRETTO

Sull'otturatore grava un carico costituito da un peso. La valvola scarica vapore quando la forza prodotta dal vapore stesso è superiore alla forza esercitata dal peso. Viene applicata a generatori a basse pressioni, solitamente inferiori al bar.

Es. una valvola con diametro dell'orifizio di 100 mm. e una sede di 2 mm., ha una sezione dell'orifizio stesso:

$$\frac{3,14 \times D^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,102^2}{4} = 81,67 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 81,67 \text{ cm}^2 \text{ Sez. Orif.}$$

Se la pressione del generatore è 5 bar

$$\text{Forza esercitata dal vapore} = 81,67 \times 10^{-4} \times 5 \times 10^5 = 408,35 \text{ Kp (FM)}$$

occorre quindi caricare la valvola con circa 410 Kg.

Se la stessa valvola viene applicata ad un generatore funzionante a 0,5 bar

$$\text{Forza esercitata dal vapore} = 81,67 \times 10^{-4} \times 0,5 \times 10^5 = 40,835 \text{ Kp}$$

cioè circa 40 Kg., peso come si vede ammissibile.

VALVOLA DI SICUREZZA A PESO E LEVA

Il carico è costituito da un peso applicato all'estremo di una leva (fig. 3.2).

Questa valvola viene preferita alla valvola a peso diretto quando il peso da applicare all'otturatore diventa molto grande.

Se riprendiamo l'esempio precedente, sapendo che i due bracci di leva hanno rapporto 1 a 12 (v. fig. 1.2) ($AB = 50 \text{ mm.}$, $AC = 600 \text{ mm.}$) e che la pressione di esercizio è 5 bar il peso da applicare alla leva per equilibrare la forza esercitata dal vapore è:

$$EM \times AB = FR \times AC$$

$$408,35 \times 50 = P \times 600$$

$$P = \frac{408,35 \times 50}{600} = 34,03 \text{ Kp}$$

peso notevolmente inferiore a quello necessario per una valvola a peso diretto.

Per ridurre ulteriormente il carico sull'otturatore si applica una valvola di sicurezza a peso e doppia leva nella quale il principio delle leve viene applicato due volte:

VALVOLE A MOLLA

Il carico sull'otturatore è costituito dalla forza esercitata dalla molla compressa (fig. 3.1-3.3). Rispetto alle altre valvole a parità di dimensioni del diametro dell'orifizio, consentono una fuoriuscita maggiore di vapore e presentano una migliore affidabilità.

La molla viene applicata direttamente tra la superficie fissa e l'otturatore, oppure all'estremità di una leva.

Le valvole finora descritte sono definite ordinarie in quanto il sollevamento dell'otturatore è frutto della sola spinta del vapore.

Nelle valvole a grande alzata, l'otturatore ha una superficie più grande rispetto all'orifizio (fig. 3.4) o talvolta una superficie aggiuntiva consistente in un disco sovrapposto all'otturatore stesso. Il vapore fuoriesce dalla valvola con una velocità e di conseguenza una forza elevata che, urtando contro la superficie aggiuntiva, determina il completo sollevamento della valvola.

Chiusura: quando scompare la causa che ha creato l'eccesso di pressione, questa comincia a diminuire, la forza della molla vince le forze agenti sull'otturatore e si raggiunge nuovamente la perfetta tenuta.

Scarto di pressione in chiusura: la valvola richiude a una pressione inferiore a quella di taratura. Nei casi più comuni lo scarto è del 4% della pressione di taratura, ma è possibile alterarlo alzando l'anello di regolazione superiore. Così facendo si aumenta l'orifizio anulare (C) dando quindi maggiore sfogo al fluido. Le forze sotto il tappo sono minori e quindi la valvola chiude con uno scarto minore. Uno scarto troppo piccolo determina aperture e chiusure ad intervalli brevissimi e nei casi peggiori anche il martellamento con grave danno della sede e del tappo. Uno scarto troppo grande produce inutili e costose perdite di fluido.

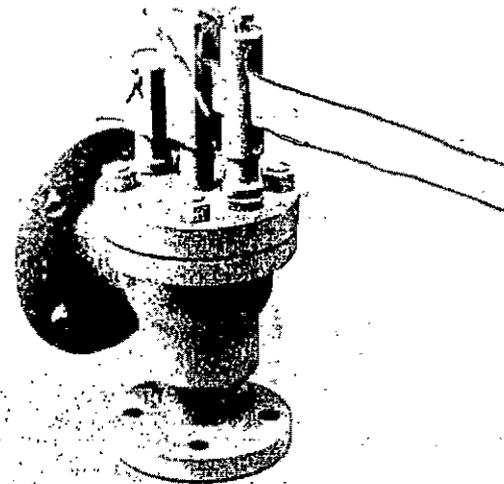


Fig. 3.2 Valvola di sicurezza a peso e leva (Maletti F.III)

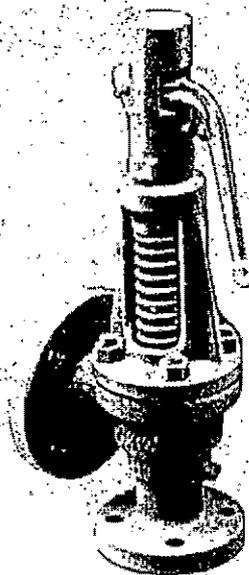


Fig. 3.3 Valvola di sicurezza a molla (Maletti F.III)

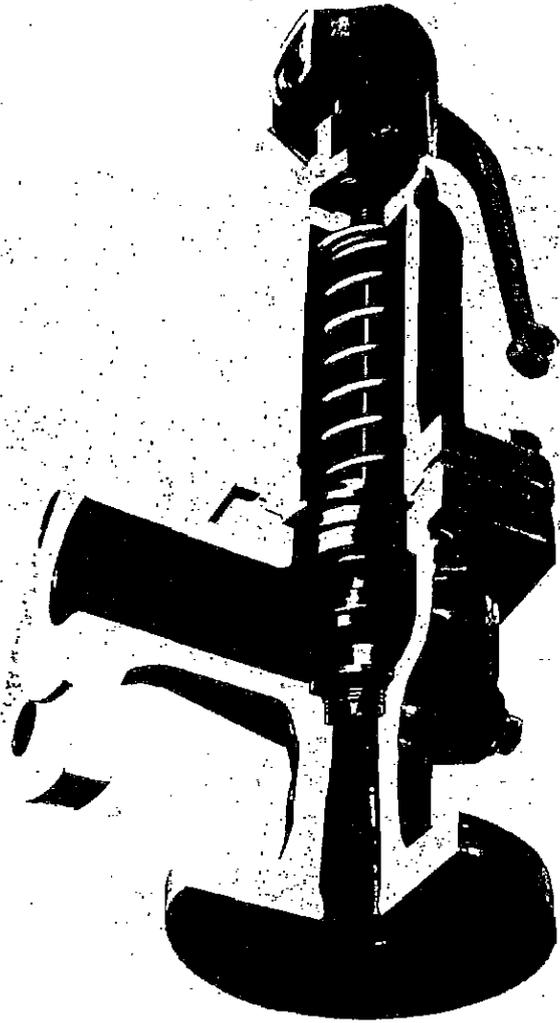


Fig. 3.4 Valvola di sicurezza a molla (Valvosteel)

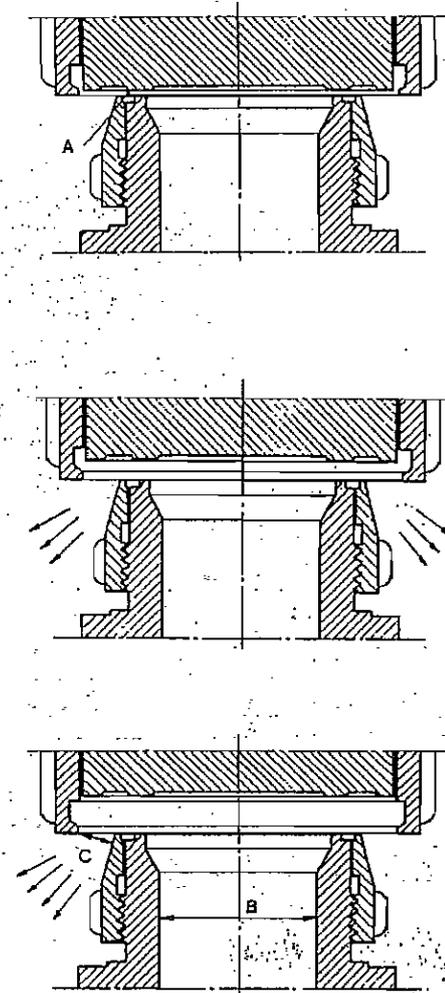


Fig. 3.5

Funzionamento di una valvola di sicurezza a grande alzata

Apertura: raggiunta la pressione di taratura, sotto l'azione della pressione statica, il tappo si solleva e inizia a scaricare (fig. 3.5a). Dalla piccola fessura iniziale comincia a sfuggire il fluido che si espande nella camera anulare A. La forza aggiuntiva compensa la maggior forza opposta della molla che si va comprimendo, provocando una maggiore apertura del tappo.

Viene così a scoprirsi l'anello superiore di regolazione (fig. 3.5b) che costringe il fluido a invertire il senso del moto e a scaricarsi verso il basso. Si crea una notevole forza di reazione che vincendo la forza della molla fa raggiungere al tappo l'alzata totale (fig. 3.5c). A valvola totalmente aperta, la sezione minima si trova nella gola (B) dell'ugello, tutte le sezioni a valle di essa sono maggiori, permettendo al fluido una libera espansione. Si spiega così l'elevatissima capacità di scarico della valvola. Il fenomeno descritto richiede un tempo brevissimo per cui l'apertura avviene di scatto.

Sovrapressione di accumulazione: la differenza tra la pressione finale raggiunta durante lo scarico e la pressione di taratura si definisce sovrapressione di accumulazione. Per apparecchi diversi, sono ammesse sovrapressioni di accumulazione differenti. Per esempio, per generatori di vapore è ammessa una sovrapressione di accumulazione pari al 3% della pressione di taratura. E' chiaro che, all'aumentare della sovrapressione di accumulazione ammessa, aumenta la portata della valvola di sicurezza.

Dal bollettino per gli addetti agli impianti termici Anno XVIII N.3 "Qualunque sia il tipo di valvola di sicurezza installata sul generatore, ad essa il conduttore deve prestare molte attenzioni ed una diligente ed accurata manutenzione affinché la valvola sia sempre efficiente in modo da poter intervenire con un funzionamento sicuro ed efficace in qualsiasi istante si verifichi un disservizio che causi il suo intervento.

Il conduttore deve sempre tenere presente che la valvola di sicurezza è l'accessorio più importante e più delicato del generatore e che rappresenta l'ultimo, ed appunto per questo il più importante, elemento che garantisce che la pressione all'interno del generatore non superi il massimo valore di sicuro funzionamento.

Poiché durante il normale funzionamento di un generatore le valvole di sicurezza non intervengono mai, è buona norma che il conduttore con una certa frequenza provi che le valvole di sicurezza siano libere, cioè che l'otturatore non sia incollato alla sede:

- per le valvole a peso e leva, basta sollevare la leva fino a quando la valvola incomincia a scaricare vapore;

- per le valvole a molla diretta, basta agire sulla leva di sollevamento fino a quando la valvola incomincia a scaricare vapore.

Con frequenza minore, ma sempre periodicamente, il conduttore deve controllare che le valvole di sicurezza si aprano alla pressione di taratura ed a tale scopo è necessario cavallottare i contatti dei pressostati e far salire lentamente

la pressione fino alla pressione di bollo; al raggiungimento di tale pressione le valvole di sicurezza devono incominciare a scaricare. Se da tale prova risulta che le valvole di sicurezza non si sono ancora aperte alla pressione di bollo è necessario che il conduttore proceda a ritardare le valvole in modo da ripristinare la normale pressione di taratura:

- per le valvole a peso e leva, basta spostare il contrappeso in modo da diminuire il braccio di leva maggiore;

- per le valvole a molla, è necessario agire sul dado di regolazione in modo da diminuire il carico della molla.

Le valvole di sicurezza installate su generatori di vapore con potenzialità al carico massimo continuo superiore od uguale a 1 T/h devono avere obbligatoriamente lo scarico convogliato all'esterno del locale. E' però consigliabile che tale norma venga estesa anche ad impianti di più modesta entità per evitare che all'apertura delle valvole di sicurezza una rumorosa nube di vapore invada il locale e, addirittura in locali alquanto piccoli, si può correre il pericolo di un annullamento della visibilità con conseguente scompiglio tra i presenti e difficoltà di intervento sugli organi di regolazione e controllo del generatore.

Particolari attenzioni devono essere tenute in considerazione nella realizzazione delle tubazioni di scarico:

- è consigliabile realizzare la tubazione di scarico con tubazioni aventi diametro immediatamente superiore al diametro della flangia di uscita della valvola di sicurezza;

- le curve della tubazione di scarico devono essere realizzate a largo raggio;

- tutta la tubazione di scarico deve essere realizzata in modo da evitare il formarsi di condensa e quindi deve possedere una adeguata pendenza per consentire il suo completo drenaggio ed è da evitarsi in maniera assoluta l'uso del foro di drenaggio previsto nel corpo della valvola per drenare la tubatura di scarico;

- le tubazioni di scarico devono essere opportunamente ancorate e sostenute in modo che le sollecitazioni in esse create dalle dilatazioni termiche non vadano a scaricarsi sulla valvola di sicurezza e si può anche prevedere la necessità di impiegare dei giunti di dilatazione;

- quando più valvole vengono convogliate su di una unica linea di scarico, ogni tronco di essa deve avere una area di passaggio almeno pari alla somma delle aree di scarico delle valvole di sicurezza poste a monte di esso.

VALVOLE A PESO E LEVA

La valvola di sicurezza a peso e leva deve essere caricata con un peso in un sol pezzo e se, dovendo cambiare la taratura della valvola, il peso risulta insufficiente, bisogna provvedere alla sostituzione con un peso maggiore.

Se i pesi sono infilati nelle leve e fissati con una vite di pressione deve controllarsi che la vite sia ben stretta; nel caso invece di pesi scorrevoli sulle leve è necessario creare un intaglio nella leva ed il peso deve essere bloccato mediante fori e coppiglie.

La leva deve essere orizzontale e non inclinata in quanto le inevitabili vibrazioni con il tempo tendono a far spostare il peso con conseguente variazione della taratura e si può anche arrivare alla caduta del peso con una improvvisa e rumorosa fuga di vapore.

Quando per provare se le valvole di sicurezza sono libere si ricorre ad aste per sollevare le leve, conviene sollevare sempre le leve e mai i pesi, perché se questi sono bloccati sulle leve potrebbero spostarsi alterando la taratura delle valvole stesse.

Quando il conduttore si appresta a controllare se le valvole di sicurezza sono libere deve fare molta attenzione alla direzione dello scarico per evitare di essere investito dal getto di vapore.

E' auspicabile che tutto il movimento della valvola sia a vista in modo da poter controllare rapidamente ed in qualsiasi momento lo stato delle leve e dei relativi fulcri.

La soluzione regolamentare è quella di avere, alla pressione di taratura, il peso all'estremità della leva.

Le sedi delle valvole devono essere ben smerigliate per evitare che la fuoriuscita di vapore danneggi la sede stessa.

Bisogna inoltre controllare che non ci siano attriti o laschi troppo esigui tra perni e leve, tra leve e feritoie di guida; quando, dopo la manutenzione, si procede alla verniciatura delle valvole bisogna stare attenti a non dare vernice nelle zone in cui si hanno rotazioni o movimenti relativi tra i vari accoppiamenti e di non verniciare pure la targhetta del costruttore in cui sono marcati i dati caratteristici della valvola.

VALVOLE A MOLLA DIRETTA

Alle valvole a molla deve essere prestata una cura più attenta essendo un organo più complesso e più delicato delle valvole a peso e leva.

Quasi tutti i costruttori accompagnano le loro valvole a molla con un manuale in cui danno utili indicazioni circa le precauzioni da seguire durante la installazione e la manutenzione delle stesse; è molto utile che il responsabile dell'impianto sia a conoscenza di tali consigli per poterli seguire attentamente al fine di mantenere sempre efficienti le valvole e poter ottenere da loro le migliori prestazioni. La taratura delle valvole di sicurezza a molla non può essere variata all'infinito agendo solamente sugli organi di regolazione della taratura, ma, quando tale variazione è di una certa entità, è necessario procedere alla sostituzione della molla.

E' bene proteggere tutti gli accoppiamenti e le parti mobili delle valvole con appositi lubrificanti ed antigrippanti che siano però compatibili con il vapore d'acqua.

Particolare cura deve essere posta per la smerigliatura dell'otturatore e della sede, lavoro che è bene venga eseguito da persona altamente specializzata, con l'ausilio di abrasivi a base di carburo di silicio o carborundum ed olio. E' consigliabile eseguire una prima smerigliatura con abrasivo a grana fine e poi una seconda con abrasivo a grana finissima. In genere si lappano

separatamente la sede dell'otturatore e la sede della valvola e dopo si esegue una smerigliatura con smeriglio a grana finissima dell'otturatore sulla sede della valvola.

Particolari precauzioni devono essere prese per le valvole di riserva che vengono tenute in magazzino: dopo aver provveduto a proteggere tutte le parti dotate di movimenti relativi e le superfici delle flange di ingresso e di uscita con olio o grasso, è necessario proteggere le flange di entrata e di uscita con dischi di legno o di cartone per evitare che si possano rovinare le superfici di tenuta delle flange e che del materiale estraneo possa entrare dentro la valvola; le valvole inoltre devono essere tenute in ambiente non umido o polveroso.

3.2 ACCESSORI DI OSSERVAZIONE

MANOMETRO

E' lo strumento che misura la pressione (effettiva o assoluta) all'interno del generatore.

Il regolamento prescrive art. 17 - "Ogni generatore deve essere munito di un manometro convenientemente collocato e graduato in Kg/cm² o bar, sul quale sia indicata, con segno facilmente visibile, la pressione effettiva che il vapore non deve oltrepassare".

La gradazione del manometro deve spingersi almeno fino a una volta e mezzo ma non oltre il doppio della pressione massima di lavoro ed essere di facile lettura.

Qualora le segnalazioni del manometro di un generatore differiscano da quelle del manometro campione per più di un quinto della pressione del boiler, con una massima differenza di un Kg. in più o di mezzo Kg. in meno, il manometro stesso deve essere riparato o sostituito.

Per pressioni inferiori a due atmosfere è ammessa la tolleranza di un quinto di atmosfera".

Art. 18 - "Ogni generatore deve essere munito di una apposita appendice, comunicante con l'interno di esso e terminata da un disco di 40 mm. di diametro e di 4 mm. di spessore per l'applicazione del manometro campione.

Art. 19 - "Per i generatori costruiti dopo l'entrata in vigore del presente regolamento, la presa del vapore per il manometro deve essere munita di apposito rubinetto di intercettazione a tre vie, con appendice come da art. 18."

Il rubinetto a tre vie (fig. 3.6) pone in comunicazione:

- generatore e manometro (posizione di funzionamento)
- manometro ed esterno (posizione di spurgo del manometro)
- generatore ed esterno (posizione di spurgo del sifone)
- generatore, manometro e manometro campione (posizione di controllo del manometro).

Tab. 3.1
CORRISPONDENZA
TRA LA PRESSIONE DI BOLLO ED IL
FONDO SCALA DEL MANOMETRO

Pressione di bollo bar	Fondo scala manometro bar
< 0,50	0,60
0,50 ÷ 0,80	1,00
0,80 ÷ 1,30	1,60
1,30 ÷ 2,00	2,50
2,00 ÷ 3,20	4,00
3,20 ÷ 4,80	6,00
4,80 ÷ 8,00	10,00
8,00 ÷ 12,80	16,00
12,80 ÷ 20,00	25,00
20,00 ÷ 32,00	40,00
32,00 ÷ 50,00	63,00
50,00 ÷ 80,00	100,00
80,00 ÷ 128,00	160,00
128,00 ÷ 200,00	250,00
200,00 ÷ 320,00	400,00
320,00 ÷ 500,00	630,00
500,00 ÷ 800,00	1000,00



Fig. 3.7
Tubi a sifone per
manometro

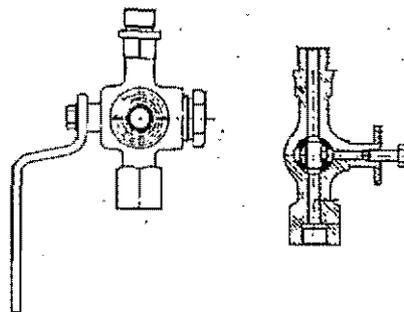
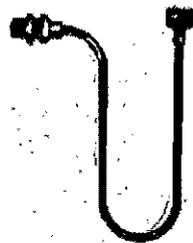
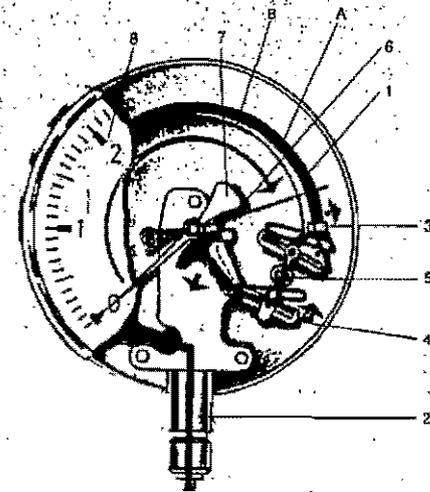
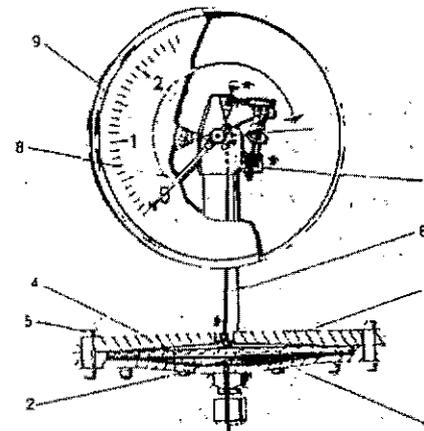


Fig. 3.6 Rubinetto a tre vie con appendice



- 1 organo di misura/molla tubolare
- 2 attacco
- 3 terminale della molla
- 4 segmento
- 5 leva di collegamento
- 6 settore dentato
- 7 indice
- 8 quadrante

Fig. 3.8 Manometro Bourdon



- 1 flangia inferiore
- 2 camera di pressione
- 3 flangia superiore
- 4 membrana elastica
- 5 bullone di fissaggio della flangia
- 6 leva di trasmissione
- 7 segmento
- 8 indice
- 9 quadrante

Fig. 3.9 Manometro Schaeffer

Per un sicuro funzionamento e conservazione del manometro, tra generatore e manometro stesso, viene applicato un tubo a sifone (fig. 3.7) dove il vapore si condensa ed è l'acqua che va a contatto con gli organi dello strumento.

Talvolta vengono utilizzati manometri unificati con fondo scala conforme alla tabella 3.1.

I manometri più diffusi sono:

Bourdon

È costituito da un tubo metallico a sezione ellittica (schiacciata), piegato ad arco. L'estremità aperta è in comunicazione con l'interno del generatore, l'altra estremità chiusa è collegata, attraverso un sistema di leve, al settore dentato e all'indice (fig. 3.8).

La pressione esercitata dal fluido all'interno del tubo metallico $F = P \cdot S$, pur essendo ugualmente distribuita, tende a raddrizzarlo. La forza che si esercita diviene infatti superiore sulla parete esterna (A) del tubo in quanto offre una superficie maggiore rispetto alla parete interna (B). Il tubo nel movimento trascina un'asta, la quale attraverso un settore dentato sposta l'indice. Quando scompare la pressione, il tubo metallico in quanto elastico, ritorna in posizione iniziale e l'indice attraverso una molla si posiziona in corrispondenza dello zero indicato sulla scala.

Schaeffer

È costituito da una membrana metallica ondulata su un cui lato agisce il vapore condensato esercitando una pressione (fig. 3.9). L'altro lato è collegato, mediante un sistema a punterie, a un settore dentato che agisce sull'indice.

La membrana ondulata, che si inflette più o meno a seconda della pressione, trasmette il movimento amplificato, attraverso un'asta collegata ad un settore dentato, alla lancetta dell'accessorio.

INDICATORI DI LIVELLO

Vengono utilizzati per osservare il livello dell'acqua nel generatore. Sono costituiti da un tubo di vetro, la cui estremità superiore è in comunicazione con la camera di vapore ed estremità inferiore con l'acqua contenuta nel generatore. Sulle due comunicazioni sono applicati due rubinetti di intercettazione e nella parte inferiore dell'indicatore è installato un terzo rubinetto definito rubinetto di spurgo.

Questi rubinetti consentono di controllare l'efficienza degli indicatori mediante una prova rapida o una prova completa, e la sostituzione della lancetta con il generatore in pressione.

La prova rapida si effettua aprendo e richiudendo in pochi secondi il rubinetto di spurgo. Se l'acqua scompare e riappare rapidamente a livello precedente con oscillazioni ampie si ha un regolare funzionamento; se diversamente ricompare lentamente o non ritorna a livello, una comunicazione è ostruita.

Per determinare quale comunicazione è ostruita si ricorre alla prova completa. Si chiudono i rubinetti dell'acqua e del vapore, si apre quello di spurgo

e dall'indicatore scompare ogni possibile indicazione con verifica di tenuta dei rispettivi rubinetti. Si apre successivamente il rubinetto dell'acqua e da quello di spurgo deve uscire acqua. Chiuso il rubinetto dell'acqua, si apre quello del vapore e dallo spurgo deve uscire vapore. Si chiude il rubinetto di spurgo, si apre il rubinetto dell'acqua e il livello con ampie oscillazioni torna al punto iniziale.

Il regolamento prescrive art. 22 - "Ogni generatore deve avere non meno di 2 apparecchi indicatori di livello d'acqua, dei quali uno deve essere a vetro. L'altro può essere costituito da due rubinetti di prova (fig. 3.18).

Come secondo indicatore di livello può essere impiegato un indicatore a sensore magnetico, che risponda ai seguenti requisiti:

- sia del tipo omologato dall'I.S.P.E.S.L. espressamente per questo servizio,
- sia corredato, oltre che dai rubinetti di intercettazione, anche da rubinetto di scarico,
- abbia interasse e diametri minimi di passaggio almeno equivalenti a quanto richiesto per gli indicatori a vetro.

Se sussiste l'approvazione dell'I.S.P.E.S.L. alla conduzione del generatore dalla sala controllo (approvazione che viene concessa in casi particolari) tale indicatore magnetico è corredato da sistemi di trasmissione (pure espressamente omologati) con cui il livello viene letto a quadro, in sala controllo.

Gli indicatori devono essere posti in comunicazione diretta con l'interno del generatore; devono essere ben visibili dal conduttore ed indipendenti l'uno dall'altro.

Il diametro dei fori di comunicazione non deve essere inferiore a 10 mm, né l'altezza visibile del vetro può essere inferiore a 150 mm, dei quali non più di 40 mm. devono essere sotto il livello minimo.

Gli indicatori possono essere montati su di uno stesso corpo, purché tanto questo, quanto le comunicazioni con il generatore abbiano la sezione libera non minore di 60 cm². In tal caso il corpo unico portante i due indicatori di livello deve essere provvisto di un rubinetto di spurgo.

L'indicatore di vetro deve essere collocato in guisa che siano facili la pulizia delle comunicazioni con il generatore e delle testate; il ricambio del tubo e la manovra dei rubinetti.

Dietro l'indicatore deve essere fissata una targhetta con la dicitura "livello minimo".

Ogni indicatore deve essere munito, contro le eventuali proiezioni per rotture del tubo di vetro, di un riparo che non impedisca la visibilità del livello di acqua.

Tale prescrizione non è applicabile agli indicatori posti ad almeno tre metri di altezza dal piano di manovra e a quelli a grossa lastra di vetro.

Quando gli indicatori sono posti a più di tre metri dal piano di manovra

del fuochista, vi deve essere anche un indice ben visibile e ripiegato sul vetro.

Quando uno degli indicatori di livello è costituito da due rubinetti di prova, la comunicazione del rubinetto inferiore deve essere in corrispondenza del livello minimo. Il dislivello fra i due rubinetti non deve essere superiore a 100 mm.

Il livello di cui al presente articolo deve essere situato a 80 mm. più in alto della linea superiore delimitante la superficie di riscaldamento".

Con un indicatore otturato il patentato può condurre regolarmente il proprio generatore. Se entrambi gli indicatori sono inefficienti è necessaria una immediata riparazione.

Nei generatori a tubi d'acqua nei quali gli indicatori di livello sono installati ad altezze superiori, i rubinetti di spurgo, mediante opportuni tubi, vengono convogliati in basso per consentire all'operatore di effettuare gli spurghi.

Gli indicatori vengono suddivisi in:

- a tubi di vetro: vengono applicati in presenza di pressioni modeste; il regolamento prescrive per la protezione guaine speciali.

- a riflessione: il livello viene rilevato dalla differente luminosità del cristallo in corrispondenza del liquido e del vapore (fig. 3.10).

In presenza di liquido la luce che entra all'interno dell'indicatore viene rifratta dal cristallo e non esce più dall'indicatore; in presenza di vapore la luce subisce una doppia riflessione sui canali del cristallo e torna all'esterno con tutta la sua brillantezza. In questo modo diviene scura la parte occupata dall'acqua e chiara quella del vapore.

Offrono notevoli vantaggi in termini di:

- basso costo di manutenzione
- facile lettura del livello

Il cristallo si presenta con una faccia liscia e l'altra con scanalature prismatiche verticali con angoli a 90°.

- a trasparenza (da ~ 25 bar a ~ 120 bar): la colonna fluida si trova tra due cristalli piani. Aderente alla faccia interna di ciascun cristallo è interposto un foglio di mica, allo scopo di proteggere il cristallo stesso dalla corrosione della condensa, la cui aggressività aumenta con la temperatura. La lettura del livello si effettua sfruttando la differente trasparenza tra i liquidi e gli aeriformi (gas, vapori). Infatti la luce che attraversa il liquido è inferiore rispetto a quella del vapore generando due zone, una più scura (acqua), ed una più chiara (vapore). La lettura degli indicatori di livello a trasparenza non è molto evidente, si richiede perciò l'installazione di illuminatori posti dietro il corpo livello per rendere più evidente il contrasto.

- a rifrazione bicolore: è una variante degli indicatori trasparenti (fig. 3.11). Per mezzo di uno speciale illuminatore applicato dietro il corpo di livello e contenente un filtro ottico rosso e uno verde si ottiene che la luce uscente dal fronte di livello è:

- rossa in corrispondenza del vapore
- verde in corrispondenza del liquido

I cristalli sono dei piccoli dischi installati nel corpo in coppie contrapposte.

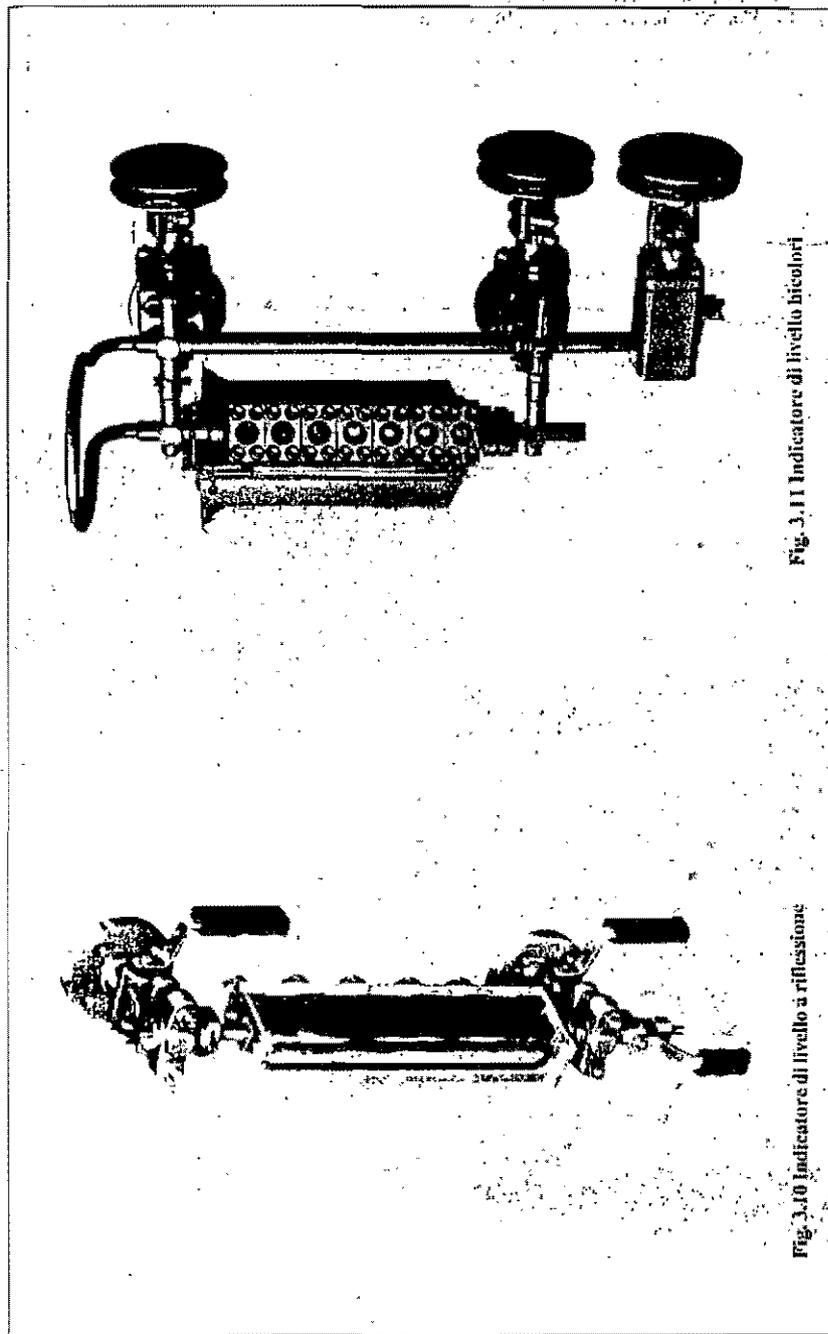


Fig. 3.11 Indicatore di livello bicolore

Fig. 3.10 Indicatore di livello a riflessione

- a sensore magnetico; la scala, costituita da materiale amagnetico e da una serie di piccoli magneti, appare di un colore nel tratto occupato dal vapore e di un altro nella zona occupata dall'acqua. (Vedi cap. XI).

3.3 ACCESSORI DI PROTEZIONE

PRESSOSTATI

Sono apparecchi atti a mantenere la pressione nel generatore entro due valori determinati (fig. 3.12). Il pressostato spegne il bruciatore quando il generatore raggiunge la massima pressione d'esercizio e lo riaccende quando il valore scende alla minima pressione d'esercizio.

La fig. 3.13 mostra il principio costruttivo di un pressostato.

Attraverso il raccordo di entrata, il soffietto è collegato al lato di alta pressione dell'impianto da controllare. La molla principale (12) può essere tarata per bilanciare differenti pressioni nel soffietto. All'aumentare della pressione il soffietto reagisce causando lo spostamento dell'asta principale verso l'alto fino a che la molla antagonista bilancia la pressione nel soffietto. L'asta è fornita di una ghiera di guida e di un pomello per la taratura del differenziale ed entrambi trasmettono il movimento dell'asta al sistema di contatto (16).

Un pressostato è costituito da:

- una scala principale: indica la pressione alla quale si accende il bruciatore;
- una scala differenziale: stabilisce la differenza tra le pressioni di avvio e di arresto. È necessaria una scala opportuna per ottenere un corretto funzionamento automatico dell'impianto. Un differenziale troppo piccolo dà brevi periodi di funzionamento con il rischio di oscillazioni; un differenziale troppo grande determina grandi variazioni di pressione.

Supponiamo che si debba regolare un pressostato in modo che la pressione massima sia 11 bar e la pressione minima 10,2 bar. Si procede regolando la scala principale a 10,2 bar e successivamente la scala differenziale a 0,8 bar. La somma dei valori delle due scale consentono di ottenere la pressione massima.

I pressostati sono tarati secondo la funzione del contatto elettrico che chiude al diminuire della pressione.

Se il bruciatore è corredato di due ugelli (2 stadi), vengono installati due pressostati tarati a pressioni differenti e cadauno collegato ad uno stadio del bruciatore.

Accanto al pressostato di regolazione le norme richiedono l'installazione del pressostato di blocco, come apparecchio di sicurezza. Viene tarato ad una pressione superiore a quella massima del pressostato principale ed inferiore a quella di sfioro delle valvole di sicurezza. Interviene in caso di mancato funzionamento del pressostato di regolazione, aprendo il circuito elettrico del comando bruciatore. Un ancoraggio tiene il contatto elettrico permanentemente bloccato in apertura. Solo con l'intervento manuale l'operatore può, dopo

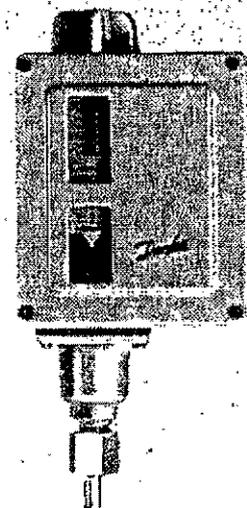


Fig. 3.12
Pressostato

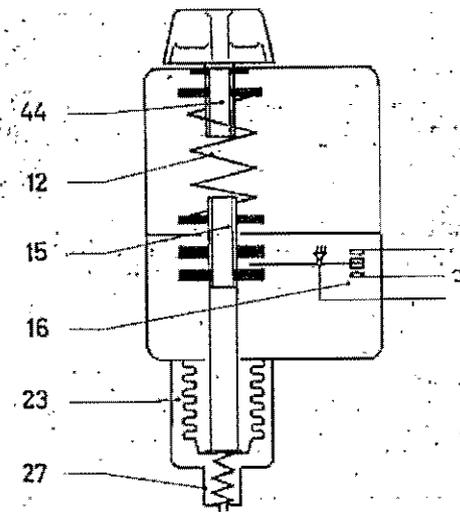


Fig. 3.13
Schema costruttivo di un pressostato

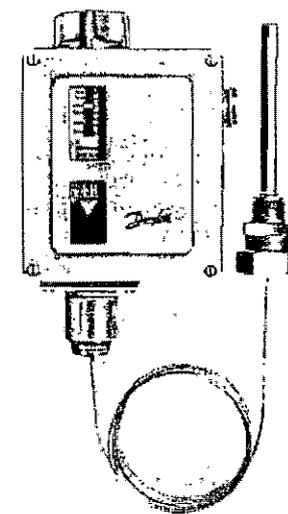


Fig. 3.14
Termostato

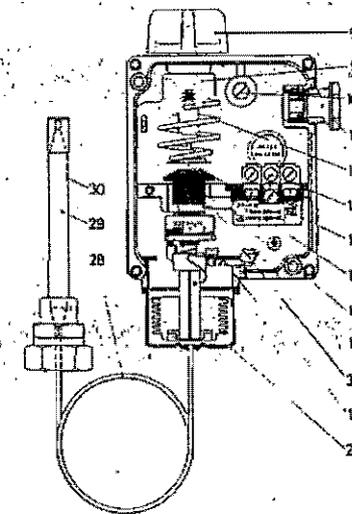


Fig. 3.15
Schema costruttivo di un termostato

aver eliminato la causa della avaria, riarmare o sbloccare il circuito elettrico di comando.

Il pressostato modulante viene trattato nel cap. XI.

TERMOSTATI

Sono apparecchi a controllo della temperatura del fluido che aprono o chiudono il contatto in dipendenza alle variazioni di temperatura del bulbo (fig. 3.14). Nei generatori di vapore vengono installati sui preriscaldatori del combustibile (olio combustibile, metano).

La figura 3.15 mostra il principio costruttivo di un termostato. L'elemento di potenza è costituito da un bulbo (29), da un capillare (28) ed un soffiutto (23). L'elemento contiene una carica che reagisce alle variazioni di temperatura al bulbo, in modo da aumentare la pressione sul soffiutto con l'aumentare della temperatura.

La molla principale (12) può essere tarata per diverse pressioni contrastando così in parte l'aumento di pressione nel soffiutto. Un aumento di temperatura al bulbo causa una compressione del soffiutto ed il relativo spostamento verso l'alto dell'asta principale (15) fino a che la pressione della molla bilancia la pressione del soffiutto.

L'asta ha un pomello di guida (17) nella parte superiore ed una ghiera differenziale (19) nella parte inferiore ed entrambi trasmettono il movimento dell'asta al sistema di contatto (16).

Un termostato è costituito da:

- una scala principale: indica la temperatura alla quale si chiude il contatto

- scala differenziale: definisce la differenza fra le temperature di avvio e di arresto. La regolazione si effettua con lo stesso principio dei pressostati.

Al termostato principale è collegato in serie un termostato di sicurezza che interviene quando, a causa di un guasto del termostato principale, la temperatura sale ad un valore superiore al massimo prefissato e provoca il blocco del circuito, con riarmo manuale.

I termostati trovano applicazione anche nelle caldaie da riscaldamento, negli scambiatori di calore, nei degasatori... e dove è necessario regolare la temperatura.

REGOLATORI DI LIVELLO

Hanno la funzione di mantenere il livello dell'acqua nel generatore costante o compreso entro un determinato intervallo.

La parte sensibile per ottenere una regolazione ottimale viene installata all'interno di un barilotto di stabilizzazione esterno al corpo cilindrico collegato con la camera dell'acqua e la camera del vapore (fig. 3.18).

Si suddividono in continui e discontinui. Sono continui quando il livello dell'acqua viene mantenuto costante senza fermare l'apparecchio di alimentazione. Appartengono ai discontinui quando il livello dell'acqua viene mantenuto tra un minimo ed un massimo fermando ed avviando l'apparecchio di alimentazione.

Continui

I regolatori di livello continui del tipo Copes (fig. 3.16) sono costituiti da un tubo metallico a forte coefficiente di dilatazione collegato al corpo cilindrico del generatore. Installati opportunamente inclinati, a leggeri spostamenti del livello di acqua nel generatore grandi tratti del tubo vengono coperti o scoperti dall'acqua. Quando il livello di acqua nel generatore diminuisce la superficie e la temperatura media del tubo lambita dal vapore aumenta e il tubo stesso si dilata. Viceversa quando il livello di acqua aumenta la temperatura media diminuisce e il tubo si contrae. Queste dilatazioni e contrazioni mediante un sistema di leva vengono trasmesse alla valvola di alimento che adegua l'apertura in funzione dell'alimentazione e mantiene quasi costante il livello dell'acqua nel generatore.

Esistono anche altri regolatori a differente principio di funzionamento (vedi cap. XI).

Discontinui

Il più semplice regolatore discontinuo è costituito da un galleggiante collegato a una o due ampolle contenenti all'interno mercurio e poste in equilibrio mediante un equipaggio mobile (fig. 3.17). Quando il livello dell'acqua raggiunge il livello massimo d'esercizio, il galleggiante, che si trova sul pelo libero dell'acqua, posiziona l'ampolla come in fig. 3.17A, il mercurio scopre i contatti e interrompe il circuito della pompa di alimentazione. Viceversa quando l'acqua scende fino al livello minimo, l'ampolla assume la posizione indicata in fig. 3.17B, il mercurio copre i due contatti e ripristina il circuito della pompa di alimentazione.

Il differenziale, cioè il dislivello che intercorre fra l'apertura e la chiusura del contatto viene tarato variando l'inclinazione dell'ampolla.

In fig. 3.19 è rappresentato un regolatore di livello discontinuo magnetico a galleggiante. Il galleggiante è collegato ad un'asta munita, all'estremità superiore di una estensione a pistoncino (3) di materiale magnetico in acciaio contenuto in un pozzetto cilindrico di materiale amagnetico (5).

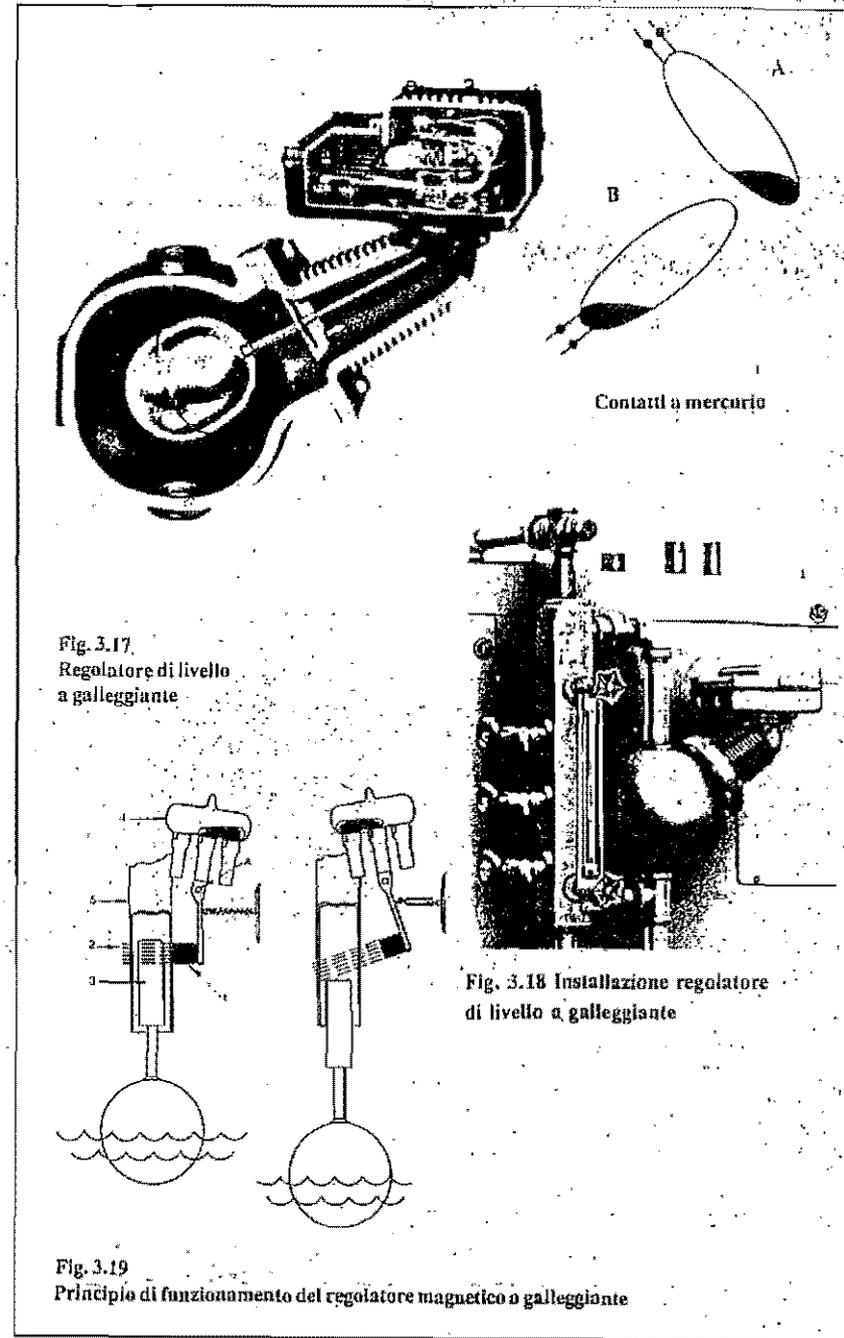
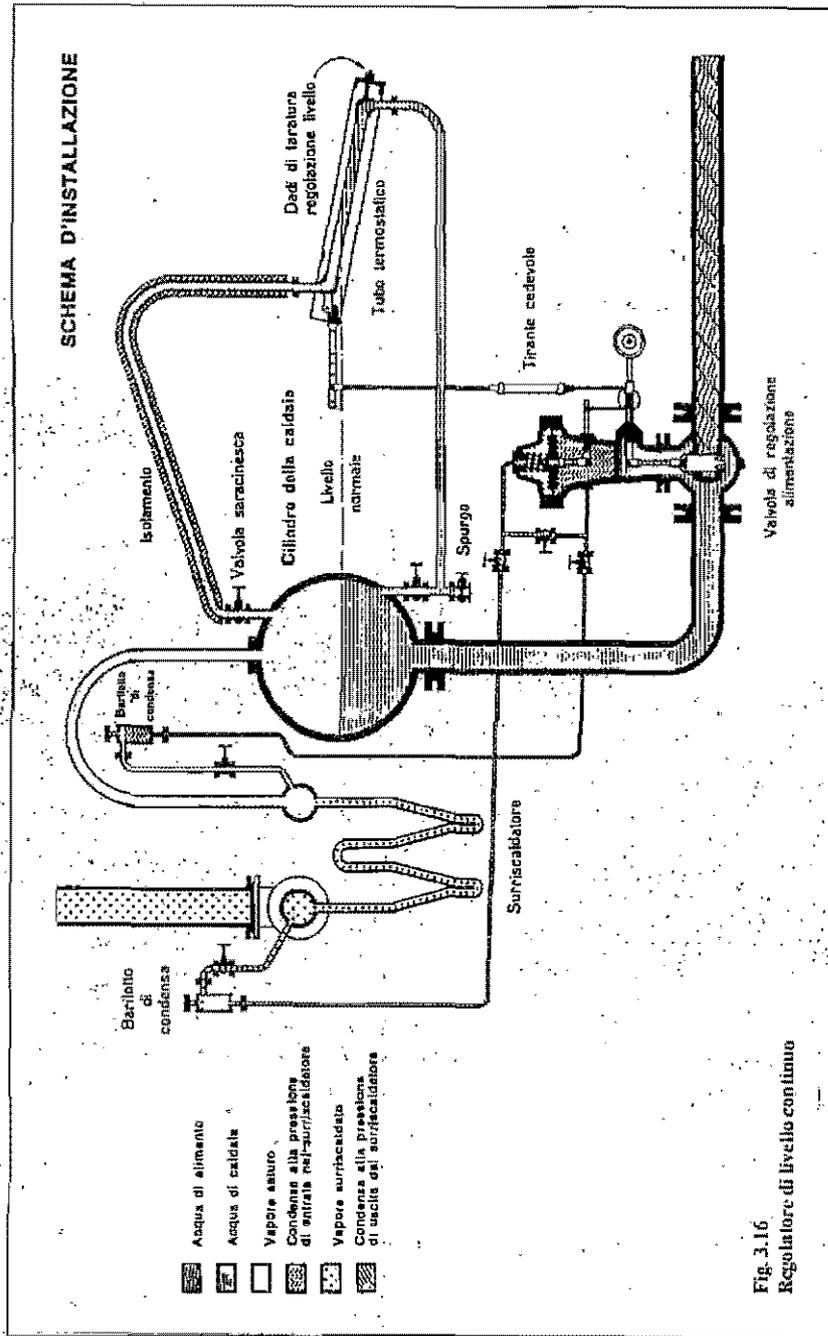
La cassa del galleggiante ed il pozzetto costituiscono un unico sistema a perfetta tenuta e quindi da controllare e gli eventuali gas o vapori non vengono a contatto con le altre parti del regolatore.

All'esterno del pozzetto amagnetico è montato il gruppo dei contatti elettrici (4) che, normalmente, sono del tipo in ampollina di mercurio. Le ampolline di mercurio possono liberamente ruotare intorno al perno A e sono rigidamente collegate alla leva che porta un magnete permanente (1).

In condizioni di livello normale il campo magnetico (2) investe l'estremità superiore del pistoncino che attrae il magnete tenendo in posizione l'interruttore.

Al diminuire del livello di acqua il pistoncino si abbassa, la forza esercitata dalla molla allontana il magnete, ruota l'ampollina e determina l'avvio della pompa di alimentazione.

Un ulteriore regolatore di tipo discontinuo è quello a elettrodi immersi (fig.



3.20), apparecchio che utilizza la conducibilità dell'acqua. Quando l'acqua raggiunge un livello tale da scoprire due delle tre sonde (A-B) collegate, il circuito elettrico che eccita un opportuno relais si interrompe (fig. 3.21). Il relais stesso mediante un proprio contatto chiude il circuito al quale è collegato il teleruttore e aziona la pompa. Quando il livello dell'acqua investe l'elettrodo superiore si dissecca il relais, e la pompa si ferma. La sonda più lunga (C) rappresenta ovviamente il comune. Se come accessorio di sicurezza viene utilizzata una monosonda con comune che utilizza la massa del generatore, nell'eventualità che il livello dell'acqua scende, per un guasto accidentale, al di sotto del livello minimo fino a scoprire la monosonda, la monosonda stessa interviene interrompendo il circuito elettrico e mandando in blocco il bruciatore.

Ogni generatore di vapore deve essere corredato di due regolatori di livello, uno di esercizio del tipo sopradescritto ed un secondo di sicurezza o di blocco.

Il regolamento prescrive che i regolatori di livello di blocco siano funzionalmente indipendenti tra loro e dagli apparecchi di regolazione. Hanno la funzione, raggiunto il livello minimo, di cessare l'alimentazione di combustibile al bruciatore; il riarmo manuale avviene solo dopo aver individuato ed eliminato le cause del blocco e ripristinato il livello.

In relazione all'art. 43 D.M. 21.5.1974

"3.1 I generatori di vapore a funzionamento automatico devono essere corredati delle sottoelencate apparecchiature:

3.1.2 Regolatore dell'alimentazione dell'acqua (regolatore di livello) come definito al punto 2.3

2.3 Regolatore dell'alimentazione dell'acqua (regolatore di livello). Per regolatore dell'alimentazione dell'acqua si intende una apparecchiatura automatica che ha la funzione di regolare l'alimentazione per mantenere entro i limiti prefissati il livello dell'acqua nel generatore

3.1.4 Apparecchio di sicurezza contro la mancanza d'acqua (livello stato di sicurezza o di blocco) come definito al punto 2.5...

2.5 Apparecchiatura di sicurezza contro la mancanza dell'acqua (livello stato di sicurezza o di blocco).

Per livello stato di sicurezza o di blocco si intende una apparecchiatura che ha la funzione di interrompere l'alimentazione del combustibile al bruciatore al raggiungimento del livello minimo prefissato.

4.1 Le apparecchiature di sicurezza devono essere funzionalmente indipendenti fra di loro e da quelle di regolazione.

L'indipendenza di ciascuna apparecchiatura di sicurezza è garantita allorché il suo funzionamento è assicurato indipendentemente dall'azione o dall'eventuale guasto delle altre apparecchiature.

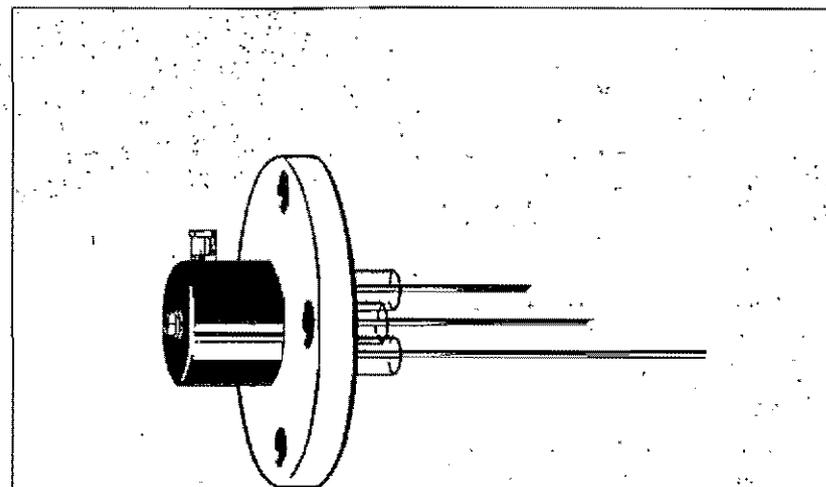


Fig. 3.20 Elettrodi per regolatore a sonde

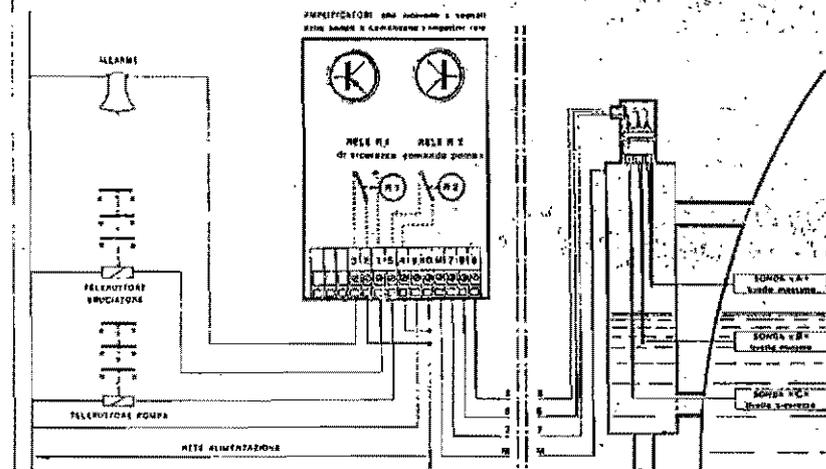


Fig. 3.21 Schema di applicazione di un regolatore a sonde

....
4.2 L'intervento di ogni apparecchiatura di sicurezza deve comportare il ripristino manuale dell'apparecchiatura stessa che deve essere possibile solo dopo l'eliminazione delle cause del blocco.

4.3 La mancanza di energia ad ogni apparecchiatura di sicurezza deve comportarne l'intervento di blocco con ripristino manuale dopo ripresa dell'alimentazione dell'energia."

APPARECCHI PER IL CONTROLLO DELLA FIAMMA: vedi pag. 281

3.4 ACCESSORI DI ALIMENTAZIONE

L'art. 21 del Regolamento 12 Maggio 1927, n. 824, al primo capoverso, dispone che: "Ogni generatore deve essere provvisto di due apparecchi di alimentazione, capaci ciascuno di fornire almeno il doppio dell'acqua necessaria ed indipendenti, in modo che, in qualsiasi caso, sia assicurato il funzionamento di uno di essi". A chiarimento e precisazione dell'ultima parte della disposizione predetta, il Comitato Esecutivo, nella sua seduta del 14 settembre corr., ha stabilito, su conforme parere del Consiglio tecnico, che i due apparecchi di alimentazione siano azionati da sorgenti indipendenti e che, perciò, non possa ammettersi l'eventuale applicazione al generatore di due pompe, mosse dalla stessa trasmissione o dallo stesso motore elettrico.

Mentre, avuto riguardo alla loro indipendenza di funzionamento, potrà invece consentirsi che siano applicati due iniettori o due cavallini, pur riceventi il vapore dallo stesso generatore che essi sono destinati ad alimentare.

L'art. 10 del D.P.R. del 5/9/66 dichiara che "La pressione alla mandata dei mezzi di alimentazione deve essere scelta secondo quanto previsto al successivo art. 11, tra i seguenti valori:

▶ a) per i generatori di vapore a circolazione naturale o controllata: alla pressione di esercizio del corpo cilindrico del generatore dichiarata dal costruttore o, in sua mancanza, alla pressione di bollo, vanno sommate le cadute di pressione, alla portata definita all'art. 1, lettera c) considerata al 100%, dovute a:

altezze resistenti statiche e cinetiche fra il mezzo di alimentazione e l'ingresso del generatore;

altezze resistenti statiche e cinetiche delle parti interne del generatore comprese tra l'ingresso del generatore e la mezzeria del corpo cilindrico.

I valori della pressione devono essere aumentati per la condizione a) dell'art. 11, del 10% la pressione di esercizio nel corpo cilindrico del generatore dichiarata dal costruttore, oppure del 5% la pressione di bollo;

▶ b) per i generatori di vapore ad attraversamento meccanico:

alla pressione di apertura della prima valvola di sicurezza, vanno sommate le cadute di pressione, alla portata definita all'art. 1, lettera c), considerata al 100%, dovute a:

altezze resistenti statiche e cinetiche fra mezzo di alimentazione ed ingresso al generatore;

altezze resistenti statiche e cinetiche delle parti del generatore comprese fra l'ingresso ed il punto dove sono installate le valvole di sicurezza.

Per la condizione a) dell'art. 11 la pressione di apertura della prima valvola di sicurezza deve essere maggiorata del 5%."

Art. 11 - "Dimensionamento dei mezzi di alimentazione - Qualunque sia il numero degli apparecchi costituenti i due mezzi di alimentazione, il dimensionamento complessivo di ciascun mezzo deve essere determinato in base alla più severa delle seguenti condizioni:

a) portata come definita dall'art. 1, lettera c), considerata al 100%, con la pressione risultante dalla somma delle altezze resistenti e della pressione nel generatore di vapore, maggiorata secondo quanto previsto al precedente art. 10;

b) portata, secondo quanto stabilito al successivo art. 13, con pressione risultante dalla somma, alla portata considerata, delle altezze resistenti e della pressione nel generatore di vapore, valutate con i criteri di cui al precedente art. 10 ma senza maggiorazioni.

Riportate le condizioni di cui ai precedenti punti a) e b) nel piano pressioni-portate, ciascuno dei due punti così ottenuto deve risultare non al di sopra della curva caratteristica relativa al mezzo considerato.

Art. 12 - "Per i generatori di vapore con produzione massima fino a 50 tonnellate orarie, con sviluppo di tubazioni fra i mezzi di alimentazione ed il generatore non superiore a 60 metri e con velocità effettiva di flusso nella tubazione stessa non superiore a 2 metri al secondo è ammesso in deroga al precedente art. 11, il seguente dimensionamento: portata, secondo quanto stabilito al successivo art. 13 e pressione pari alla somma della pressione di bollo del generatore moltiplicata per 1,10 ed aumentata:

a) dell'altezza statica resistente;

b) di 1,5 atmosfera oppure di 0,5 atmosfera a seconda che il generatore sia o non sia provvisto di regolatore automatico di livello".

Gli apparecchi di alimentazione hanno il compito di fornire l'acqua al generatore che viene successivamente prelevata sotto forma di vapore.

Le caratteristiche che caratterizzano detti apparecchi sono essenzialmente:

- portata: definisce il volume di liquido che attraversa l'apparecchio di alimentazione nell'unità di tempo; se il regime è permanente, coincide con la portata misurata in qualsiasi sezione della tubazione connessa. Si esprime in m^3/s , m^3/h , l/s , t/h ,

- prevalenza: è l'altezza totale alla quale un apparecchio di alimentazione può sollevare un fluido (fig. 3.22). Si definisce più precisamente:

Art. 13 - Portata di un mezzo di alimentazione

Produzione massima di vapore del generatore o del gruppo di generatori a vapore	Portata del mezzo di alimentazione principale in percentuale della portata d'acqua di alimentazione richiesta dai generatori di vapore	
	Se non esiste la regolazione automatica	Se esiste la regolazione automatica dell'acqua di alimentazione
A) Generatori di vapore a circolazione naturale o controllata:		
fino ad 1 t/h	200%	200%
oltre 1 t/h fino a 5 t/h	160%	130%
oltre 5 t/h fino a 50 t/h	125%	115%
oltre 50 t/h fino a 100 t/h	115%	105%
oltre 100 t/h fino a 400 t/h	non prevista	105%
oltre 400 t/h	non prevista	100%
B) Generatori di vapore ad attraversamento meccanico:		
fino ad 1 t/h	non prevista	110%
oltre 1 t/h	non prevista	100%

* prevalenza geodetica: il dislivello (b) fra i due peli liberi nel serbatoio di presa e in quello di mandata

* prevalenza resistente: la prevalenza precedente sommata alle perdite di carico (d, a), incontrate dal liquido rispettivamente nelle due tubazioni (B, C) e all'altezza cinetica (c)

* prevalenza manometrica: quella effettivamente sviluppata dalla pompa P, determinabile con due manometri (M1, M2) posti a monte e a valle della pompa stessa,

- altezza di aspirazione: è il dislivello tra la mezzeria dell'apparecchio di alimentazione e il pelo libero del liquido.

La prevalenza (pp) di una pompa indispensabile per alimentare un generatore si determina:

$$pp = pg + 10\% pg + \Delta h + \Delta g \text{ oppure } pp = pb + pb 5\% + \Delta h + \Delta g$$

pg = pressione del generatore

Δh = perdite di carico in metri di colonna d'acqua

Δg = differenza di livello fra l'acqua del serbatoio e l'ingresso dell'acqua stessa nel generatore.

pb = pressione di bollo

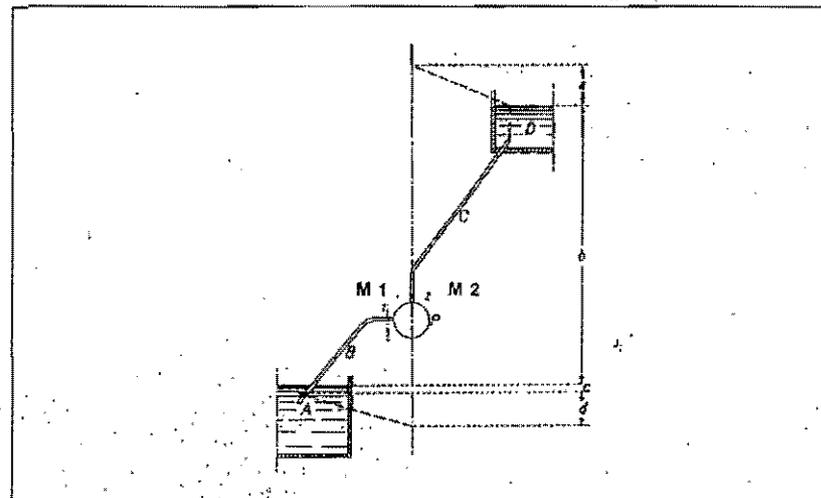


Fig. 3.22 Prevalenza

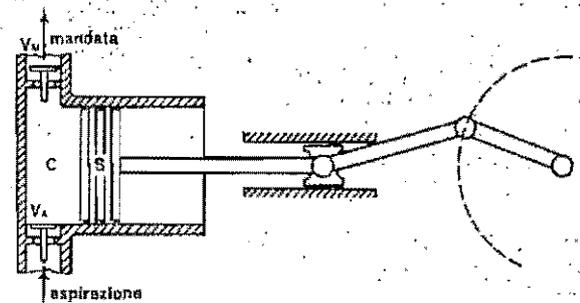


Fig. 3.23 Pompa alternativa a semplice effetto

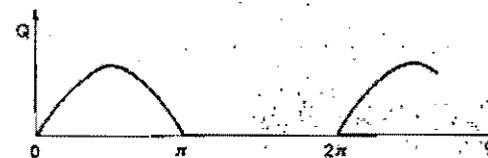


Fig. 3.24

Diagramma della portata di una pompa a semplice effetto

POMPE

Sono macchine idrauliche che, opportunamente azionate da motrici comunicano energia ad un fluido per sollevarlo ad una certa altezza o spingerlo ad una determinata distanza.

Vengono classificate in funzione:

- del loro impiego: pompe di sollevamento, di circolazione, ecc.
- della pressione fornita: pompe a bassa, media, alta pressione
- della forma costruttiva: a stantuffo, a semplice effetto, a doppio effetto, ecc.
- del loro principio di funzionamento: pompe a stantuffo, centrifughe, ecc.

Dal punto di vista didattico si suddividono in:

- pompe alternative: caratterizzate dal moto alternativo degli organi in movimento
- pompe centrifughe: soggette a moto di rotazione.

POMPE ALTERNATIVE

Sono costituite da un cilindro cavo entro cui scorre con moto alternativo di va e vieni un pistone (S) azionato da un meccanismo biella - manovella (fig. 3.23).

Le pompe a **semplice effetto** sono provviste nel punto di attacco del cilindro di due valvole, una di aspirazione (V_A) e una di mandata (V_M), collegate con le rispettive tubazioni. Il pistone spostandosi a destra crea una depressione nella camera del cilindro (C), la valvola di aspirazione si apre (la valvola di mandata se eventualmente aperta si chiude) e l'acqua entra nella camera riempiendola quasi completamente. Nella corsa di ritorno il pistone spinge la massa liquida, determinando la chiusura della valvola di aspirazione e l'apertura della valvola di mandata, attraverso la quale il fluido fluisce verso l'utilizzo.

Ad ogni giro completo, si verifica quindi l'efflusso di una quantità di liquido uguale al volume del cilindro. La portata fornita non è mai costante, in quanto la corsa di aspirazione è passiva e nella corsa di mandata la portata stessa varia in funzione della velocità di spostamento del pistone.

Riportando in un sistema di assi cartesiani le corse del pistone e la portata si ottiene un diagramma come in fig. 3.24.

Corredando la camera del cilindro di altre due valvole (una di aspirazione e una di mandata), si ottiene una pompa a pistone a **doppio effetto** (fig. 3.25). È evidente che alla fase di aspirazione della camera A (fase passiva), corrisponde la fase di mandata della camera B (fase attiva) e viceversa. Si ottiene in questo modo una portata più regolare e quasi doppia rispetto alla precedente (fig. 3.26).

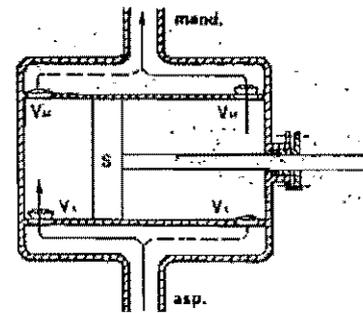


Fig. 3.25 Pompa alternativa a doppio effetto

Talvolta, né l'una né l'altra pompa sono soddisfacenti, si fa pertanto ricorso alla **pompa Triplex**, cioè a tre pistoni guidata da manovelle a 120° , che fornisce una portata più regolare.

Le pompe alternative sono in grado di conferire al fluido prevalenze altissime che nessun altro tipo di pompe riesce a raggiungere; per contro sono atte a fornire portate piccole e medie.

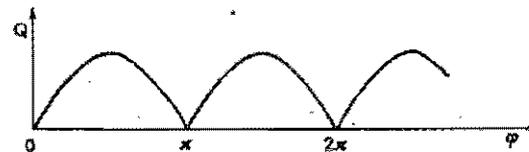


Fig. 3.26 Diagramma della portata di una pompa a doppio effetto

Una variante di queste pompe è il "cavallino a vapore" (fig. 3.27).

È una pompa alternativa a doppio effetto azionata da un motore a vapore; il pistone vapore ha diametro maggiore rispetto al pistone acqua. La prevalenza H è proporzionale al rapporto tra l'area del pistone vapore e quello dell'acqua.

$$H = \frac{\text{area pistone vapore}}{\text{area pistone acqua}} \times \text{pressione vapore}$$

La velocità, e di conseguenza il numero di cicli, è direttamente proporzionale alla quantità di vapore immesso. La regolazione della velocità e quindi della quantità di liquido da mandare al generatore è effettuata manovrando la valvola di immissione vapore.

Il cavallino è essenzialmente costituito da due parti principali: la parte motrice (cilindri a vapore) e la parte pompa (fig. 3.28).

Il pistone vapore (1) è collegato rigidamente al rispettivo pistone idraulico

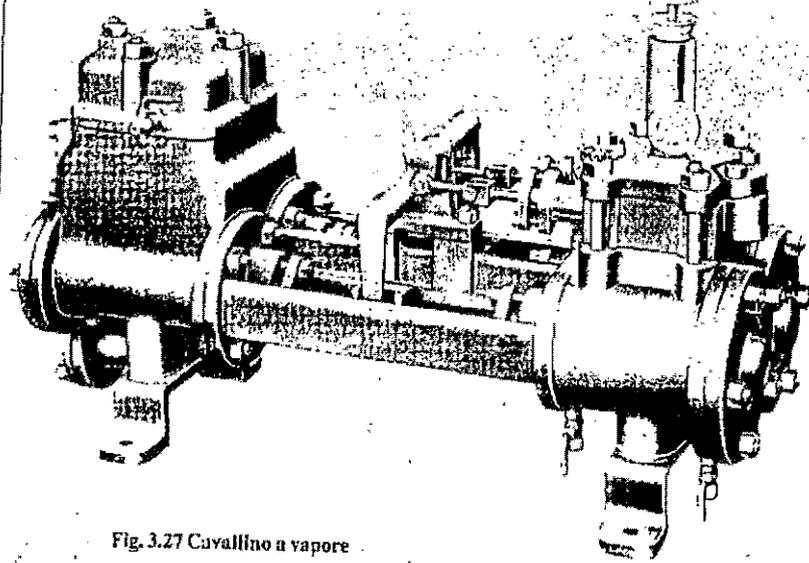
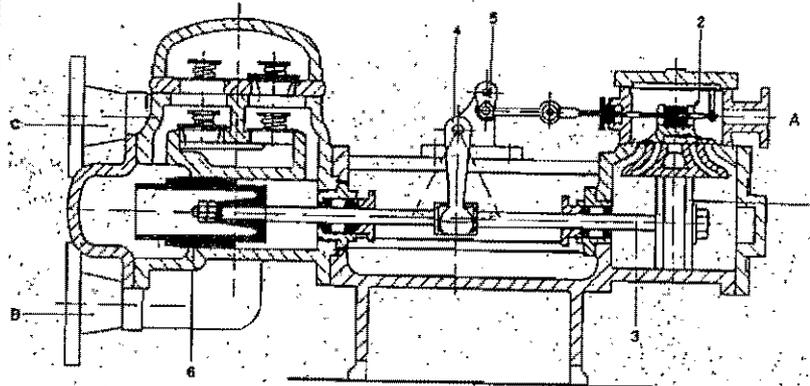


Fig. 3.27 Cavallino a vapore



- 1 Pistone vapore
- 2 Cassetto distribuzione vapore
- 3 Stelo
- 4-5 Manovellismi
- 6 Pistone idraulico

- A = Entrata vapore
- B = Entrata acqua
- C = Mandata

Fig. 3.28 Sezione di un cavallino a vapore

tramite un'asta che trasmette il movimento mediante un sistema di leve ad essa applicate, al cassetto di distribuzione (2), che ha un movimento opposto al pistone vapore.

Il cassetto smista il vapore ad un estremo del pistone e pone in comunicazione l'estremo opposto con lo scarico. Ogni qualvolta il pistone raggiunge il fine corsa, l'entrata viene automaticamente invertita e, mediante l'asta rigida, consente al pistone della pompa di compiere le relative fasi di aspirazione e mandata.

Il cavallino è caratterizzato da un notevole consumo di vapore, talvolta raggiunge il 3% della potenza del generatore.

L'avviamento di un cavallino consiste nel:

- aprire le valvole di intercettazione lato acqua;
- scaricare la condensa sia dai rubinetti posti sotto i due cilindri vapore che da quelli installati nella tubazione;
- controllare che il serbatoio olio della pompa di lubrificazione sia sopra il livello minimo;
- aprire gradualmente la valvola di immissione vapore affinché anche l'avviamento avvenga altrettanto gradualmente;
- chiusura dei rubinetti sotto ai rispettivi cilindri.

POMPE CENTRIFUGHE

Il principio di funzionamento è estremamente semplice: il liquido viene aspirato da una girante palettata e calettata su un albero che ruota con esso ad una velocità elevata all'interno della chiocciola (fig. 3.29). Il liquido contenuto viene spinto verso l'esterno e per effetto della forza centrifuga che si sviluppa nella rotazione acquisisce energia cinetica; allungando verso la periferia, crea nel centro della girante una depressione che richiama altro liquido dalla tubazione di aspirazione. Sotto l'azione della forza centrifuga imbocca una carcassa a forma di chiocciola, che circonda la girante e forma una sezione gradualmente crescente nel senso di rotazione capace di trasformare l'energia cinetica acquisita in energia di pressione e convogliare il liquido verso la tubazione di mandata.

Sono oggi i mezzi di alimentazione più utilizzati. D'ingombro minimo, capaci di vincere forti pressioni e fornire portate elevate, privi di sezioni sottoposte ad un moto alternativo e perciò non pongono limiti né di dimensioni, né di regime di rotazione, regime di rotazione che consente l'accoppiamento diretto ai motori; sono utilizzabili in qualsiasi impianto: (fig. 3.30).

La forma della girante varia in funzione della portata e della prevalenza richiesta. Con una girante di piccolo diametro e passaggi ampi si ottiene una pompa con grossa portata e piccola prevalenza; per una pompa atta a garantire portate modeste ed alte prevalenze occorre una girante con passaggi stretti e grande diametro.

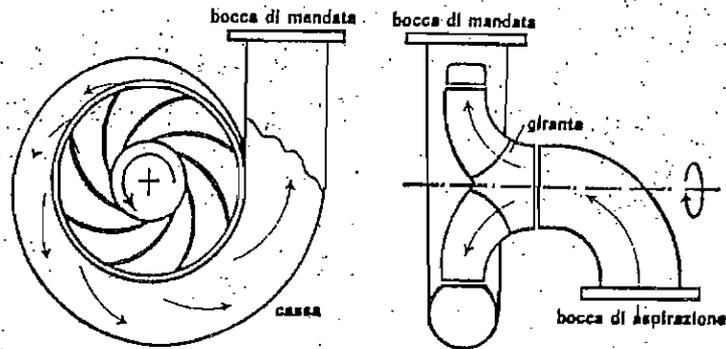


Fig. 3.29 Pompa centrifuga

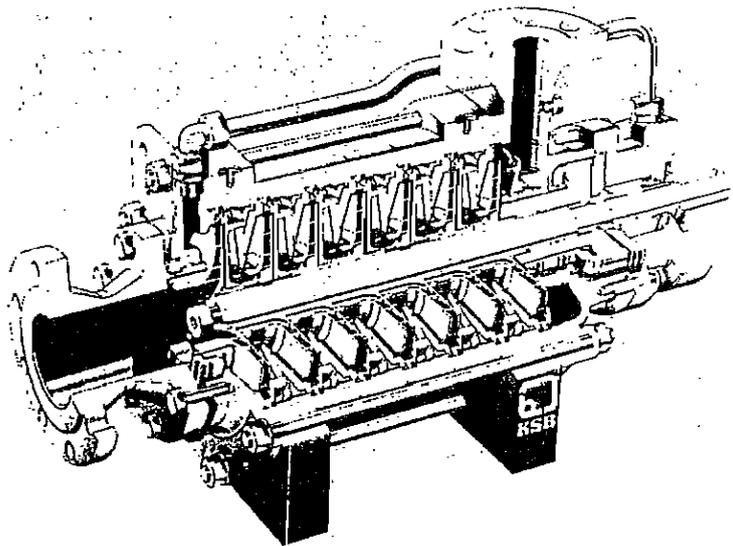


Fig. 3.30 Pompa centrifuga per alte pressioni (KSB)

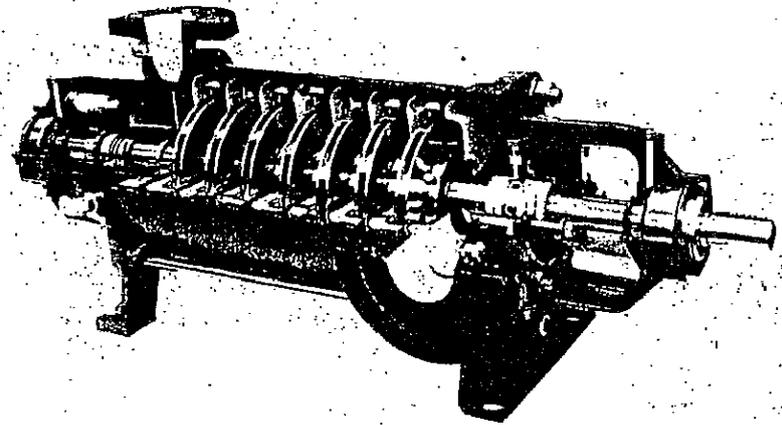


Fig. 3.31 Pompa centrifuga multistadio (Pompe Travaini)

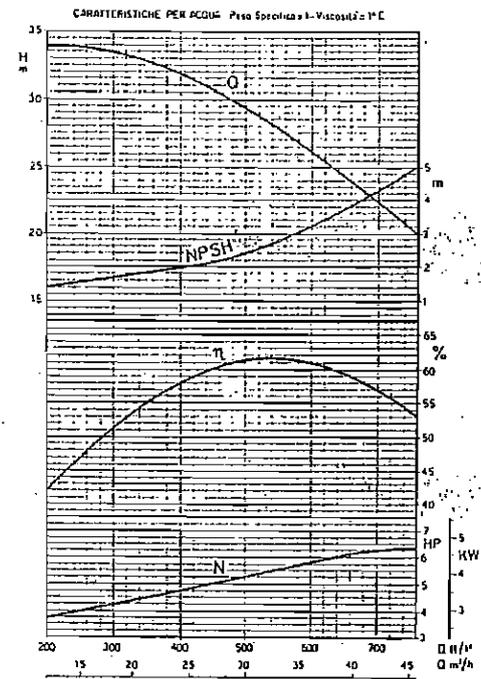


Fig. 3.32 Diagramma pompa centrifuga monostadio (Pompe Travaini)

Le pompe centrifughe ad una sola girante hanno di norma portata elevata e bassa prevalenza ad eccezione di modelli speciali.

Per prevalenze maggiori (fino a 100 bar) si costruiscono pompe centrifughe multiple (fig. 3.31) costituite da più giranti (8,10,...) che vengono successivamente attraversate dal liquido. È evidente che il valore del rendimento complessivo, che dipende dal numero delle giranti, scende rapidamente a valori bassi.

Nelle pompe centrifughe, l'altezza di aspirazione con acqua a temperatura ambiente non deve superare i 7-8 m; quando la temperatura dell'acqua di alimento è superiore a 40 °C la pompa viene installata sotto battente o sotto pressione.

In una pompa centrifuga portata e prevalenza sono in funzione del numero dei giri ed in relazione fra loro. Costruendo un diagramma portata-prevalenza, ad un determinato numero di giri, su un sistema di assi cartesiani si individua in ogni coppia di valori (portata e prevalenza) un punto; unendo insieme i vari punti si ottiene una curva definita "curva caratteristica" (fig. 3.32).

La "curva caratteristica" è estremamente importante in quanto consente, in riferimento alle esigenze dell'utente, di poter utilizzare la pompa sfruttandone pienamente le caratteristiche ed ottenendo il massimo rendimento. La determinazione di una curva, per effetto delle perdite per attriti interni, urti e vortici, non è formulabile attraverso una relazione ma solo per via sperimentale.

BATTENTI MINIMI SULL'ASPIRAZIONE DI POMPE DI ALIMENTO GENERATORI A VAPORE

Temperatura nel vorticolo condensa con pressione relativa:				Battenti pompe centrifughe	Battenti pompe alternative
0 bar	0,5 bar	1 bar	2 bar		
100°C	111°C	120°C	130°C	m 3,7 + 4,6	m 4,4 + 5
98°C	109°C	118°C	131°C	m 3 + 3,8	m 3,6 + 4,5
96°C	107°C	116°C	129°C	m 2,5 + 3,2	m 2,9 + 3,7
94°C	105°C	114°C	127°C	m 2 + 2,5	m 2,4 + 3
92°C	103°C	112°C	125°C	m 1,6 + 1,9	m 1,8 + 2,5
90°C	101°C	110°C	123°C	m 1,3 + 1,8	m 1,5 + 1,9
88°C	99°C	108°C	121°C	m 1 + 1,3	m 1,2 + 1,5
85°C	96°C	105°C	118°C	m 0,65 + 0,7	m 0,7 + 0,9

INIETTORE

Utilizzando il vapore prodotto trasforma l'energia cinetica in energia di pressione capace di alimentare con acqua il generatore.

L'iniettore Giffard è costituito da un corpo in ghisa o in bronzo, uno spillo (a), una leva (b) e da tre coni (fig. 3.33-3.34).

- cono convergente del vapore (a)
- cono convergente di condensazione (b)

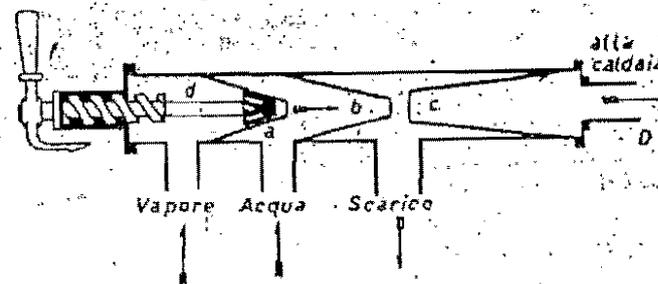


Fig. 3.33 Schema di un iniettore

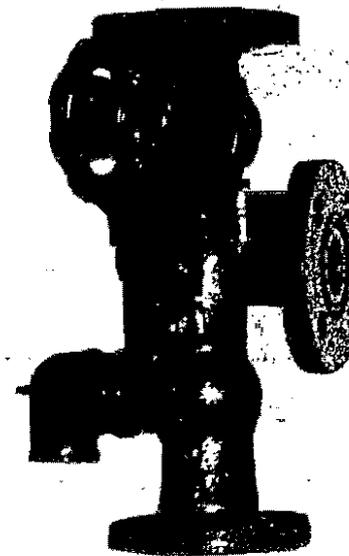


Fig. 3.34 Iniettore

- cono divergente in comunicazione con il generatore (c).

Il vapore percorre il primo cono convergente e trasforma l'energia di pressione in energia cinetica. Tra i due coni convergenti si localizza una depressione con aspirazione dell'acqua di alimento. Il vapore investe l'acqua di alimento e si condensa nel secondo cono. Successivamente acqua e vapore condensato escono dal cono di condensazione ed entrano nel cono divergente, dove trasformano l'energia cinetica in energia di pressione con un valore sufficiente ad alimentare il generatore.

La portata viene regolata azionando la leva (f) che agisce sullo spillo (d) che regola la quantità di vapore che entra nel primo cono.

È un apparecchio estremamente economico in quanto il vapore viene completamente riutilizzato. Funziona se il dislivello acqua-apparecchio è inferiore a 2-3 metri e se la temperatura dell'acqua non supera i 30-40 °C. Occorre inoltre che la pressione del vapore sia superiore a 2 bar e che si abbia la completa condensazione del vapore.

Norme per il funzionamento

- La leva dell'iniettore deve trovarsi sulla posizione C (chiuso);
- Aprire la valvola sul tubo di alimentazione e quella del vapore;
- Azionare la leva (d) gradatamente affinché si ottenga l'aspirazione;
- Spostare ulteriormente la leva in modo che, cessando il getto dello scarico, si ottenga l'alimentazione del generatore, che si manifesta con sibilo particolare.

In caso di acqua per caduta il funzionamento è il medesimo, naturalmente si deve agire sulla valvola d'intercettazione per la regolazione dell'acqua.

Portata di un iniettore.

Per pressioni superiori a 8 bar si determina con:

$$Q = d \times d \times 100$$

dove

$$Q = \text{portata espressa in l/h}$$

d = numero dell'iniettore, cioè diametro minore del cono divergente espresso in mm.

Per pressioni inferiori a 8 bar si utilizza la stessa formula con numero dell'iniettore inferiore.

L'iniettore Koerting è costituito da due iniettori semplici combinati in un unico corpo. Il primo aspira l'acqua e la invia a una certa pressione nel secondo iniettore che ne aumenta la pressione e lo indirizza al generatore. Detto apparecchio consente l'alimentazione con acqua fino a 70 °C.

GRUPPO DI ALIMENTAZIONE

Il regolamento prescrive, art. 23 "Ogni generatore deve essere munito di una valvola automatica di ritenuta, collocata più vicino possibile al punto di attacco del tubo di alimentazione col generatore. Tra la valvola di ritenuta

ed il generatore deve essere inserito un rubinetto o una valvola di intercettazione...."

Si definisce gruppo di alimentazione l'insieme degli accessori, valvola di ritegno e di intercettazione, applicati sulla tubazione dell'acqua di alimento tra pompa e generatore. Le due valvole devono essere sistemate il più vicino possibile al generatore con la disposizione: apparecchi di alimentazione, valvola di ritegno, valvola di intercettazione, generatore.

La valvola di ritegno o di non ritorno consente all'acqua di alimento di entrare nel generatore e impedisce che l'acqua stessa ritorni indietro quando la pompa non funziona.

La valvola di ritegno a disco (fig. 3.35) viene aperta dalla pressione dell'acqua d'alimento, mentre la molla provvede alla chiusura appena cessato il flusso, prima dell'instaurarsi di transitori di portata inversa dell'acqua di esercizio.

Esistono in commercio anche valvole di ritegno costituite da un corpo fuso in ghisa o acciaio, con l'orifizio chiuso da un otturatore (fig. 3.36).

A pompa ferma l'otturatore mediante il proprio peso e la pressione dell'acqua contenuta nel generatore agisce sull'orifizio e impedisce all'acqua stessa di tornare al gruppo di alimentazione.

La valvola di ritegno, per poter essere riparata in caso di guasto senza raffreddare il generatore, viene accoppiata ad una valvola di intercettazione con comando a volantino (fig. 3.37).

3.5 ACCESSORI VARI

VALVOLE DI PRESA

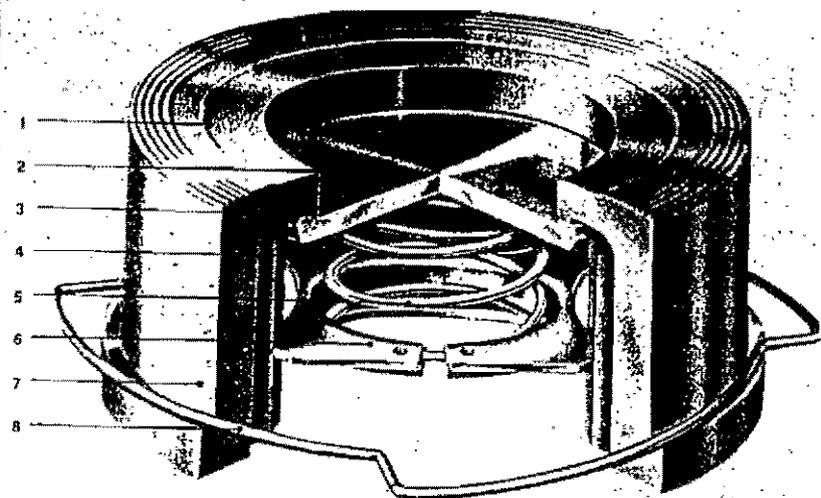
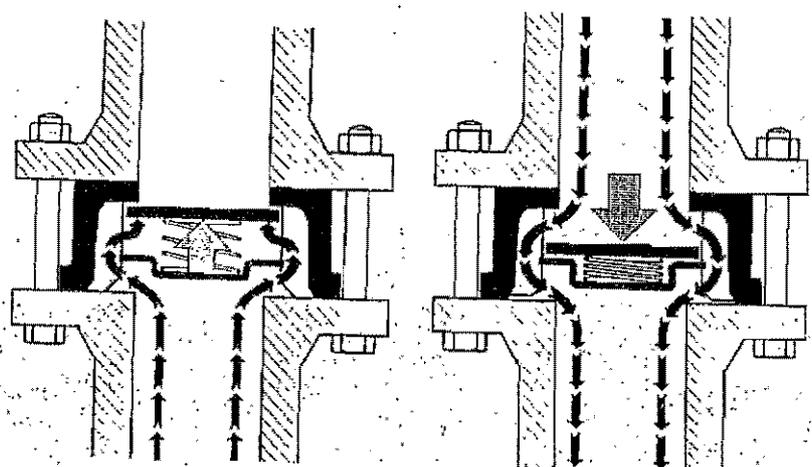
Il regolamento prescrive, art. 24 "Ogni generatore di vapore deve essere munito di una valvola che serva ad intercettare ogni comunicazione della condotta di vapore. Allorché parecchi generatori devono fornire il vapore a un medesimo condotto, ciascuno di essi deve essere reso indipendente dagli altri sia per la presa sia per l'alimentazione... Negli impianti di generatori isolati o in batteria di oltre 200 m² di superficie riscaldata complessiva e funzionanti a pressione superiore a 6 Kg./cm² deve essere applicata dopo la presa di vapore una valvola automatica di chiusura".

Le valvole di presa (fig. 3.38-3.39) vengono applicate nella parte superiore del generatore all'inizio della tubazione di uscita del vapore.

La valvola automatica di chiusura deve isolare una tubazione rotta o un generatore che ha subito un'avaria.

VALVOLE DI SCARICO

Vengono installate nel punto più in basso su una tubazione di scarico, allo scopo di consentire:



- | | |
|-------------------------------|--------------------------|
| 1) Superfici di accoppiamento | 5) Pressione di apertura |
| 2) Chiusura | 6) Fermo molla |
| 3) Tenuta | 7) Materiali |
| 4) Guide | 8) Centraggio |

Fig. 3.35 Valvola di non ritorno a disco (Italgestra)

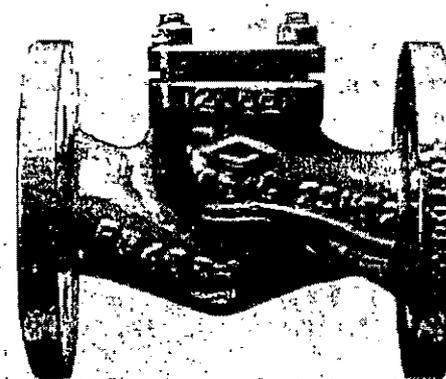


Fig. 3.36 Valvola di ritegno (Valvosteel)

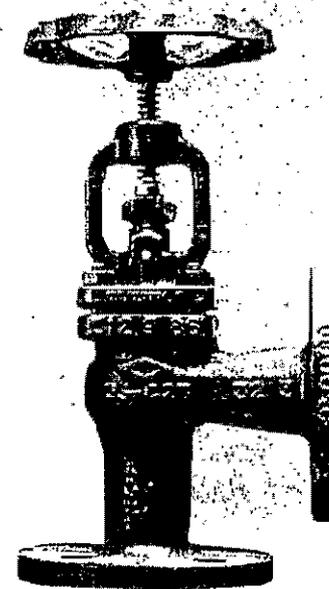


Fig. 3.37 Valvola di intercettazione con comando a volantino (Valvosteel)

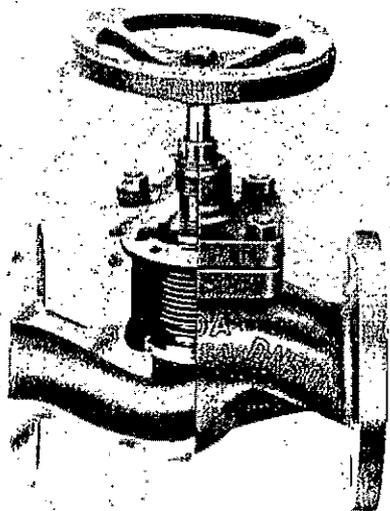


Fig. 3.38 Valvola di intercettazione a volantino (KSB)

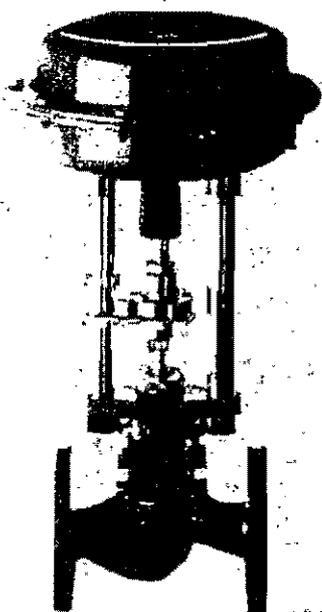


Fig. 3.39 Valvola di intercettazione servocomandata (presa vapore) (Valvosteel)

- un possibile svuotamento totale o parziale di acqua nel generatore;
- una defangazione periodica per mantenere libere le superfici da depositi di qualsiasi natura;
- uno spurgo dei sali per mantenere le caratteristiche entro i limiti stabiliti dalle norme di sicurezza (fig. 3.41).

Le valvole sono generalmente due, una valvola a maschio detta di radice, tale da assicurare la tenuta; la seconda del tipo a volantino è la valvola operativa (fig. 3.42). Vengono poste in serie.

Talvolta il gruppo di scarico è costituito da una valvola a volantino e una a comando rapido a leva (fig. 3.40). In questo caso la valvola a volantino funge da valvola di tenuta, mentre la seconda è la valvola operativa.

La valvola a comando rapido viene talvolta automatizzata con comando pneumatico. Lo scarico viene programmato in funzione del tempo di funzionamento del bruciatore e delle caratteristiche dell'acqua. Per ottenere un buon drenaggio dei fanghi ed un inutile spreco di acqua calda il tempo di scarico non deve essere superiore a 4 secondi. Per evitare colpi di ariete si consiglia l'installazione della valvola il più vicino possibile al generatore.

PORTE DI PULIZIA

Per la pulizia e l'ispezione interna i generatori sono corredati di appositi passi uomo a forma ellittica e dimensioni 300 x 400 mm. Quando la presenza dei tubi non consente al conduttore di introdursi all'interno del generatore, vengono installate piccole portine laterali attraverso le quali si effettuano l'ispezione dei tubi e la pulizia mediante acqua ad alta pressione.

Ambedue sono generalmente a chiusura ad autoclave, dove il coperchio agisce contro la sede mediante la pressione interna dell'acqua o del vapore. Una guarnizione d'amianto e speciali cavallotti garantiscono una tenuta perfetta a normale funzionamento e in assenza di pressione interna.

3.6 ACCESSORI CONDOTTA VAPORE

INDICATORE DI PASSAGGIO

Permette di sincerarsi a colpo d'occhio del buon funzionamento dello scaricatore ed in caso di presenza stagnante di condensa o di passaggio continuo di vapore di intervenire sullo scaricatore avariato. Viene installato:

- dopo lo scaricatore: permette attraverso la specula visiva di controllare il funzionamento dello scaricatore (fig. 3.43). Se si verifica passaggio del liquido ad intermittenza lo scaricatore funziona regolarmente; se il passaggio è continuo e la specula diviene bianca si ha una fuga di vapore. Vengono costruiti anche modelli con valvola di ritegno incorporata;

- prima dello scaricatore (vacuometro): l'effetto di controllo avviene tramite

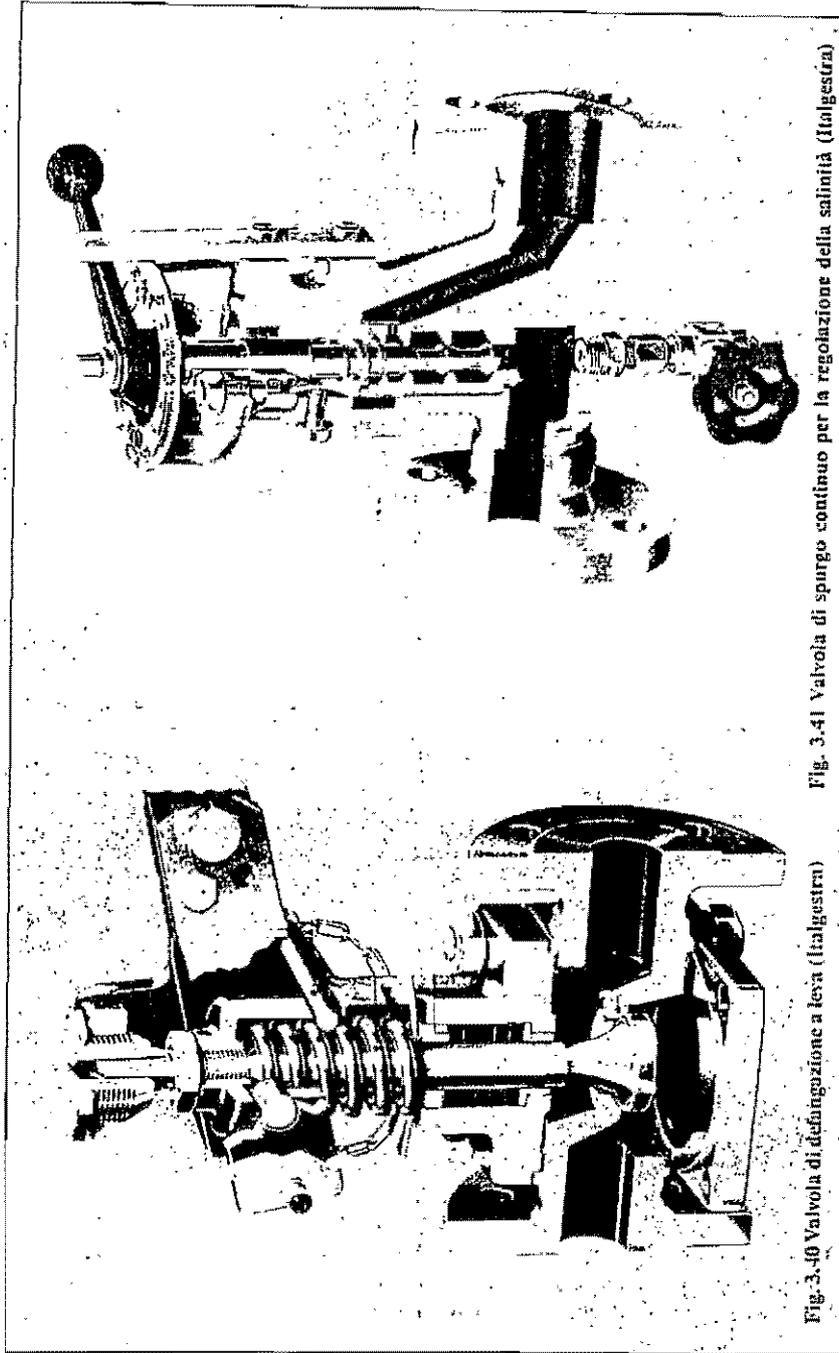


Fig. 3.40 Valvola di defangazione a leva (Halgestra)

Fig. 3.41 Valvola di spurgo continuo per la regolazione della salinità (Halgestra)



Fig. 3.42 Indicatore di passaggio a monte dello scaricatore (Halgestra)

Fig. 3.43 Indicatore di passaggio a valle dello scaricatore (Spirax Jucker)

un pozzetto con all'interno un dente separatore. Quando il dente è leggermente immerso nel liquido lo scaricatore funziona regolarmente; al contrario quando è allagato indica condensa stagnante nelle tubazioni. Se invece si ha un notevole abbassamento di livello passa vapore vivo (fig. 3.42).

GIUNTI DI DILATAZIONE

I tubi vengono installati a freddo e naturalmente subiscono una dilatazione quando si riscaldano per il passaggio del vapore.

Non ha senso provvedere gli impianti della pendenza appropriata, dei drenaggi necessari, ecc., se poi può accadere che, non appena si dà via libera al vapore, la dilatazione provoca distorsioni e mette tutto il complesso fuori asse. Si devono prendere tutte le precauzioni perché, all'apertura del vapore, la pendenza verso i drenaggi rimanga inalterata.

In molti impianti con tubi di piccolo diametro, di limitata lunghezza e con numerose curve, c'è sufficiente possibilità di auto-assorbimento delle dilatazioni. Le tubazioni di maggior sezione, specie se con lunghi tratti rettilinei e con diramazioni pure rettilinee richiedono una speciale considerazione e l'adozione di compensatori di dilatazione, accessori che hanno la funzione di assorbire le dilatazioni (fig. 3.45).

Utilizzando questi compensatori si deve avere cura che essi non formino punti di raccolta della condensa, come, ad esempio, nel caso di un giunto a lira volto in basso che deve essere drenato. Nettamente preferibile è fare ricorso ai compensatori di dilatazione assiali di tipo telescopico, a soffietto o a pareti corrugate, in quanto creano minori dispersioni termiche e perdite di carico.

Occorre tenere presente che i compensatori assiali possono assorbire solo movimenti rettilinei lungo il proprio asse longitudinale; in altre parole non devono subire alcuna flessione o torsione. I compensatori vanno inseriti solo in tratti di tubazione rettilinei opportunamente ancorati alle estremità e guidati in punti intermedi in modo che il movimento dovuto alle variazioni di temperatura avvenga solo lungo il proprio asse. Quindi, data una rete avente una configurazione qualsiasi, occorre suddividerla in tanti tratti rettilinei, prevedendo punti d'ancoraggio alle estremità (fig. 3.46), in corrispondenza di variazioni di diametro ed eventualmente nei punti di derivazione.

Regola importante da osservare è quella di inserire un solo compensatore in ogni tratto compreso tra due punti fissi. La posizione del compensatore in ciascun tratto rettilineo in teoria può essere una qualsiasi compresa tra due punti fissi, ma in pratica si preferisce prevederne l'installazione:

A) in vicinanza di un punto fisso.

B) al centro del tratto rettilineo.

La prima soluzione è consigliabile quando nel tratto considerato non esistono derivazioni per cui il movimento dovuto alla dilatazione può avvenire tutto in un senso. Il compensatore viene montato ad una distanza di $1 + 2$ diametri dall'ancoraggio (o punto fisso) per evitare guide intermedie. Saranno invece

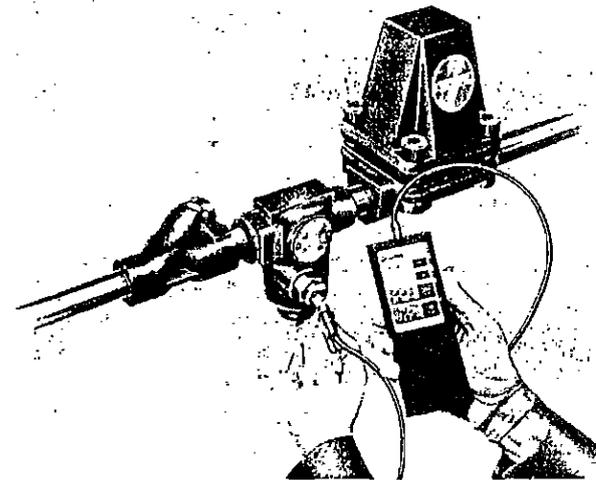


Fig. 3.44 Rilevatore delle fughe di vapore (Spirax Jucker)

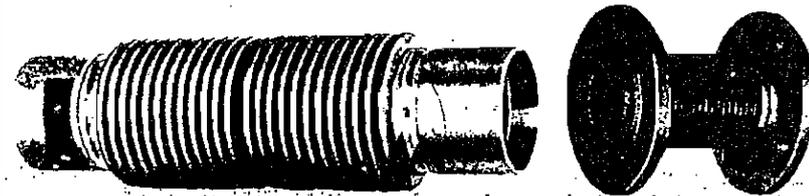


Fig. 3.45 Giunti di dilatazione (Spirax Jucker)

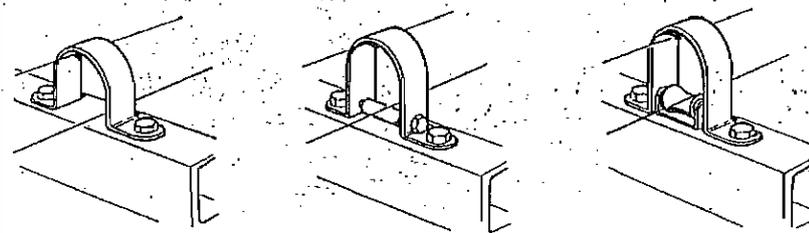


Fig. 3.46 Guide per compensatori assiali (Spirax Jucker)

necessarie una o più guide nel tratto compreso tra il compensatore e l'altro punto fisso.

La seconda soluzione è invece consigliabile quando esistono delle derivazioni secondarie che possono subire spostamenti limitati. Mettendo il compensatore al centro, i movimenti, prodotti dalle dilatazioni, avverranno nei due sensi e di conseguenza gli spostamenti delle derivazioni saranno più contenuti.

Quando il tratto rettilineo tra due ancoraggi principali è molto lungo e tale da richiedere l'inserzione di più compensatori, occorre prevedere dei punti fissi intermedi che dividano il tratto in parti aventi dilatazione non superiore al movimento assorbibile da ciascun compensatore. Per le guide il discorso è del tutto simile.

In alcuni casi la posizione dei punti fissi può essere condizionata da fattori esterni quale l'impossibilità pratica di realizzare gli ancoraggi per insufficiente robustezza delle strutture, necessità di zone libere, presenza di altre tubazioni ecc. per cui si può rendere necessaria la modifica, in sede di progetto, dell'intera rete o di parte di essa. Ovviamente l'enorme varietà di situazioni, non consente di stabilire delle regole in proposito, tuttavia si considera il fattore più limitante il valore delle spinte esercitate sui punti fissi.

RIDUTTORI DI PRESSIONE

Servono a ridurre la pressione del vapore all'uscita del generatore o lungo un condotto e stabilizzarla al valore desiderato. Ciò determina:

- aumento del titolo del vapore
- risparmio di vapore
- miglior funzionamento delle utenze.

I riduttori si classificano in:

- **Riduttori a diaframma e contrappeso**

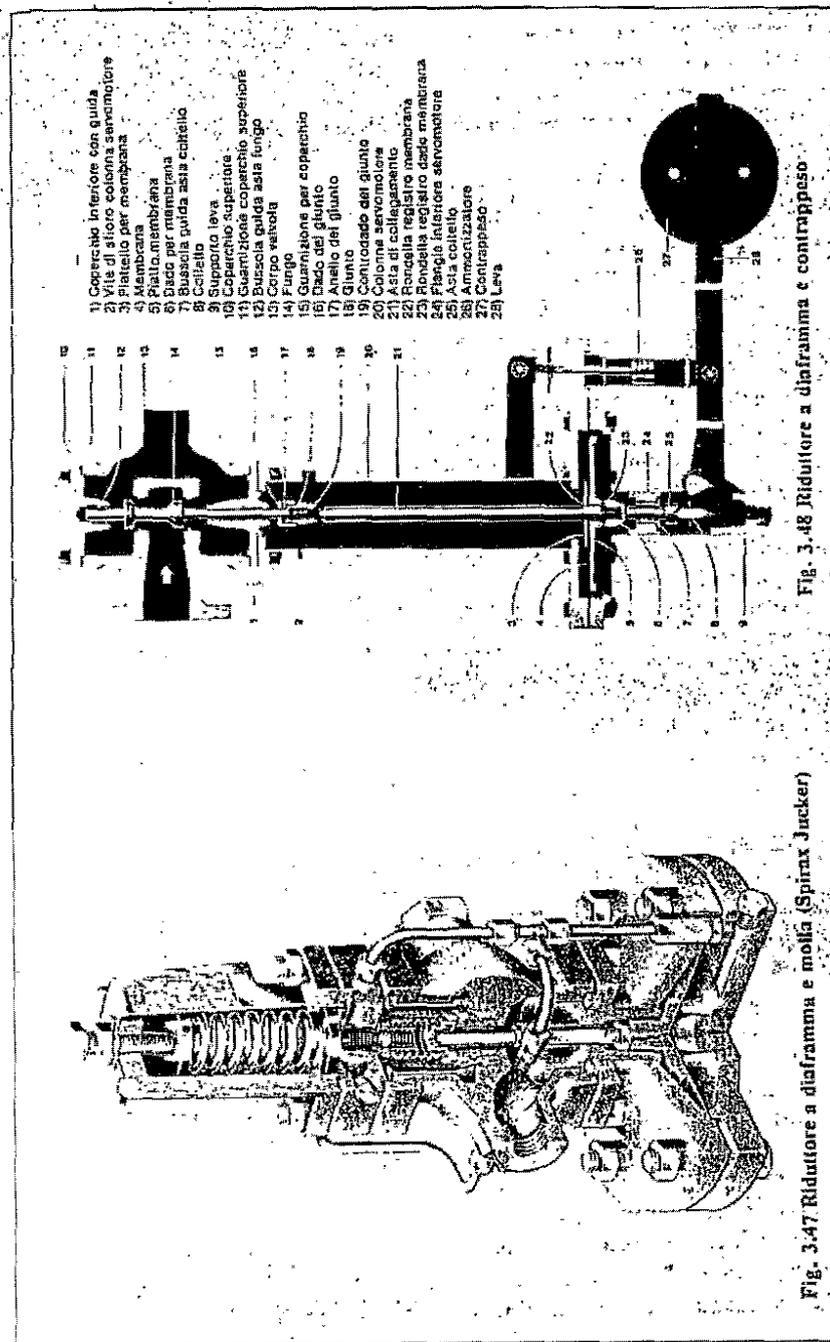
Una membrana applicata allo stelo dell'otturatore riduce la sezione di passaggio se la pressione del vapore ridotto aumenta; se viceversa la pressione diminuisce il contrappeso agisce sullo stelo e aumenta la sezione di passaggio (fig. 3.48).

La regolazione, che si ottiene muovendo il contrappeso sulla leva, si distingue per una elevata precisione ed è da preferirsi in impianti con forti variazioni di carico.

- **Riduttori a diaframma e molla**

Il vapore (fig. 3.47) entra dall'attacco d'ingresso (10), passa attraverso la sede principale (9) laminandosi e riducendosi di pressione, e fuoriesce da (4). La camera di controllo al di sotto delle membrane (3), risente mediante il tubicino di presa d'impulso (5) di ogni variazione e la pressione che vi si stabilisce equilibra il carico della molla di taratura (2) in una determinata posizione.

Quando la pressione ridotta tende a superare quella di taratura, la molla (2) viene compressa e nello stesso tempo la molla di richiamo (7) agisce



sull'otturatore (6) determinando uno strozzamento maggiore del vapore e quindi un nuovo equilibrio dell'otturatore, fino a ristabilire l'esatto valore della pressione ridotta.

Un'azione contraria avviene quando la pressione a valle tende a diminuire, le membrane (3) si abbassano fino a quando la nuova pressione nella camera di controllo equilibra la molla di taratura e, tramite lo stelo (8), provoca la discesa dell'otturatore (6) e quindi l'apertura della sede (9) con ripristino della pressione ridotta.

SCARICATORI DI CONDENZA

La funzione dello scaricatore di condensa è quella di scaricare la condensa che si viene a formare negli impianti nel minor tempo possibile onde evitare inutili sprechi di energia dovuti alla lentezza di avviamento, trattenendo il vapore. Tutti gli scaricatori sono progettati per questo scopo, ma non tutti lo assolvono, non comunque allo stesso modo, e quasi certamente non alle stesse condizioni di esercizio. Gli impianti a vapore nelle industrie sono molto differenti tra loro, e difficilmente uno scaricatore di condensa può funzionare egregiamente a condizioni così variabili. Questo è il motivo per cui vengono costruiti diversi tipi di scaricatori.

Gli scaricatori in base al principio di funzionamento si suddividono in:

- **termostatici**: distinguono il vapore dalla condensa per differenza di temperatura che agisce su un elemento termostatico collegato con l'otturatore di scarico.

Comprendono cinque tipi fondamentali:

a pressione equilibrata	a monomembrana
a dilatazione di liquido	a soffiutto
bimetallici	

- **meccanici**: distinguono il vapore dalla condensa per differenza di peso specifico che agisce su un galleggiante o un secchiello.

Comprendono due tipi fondamentali:

a galleggiante
a secchiello rovesciato

- **termodinamici**: distinguono il vapore dalla condensa per differenza di velocità deflusso attraverso lo scaricatore.

- **viri**: i due tipi principali sono:

ad impulso
a labirinto

SCARICATORI TERMOSTATICI

- **A pacchetto bimetallico**: una famiglia di scaricatori termostatici senza problemi di resistenza meccanica è quella che utilizza l'effetto della flessione di un bimetallico, cioè il fatto che una striscia metallica composta di due metalli saldati lungo la linea di contatto si inarca quando viene riscaldata, per effetto del diverso coefficiente di dilatazione dei due metalli (fig. 3.50).

- **A monomembrana**: è costituito da un cono valvola autocentrante, che con la sua forma particolare assicura una chiusura al vapore. La sede piana posta a monte della precedente, garantisce la tenuta anche se sono presenti particelle di sporizia. (fig. 3.49).

Il disco di distribuzione (deflettore), garantisce una omogenea ripartizione della condensa alla membrana termostatica che, pertanto, raggiunge la medesima temperatura in ogni suo punto, indipendentemente dal modo come viene installato lo scaricatore e dalla quantità di condensa che ad esso arriva.

Quando è presente condensa fredda, la temperatura che circonda la capsula è relativamente bassa. Il liquido che si trova nella capsula è completamente condensato; la pressione all'interno della capsula è inferiore alla pressione esterna alla stessa (pressione di esercizio). La membrana su cui è fissato il disco otturatore è spinta in direzione "aperta".

Con l'aumentare della temperatura della condensa dopo l'avviamento dell'impianto, il liquido all'interno della capsula incomincia ad evaporare; la pressione all'interno della capsula aumenta. La membrana su cui è fissato il disco otturatore è spinta in direzione "chiusa". Prima che la condensa abbia raggiunto la propria temperatura di saturazione (evaporazione), cioè prima che il vapore possa raggiungere l'otturatore ed uscire, lo scaricatore è completamente chiuso.

Se non è presente condensa, l'otturatore resta chiuso. Man mano che la condensa giunge e si raccoglie nello scaricatore, il liquido contenuto nella capsula inizia a condensare, la pressione all'interno di essa diminuisce progressivamente e si riprende il processo di apertura.

- **A soffiutto**: l'elemento di comando è costituito da un soffiutto metallico contenente particolare liquido. La parte superiore è fissa mentre la parte libera inferiore è munita di valvolina a sfera oppure a spillo. All'avviamento dell'impianto il liquido contenuto nel soffiutto è freddo, la valvola è quindi completamente aperta permettendo l'eliminazione della condensa e aria presenti. In presenza di condensa calda, essa trasmette calore al soffiutto che espandendosi porta la valvolina a chiudere la sezione di scarico (orifizio). Apparecchio in genere molto sensibile, adatto per scaricare notevoli quantità di condensa alle basse pressioni differenziali, ottimo sfiatatore d'aria, viene impiegato nelle basse e bassissime pressioni. La sua durata è comunque molto limitata, ed è particolarmente sensibile ai colpi d'ariete.

SCARICATORI MECCANICI

- **A galleggiante**: lo scaricatore a galleggiante non è altro che un rubinetto di scarico comandato da una sfera a galleggiante che, a seconda del livello presente nel corpo, spostandosi, libera più o meno la sezione di carico. In genere sono ottimi regolatori di scarico, eliminano grandi quantità di condensa indipendentemente dalla sua temperatura; in compenso sono molto ingombranti e pesanti (fig. 3.52). La maggior parte degli scaricatori a galleggiante ha il problema dello scarico dell'aria e degli incondensabili soprattutto nella fase di

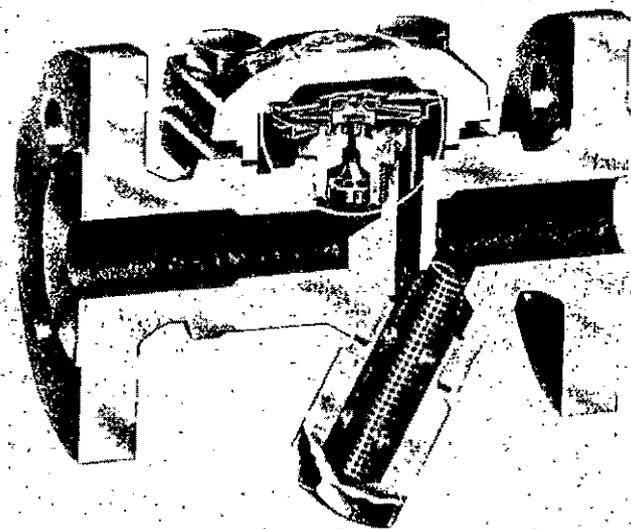


Fig. 3.49 Scaricatore di condensa termostatico a monomembrana con doppia sede e valvola di non ritorno (Italgestra)

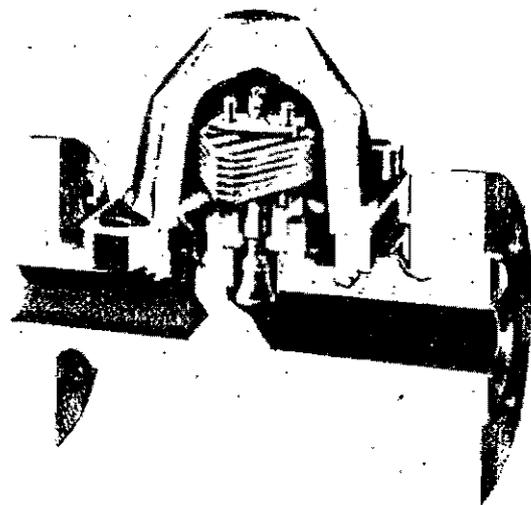


Fig. 3.50 Scaricatore termostatico a pacco lamellare bimetallico (Italgestra)

avviamento, per lo scarico dei quali è necessario un dispositivo supplementare termostato. La posizione di montaggio è obbligata, ed essendo la forza prodotta dal galleggiante (Pg) durante il suo spostamento in apertura costante, è evidente che lo scaricatore deve essere scelto in funzione della pressione di esercizio.

- A secchiello rovesciato: l'azione di apertura e chiusura è ottenuta dal movimento del corpo galleggiante (secchiello). Il galleggiante tende a galleggiare in presenza di vapore ed aria, mentre affonda quando vi è sola condensa. Durante queste fasi è inevitabile una certa perdita di vapore vivo (fig. 3.53). Hanno un ristretto campo di applicazione per il funzionamento intermittente che può portare a vibrazioni della valvola termoregolatrice con conseguente maggior usura, oscillazioni della temperatura, aumento quindi delle possibilità di colpi d'ariete, le limitazioni alle basse temperature ambientali e al vapore surriscaldato. Scaricano male l'aria e i gas.

SCARICATORI TERMODINAMICI

Questo tipo di scaricatore basa il suo funzionamento sul fatto che la condensa a temperatura vicina a quella di saturazione, passando ad una pressione più bassa, in parte rievapora. La parte funzionale dello scaricatore è racchiusa in una testata che contiene una faccia di appoggio piana con un foro centrale in collegamento con l'arrivo della condensa ed una scanalatura in collegamento con la rete raccolta condense.

Oltre alla testata, lo scaricatore ha due tronchetti di entrata ed uscita e può contenere un filtro incorporato.

Sulla faccia piana appoggia a tenuta un disco, il quale rappresenta l'unica parte mobile dello scaricatore (fig. 3.54).

Alla messa in marcia il disco viene sollevato dalla sede dalla pressione di rete vapore, espellendo l'aria e gli incondensabili attraverso la scanalatura di uscita. Quando la condensa raggiunge una temperatura vicina a quella del vapore saturo, a causa della caduta di pressione nel passaggio sotto il disco, in parte rievapora. La rievaporazione è accompagnata da un forte aumento di volume e perciò dall'aumento della velocità di passaggio sotto il disco. L'aumento della velocità (carico dinamico, secondo il teorema di Bernoulli) determina un contemporaneo abbassamento locale della pressione ed il disco è attratto a riposizionarsi sulla sede. Nel contempo il vapore fluisce nella testata, equilibrando la pressione della rete sulla stessa, ed esercitando tale pressione su tutto il disco, mentre la pressione di rete opera su un'area più piccola. Il disco si riposiziona sulla sede con una chiusura secca, assicurando la tenuta fino ad un nuovo ciclo di apertura.

Per comprendere perché il disco si risolleva bisogna considerare che la testata è uno spazio chiuso riempito con vapore, il quale necessariamente condensa per effetto delle dispersioni. La condensazione del vapore crea una diminuzione della pressione nella testata, finché la pressione di rete, esercitata sul foro di entrata, avrà ragione della pressione nella testata, esercitata su tutto il disco. A questo punto il disco si solleva ed il ciclo ricomincia.

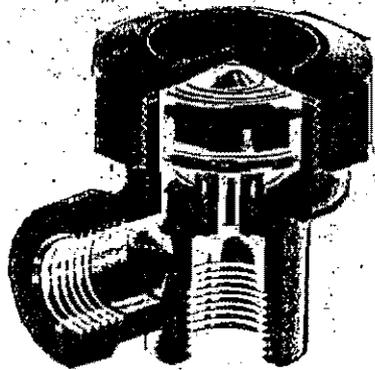


Fig. 3.51
Termostatici a pressione equilibrata
(Spirax Jucker)

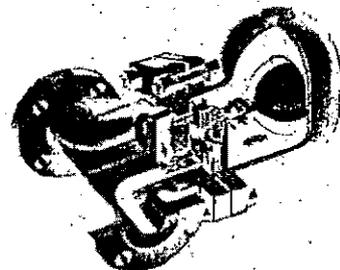


Fig. 3.52
Meccanici a galleggiante
(Spirax Jucker)

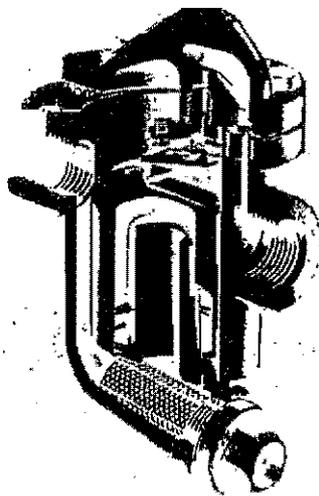


Fig. 3.53
Meccanici a secchiello rovesciato
(Spirax Jucker)

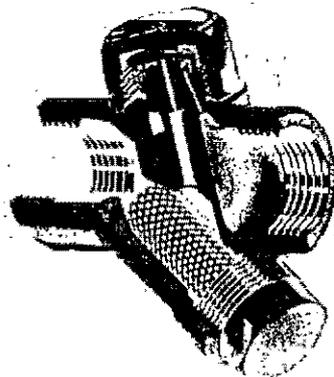


Fig. 3.54
Termodinamici
(Spirax Jucker)

ACCUMULATORE DI VAPORE

Costituito da un grosso recipiente cilindrico in acciaio (occupato per 9/10 dall'acqua e 1/10 dal vapore) viene utilizzato per immagazzinare vapore nei periodi di minor consumo e cederlo nei momenti di maggior richiesta per consentire al generatore di lavorare a carico costante.

L'accumulatore più diffuso è il *Ruths*. Il vapore in eccesso arriva all'accumulatore attraverso un tubo distributore munito di ugelli, una valvola di ritegno e una valvola di manovra. Gli ugelli, agendo da iniettori, consentono al vapore di condensarsi determinando una circolazione dell'acqua e del vapore. Il vapore sviluppato dallo specchio d'acqua attraversa una valvola di manovra, una valvola di ritegno che ne impedisce il ritorno e viene immesso nella condotta principale nella quale, tramite una valvola di riduzione, la pressione è inferiore rispetto alla pressione del generatore e dell'accumulatore. La presa del vapore, installata sul duomo dell'accumulatore e pilotata automaticamente da un dispositivo sensibilissimo, consente di rilevare variazioni di pressione di 1/10.

In eccesso di vapore lungo la condotta il vapore entra nell'accumulatore e si condensa; viceversa quando la quantità prodotta diviene insufficiente l'accumulatore fornisce il vapore in difetto necessario per sopperire al consumo. Viene corredato di una valvola di sicurezza, manometro, termometro, tubi di livello, passo d'uomo, portina di pulizia e rubinetto di scarico.

CAP. 4 L'ACQUA E SUOI TRATTAMENTI

4.1 NOZIONI GENERALI

Chimicamente l'acqua viene espressa con la formula H_2O ; la molecola è quindi costituita da due atomi di idrogeno (H) e uno di ossigeno (O). Se l'acqua fosse realmente composta solo da questi elementi o se contenesse le stesse impurità, i trattamenti non varierebbero in funzione dell'uso alla quale è destinata. L'acqua esistente in natura non è mai pura, quella che più si avvicina è la pioggia, pur contenendo gas solubili quali l'ossigeno (O_2) e l'anidride carbonica (CO_2).

Le acque sotterranee (pozzi, sorgenti) contengono una quantità elevata di gas disciolti e di sali in soluzione. Le acque di superficie (fiumi, laghi) contengono anche sostanze organiche (vegetali) e sostanze insolubili (sabbia e melma).

Le sostanze sciolte nell'acqua si possono trovare in soluzione o sospensione.

Si ha sospensione, quando una sostanza si può separare dall'acqua con mezzi meccanici nonostante si disperda in particelle di dimensioni piccolissime.

Si può parlare di soluzione, quando il soluto (sostanza che viene sciolta nell'acqua) forma con il solvente (l'acqua) un miscuglio che non si può separare con soli mezzi meccanici.

Al fine di ricordare quanto sia necessario, per considerare chimicamente l'acqua, sono indispensabili alcuni concetti fondamentali.

Peso atomico: è la massa atomica relativa. Viene considerata come massa atomica unitaria la massa dell'atomo di carbonio (isotopo 12).

In un composto chimico gli atomi degli elementi contenuti sono uniti insieme in una struttura detta molecola.

I pesi molecolari si ottengono sommando il peso degli atomi presenti in ogni molecola.

$$\text{Es. } H_2O = H_2 + O = 1 \times 2 + 16 = 18$$

$$H_2SO_4 = H_2 + S + O_4 = 2 \times 1 + 32 + 4 \times 16 = 98$$

I sali si formano avvicinando fra loro cationi e anioni. I cationi sono tutti i metalli più l'idrogeno, gli anioni sono tutti i radicali acidi più l'ossidrile.

Cationi

Idrogeno (H) - forma acqua con gli ossidrili e acidi con i radicali acidi.

CATIONI
METALLI + IDROGENO (H)
ANIONI
RADICALI ACIDI + OSSIDRILE (OH)

Sodio (Na) - forma sali solubili con radicali acidi.
 Calcio (Ca) } - provocano durezza, formano basi con ossidril e sali
 Magnesio (Mg) } con radicali acidi.

Anioni

Ossidrile (OH) - forma acqua con l'idrogeno e una base con i metalli.
 Cloruro (Cl)
 Bicarbonato (HCO₃) } - forma acidi con idrogeno, sali con metalli.
 Carbonato (CO₃) }
 Solfato (SO₄) }

MET + OSS
 Gli ossidi si ottengono combinando l'ossigeno con i metalli. Facendo poi reagire gli ossidi con l'acqua si ottiene una base.

Non MET + OSS
 Gli anidri si ottengono con la combinazione dei non metalli con l'ossigeno. La reazione degli anidri con l'acqua dà un acido.

Nell'acqua sono presenti sostanze chimiche in soluzione, il cui comportamento varia al variare della temperatura.

Le principali si classificano in:

1) SALI INCROSTANTI

a) durezza temporanea

- Bicarbonato di Calcio
- Bicarbonato di Magnesio

N.B. Non vengono clencati i carbonati di calcio e magnesio perché, presenti in sospensione nell'acqua grezza, vengono trattenuti nella filtrazione.

b) durezza permanente

- Solfato Calcio
- Solfato Magnesio
- Cloruro Calcio
- Cloruro Magnesio

c) silice

2) SALI NON INCROSTANTI

Rimangono in soluzione anche ad alte temperature

- Carbonato di Sodio
- Solfato di Sodio
- Fosfato di Sodio
- Cloruro di Sodio
- Idrato di Sodio

3) GAS

- Anidride Carbonica
- Ossigeno
- Azoto

4) METALLI

- Ferro
- Rame
- Manganese

4.2 CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE

DUREZZA

$$10 \text{ mg/l CaCO}_3 = 1^\circ \text{F}$$

La durezza totale dell'acqua è determinata dal contenuto di sali solubili di calcio e di magnesio, normalmente presenti sotto forma di bicarbonati, solfati, cloruri, indipendentemente dalla forma in cui sono presenti.

L'unità di misura adottata, è il grado idrotimetrico Francese (°F) che corrisponde a 10 milligrammi di carbonato di calcio (CaCO₃) contenuti in un litro d'acqua. È consuetudine anche esprimere la durezza in parti per milione (ppm CaCO₃). Poiché un Kg contiene un milione di milligrammi un "ppm" corrisponde a un milligrammo; un grado Francese equivale a 10 ppm espressi come CaCO₃.

La durezza viene quindi espressa in carbonato di calcio, viene cioè valutata la durezza che si avrebbe se tutti i sali fossero carbonato di calcio. Naturalmente a formare la durezza complessiva, i vari sali concorrono secondo la loro quantità ed il loro apporto alla durezza stessa.

TAB. 4.1 SIMBOLI CHIMICI

Bicarbonato di calcio	Ca (HCO ₃) ₂
Bicarbonato di magnesio	Mg (HCO ₃) ₂
Bicarbonato di sodio	NaHCO ₃
Carbonato di calcio	CaCO ₃
Carbonato di magnesio	MgCO ₃
Cloruro di calcio	CaCl ₂
Cloruro di magnesio	MgCl ₂
Cloruro di sodio	NaCl
Solfato di calcio	CaSO ₄
Solfato di magnesio	MgSO ₄
Solfato di sodio	Na ₂ SO ₄
Silice	SiO ₂
Acido carbonico	H ₂ CO ₃
Acido cloridrico	HCl
Acido solforico	H ₂ SO ₄
Acido silicico	H ₄ SiO ₄
Idrato di sodio	NaOH
Idrato di magnesio	Mg (OH) ₂

La durezza totale si suddivide in permanente e temporanea. La divisione è molto utile in quanto indica la capacità di un'acqua ad originare fenomeni di incrostazione.

TAB. 4.2 UNITÀ DI SALINITÀ DELL'ACQUA

ppm	equivalente per milione = mval/kg
°f	grado francese = 10 ppm CaCO ₃
°dH	grado di durezza tedesco = 10 ppm CaO = 17,8 ppm CaCO ₃
grain/gallon GB	grano/gallone GB
grain/gallon USA	grano/gallone USA
kgms/cu.ft	chilogrammi per piede cubico
lb/cu.ft	libbre per piede cubico
mg/l	milligrammi/litro = ppm
mg/kg	milligrammi/chilogrammo = ppm
mval/l	milliequivalente/litro = ppm
mval/kg	milliequivalente/chilogrammo = ppm
ppb	parte per bilione (= 0,001 ppm)
ppm	parte per milione (= mg/l)
ppt	parte per trillione (= 0,001 ppb)
val/l	equivalente/litro
val/kg	equivalente/chilogrammo

TAB. 4.3 FATTORI DI CONVERSIONE: UNITÀ DI SALINITÀ DELL'ACQUA

ppm CaCO ₃	grains/gal. GB CaCO ₃	grains/gal. USA CaCO ₃	°f	°d	epm	kgm./cu.ft. CaCO ₃	g CaO/l. cu.ft.	lb. CaCO ₃ /cu.ft.
1	0,07	0,056	0,1	0,056	0,02	0,136 x 10 ⁻⁴	0,56 x 10 ⁻⁴	62,3 x 10 ⁻⁴
14,3	1	0,83	1,43	0,80	0,286	6,23 x 10 ⁻⁴	8,0 x 10 ⁻⁴	0,891 x 10 ⁻⁴
17,16	1,2	1	1,72	0,96	0,343	7,48 x 10 ⁻⁴	9,61 x 10 ⁻⁴	1,07 x 10 ⁻⁴
19,9	0,7	0,58	1	0,56	0,2	4,36 x 10 ⁻⁴	5,6 x 10 ⁻⁴	0,623 x 10 ⁻⁴
17,85	1,25	1,04	1,785	1	0,357	7,8 x 10 ⁻⁴	10 x 10 ⁻⁴	1,11 x 10 ⁻⁴
50,0	3,5	2,9	5,0	2,8	1	21,8 x 10 ⁻⁴	28 x 10 ⁻⁴	3,12 x 10 ⁻⁴
3295	161	133	229	128,5	45,9	1	1,285	0,143
1785	125	130,5	178,5	100	35,7	0,78	1	0,111
16.018	1.121	929	1.602	897	320	6,98	8,97	1

TAB. 4.4 CONTENUTO DI OSSIGENO NELL'ACQUA A CONTATTO DI ARIA, A PRESSIONE ATMOSFERICA DI 760 TORR, IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA

gradi C	ppm O ₂	gradi C	ppm O ₂
0	14,55	19	9,26
1	14,16	20	9,09
2	13,78	21	8,73
3	13,42	25	8,26
4	13,06	30	7,49
5	12,73	35	6,91
6	12,41	40	6,41
7	12,11	45	5,94
8	11,81	50	5,50
9	11,52	60	4,69
10	11,25	70	3,81
11	10,99	80	2,81
12	10,75	90	1,59
13	10,50	95	0,86
14	10,28	96	0,69
15	10,06	97	0,52
16	9,85	98	0,36
17	9,65	99	0,18
18	9,45	100	0,0

La durezza temporanea o carbonatica è costituita dai bicarbonati di calcio e magnesio e precipita sotto forma di carbonato formando incrostazioni consistenti, quando l'acqua viene riscaldata. La scissione completa dei bicarbonati in carbonati si ha all'ebollizione.

La durezza permanente, costituita dai solfati e dai cloruri di calcio e magnesio, precipita invece dopo prolungata ebollizione, dando luogo a incrostazioni di consistenza inferiore rispetto a quelle determinate dalla temporanea.

Se si fa infatti bollire per un determinato tempo un volume di acqua dura, una parte delle sostanze che erano in soluzione si separano portandosi sul fondo del recipiente o rimanendo in sospensione. Per conoscere la quantità di sali che sono passati in sospensione si determina la durezza dell'acqua greggia prima dell'ebollizione, si fa in seguito bollire per 30 minuti, si filtra, si riporta al volume iniziale con acqua distillata e si determina la nuova durezza, durezza che è solitamente inferiore alla precedente. La differenza corrisponde ai bicarbonati che col riscaldamento non rimangono in soluzione e si trasformano in carbonati insolubili (durezza temporanea).

Riassumendo:

- durezza totale: è quella dell'acqua greggia
- durezza permanente: è quella che l'acqua conserva anche dopo l'ebollizione,
- durezza temporanea: è quella che precipita con l'aumento della temperatura.

Tra durezza ed alcalinità M esistono precisi rapporti:

- durezza superiore all'alcalinità M: la durezza è in parte temporanea e in parte permanente. E' temporanea la durezza equivalente all'alcalinità M (alcalinità M = durezza temporanea), poichè la durezza legata ai bicarbonati (alcalinità M) precipita (in forma di carbonato) per semplice riscaldamento dell'acqua. La durezza permanente è uguale alla differenza tra durezza (totale) e alcalinità M.
- durezza uguale all'alcalinità M: l'intera durezza è temporanea (l'acqua non contiene durezza permanente).
- durezza inferiore all'alcalinità M: tutta la durezza è temporanea; l'alcalinità M in eccesso è dovuta a bicarbonato di sodio.

PH

CONCENTRAZIONE DI IONI DI IDROGENO

Il pH è una grandezza che indica la concentrazione degli ioni idrogeno presenti in soluzione nel solvente, ed in definitiva l'acidità o la basicità dell'acqua.

L'acqua si scinde in H⁺ e OH⁻. Lo ione H⁺ rende l'acqua acida, mentre l'ossidrile OH⁻ dà una caratteristica basica. A temperatura ambiente il pH assume un valore che può variare da 0 a 14 essendo a 25°C il prodotto della concentrazione di H⁺ e OH⁻ uguale a 1 x 10⁻¹⁴ (fig. 4.1).

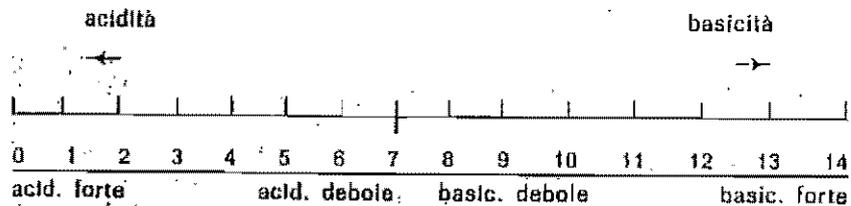


Fig. 4.1 Scala del pH.

Alla temperatura di 18 °C l'acqua distillata contiene lo stesso numero di ioni H⁺ e di ossidrilii OH⁻ per cui è neutra ed ha pH = 7.

temperatura	18°	50°	100°	200°
pH	7,0	6,61	6,07	5,7

Se osserviamo i valori temperatura - pH sopra indicati, si nota che l'acqua neutra alla temperatura di 18 °C ha un pH = 7. Se la stessa acqua viene riscaldata fino a 200 °C il pH scende ad un valore di 5,7, in quanto con l'aumentare della temperatura aumenta la velocità dello ione idrogeno rispetto allo ione ossidrilile con aumento della costante di dissociazione e conseguentemente dell'acidità.

Valori inferiori a 7 denotano acidità (prevale lo ione H⁺), valori superiori a 7 denotano basicità (prevale l'ossidrilile OH⁻).

L'acqua di esercizio di un generatore di vapore a tubi da fumo deve avere valore compreso tra 9 e 11.

ALCALINITÀ OH⁻ Carbonati Bicarbonati Idrati
 È la concentrazione degli ioni capaci di reagire con gli ioni di idrogeno, ed è generata da carbonati, bicarbonati, idrati. Si suddivide in alcalinità alla fenolftaleina (P) e al metilarancio (M).

La prima definisce tutti gli idrati e metà i carbonati, quella al metilarancio misura la somma dei bicarbonati, carbonati e idrati. È importante ricordare che non possono coesistere nella stessa acqua e nelle stesse condizioni bicarbonati ed idrati in quanto gli idrati stessi sono il prodotto della dissociazione dei bicarbonati.

Un valore elevato di alcalinità in un generatore determina corrosione caustica ed idrati in quanto gli idrati stessi sono il prodotto della dissociazione dei bicarbonati.

Come da tabella 4.5 condizione ideale di buon funzionamento, che si ottiene soltanto con speciali trattamenti (demineralizzazione), si ha con l'eguaglianza delle due alcalinità P e M in cui la presenza dei soli idrati non libera anidride carbonica.

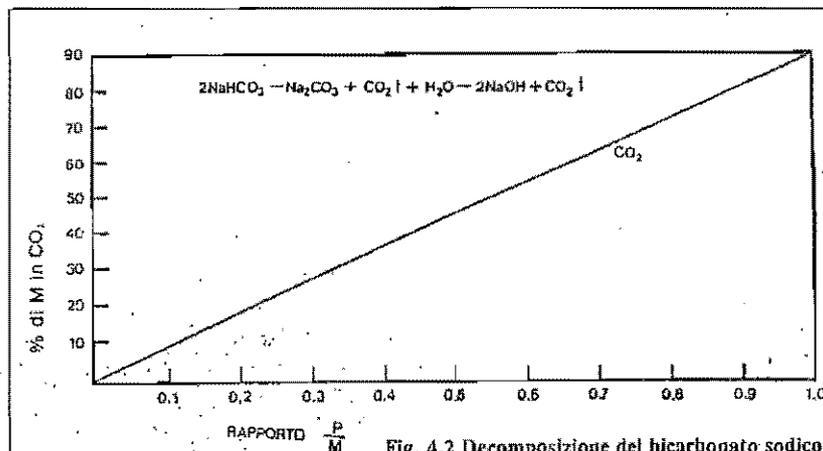


Fig. 4.2 Decomposizione del bicarbonato sodico.

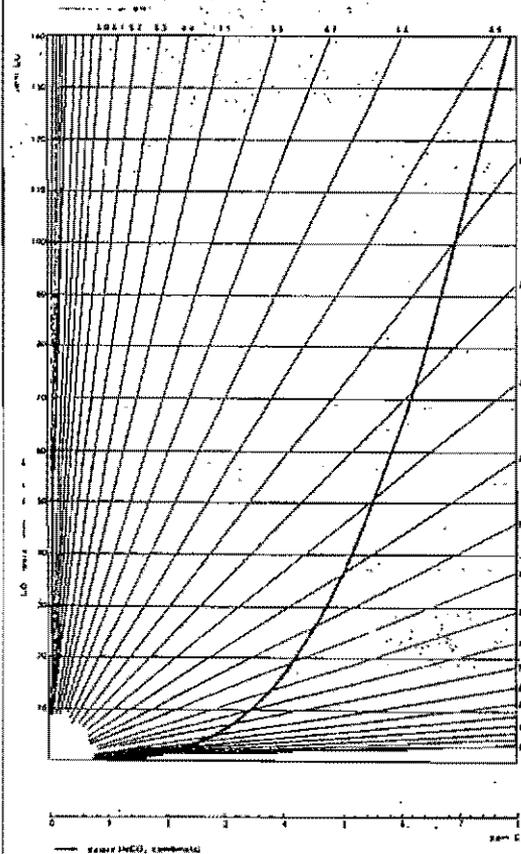


Fig. 4.3 Curva di Tillmans

Determinare l'alcalinità M dell'acqua. Salire in verticale dal corrispondente valore, fino ad incontrare la retta corrispondente al pH dell'acqua. Il punto di incontro, si trova all'altezza corrispondente alla concentrazione di CO₂ libera dell'acqua, riportata sull'asse delle ordinate. Se tale punto di incontro è alla sinistra della curva di Tillmans, l'acqua contiene una quantità di CO₂ libera superiore a quella di equilibrio, ed è pertanto aggressiva. Se esso si trova alla destra della curva, l'acqua contiene una quantità di CO₂ libera insufficiente per mantenere in soluzione i bicarbonati, e pertanto è instabile.

Se invece l'alcalinità M è elevata, si ha sviluppo di CO₂ con acidificazione del vapore e delle condense.

TAB. 4.5 CONCENTRAZIONI IN RELAZIONE ALL'ALCALINITÀ

Alcalinità	Idrati (OH)	Carbonati (CO ₃)	Bicarbonati (HCO ₃)
P = 0	0	0	M
P = M	M	0	0
P = 1/2 M	0	M	0
P < 1/2 M	0	2 P	M - 2P
P > 1/2 M	2 P-M	2 (M-P)	0

FERRO

I sali di ferro sono spesso presenti nell'acqua sia come ioni ferro, sia come fanghi ferroso-ferrici precipitati. L'ossigeno, sempre presente in acqua, ossida i sali di ferro trasformandoli in ossidi di ferro che in acqua danno origine ad idrati di ferro di vario genere. Gli idrati di ferro formati si addensano in fiocchi di color bruno e precipitano; si hanno quindi acque contenenti contemporaneamente ferro in soluzione, in sospensione e precipitato. Il ferro se presente in sospensione nell'acqua precipita e determina incrostazioni; a causa della differenza di potenziale che si crea tra le superficie incrostate e gli ossidi (ferro precipitato), si genera spesso una pila provocando temibili corrosioni.

SILICE

Quando all'interno del generatore viene superato il limite di solubilità, peraltro relativamente elevato, la silice può formare incrostazioni. In presenza di metalli alcalini, alluminio, ferro, ecc., si può formare una grande varietà di silicati complessi, la cui solubilità è però in parte molto inferiore. Soprattutto in presenza di durezza e di alluminio sussiste il pericolo che nel generatore di vapore si formino incrostazioni ricche di silice: è quindi necessario evitare la presenza di alluminio nell'acqua e limitare la durezza. Se la silice tende a superare i limiti raccomandati è necessario aumentare gli spurghi del generatore o limitare il contenuto di silice dell'acqua di alimento, con un trattamento appropriato dell'acqua stessa.

CLORURI

I cloruri sono sali presenti nel terreno che l'acqua discioglie. Un sale presente nel terreno è il cloruro di sodio (NaCl). Il cloruro di calcio (CaCl₂) e di magnesio (MgCl₂) sono invece i principali costituenti della durezza permanente. I cloruri sono sali corrosivi; il contenuto non dovrebbe mai superare i 150 ppm in quanto oltre tale concentrazione la corrosione diviene violenta.

SALINITÀ

Indica il contenuto totale dei sali minerali.

Si può esprimere sotto forma di residuo fisso o conducibilità.

Il residuo fisso misura direttamente per pesata la quantità di sali contenuti in un campione d'acqua dopo essiccamento a 180 °C. Poiché la conducibilità elettrica di una soluzione acquosa dipende approssimativamente dal suo contenuto salino, tale misura è spesso sostitutiva del residuo fisso. Essendo influenzata dalla temperatura, la sua misura va riferita a 25 °C e viene espressa in microsiemens per centimetro (µS/cm), misurata con conduttivimetro. Per praticità di controllo si assume che il residuo fisso (in mg/Kg) corrisponde numericamente a circa 0,55 del valore della conducibilità (in µS/cm).

Elevate salinità possono causare incrostazioni, corrosioni o depositi e possono essere indice di errori progettuali o di conduzione non corretta degli impianti (carenza di spurghi) o degli impianti di trattamento dell'acqua.

TAB. 4.7 DIFFICOLTÀ TIPICHE, CAUSATE DALLE SOSTANZE COMUNEMENTE CONTENUTE NELL'ACQUA.

Alcalinità	Nei generatori di vapore favorisce lo schiumeggiamento e, se molto elevata, provoca corrosioni. Se proveniente da decomposizione di bicarbonato, provoca corrosioni dovute a CO ₂ nella rete delle condense.
Ammoniaca	Causa corrosioni di rame, zinco e loro leghe.
Anidride carbonica	Interferisce con alcuni processi per i quali l'acqua viene usata e provoca corrosioni in tubazioni e impianti.
Cloruri	Aumentano la salinità dell'acqua e favoriscono le corrosioni da ossigeno.
Durezza	È la fonte principale di incrostazioni in tubazioni e impianti.
Ferro	Interferisce con la maggior parte dei processi per i quali l'acqua viene usata. Causa incrostazioni e corrosioni in tubazioni e impianti.
Idrogeno solforato	Causa corrosioni in tubazioni e impianti.
Manganese	Presenta gli stessi svantaggi del ferro.
Nitrati	La loro presenza è indice di un inquinamento organico dell'acqua. Indesiderati nell'acqua potabile e per processi alimentari, in genere non disturbano i processi industriali.
Ossigeno	Causa corrosioni in tubazioni e impianti.
Silice	Forma incrostazioni difficili da rimuovere sia nei generatori di vapore che soprattutto sulla paletteatura di turbine a vapore.
Solfati	Aumentano la salinità dell'acqua. Si combinano con il calcio per formare incrostazioni.
Sostanze organiche	Interferiscono con la maggior parte dei processi per i quali l'acqua viene usata, spesso conferiscono all'acqua una colorazione. Inoltre possono causare formazione di schiume indesiderate nei processi, nei generatori di vapore, ecc.
Torbidità	Interferisce con la maggior parte dei processi per i quali l'acqua viene usata e le conferisce un aspetto sgradevole. Causa depositi in tubazioni e impianti.

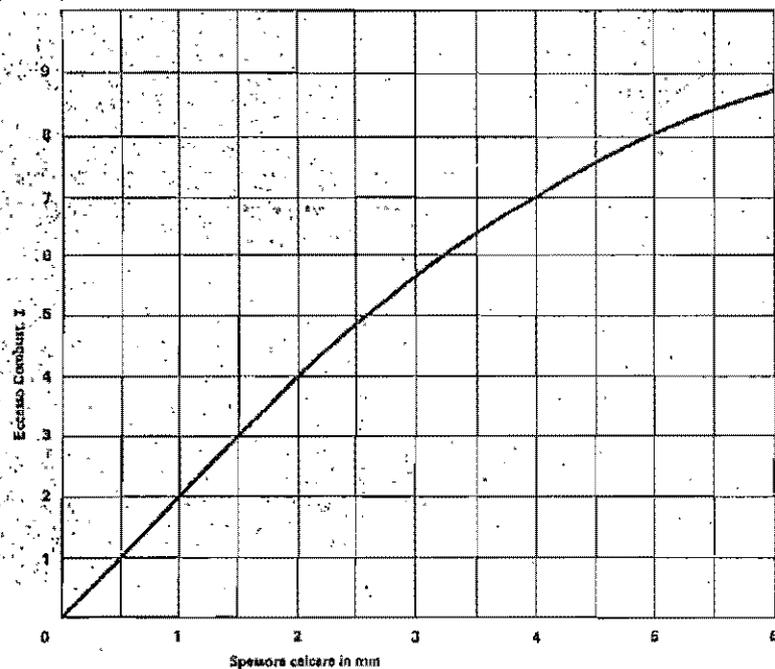


Fig. 4.4 Aumento di consumo di combustibile in relazione all'incrostazione

TAB. 4.6

CONCENTRAZIONI APPROSSIMATIVE DI CO₂ LIBERA IN ACQUA DEMINERALIZZATA DI ESTREMA PUREZZA A 25°C IN FUNZIONE DEL VAPORE pH

pH	ppm CO ₂	pH	ppm CO ₂
7	0,002	6	0,15
6,9	0,003	5,9	0,25
6,8	0,005	5,8	0,35
6,7	0,008	5,7	0,55
6,6	0,01	5,6	0,85
6,5	0,02	5,5	1,3
6,4	0,03	5,4	2
6,3	0,04	5,3	3
6,2	0,07	5,2	4,5
6,1	0,1	5,1	7
		5	10

RAME

Origina corrosioni localizzate assai pericolose. È difficilmente nell'acqua greggia in concentrazioni apprezzabili; può quindi derivare solo da processi corrosivi in seno ai circuiti. È da ricercare solo nel caso si sospettino corrosioni in atto in circuiti aventi componenti in rame. Si esprime in mg/Kg come Cu.

MANGANESE

Possiede tutte le proprietà negative del ferro in quanto ne è simile. È infatti sempre presente nell'acqua insieme con il ferro; il manganese si trova sotto forma di bicarbonato o idrossido, meno frequentemente come solfato. L'acqua che contiene manganese favorisce il proliferare di batteri che arrecano intasamenti e corrosioni.

GASS SOLUBILI

Tra i gas che sono in grado di solubilizzarsi nell'acqua i più frequenti sono: ossigeno, azoto, anidride carbonica.

Mentre l'azoto è inerte e non crea problemi, l'ossigeno disciolto nell'acqua esercita un effetto altamente corrosivo, provocando ossido di ferro che determina l'effetto pila ed ossida le superfici.

L'anidride carbonica reagisce con l'acqua formando acido carbonico, un acido debole che accelera la corrosione, specialmente ad alte temperature. Concentrazioni eccessive vengono indicate da un basso valore di pH.

4.3 INCROSTAZIONI

Il deposito dei sali di calcio e magnesio dà luogo al fenomeno dell'incrostazione che determina inconvenienti, in relazione alla grandezza, alla pressione e al tipo di generatore (fig. 4.4).

L'incrostazione determina:

- una considerevole perdita dell'efficienza del generatore a causa di una riduzione dello scambio termico. Un'incrostazione di 0,8 mm provoca una riduzione del rendimento del generatore del 2-3%.

- analizziamo un effetto dello scambio termico sulle temperature del metallo.

Se osserviamo il flusso termico attraverso una superficie metallica pulita, la temperatura del metallo dal lato acqua è molto prossima a quella dell'acqua e ciò consente di mantenere la temperatura del metallo dal lato fumi al valore minimo. Uno strato di incrostazione dal lato acqua è un isolante sulla superficie metallica e provoca un innalzamento sostanziale della temperatura del metallo dal lato acqua. Si ha un analogo aumento della temperatura del metallo dal lato fumi. Continuando ad aumentare l'incrostazione si raggiunge un punto nel quale inizia a verificarsi una deformazione e successivamente la rottura della superficie interessata;

- un considerevole aumento di consumo di combustibile;
- una potenzialità totale inferiore a quella stabilita in fase di costruzione;
- un intervallo di tempo superiore per raggiungere la pressione di esercizio;

- un indice di vaporizzazione inferiore;
- una minore durata del generatore;
- la smandratura dei tubi.

I principali depositi presenti nei generatori di vapore sono:

- il calcio ed il magnesio se non si ha un perfetto funzionamento dell'apparecchio-utilizzatore nel trattamento;
- il fosfato di calcio se, impiegando un trattamento in ciclo fosfati, si verifica un surdosaggio di fosfati;
- il silicato di calcio se si verifica presenza di silice;
- l'ossido di ferro in quanto in seguito alla corrosione del sistema condens. il ferro disciolto ritorna nel generatore;
- idrossido o fosfato-idrato se, in presenza di magnesio, si riscontra un surdosaggio di fosfati;
- la silice che si deposita come silicato di calcio con riduzione dello scambio termico; anche utilizzando opportuni prodotti chimici è difficile da rimuovere.

4.4 CORROSIONE

È essenzialmente un fenomeno elettrochimico a causa del quale i metalli vengono attaccati e distrutti. Tutte le acque sono più o meno corrosive; tuttavia l'entità della corrosione prodotta dipende da innumerevoli fattori, quali:

- **acidità:** se gli acidi forti dissolvono quasi tutti i metalli, anche un'acqua acida o leggermente alcalina svolge, ovviamente più lentamente, la stessa azione. I gas disciolti, l'anidride carbonica, l'idrogeno solforato ed i minerali disciolti sono le sostanze che più contribuiscono a rendere l'acqua acida;

- **conduttività elettrica o correnti vaganti:** quando due diversi metalli vengono a contatto l'uno con l'altro, attraverso una soluzione che conduce elettricità, avviene che:

- * si stabilisce una corrente elettrica tra i due metalli;
- * uno dei metalli gradualmente si disintegra.

Se un'acqua è sufficientemente conduttiva, si instaura l'azione elettrochimica sopra descritta.

- **ossigeno disciolto:** provoca attraverso un'azione puramente chimica il fenomeno della corrosione. Combinandosi con il metallo, forma un ossido che tutti conoscono come ruggine, termine improprio dell'ossido di ferro;

- **temperatura:** la corrosione si verifica, molto più consistentemente, quando si ha un aumento di temperatura.

- **ferro:** in acqua libera ioni positivi che possono, in soluzione, scindersi da alcuni elettroni negativi, che a loro volta, insieme agli ioni ferro positivi, determinano un campo magnetico. La presenza di un egual numero di ioni negativi e positivi crea una pellicola di protezione sulle lamiere; la rottura di questo equilibrio genera correnti di corrosione.

- **anidride carbonica:** accelera questo processo ed è presente in tutte le acque di pozzo fino ad un valore max di 50 ppm o si ottiene nelle acque addolcite, per effetto della dissociazione dei bicarbonati in carbonati ad alte temperature.

4.5 RESINE

Le resine a scambio ionico si presentano in forma di perline di materia plastica, costituita ad esempio da stirolo reticolato con divinilbenzolo. La macromolecola risultante dal processo di reticolazione contiene un elevato numero di gruppi funzionali, in grado di fissare ioni a carica positiva nelle resine cationiche e ioni a carica negativa nelle resine anioniche. Nel caso delle resine a scambio ionico il componente solido è la macromolecola, che può essere paragonata ad un gomitolo di lana in grado di assorbire acqua come una spugna, il componente liquido è l'acqua e la coerenza del sistema è dovuta alla reticolazione della macromolecola, che può essere immaginata come una formazione di ponti che collegano il filo di lana a vari livelli, formando una specie di ragnatela. È la reticolazione che rende la resina insolubile in acqua. Eventuali parti non reticolate o reticolate in modo insufficiente possono invece disperdersi nell'acqua. Una resina asciutta contiene dal 40 al 60% di acqua (che scende a ca. 10% per una resina essiccata) e la concentrazione degli ioni fissati nella motrice è molto elevata. Immessa nell'acqua, la resina si rigonfia a causa dell'osmosi, in quanto l'acqua che entra nella macromolecola diluisce gli ioni fissati nella matrice. Il processo continua fino al raggiungimento dell'equilibrio tra la pressione osmotica e la rigidità della matrice, che è determinata dal grado di reticolazione e dai repletanti usati.

Le sostanze sciolte nell'acqua passano dall'esterno all'interno delle perline di resina e viceversa, fino al raggiungimento di uno stato di equilibrio. Normalmente le resine vengono impiegate in filtri attraversati dall'acqua, in cui è possibile ottenere che le resine fissino le specie di ioni che si desidera togliere dall'acqua, cedendo in cambio gli ioni che vengono immessi nelle resine stesse durante la rigenerazione.

Le resine sono in grado di adsorbire sia elettroliti forti che elettroliti deboli o non elettroliti presenti nell'acqua. Gli elettroliti vengono scambiati contro gli ioni fissati in origine dalla resina. I non elettroliti vengono adsorbiti in base a un coefficiente di ripartizione tra l'acqua all'esterno e all'interno delle perline di resina. I non elettroliti o gli elettroliti deboli sono costituiti spesso da grandi molecole organiche (generalmente a carattere acido), che non sono in grado di attraversare le maglie del reticolo di una resina convenzionale.

Poiché i fenomeni di adsorbimento sia di elettroliti che di non elettroliti tendono ad arrivare ad un punto in cui la concentrazione della sostanza nell'acqua all'esterno della perlina di resina è in equilibrio con la concentrazione della sostanza nell'acqua all'interno della perlina di resina (dove equilibrio non significa uguale concentrazione), è evidente che mettendo una soluzione semplicemente a contatto di una resina a scambio ionico, la/le sostanze indesiderate non vengono rimosse completamente dall'acqua. Tuttavia nel passaggio dell'acqua attraverso una colonna di resina le condizioni di equilibrio sono dinamiche. Nel primo strato di resina rigenerata l'acqua cede una certa quantità della sostanza da rimuovere. Arrivando al secondo strato di resina rigenerata, la concentrazione di tale sostanza nell'acqua da depurare è già inferiore a quella

originale. Dopo il secondo scambio la concentrazione scende ulteriormente e così via. Fortunatamente le resine a scambio ionico hanno una forte affinità per gli ioni che debbono essere tolti dall'acqua: ad esempio una resina cationica forte "preferisce" il calcio e il magnesio al sodio o all'idrogeno di cui è stata caricata durante la rigenerazione, (essa trattiene in modo preferenziale il calcio, poi il magnesio, poi il sodio e infine l'idrogeno). Perciò, a patto di disporre di uno strato di resina rigenerata sufficiente, la maggior parte delle sostanze indesiderate può essere rimossa dall'acqua quantitativamente. Rimuovendo dall'acqua i cationi mediante una resina cationica forte e gli anioni mediante una resina anionica forte si ottiene acqua demineralizzata molto pura, che tuttavia contiene ancora minime quantità di cationi e anioni.

Negli impianti di demineralizzazione la resina cationica forte viene rigenerata con acido, e pertanto nella forma rigenerata è carica di ioni idrogeno. In questo caso la fuga riguarda lo ione sodio, mentre la resina trattiene completamente il calcio e il magnesio. Negli impianti di addolcimento la resina cationica forte viene rigenerata con cloruro di sodio, e pertanto nella forma rigenerata è carica di ioni sodio. Normalmente la granulometria di una resina a scambio ionico oscilla tra circa 0,3 e 1,2 mm.

*Sali Cationi + Anioni
H2O + H
Resina Anionica + O2
Ossigeno*

4.6 TRATTAMENTI DELL'ACQUA

I trattamenti delle acque si effettuano allo scopo di eliminare o ridurre i seguenti fenomeni:

- formazione e accumulo di fanghi ed incrostazioni;
- formazione di corrosioni;
- trascinalenti d'acqua, di sali e di schiume insieme con il vapore.

I principali trattamenti sono:

- addolcimento
- decarbonatazione
- demineralizzazione
- osmosi

L'addolcimento si esegue mediante:

- addolcimento a calce e soda
- addolcimento a soda caustica e soda
- addolcimento al fosfato trisodico
- addolcimento a scambio ionico

I primi tre vengono oggi impiegati soltanto come pre trattamento per acque ricche di sali minerali che vengono successivamente demineralizzate.

ADDOLCIMENTO A SCAMBIO IONICO:

L'addolcitore è costituito da una colonna contenente resine in ciclo sodico (Na) aventi la proprietà di scambiare i cationi calcio e magnesio con egual numero di cationi di sodio, senza alterare il carico salino dell'acqua (fig. 4.5 - 4.7).

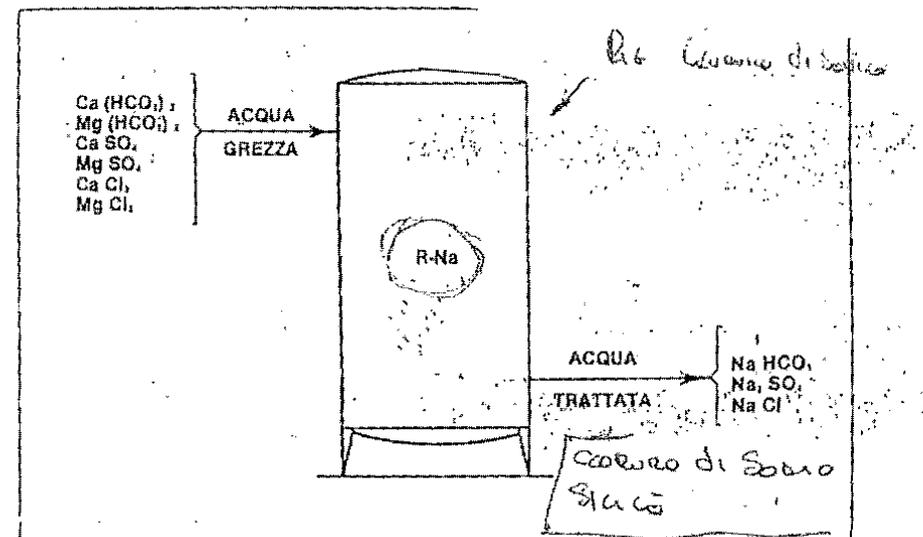


Fig. 4.5 Addolcimento a scambio ionico *EVVATI SPORGHI*

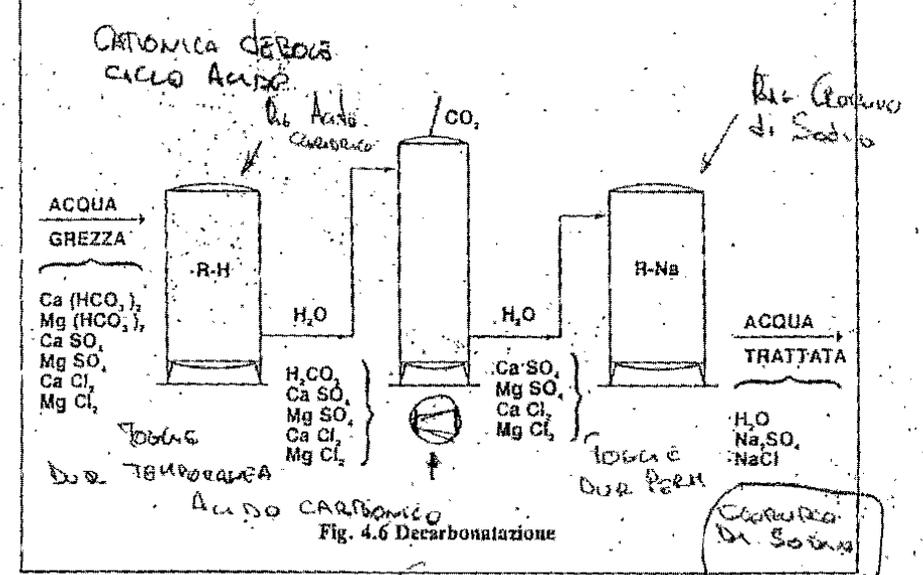


Fig. 4.6 Decarbonatazione

*Acqua Caricata H2CO3
H2O Leggero
Acqua*



Fig. 4.7 Addolcitore a scambio ionico (Culligan)

Quando le resine esauriscono la proprietà di scambio, occorre rigenerare le resine stesse con una soluzione satura di cloruro di sodio (NaCl). L'intero processo di rigenerazione si suddivide in quattro fasi:

a) lavaggio iniziale in controcorrente delle resine per eliminare eventuali impurità contenute nell'acqua grezza e riottenere una uniformità della massa;

b) inserimento in equicorrente di una soluzione ricca di cloruri di sodio a bassa portata, per rigenerare le resine del catione di sodio ed espellere i cationi calcio e magnesio scambiati in fase di esercizio;

c) scarico lento dei cloruri di sodio in eccesso;

d) lavaggio finale con medesima portata di esercizio, per eliminare al termine del processo ogni residuo di cloruro di sodio, in quanto andrebbe ad aumentare la salinità dell'acqua di esercizio provocando inconvenienti ed accelerando il processo corrosivo;

L'acqua impiegata nella rigenerazione non viene utilizzata in quanto ricca di cloruri.

I vantaggi che l'addolcitore presenta sono:

- basso costo di acquisto
- basso costo di gestione
- produzione di acqua non incrostante.

Per contro

- la silice non viene eliminata
- rimanendo invariato il carico salino occorre effettuare un numero elevato di spurghi di fondo con un aumento dei costi di gestione.

DEMI PARZIALE CON TORRE DI DECARBONATAZIONE

Questo processo costituito da tre stadi è una demineralizzazione parziale (fig. 4.6). Particolarmente indicata con acque caratterizzate da una elevata durezza temporanea.

1) Colonna contenente resina cationica debole in ciclo acido. Nel passaggio dell'acqua attraverso la resina i bicarbonati di calcio e di magnesio vengono trasformati in acido carbonico (H_2CO_3) mentre rimangono inalterati i sali che costituiscono la durezza permanente. Quando le resine sono sature di calcio e di magnesio è necessaria una rigenerazione con acido cloridrico o solforico.

2) L'acido carbonico prodotto si decompone in anidride carbonica ed acqua ($H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$). Tramite la torre di decarbonatazione l'acqua nebulizzata viene investita da aria spinta da un ventilatore in controcorrente, rispetto all'acqua stessa, consentendone la fuoriuscita del gas stesso in atmosfera attraverso lo sfianto superiore.

3) Colonna contenente resina in ciclo sodico. I cloruri e i solfati di calcio e magnesio (durezza permanente) vengono trasformati nei rispettivi sali di sodio. La rigenerazione della resina avviene mediante cloruro di sodio.

In sintesi, questo tipo di trattamento elimina una parte dei sali presenti e

precisamente i bicarbonati, trasformandoli in acido carbonico e successivamente in anidride carbonica, che viene separata dall'acqua della torre, mentre trasforma i restanti sali di calcio e magnesio.

Si ottiene attraverso la decarbonatazione un'acqua scarsamente mineralizzata e di conseguenza aggressiva; si ha inoltre in uscita un'acqua leggermente acida, alla quale, occorre correggere il pH e neutralizzare l'aggressività con il dosaggio di prodotti chimici idonei prima di immettere negli impianti di utilizzazione. Trova applicazione solo in generatori a vapore saturo, tenendo comunque costantemente controllato il valore della silice e della salinità. Se per mantenere i valori massimi consentiti dalla norma è necessario uno spurgo consistente occorre rinunciare a questo trattamento dell'acqua di alimento.

DEMINERALIZZAZIONE CON DESILICAZIONE

Il trattamento consiste nella totale trasformazione in acqua dei sali minerali contenuti nell'acqua grezza (fig. 4.8-4.11-4.12).

L'impianto nella forma più semplice è costituito da:

- a) una colonna contenente resina cationica forte in ciclo acido (R-H +)
- b) una colonna contenente resina anionica in ciclo ossidrilico (R-OH-).

L'acqua attraverso la prima colonna scambia il catione positivo dei sali minerali presenti (calcio, magnesio, sodio) con il radicale H⁺, con conseguente trasformazione nei rispettivi acidi (carbonico, solforico, cloridrico, silicico).

Attraverso la seconda colonna gli anioni acidi vengono scambiati con i radicali OH⁻ che, legandosi ai radicali H⁺, trasformano i sali minerali in acqua.

Esempio con un sale contenuto nell'acqua:



dove

CaCl₂ = cloruro di calcio HCl = acido cloridrico
 R-H = resina cationica R-Ca = resina + calcio
 R-OH = resina anionica R-Cl = resina + cloruro

La rigenerazione della resina cationica avviene mediante acido cloridrico o solforico, quella anionica con soda caustica o idrato di sodio.

In sintesi in uscita dall'impianto tutti i sali presenti sono stati trasformati in acqua o ancora meglio tutti i sali presenti sono stati eliminati. L'acqua in uscita è identica all'acqua distillata ed ha una caratteristica leggermente aggressiva.

DEMINERALIZZAZIONE CON DESILICAZIONE E TORRE

È una variante del precedente trattamento. Per diminuire il carico di anioni nella colonna anionica dopo la colonna cationica, viene inserito un decarbonatore (v. decarbonatazione), che consente di ottenere una colon-

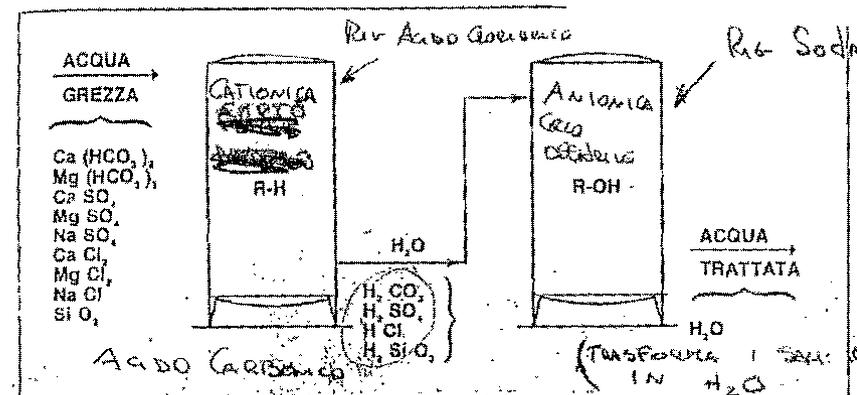


Fig. 4.8 Demineralizzazione con desilicazione

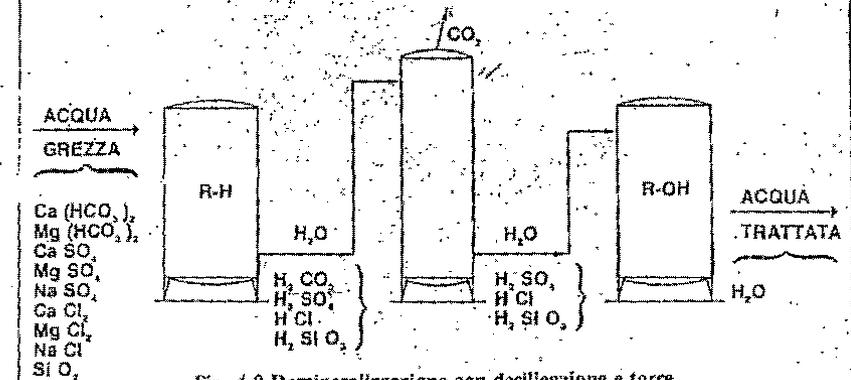


Fig. 4.9 Demineralizzazione con desilicazione e torre

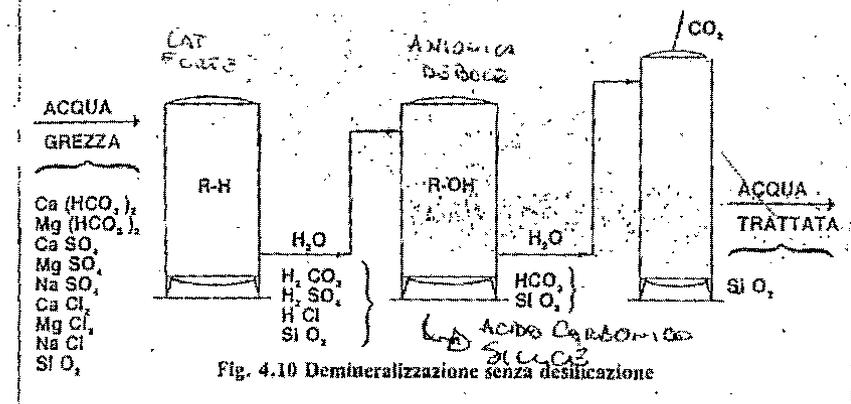


Fig. 4.10 Demineralizzazione senza desilicazione

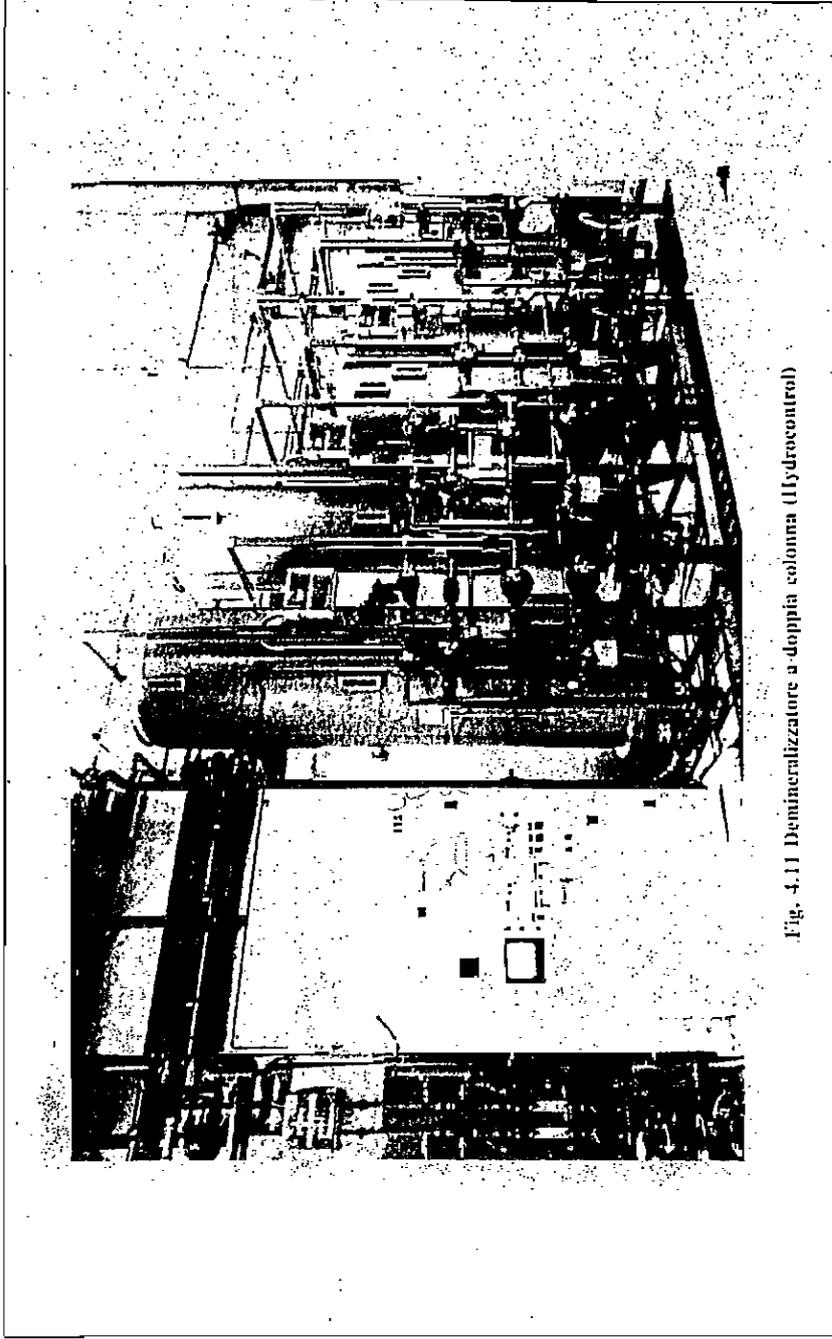


Fig. 4.11 Demineralizzatore a doppia colonna (Hydrocontrol)

11-22-68

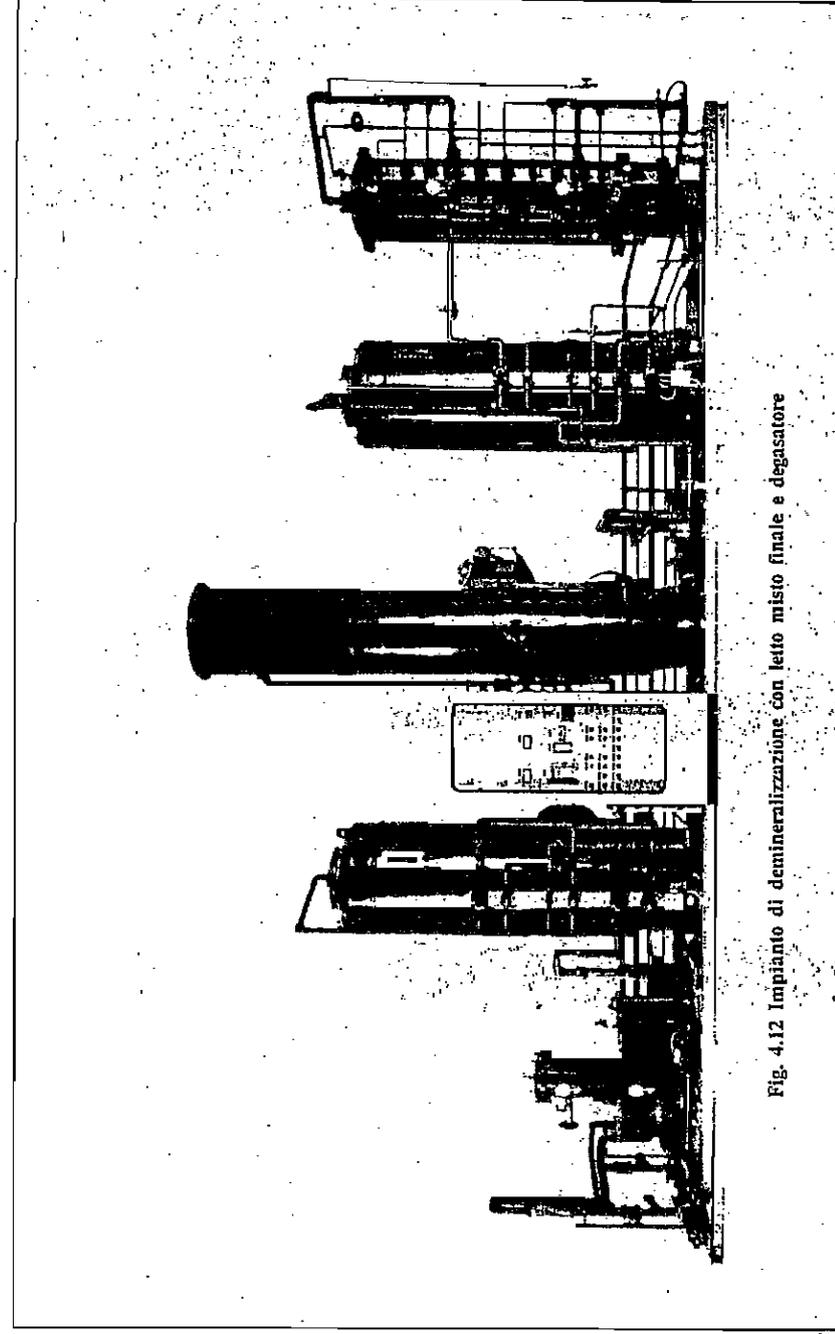


Fig. 4.12 Impianto di demineralizzazione con letto misto finale e degasatore

na anionica con quantità inferiore di resine, a parità di portata ciclica dell'impianto, e un risparmio di rigenerante (fig. 4.9).

DEMINERALIZZAZIONE SENZA DESILICAZIONE

La prima colonna è costituita da resina cationica forte; la seconda da anionica debole dove vengono trattenuti tutti gli anioni, eccezion fatta per quelli dell'acido carbonico e della silice (fig. 4.10).

L'acido carbonico viene eliminato dal decarbonatore come indicato nella decarbonatazione; rimane presente quindi la sola silice.

OSMOSI INVERSA

Mediante membrane osmotiche, è possibile effettuare la separazione, il frazionamento e la concentrazione di sostanze organiche e inorganiche dalla rispettiva soluzione senza riscaldamento del solvente e trasformazione di stato. (fig. 4.13).

Viene utilizzato prevalentemente con acque ricche di sali minerali o per potabilizzare le acque salmastre (cap. XI).

4.7 DEGASAZIONE

È un trattamento che consente di eliminare nell'acqua ossigeno e anidride carbonica, i cui effetti corrosivi sono noti. Per eliminare i medesimi dall'acqua si sfrutta l'alta temperatura essendo i gas insolubili oltre i 105°C. Nella pratica, una rimozione totale dei gas non avviene; costruendo infatti un grafico con la solubilità dei gas in funzione della temperatura, la fase acqua a contatto con la fase vapore è sempre leggermente più fredda e contiene quindi del gas (fig. 4.14).

Un degasatore è costituito da un grosso serbatoio di accumulo A e una torretta degasante B (fig. 4.15-4.16). L'acqua arriva alla torretta scendendo dai vari piatti e viene a contatto con il vapore entrante da D. A contatto con il vapore l'acqua si scalda e libera i gas contenuti attraverso la valvola C.

Quando il degasatore è atmosferico l'acqua si riscalda ad una temperatura di 98°C con un residuo di ossigeno di 0.4 ppm. Per ottenere un residuo inferiore a 0.01 ppm occorre fornire al degasatore una pressione di 0.2-0.3 Kg/cm² a una temperatura di 102-105°C. La degasazione totale avviene poi con additivi chimici.

Vi sono anche degasatori che effettuano la degasazione ad una temperatura inferiore ai 100°C attuando in essi un vuoto mediante una pompa o un iniettore. È noto che l'acqua a livello del mare ed alla pressione di 760 mm di mercurio bolle a 100°C; se sulla sua superficie effettuiamo il vuoto con uno degli apparecchi citati, l'acqua bolle a temperatura più bassa comportando un consumo inferiore di calore. L'acqua degasata arrivando all'apparecchio di alimentazione ed all'economizzatore a temperatura inferiore consente di sfruttare al meglio l'economizzatore stesso.

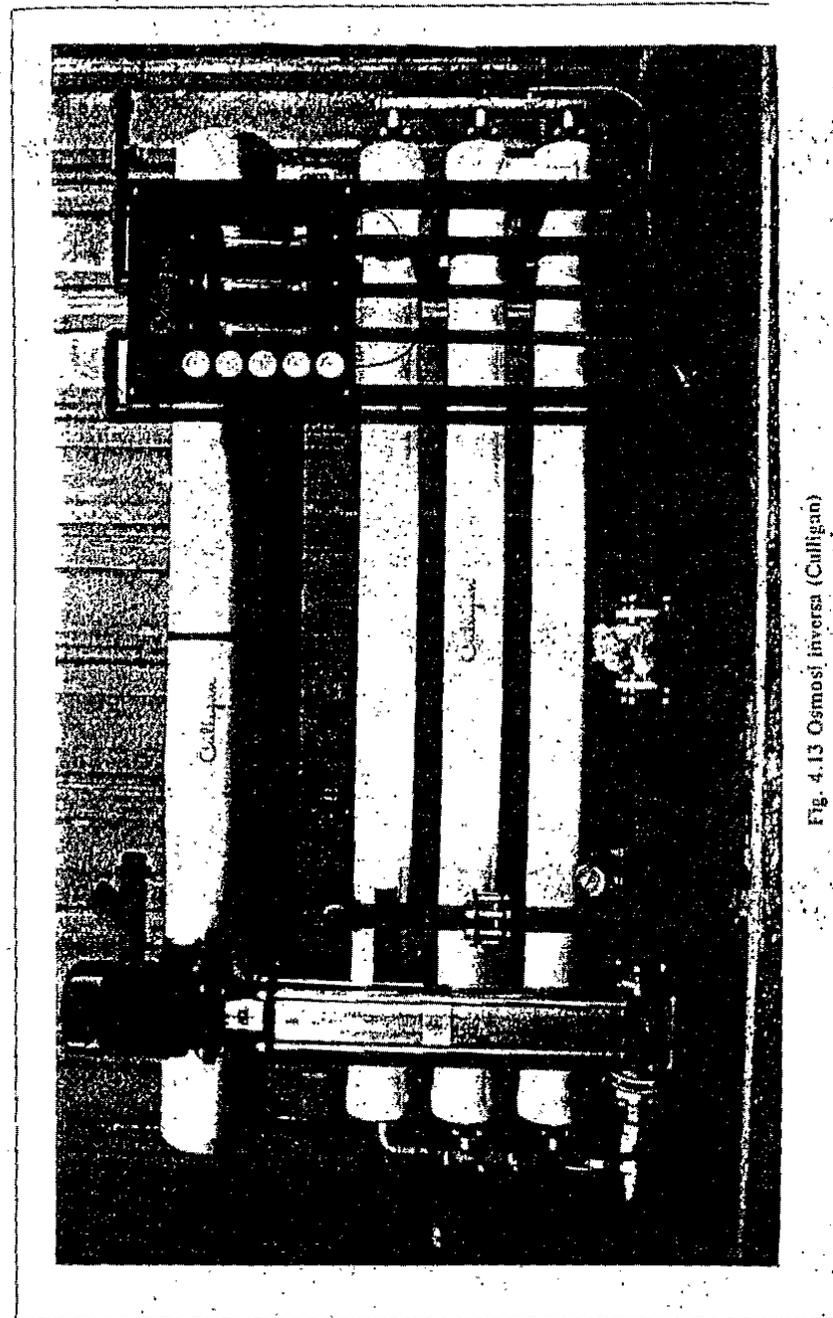


Fig. 4.13 Osmosi inversa (Culligan)

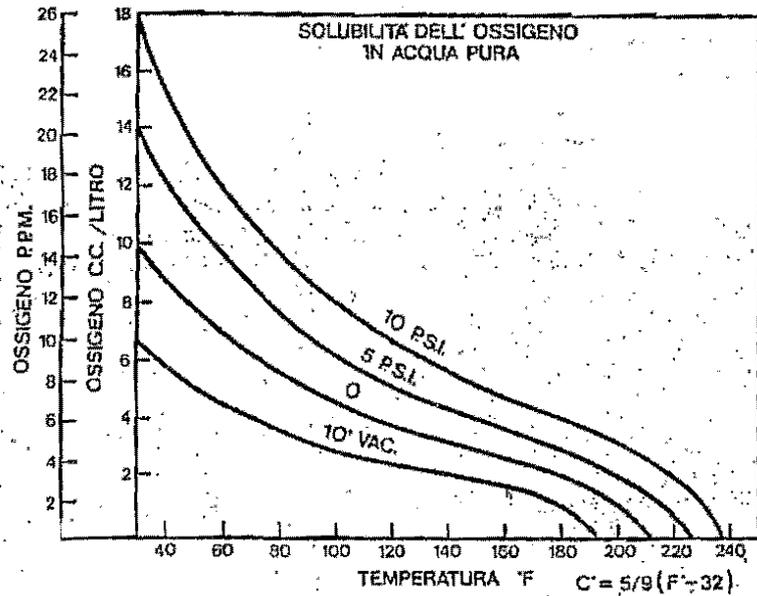


Fig. 4.14 Solubilità dell'ossigeno in acqua pura

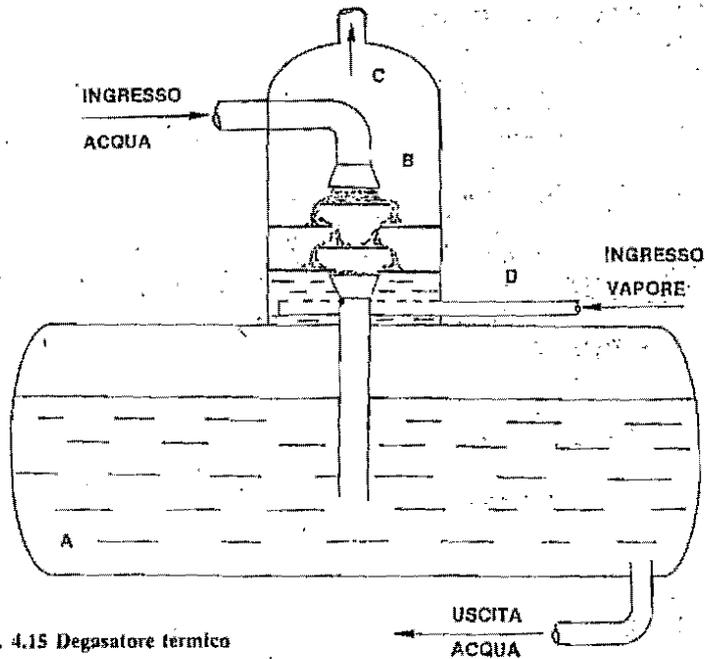


Fig. 4.15 Degasatore termico



Fig. 4.16 Degasatore termofisico (Hydrocontrol)

La degasazione per via chimica viene effettuata mediante opportuni prodotti. L'idrazina ad esempio è un ottimo riduttore di ossigeno e non determina aumenti della salinità dell'acqua. Mescolandosi al vapore ne impedisce però l'uso per impieghi alimentari, settore nel quale viene utilizzato come deossigenante il solfito sodico.

4.8 TRATTAMENTI CHIMICI

I problemi che si presentano nella conduzione di un generatore di vapore dipendono prevalentemente dalle caratteristiche dell'acqua. Un trattamento esterno dell'acqua non è sufficiente ad eliminare:

- incrostazione
- trascinarsi
- corrosione per basso valore di pH
- corrosione caustica per elevato valore di idrati
- corrosione da ossigeno
- corrosione da anidride carbonica.

Si rende perciò necessario somministrare additivi chimici all'acqua di alimento. Questi prodotti contengono:

- elementi capaci di mantenere in sospensione i sali incrostanti;
- solfito sodico o deossigenanti per eliminare totalmente l'ossigeno. Particolarmente sconsigliati sono i prodotti a base di idrazina perchè nocivi alle persone;
- cicloesilammina e morfolina per neutralizzare l'anidride carbonica e alcalinizzare le condense onde evitare corrosioni;
- ammine filmanti per proteggere la rete vapore-condensa;
- antischiuma per ridurre i trascinarsi di acqua nel vapore.

Gli additivi devono essere liquidi e in base acida per acque addolcite e basica per acque demineralizzate.

In caso di vapore a contatto con alimenti, occorre utilizzare trattamenti specifici.

4.9 SPURGO

L'acqua d'alimento contiene sali in soluzione o in sospensione che rimangono nell'acqua di esercizio via via che si genera vapore. Queste concentrazioni aumentano ogni qualvolta s'introduce acqua e raggiungono in breve tempo valori in cui si ha un cattivo funzionamento del generatore. Scopo dello spurgo è il controllo di dette concentrazioni.

Se per l'asportazione dei fanghi, la valvola di scarico viene fatta funzionare ad intervalli di tempo prestabiliti si ha lo spurgo intermittente. Svantaggio di detto spurgo è lo spreco di acqua calda; inoltre, per il controllo della concentrazione dell'acqua, occorre un preciso programma di scarico.

Lo scarico continuo di piccole quantità di acqua (spurgo continuo) mantiene

la concentrazione nel generatore relativamente costante. Questo secondo scarico viene applicato in zone in cui si hanno concentrazioni con valori particolarmente elevati.

Il numero di spurghi giornalieri, aumenta proporzionalmente in relazione alla presenza dei solidi disciolti, alcalinità e pH nell'acqua.

Con una semplice formula è possibile calcolare l'entità dello spurgo continuo necessario per mantenere l'acqua del generatore entro i valori limite previsti dalla norma; il calcolo va ripetuto per ciascuno dei principali parametri da tenere controllati (STD, alcalinità, silice) utilizzando il valore più alto che ne risulta

$$S\% = 100 \times \frac{C \times R}{C_{max} - (C \times R)}$$

dove:

C = concentrazione di un parametro nell'acqua di reintegro;

C_{max} = concentrazione massima del parametro nell'acqua del generatore (vedi tab. 4.9-4.11);

R = percentuale di reintegro;

S% = spurgo percentuale rispetto al vapore prodotto per mantenere la concentrazione massima del parametro in esame.

Generalmente lo spurgo risulta tanto più elevato quanto più è elevata la percentuale di reintegro (minor recupero di condensa) e la salinità dell'acqua di reintegro. Si ha quindi la necessità di un adeguato trattamento dell'acqua di reintegro che nei limiti al massimo le caratteristiche saline.

4.10 LE ACQUE DI CONDENZA

Un elevato recupero delle acque di condensa è importante per il recupero di calore e per la bassa salinità delle acque stesse.

L'acqua di condensa va controllata periodicamente affinché non presenti sostanze inquinanti, o non superi i valori previsti dalla norma per le acque di alimento, che danneggerebbero il funzionamento del generatore.

I trattamenti che vengono talvolta effettuati sul condensato sono:

- filtrazione per l'eliminazione dei solidi in sospensione
- trattamento su resine a scambio ionico per l'eliminazione dei sali disciolti e/o delle sostanze organiche.

La scelta dei sistemi viene effettuata in funzione della condizione di esercizio del generatore e delle caratteristiche del condensato.

4.11 ANALISI DELL'ACQUA

L'analisi dell'acqua è necessaria per controllarne la idoneità, eventualmente correggerne la composizione, accertarsi del funzionamento degli impianti di trattamento e poter intervenire in caso di irregolarità (fig. 4.17).

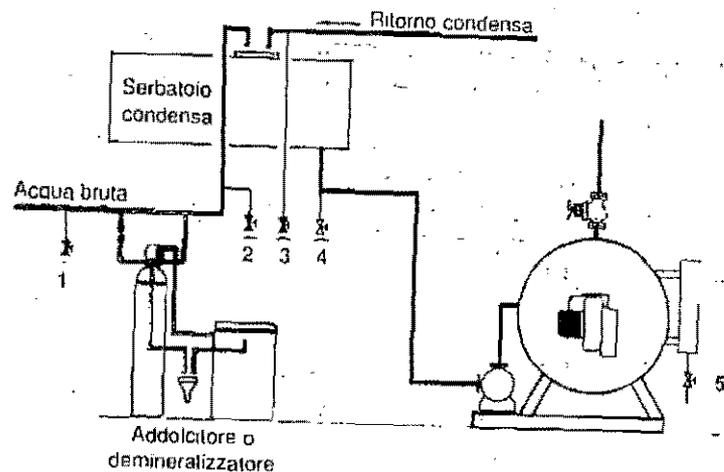


Fig. 4.17
Punti prelievo campioni acqua

Con i moderni sistemi che il mercato mette a disposizione, le analisi vengono effettuate con procedure semplici ed approssimazioni di discreto valore.

Questi sistemi sono basati sul metodo colorimetrico nel quale, poche gocce di un reagente, disciolte nel campione d'acqua, fanno assumere al campione stesso un colore d'intensità proporzionale alla concentrazione delle sostanze misurate. Talvolta il colore ottenuto viene confrontato con una serie di colori, ognuno dei quali corrisponde ad un preciso valore.

Nel caso in cui sono necessari risultati estremamente precisi, esistono anche laboratori con attrezzature specifiche.

Per accertarsi di un corretto funzionamento dell'intero impianto è indispensabile procedere all'analisi della:

- acqua grezza o bruta (1)
- acqua trattata: il campione viene prelevato dopo l'impianto e dopo un certo tempo dall'operazione di rigenerazione (2)
- acqua di alimento: viene prelevata dal serbatoio di accumulo (4)
- acqua d'esercizio: viene prelevata dal generatore; si ottengono i migliori campioni mediante appositi rubinetti con l'interposizione di dispositivi di raffreddamento (5)
- acqua di condensa: si preleva all'estremità di una tubazione durante il normale utilizzo di vapore (3).

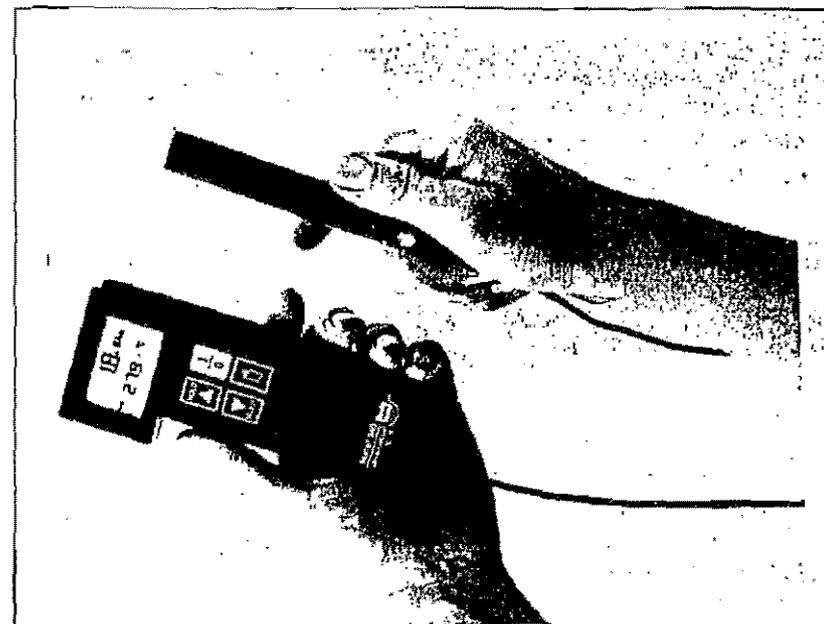


Fig. 4.18 Conduttivimetro con sonda per il rilievo della temperatura (Testo)

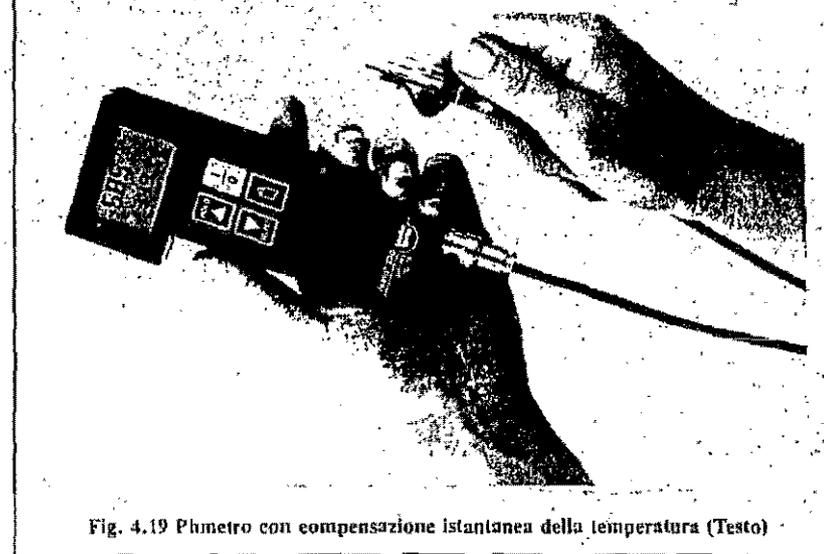


Fig. 4.19 Phmetro con compensazione istantanea della temperatura (Testo)

DETERMINAZIONE DELLA DUREZZA

Prendere 50cc di acqua, versare in una beuta ed aggiungere 1cc di ammoniaca. Agitare e introdurre alcuni grammi di indicatore; se l'acqua assume una colorazione bleu la durezza è nulla. Viceversa, se l'acqua diviene rossa, titolare con EDTA, utilizzando una buretta graduata, fino al viraggio al colore bleu. Moltiplicando i cc. di EDTA impiegati per 20 si ottengono i ppm di CaCO₃, che costituiscono la durezza.

Talvolta viene impiegato il metodo Boutron Boudet che utilizza la proprietà dei sali di calcio e magnesio di costituire con il sapone un precipitato insolubile, che vieta il formarsi della schiuma prima che i sali della durezza non siano totalmente precipitati. Prendere 40cc di acqua, versare a gocce una soluzione saponosa e agitare fino al formarsi di 10 mm di schiuma persistente. Ogni goccia impiegata, escluse le prime quattro, corrisponde a 1/4 di °F di durezza.

Si può determinare la durezza anche mediante kit di pronto impiego. Sciogliere e riempire la provetta fino alla tacca da 5 cc con acqua da controllare. Aggiungere 1-2 gocce di indicatore ed agitare. Se l'acqua si colora di blu o verde vuol dire che la durezza è uguale a zero. Se l'acqua si colora di rosso aggiungere goccia a goccia la soluzione titolante agitando dopo l'aggiunta di ogni goccia. Contare le gocce necessarie per ottenere il viraggio dal colore rosso a blu o verde.

Ogni goccia utilizzata corrisponde a 10 ppm di CaCO₃, o ad 1 °F.

DETERMINAZIONE DEL pH

Ha il pregio della massima semplicità e rapidità. Esistono infatti indicatori in grado di conferire ai campioni un colore per ogni valore di pH. Vengono utilizzati indicatori aventi la capacità di coprire l'intero campo, seppur con risultati imprecisi; per una maggiore precisione si ricorre a una miscela di indicatori che danno indicazioni di grande affidabilità nel campo da 5 a 11 e da 11 a 14, con un'estensione più approssimata nel campo da 1 a 5.

Per ottenere un valore con precisione centesimale, esiste in commercio il pHmetro. Lo strumento è costituito da un potenziometro in grado di misurare la differenza di potenzialità che si crea tra un elettrodo con pH noto e un secondo immerso nel liquido da misurare. La scala del pHmetro non è suddivisa in millivolt ma direttamente in unità di pH (fig. 4.19).

Mediante soluzione tampone con pH noto è indispensabile un costante controllo della taratura dello strumento.

DETERMINAZIONE DEI SOLIDI DISCIOLTI.

Il metodo più preciso per stabilire la salinità totale di una soluzione è la determinazione del residuo secco (è tuttavia applicabile solo in laboratorio). Vengono utilizzati più frequentemente conduttivimetri, strumenti elettronici

capaci di fornire valori di salinità relativamente precisi. Sono basati sul principio della conducibilità degli ioni presenti. Lo strumento consiste in un ponte di Wheatstone, capace di misurare la resistenza che incontra la corrente nell'attraversare il liquido esistente tra due lamine poste a un centimetro di distanza (fig. 4.18).

La conducibilità espressa in microsimens (μS) aumenta con l'aumentare della presenza degli ioni. Un μS equivale a 0,55 ppm di salinità espressa come CaCO₃.

DETERMINAZIONE DELL'ALCALINITÀ (come CaCO₃)

Viene misurata per titolazione, con l'uso di due indicatori (fenolftaleina e metilarancio). La fenolftaleina permette di misurare gli idrati e metà i carbonati (alcalinità P); il metilarancio consente di misurare l'alcalinità totale (alcalinità M).

Per la determinazione, si prelevano 100 cc di acqua e si versano in una beuta. Si aggiungono due gocce di fenolftaleina. Se l'alcalinità P è diversa da zero, la soluzione si colora di rosa-rosso. Da una buretta calibrata aggiungere acido cloridrico N/10 fino alla scomparsa del colore rosa-rosso. Il numero di cc usati moltiplicati per 50 indicano i ppm di alcalinità P espressi come CaCO₃. Se non compare nessuna titolazione rosa-rossa, significa che P è uguale a zero. Aggiungere al medesimo campione, indipendentemente dal valore di P, due gocce di metilarancio. Senza azzerare la buretta, versare acido finché il colore giallo del metilarancio vira al rosa. Moltiplicare quindi il numero di cc totali usati per 50. Il valore ottenuto indica l'alcalinità M espressa in ppm come CaCO₃.

DETERMINAZIONE DEI CLORURI (come Cloruro di Sodio)

Prelevare in una beuta 50 cc del campione da analizzare e aggiungere due gocce di indicatore alla fenolftaleina. Se l'acqua assume una colorazione rosa, aggiungere acido solforico N/50 sino alla scomparsa di detta colorazione. Versare a questo punto tre gocce di cromato di potassio. Aggiungere quindi nitrato d'argento (N/58,4) fino al viraggio dal colore giallo del cromo al rosso mattone chiaro. Moltiplicando il numero di cc di nitrato d'argento occorsi per 20; si ottengono i cloruri totali espressi in ppm come NaCl. Se aggiungendo la fenolftaleina, l'acqua mantiene il colore neutro, passare direttamente alla fase del cromato senza utilizzare acido solforico.

Nella conduzione di un generatore di vapore è necessario avere:

- massimo risparmio
- massima sicurezza
- massima durata dell'impianto.

Per ottenere ciò è indispensabile disporre di un impianto efficiente, un conduttore esperto e un'acqua con caratteristiche ottimali.

La Commissione "Norme per la Sicurezza d'Esercizio" richiede caratteristiche precise dell'acqua di alimento e di esercizio dei generatori e ha elaborato tabelle conformi a quelle UNI - 7550 - 76 definite dal Comitato Termotecnico Italiano (tab. 4.8 - 4.9 - 4.10 - 4.11).

Le prescrizioni ANCC (circolare n. 30/81 del 6/6/81) che rispecchiano fedelmente la revisione della norma CTI-UNI 7550, vengono oggi, dopo lo scioglimento dell'Ente, ancora applicate regolarmente sia dall'ISPESE che dall'A.U.S.L.-U.O.I.A.

È altresì indispensabile un registro per raccogliere i valori riscontrati nelle analisi effettuate con frequenza come da tabella.

GENERATORI A TUBI DI FUMO

TAB. 4.8 VALORE MAX ACQUA ALIMENTO

	Caratteristiche	Unità misura	Pressione di esercizio		Freq. analisi
			< 15 bar	> 15 bar	
1	Aspetto		chiara - limpida		
	pH		7,5 + 9,5	7,5 + 9,5	T
	Durezza totale	ppm CaCO ₃	5	5	T
2	Ossigeno	ppm O ₂	0,1	0,05	S-F
	CO ₂ libera	ppm CO ₂	0,2	0,2	S-F
	Fe totale	ppm Fe	0,1	0,1	S
	Rame	ppm Cu	0,1	0,1	S-F
	Sostanze oleose	ppm	1	1	F

N.B. Si consiglia condizionamenti in base acida per acque addolcite, in base ossidrilie per acque demineralizzate

TAB. 4.9 VALORE MAX ACQUA ESERCIZIO

	Caratteristiche	Unità misura	Pressione di esercizio		Freq. analisi
			< 15 bar	> 15 bar	
1	Aspetto		chiara - limpida		
	pH		9 + 11	9 + 11	T
	Durezza totale	ppm CaCO ₃	5	5	T
	Alcalinità totale	ppm CaCO ₃	1000	750	T
2	STD	ppm CaCO ₃	3500	3500	S
	Fosfati	ppm PO ₄	30	30	S
	Silice	ppm SiO ₂	150	100	S

N.B. E' obbligatoria la registrazione sull'apposito registro dei soli dati indicati nella prima parte

T = turno S = settimanali F = facoltativo

GENERATORI A TUBI D'ACQUA FINO A 150 BAR

TAB. 4.10 VALORE MAX ACQUA ALIMENTO

Caratteristiche	Unità misura	Pressione dei generatori in bar				Freq. analisi
		20	20 ÷ 40	40 ÷ 60	60 ÷ 100	
Aspetto		7,5 ÷ 9,5	9 ÷ 9,3	9 ÷ 9,3	9 ÷ 9,3	
pH		5	0,5	0,0	0,0	T
Durezza totale	ppm CaCO ₃	0,1	0,01	0,01	0,007	T
Ossigeno	ppm O ₂	0,2	ass.	ass.	ass.	T
Anidride carbonica libera	ppm CO ₂	0,1	0,1	0,05	0,05	S
Ferro totale	ppm Fe	0,1	0,01	0,01	0,005	S
Rame	ppm Cu	5	3	3	3	S+F
Sostanze Org.	ppm O ₂					S

N.B. - Necessario un condizionamento come indicato per i generatori a tubi di fumo

TAB. 4.11 VALORE MAX ACQUA ESERCIZIO

Caratteristiche	Unità misura	Pressione dei generatori in bar				Freq. analisi
		20	20 ÷ 40	40 ÷ 60	60 ÷ 100	
Aspetto		9 ÷ 11	9 ÷ 10,8	9 ÷ 10,6	9 ÷ 10,2	T
pH		3500	2500	1500	700	T
S.T.D	ppm CaCO ₃	100	40	20	5	S
Silice	ppm SiO ₂	750	300	200	50	T
Alcalinità totale	ppm CaCO ₃	30	10	5	5	S
Fosfati	ppm PO ₄					

0,05
0,05
0,05
0,05
0,05

CAP. 5
COMBUSTIBILI

Si definiscono combustibili quei composti che reagiscono con un gas comburente, quale l'ossigeno. In base allo stato fisico si classificano in: solidi, liquidi, gassosi.

I componenti principali dei combustibili, detti anche comunemente elementi utili, in quanto capaci di sviluppare calore in una combustione completa, sono il carbonio (C) e l'idrogeno (H).

5.1 POTERE CALORICO

Il primo requisito di un combustibile è la quantità di calore che è in grado di fornire. Questa quantità, definita "potere calorifico", corrisponde alle chilocalorie o megajoule che è in grado di sviluppare un chilogrammo di combustibile bruciando completamente. Per i combustibili gassosi viene riferito al normal metro cubo, che corrisponde ad un metro cubo di gas secco, alla temperatura di 0°C ed alla pressione di 1.013 bar (pressione atmosferica).

Tutti i combustibili che contengono idrogeno e umidità, sono caratterizzati da due poteri calorifici,

- potere calorifico superiore
- potere calorifico inferiore.

Sapendo che l'idrogeno nella sua combustione sviluppa calore e si trasforma in acqua, la quale vaporizzando assorbe 600 Kcal ogni Kg, si definisce: potere calorifico superiore: la quantità di calore che si sviluppa nella completa combustione di un Kg. o Nm³ di combustibile, senza tenere conto del calore assorbito dall'acqua nel trasformarsi in vapore;

potere calorifico inferiore: si ottiene sottraendo al superiore, il calore di condensazione del vapore acqueo presente nei fumi.

Nella pratica interessa solo questo secondo potere calorifico, in quanto definisce il calore che effettivamente viene utilizzato.

La determinazione del potere calorifico si realizza per via chimica, mediante una analisi elementare per ogni singolo elemento. Quando la composizione non è perfettamente nota, si ricorre alla misurazione diretta, mediante la bomba calorimetrica di Mahler (fig.5.1).

E' costituita da un recipiente in acciaio chiuso ermeticamente, all'interno del quale si fanno bruciare in un crogiolo due grammi di combustibile con una quantità di ossigeno tale da assicurare la completa combustione.

L'accensione e la conseguente combustione avvengono mediante un circuito elettrico. Il calore sviluppato, va a riscaldare l'acqua in cui è contenuta la bomba e in funzione all'aumento di temperatura si risale al potere calorifico superiore del combustibile bruciato.

$$PCS = \frac{QH_2O \times \Delta t \times C}{Q_{comb}}$$

dove

QH_2O = contenuto di acqua nella bomba

Δt = differenza tra temp. finale e temp. iniziale

C = calore specifico dell'acqua

Q_{comb} = quantità comb. utilizzata

- 1 crogio
- 2 Spirulina di accensione
- 3 ossigeno
- 4 elettrodi

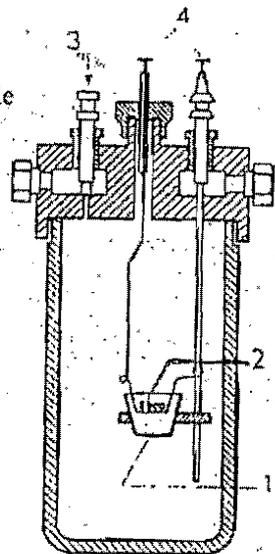


Fig. 5.1 Bomba di Mohler

5.2 COMBUSTIBILI SOLIDI

Si suddividono in naturali e artificiali.

NATURALI

- Legno: costituito prevalentemente da cellulosa e lignina; si trova in commercio legno forte e dolce. Oggi viene utilizzato soltanto quale scarto di lavorazione. Ha un potere calorifico inferiore, se trattasi di legno umido, oscillabile tra le 3000 - 4000 Kcal/Kg, allo stato secco di 4.500 Kcal/Kg.

La composizione media del legno, ceneri escluse, è:

50% carbonio, 6% idrogeno, 44% ossigeno.

Se fresco, contiene una umidità che può raggiungere anche il 50%, se essiccato, contiene una percentuale di acqua che si avvicina al 20%.

Il legno non inquina l'atmosfera in quanto è praticamente privo di zolfo.

- Torba: è un combustibile di recente formazione proveniente dalla decomposizione di vegetazioni acquatiche - palustri. Fresca, contiene percentuali di umidità elevatissime, che possono ridursi al 20-25% se essicata. Il

P.C.

potere calorifico varia tra le 3000 - 4000 Kcal/Kg. La quantità di ceneri può raggiungere valori fino al 30%. La torba allo stato secco contiene mediamente: 60% carbonio, 6% idrogeno, 34% ossigeno.

- Litantrace: è un carbone fossile, generalmente di colore nero, di antica formazione, proveniente da piante arboree. La composizione chimica ne consente gli usi più disparati. Considerata priva di umidità e ceneri, contiene: 80-85% di carbonio, 5% di idrogeno, 6-12% di ossigeno:

Ha un potere calorifico di 7000-7500 Kcal.

I litantraci si classificano in:

- magri a fiamma corta: servono per forni a riverbero
 - secchi a fiamma lunga: vengono utilizzati per la produzione di vapore.
- Un'altra classificazione li divide in litantraci da gas e da coke.

- Antracite: nera e lucente, ha un aspetto simile alla litantrace. È di accensione difficile, e deve essere disposta in strati alti per ottenere una buona combustione. Richiede inoltre l'impiego di speciali griglie per una continua rimozione del combustibile stesso. Considerata priva di umidità e ceneri, contiene: 90-95% di carbonio, 3% di idrogeno, 2-3% di ossigeno.

- Lignite: proviene da piante arboree ad alto fusto, e ha un aspetto che varia dal colore bruno più o meno pronunciato fino al nero. Si suddivide in:
 lignite xiloide: ha struttura simile al legno
 lignite bruna: è la più comune
 lignite picea: color nero lucente, simile alla litantrace è ricca di carbonio
 lignite bituminosa: è ricca di prodotti volatili.

Il potere calorifico varia dalle 2000 - 2500 Kcal nelle xiloidi alle 5000 Kcal nelle picee.

La lignite contiene mediamente 55-70% carbonio, 6% idrogeno, 20-25% ossigeno.

Combustibili	C%	H%	O, %
Legno	50	6	44
Torba	60	6	34
Litantrace	85	5	10
Antracite	95	3	2
Lignite	70	5	25

ARTIFICIALI

- Coke: ha colore grigio ferro, e un aspetto poroso come una spugna. Un buon coke contiene l'85% di carbonio e possiede un potere calorifico di circa 7000 Kcal. Lascia molte ceneri e assorbe grosse quantità di acqua.

Si distingue in coke metallurgico e da gas.

- Carboni modellati: si ottengono mescolando polvere di carbone con agglutinante (catrame, pece, asfalto) e riscaldando il tutto in forme apposite. La qualità dipende dalla quantità di carbone presente. Le mattonelle di ortona qualità raggiungono un potere calorifico di 4500 Kcal.

Sui combustibili solidi si eseguono le seguenti prove:

- umidità: si lascia essicare un campione a 100 °C e si esprime l'umidità come perdita percentuale in peso, dopo il riscaldamento.
- ceneri: è il residuo espresso in percentuale, che si ottiene al termine della combustione.
- sostanze volatili: si effettua la prova in un crogiolo di platino chiuso (riscaldamento di 7 min. a 900 °C), nel quale al termine, rilevando la perdita di peso, si risale alla quantità di sostanze volatili presenti.
- zolfo: presente nei solidi sotto diverse forme, è una sostanza particolarmente inquinante.

Inconvenienti dei combustibili solidi.

- ostacolo al passaggio dell'aria
- imperfetta combustione delle materie volatili
- possibile formazione di ossido di carbonio
- combustione spontanea a contatto con l'aria
- formazione di scorie
- ostruzione delle graticole da parte delle ceneri formati.

5.3 COMBUSTIBILI LIQUIDI

Sono derivati dal petrolio greggio. Il petrolio chimicamente si compone: 80 + 90% C, 10 + 15% H, 0,1 + 6% O e da piccole quantità di zolfo e azoto.

Viene estratto dal sottosuolo da pozzi molto profondi. Il peso specifico varia da 0,79 a 0,88 g/cm³, e il potere calorifico da 10000 - 11000 Kcal.

Il colore può essere ambrato, rossastro o nero con particolari fluorescenze.

E' costituito principalmente da idrocarburi liquidi, nei quali sono presenti anche idrocarburi gassosi. Il petrolio non viene mai impiegato allo stato greggio, perchè estremamente infiammabile e inconveniente dal punto di vista economico. Lo si sottopone quindi a una lavorazione definita distillazione frazionata. Consiste di due fasi:

- 1) vaporizzazione della miscela
- 2) condensazione dei vapori.

E' talvolta impossibile separare tutti i componenti, per cui ci si limita a separare il petrolio in grosse frazioni. I principali prodotti della raffinazione

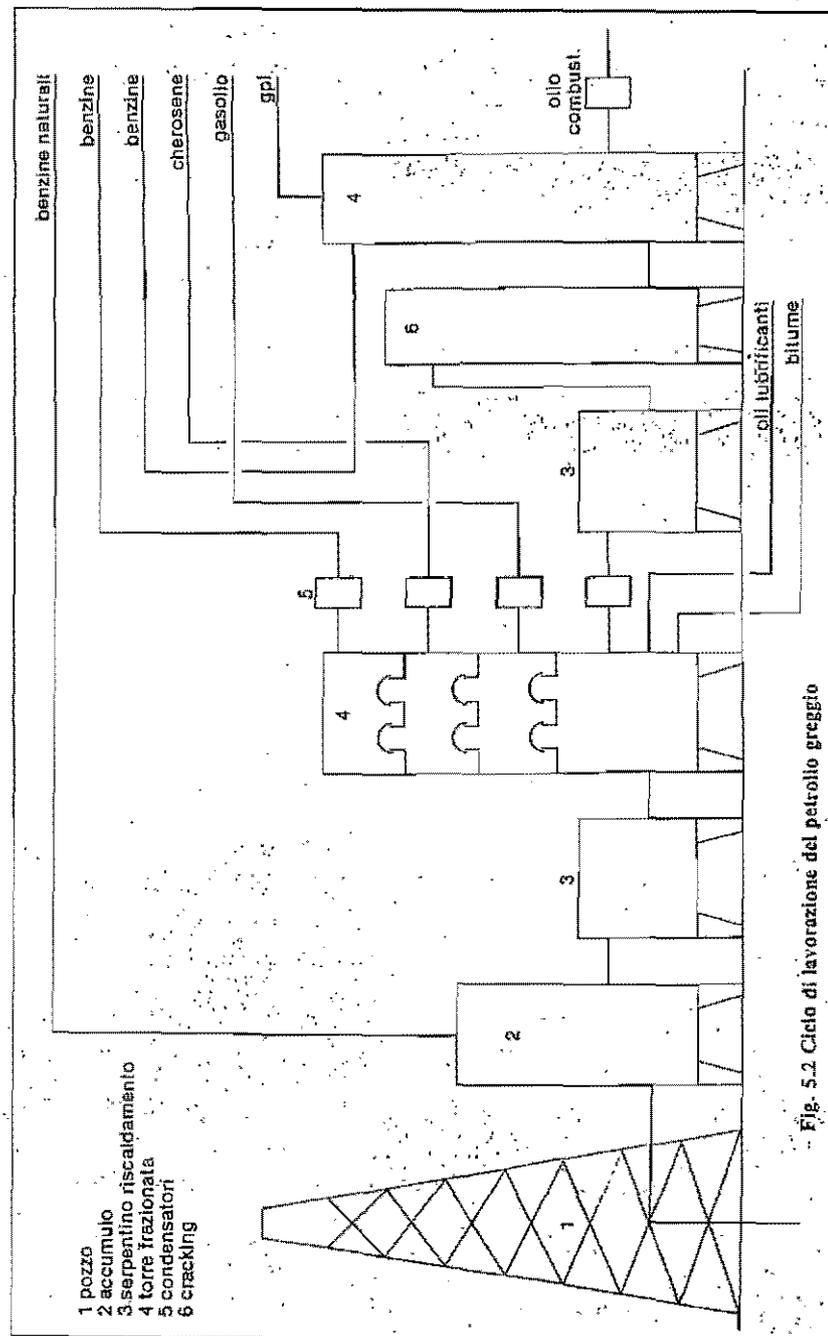


Fig. 5.2 Ciclo di lavorazione del petrolio greggio

(fig. 5.2) sono:

distillati: si trasformano in gas con il solo riscaldamento e sono conosciuti anche come prodotti leggeri. Sono: cherosene, gasolio, benzine, GPL;
residui: e ciò che rimane dalla distillazione. Sono: oli combustibili, bitume, catrame, ecc.

Olio combustibile: è un residuo della distillazione del petrolio. Viene iniettato in camera di combustione frazionato in minutissime goccioline in quanto non evapora, a contatto con fonti di calore, a nessuna temperatura. Le caratteristiche di un olio dipendono dal giacimento e dal punto di estrazione dalla torre di frazionamento.

La composizione chimica è: carbonio 85% ÷ 87%, idrogeno 11% ÷ 12%, ossigeno e azoto 1% ÷ 2%, zolfo 3% ÷ 6%, tracce di acqua.

Ha potere calorifico inferiore 9600 ÷ 9760 Kcal e punto di infiammabilità 65°C. L'olio combustibile contiene zolfo in percentuale elevata.

Quando ha tenore di zolfo inferiore all'1% viene definito "B.T.Z." (a basso tenore di zolfo).

Cherosene: distilla tra i 150 °C e i 200 °C e rappresenta non più del 5% della produzione mondiale di petrolio.

Gasolio: è un'ulteriore frazione del petrolio, che distilla tra 230° e 330 °C. Ha densità variabile da 0,82 a 0,90, e il punto di infiammabilità non deve essere inferiore a 55 °C.

L'utilizzo del gasolio:

- non richiede apparecchiature complicate
- non lascia depositi
- non produce particelle inquinanti
- contiene 0,2 - 0,5% di zolfo.

Le principali caratteristiche dei combustibili liquidi sono:

VISCOSITÀ: è la resistenza che le molecole della sostanza oppongono a scorrere su se stesse.

La viscosità aumenta con l'aumentare del peso della molecola della sostanza, ne consegue che in un olio combustibile un aumento di viscosità è indice di una composizione chimica caratterizzata da molecole più pesanti e quindi meno pregiate.

In questo modo la viscosità finisce per determinare la qualità del prodotto, non solo perché tanto più un prodotto è viscoso tanto più è difficile da polverizzare, ma anche perché con l'aumentare della viscosità peggiorano tutte le caratteristiche del combustibile.

Diminuisce il potere calorifico, aumentano invece peso specifico, impurità, cenere, acqua, tenore di zolfo, fumosità, temperatura di accensione, temperatura di pre riscaldamento, temperatura di scorrimento, punto di infiam-

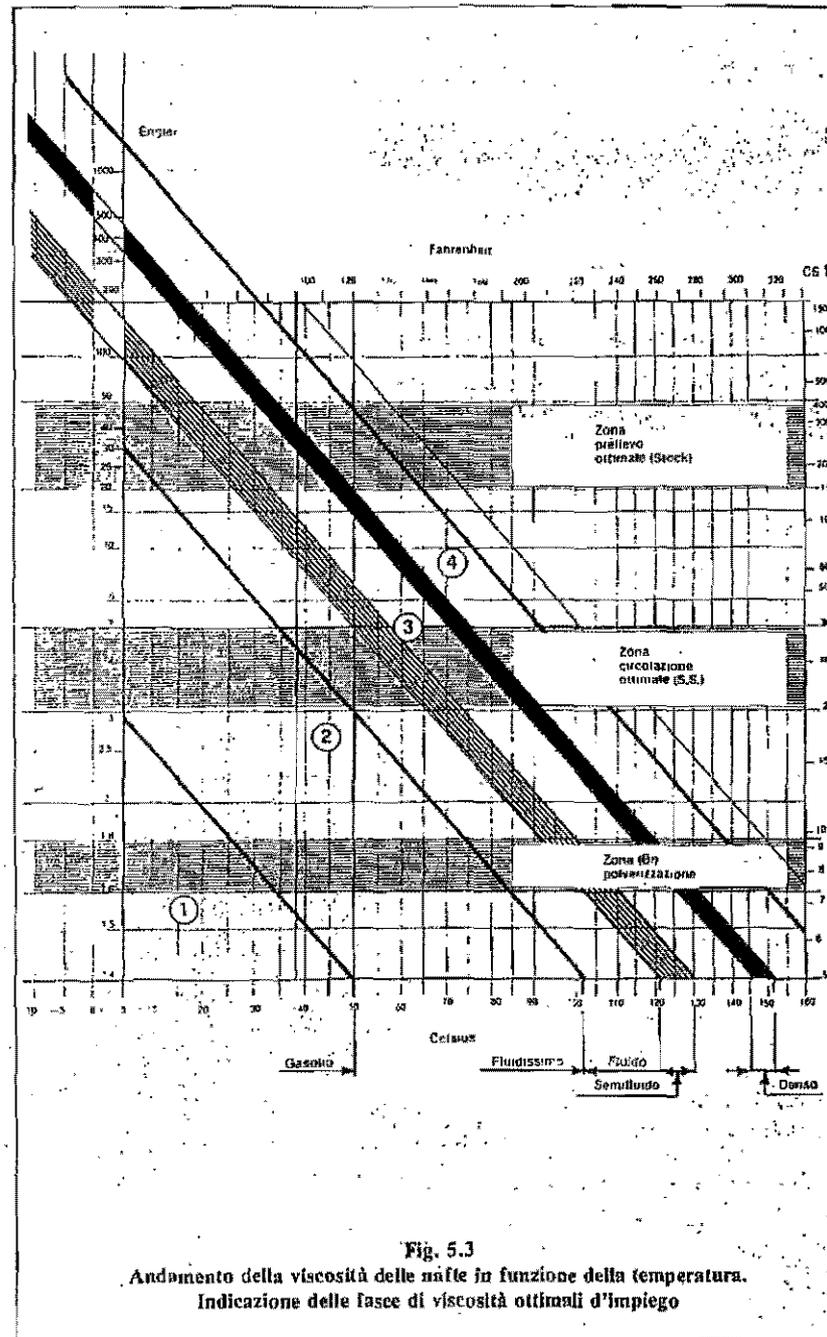


Fig. 5.3
Andamento della viscosità delle nafte in funzione della temperatura.
Indicazione delle fasce di viscosità ottimali d'impiego

mabilità e punto di accensione ed' eccesso d'aria.

La viscosità in Italia si misura in gradi Engler.

I gradi Engler sono il rapporto tra la viscosità del prodotto in esame e quella dell'acqua e si misura con i viscosimetri (fig. 5.4).

La temperatura ha una notevole influenza sulla viscosità, per questo motivo la prova si esegue a 20°C per il gasolio ed a 50°C per gli oli combustibili.

La prova consiste nel misurare il tempo impiegato da una certa quantità del prodotto in esame a passare attraverso un foro calibrato. Si fa poi il rapporto tra questo ed il tempo impiegato dalla stessa quantità di acqua a 20°C a passare per lo stesso foro.

In base alla viscosità gli oli combustibili si dividono in:

Semifluidi	Fluidi	Densi
3°E - 5°E	5°E - 7°E	più di 7°E

- 1 recipiente metallico
- 2 liquido
- 3 bagno
- 4-5 termometri
- 6 cilindro calibrato

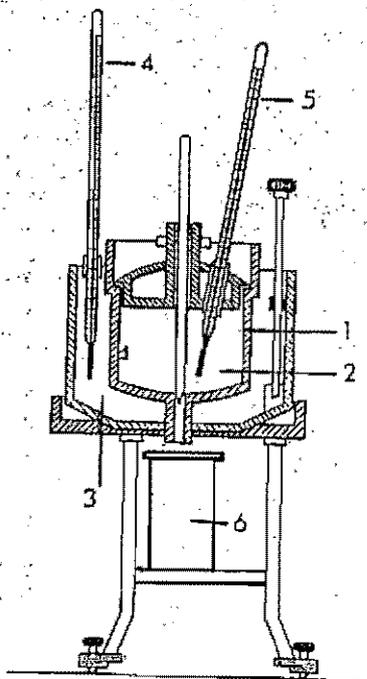


Fig. 5.4
Viscosimetro Engler

PESO SPECIFICO RELATIVO: è il rapporto tra il peso di un determinato volume di combustibile liquido a 15°C e quello di un egual volume di acqua a 4°C. Si esprime in N/m³ o in Kp/m³ o Kp/dm³.

Il peso specifico, che varia in funzione del valore della temperatura (diminuisce all'aumentare della temperatura e viceversa), viene determinato mediante aerometri o densimetri.

TAB. 5.1

CARATTERISTICHE FISICHE DEI LIQUIDI

Peso specifico in Kg/dm³ a 20°C

Liquidi	Formula chimica	Pesi specifici	Liquidi	Formula chimica	Pesi specifici
Acetaldeide	CH ₃ CHO	0.873	Cloroformio	CHCl ₃	1.489
Acetato di etile	CH ₃ COOC ₂ H ₅	0.899	Creosoto	—	1.060
Acetato di metile	CH ₃ COOCH ₃	0.933	Dimetilammina	C ₂ H ₇ N(CH ₃) ₂	0.957
Acetato di isobutile	CH ₃ COOC(CH ₃) ₂	0.871	Eptano	C ₇ H ₁₆	0.683
Acetato di propile	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH	0.874	Etere etilico	C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅	0.714
Acetone	CH ₃ COCH ₃	0.791	Furfucolo	C ₄ H ₃ OCHO	1.159
Acetonitrile	CH ₃ CN	0.792	Gasolio	—	0.730
Acido acetico	CH ₃ COOH	1.049	Glicerina	C ₃ H ₅ (OH) ₃	1.260
Acido nitrico	HNO ₃	1.530	Glicole	CH ₂ OHCH ₂ OH	1.115
Acido formico	HCOOH	1.220	Iodobenzene	C ₆ H ₅ I	0.824
Acido butirrico	C ₄ H ₉ O ₂	0.858	Ioduro di etile	CH ₃ CH ₂ I	1.933
Acido oleico	C ₁₇ H ₃₃ COOH	0.897	Ioduro di metile	CH ₃ I	2.279
Acido propionico	C ₃ H ₇ COOH	0.992	Ioduro di metilene	CH ₂ I ₂	3.325
Acido solforico	H ₂ SO ₄	1.836	Isopentano	C(CH ₃) ₄	0.621
Acqua pesante	H ₂ O	1.107	Latte	—	1.025
Acqua di mare	—	1.030	Mercurio	Hg	13.546
Acroleina	CH ₂ CHCHO	0.841	Metilammina	C ₂ H ₇ NHCH ₃	0.989
Alcool butirrico	C ₄ H ₉ OH	0.810	Nicotina	C ₁₀ H ₁₄ N ₂	1.009
Alcool etilico	CH ₃ CH ₂ OH	0.789	Nitrobenzene	C ₆ H ₅ NO ₂	1.207
Alcool isobutilico	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH	0.806	Olio di colza	—	0.910
Alcool isopropilico	(CH ₃) ₂ CHOH	0.786	Olio di canone	—	0.930
Alcool metilico	CH ₃ OH	0.792	Olio minerale	—	0.9000
Alcool propilico	CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	0.804	Olio di oliva	—	0.920
Aldeide etilica	CH ₃ COH	0.800	Olio di paraffina	—	0.893
Anidride acetica	(CH ₃ CO) ₂ O	1.082	Olio di ricino	—	0.970
Anilina	C ₆ H ₅ N	1.022	Ottano	C ₈ H ₁₈	0.703
Aria liquida	—	0.930	Pentano	C ₅ H ₁₂	0.631
Benzene	C ₆ H ₆	0.878	Petrolio	—	0.870
Benzina	—	0.890	Piperidina	C ₅ H ₁₁ N	0.860
Benzolo	C ₆ H ₆	0.900	Piridina	C ₅ H ₅ N	0.892
Benzonitrile	C ₆ H ₅ CN	1.173	Solfuro di carbonio	CS ₂	1.261
Bromobenzene	C ₆ H ₅ Br	1.499	Solfuro di etile	CH ₃ CN ₂ SH	0.837
Bromofornio	CHBr ₃	2.890	Tetracloruro di carbonio	CCl ₄	1.595
Bromuro di etile	CH ₃ CH ₂ Br	1.430	Toluene	C ₆ H ₅ CH ₃	0.866
Bromuro d'etilene	CH ₂ CH ₂ Br	2.182	Tricilammina	(CH ₃ CH ₂) ₃ N	0.729
Clorobenzene	C ₆ H ₅ Cl	1.107			

3 m³ Aria Teorica Per 1 Kg Comb solido o 1 Nm³ Comb Gassoso

POTERE COMBURIVORO: definisce il numero di metri cubi d'aria teoricamente indispensabili, in condizioni di normale funzionamento, per la completa combustione di una massa di combustibile (1 Kg per combustibile solido o liquido e 1 Nm³ per combustibile gassoso).

POTERE FUMIGENO: determina in condizioni di normale funzionamento, il numero di metri cubi sviluppati dalla massa di un combustibile in una completa combustione (1 Kg per combustibile solido o liquido, 1 Nm³ per combustibile gassoso).

ACQUA E SEDIMENTI: negli oli combustibili è tollerabile la presenza di acqua fino all'1 - 2%. Per valutare con precisione la quantità di acqua, si sfrutta un particolare processo di distillazione. L'acqua crea inconvenienti, quando si manifesta sotto forma di goccioline, quali l'arresto dell'impianto o un ritorno di fiamma.

I sedimenti costituiti da sabbia, terriccio, particelle metalliche, impurità varie, in piccole quantità non provocano inconvenienti. Possono essere valutati, mediante filtrazione a caldo con solvente.

L'acqua e i sedimenti insieme vengono determinati con la centrifuga e sono tollerabili fino a concentrazioni del 2%.

POTERE CALORIFICO: vedi pag. 187

PUNTO DI INFIAMMABILITÀ E DI ACCENSIONE: hanno entrambi fondamentale importanza, in quanto determinano il pericolo di esplosione, la volatilità e la curva di distillazione del fluido in esame.

Il punto di infiammabilità è la temperatura alla quale il fluido deve essere riscaldato, per sviluppare una quantità di vapore tale, da formare con l'aria una miscela infiammabile. Per la determinazione, si utilizza l'apparecchio Pensky-Martens a vaso chiuso. La combustione nelle condizioni sopra citate, ha brevissima durata.

Il punto di accensione corrisponde ad una determinata temperatura, alla quale il fluido genera una quantità di vapore tale, da mantenere la combustione per un certo periodo. Si determina con l'apparecchio Cleaveland a vaso aperto. Per tutti i fluidi il punto di infiammabilità è inferiore di 25 °C circa al punto di accensione.

In entrambi i casi, per ottenere la combustione, è indispensabile un rapporto vapore-aria entro determinati valori.

PUNTO DI SCORRIMENTO: è importante conoscere a quale temperatura vengono alterate le caratteristiche di un qualsiasi liquido. Raffreddando infatti un fluido, si raggiunge una temperatura tale, in cui questi non è più in grado di scorrere sotto l'azione del proprio peso. Questa temperatura coincide con il punto di scorrimento, ed è la temperatura alla quale il fluido cessa

Tab. 5.2 CARATTERISTICHE DEI COMBUSTIBILI LIQUIDI

Caratteristiche	Cherosene	Gasolio	Olio combustibile	
			Fluidi	Semi fluido
P. C. S. Kcal/Kg	10700	10600	10200	10100
P. C. I. Kcal/Kg	10200	10210	9760	9700
Peso specifico 15/4 °C Kg/dm ³	0,775 + 0,88	0,815 + 0,85	0,91	0,94
Punto-d'infiammabilità	30 °C	55 °C	65 °C	65 °C
Acqua e sedimenti % in peso mass.	tracce	tracce	0,3	0,4
Ceneri in peso massimo	1	1,3	0,1	0,15
Viscosità °E a 20 °C				
Viscosità °E a 50 °C			3 + 5	5 + 7
				Densità
				10000
				9600
				0,95
				65 °C
				max 1
				> 7

di scorrere.

ZOLFO: è sempre presente in tutti i petroli greggi, nelle più svariate forme e concentrazioni. La presenza è sempre considerata dannosa, in quanto favorisce la corrosione e diminuisce il potere calorifico del fluido. Quando infatti l'ossigeno si combina con lo zolfo, dando anidride solforosa (SO_2), non arreca danno in quanto va al camino; in presenza invece di anidride solforica (SO_3) può combinarsi con l'umidità dei fumi, determinando corrosioni.

Il contenuto di zolfo può variare da 0,1 a 4%.

CENERI: il contenuto in un fluido è proporzionale alla quantità di sostanze incombustibili presenti. I distillati hanno una percentuale di ceneri trascurabile, i residui raggiungono talvolta anche valori dell'1%. Il contenuto si determina bruciando un campione dal peso noto. Il peso del residuo, trasformato in percentuale del peso totale, dà il valore delle ceneri.

Inconvenienti dei combustibili liquidi:

- formazione di depositi carboniosi provocati da imperfetta combustione, con riduzione di scambio termico e aumento della temperatura di accumulo.
- produzione di condensa, con caratteristiche acide nelle zone di bassa temperatura.
- inquinamento atmosferico maggiore, rispetto ai combustibili di diversa classificazione.

Pregi:

- buon potere calorifico.
- difficilmente determinano scoppi in camera di combustione.
- non sono causa di ossidazioni e autocombustioni.
- semplice e rapida accensione della combustione.

5.4 COMBUSTIBILI GASSOSI

Presentano numerosi vantaggi rispetto agli altri combustibili, per cui sono particolarmente richiesti. Il combustibile gassoso maggiormente utilizzato è il gas naturale, costituito in gran parte da metano. Contiene anche piccole percentuali di azoto, anidride carbonica, acqua, idrogeno solforato, idrocarburi, ecc. Ha un potere calorifico che varia tra le 8000 - 9000 Kcal/Nm³.

Metano: è un idrocarburo costituito da un atomo di carbonio e quattro di idrogeno (CH_4) formato dal 75% di carbonio e il 25% di idrogeno. Si ottiene dai gas naturali, dove è contenuto in proporzioni notevolissime, (circa il 95%), dalla distillazione del carbon fossile e dalla piroschissione del petrolio. Brucia con fiamma poco luminosa e ha un potere calorifico superiore di 9520 Kcal/Nm³ e inferiore di 8570 Kcal/Nm³.

TAB. 5.3

CARATTERISTICHE FISICHE DEI GAS

In rapporto all'aria a 0°C e a 760 mm Hg

GAS	FORMULA CHIMICA	PESO SPECIFICO	DENSITÀ
		g/dm ³	l)
Acetilene	C_2H_2	1.173	0.906
Ammoniaca	NH_3	0.772	0.597
Anidride carbonica	CO_2	1.978	1.530
Anidride solforosa	SO_2	2.927	2.264
Aria	—	1.293	1.000
Azoto	N	1.215	0.968
Butano	C_4H_{10}	2.598	2.010
Cloro	Cl	3.219	2.490
Elio	He	0.177	0.137
Etano	C_2H_6	1.356	1.057
Gas di gasogeno	—	1.141	0.883
Idrogeno	H	0.089	0.069
Metano	CH_4	0.716	0.554
Ossido d'azoto	NO	1.978	1.530
Ossido di carbonio	CO	1.251	0.968
Ossigeno	O	1.429	1.105
Ozono	O_3	2.143	1.658
Propano	C_3H_8	1.966	1.520

Numerosi sono i vantaggi del metano:

- non produce inquinamento in quanto non contiene zolfo,
- non occorre riscaldarlo,
- non sporca le superfici di scambio, perciò non riduce lo scambio termico,
- i fumi prodotti non presentano fuliggine,
- brucia con minimi eccessi d'aria,
- riduce le perdite al camino,
- non occorre immagazzinarlo,
- rendimento termico maggiore.

Per contro:

- miscelato con aria, esplose con una semplice scintilla.

GPL (gas di petrolio liquefatti): vengono messi in commercio come liquidi, in quanto liquefatti anche a basse pressioni. Hanno potere calorifico inferiore di 25.000 Kcal/Nm³ circa. Vengono utilizzati soprattutto per uso domestico, mentre non trovano larga diffusione per scopi industriali, a causa del loro elevato costo d'acquisto.

I combustibili artificiali si classificano in:

- gas d'acqua: proviene dalla gasificazione del coke o del carbone con vapore;
- gas d'acqua carburato: è costituito da gas d'acqua e gas d'olio;
- gas d'olio: si ottiene dalla gasificazione dei prodotti petroliferi;
- gas povero: proviene dalla gasificazione del carbone o del coke con aria;
- gas di raffineria: si ottengono mediante distillazione e craking dei prodotti petroliferi.

Le principali caratteristiche dei combustibili gassosi sono:

- peso specifico relativo: (vedi pag. 194) si esprime in Kg/Nm³;
- temperatura di infiammabilità: (vedi pag. 196);
- velocità di combustione: intervallo di tempo indispensabile per la combustione.

TAB. 5.4 - POTERE CALORIFICO DI ALCUNI COMBUSTIBILI E LORO PRINCIPALI CARATTERISTICHE.

COMBUSTIBILI	Potere calorifico Kcal./Kg. per combustibili solidi e liquidi Kcal/Nm ³ per combustibili gassosi		Potere calorifico (KJ/Kg) per combustibili solidi e liquidi KJ/Nm ³ per combustibili gassosi	Volume d'aria necessario per la combustione m ³ /Kg. o m ³ /m ³		Ceneri
	Superiore	Inferiore	Inferiore	Teorico	Reale	
Antracite	7700-8400	7500-8200	31400-34330	8,62	11-15	4-8
Litantrace magro	7400-8000	7200-7800	30145-32660	8,12	11-14	5-10
Litantrace grasso	6800-7800	6500-7500	27215-31400	7,25	10-13	5-10
Lignite nera	6400-6900	6000-6500	25120-27125	6,70	9-12	5-10
Lignite bruna	5400-5900	5000-5500	20930-23030	5,60	7-10	10-15
Torba ordinaria	3700-4800	3000-4000	12560-16750	3,83	5-7	10-20
Coke metallurgico	7050-7350	7000-7300	29300-30565	7,72	10-14	4-9
Coke officine gas	6070-7100	6000-7000	25120-29300	7,10	9-13	10-15
Coke lignite	4600-5900	4500-5800	18840-24285	5,30	8-10	10-15
Coke di torba	6700-7400	6500-7200	27215-30145	7,60	10-14	15-20
Carbone di legna	6600-7100	6500-7000	27215-29300	7,30	10-13	6-8
Carbone di torba	6750-7000	6500-6800	27215-28470	7,40	10-13	15-20
Legna ordinaria	2400-3400	2000-3000	8375-12560	3,20	5-6	1-6
Legna essiccata	3100-4000	2800-3700	11725-15490	3,60	5-7	4-5
Legna completamente secca	4200-4500	4000-4300	16750-18005	4,10	5-8	3-5
Gasolio	—	10100-10400	42285-43545	11,3-11,4	14-17	—
Petrolio raffinato	—	11000-11200	46055-46895	11,0-11,2	14-18	—
Petrolio greggio	—	10000-11000	41870-46055	11,1-11,5	14-17	—
Benzina	—	11000-11500	46055-48150	11,3-11,9	14-18	—
Olio combustibile	—	9000-9900	37680-41450	10,7-11,5	15-20	—
Olio di catrame	9800	9500	39775	9,8	13-18	—
Gas città normale	6000-7400	3500-4500	14655-18840	4,0-4,9	5-6	—
Gas arricchito	6000-7400	4500-5000	18840-20930	4,0-5,5	6-7	—
Gas naturale	9000-12000	8000-11000	33495-46055	9,0-12	10-15	—
Gas di gasogeno	1500-2200	1200-1500	5025-6280	1,3-1,6	1,5-2	—
Idrogeno	3050	2570	10760	2,38	3	—
Metano	9520	8570	35893	9,52	11	—
Propano	24320	22340	93533	23,81	28	—
Butano	32010	29510	123532	30,95	36	—

SETEC
90643

25 G10
28 Lug

CAP. 6 LA COMBUSTIONE

Si definisce combustione la reazione fra una sostanza (combustibile) e l'ossigeno dell'aria (comburente), accompagnata da sviluppo di calore. Affinchè il combustibile possa bruciare, occorre riscaldarlo ad una temperatura detta di accensione.

Si ha combustione:

- esotermica, se il fenomeno avviene con sviluppo di calore;
- endotermica (ossidazione), se il fenomeno avviene con assorbimento di calore.

Elementi indispensabili in una combustione sono:

COMBUSTIBILI: sono costituiti principalmente da carbonio (C) e idrogeno (H), elementi che si legano fra loro in svariate combinazioni. I principali prodotti di una combustione sono quindi, anidride carbonica (CO₂) e acqua (H₂O). I combustibili contengono anche piccole quantità di zolfo (S) e altri componenti.

Un buon combustibile deve:

- essere presente in grandi quantità in natura;
- essere facilmente trasportabile nel luogo di utilizzo;
- avere caratteristiche fisico-chimiche costanti per non richiedere particolari adattamenti;
- avere spiccate tendenze a combinarsi con l'ossigeno.

ARIA COMBURENTE: una sostanza brucia soltanto se a contatto con aria. Un combustibile in un recipiente, al quale è stata tolta aria, non sviluppa infatti calore. L'aria è quindi elemento indispensabile. E' costituita essenzialmente da ossigeno e azoto, tracce di acido carbonico e piccole quantità di gas quali argo, elio, neo, ecc. E' composta da circa 4/5 di azoto e da 1/5 di ossigeno ed è solo quest'ultimo che partecipa alla combustione, in quanto l'azoto è un gas inerte.

La quantità d'aria necessaria in una perfetta combustione è strettamente legata alla composizione chimica, allo stato fisico del combustibile ed è funzione del sistema (bruciatore, camera di combustione, camino).

COMPOSIZIONE DELL'ARIA

	Ossigeno %	Azoto %
Volume	20,8	79,2
Massa	23	77

4/5
OSSIGENO

INNESCO ALLA REAZIONE: per sviluppare una combustione, non basta mettere a contatto aria e combustibile; occorre infatti un innesco iniziale mediante un riscaldamento, es. una scintilla, una fiamma... Quindi per innescare una combustione, è indispensabile che una parte del combustibile raggiunga la "temperatura di accensione".

6.1 NOZIONI DI CHIMICA DELLA COMBUSTIONE

In una centrale di vapore e/o in un impianto termico l'obiettivo primario è di realizzare una combustione perfetta e trasferire tutta l'energia sviluppata (calore) all'acqua da vaporizzare e/o riscaldare. Per valutare la logica e l'importanza della combustione è necessario esaminare questo fenomeno, tanto comune quanto sconosciuto, senza alcuna pretesa scientifica ma con sufficiente chiarezza ai fini delle applicazioni pratiche.

GLI ATOMI, LE MOLECOLE, LA MATERIA

Tutto ciò che esiste nell'universo noto, è costituito fondamentalmente da atomi, che in natura sono di 107 tipi diversi.

Ogni atomo è dotato di un certo numero di "ganci" ("valenze") in numero variabile da 1 a 7. Ogni atomo preso da solo (fatta eccezione per alcuni detti "nobili") non è in equilibrio e cerca di attaccare i suoi "ganci" a quelli di altri atomi. Quando due o più atomi si "agganciano" fra di loro in modo che non rimangano più "ganci" liberi, si ottiene un gruppo stabile detto "molecola".

La molecola è l'elemento base di ogni materiale esistente, così come il mattone è l'elemento base di un muro. Il gas metano pertanto è costituito da un insieme di "tante" molecole di metano tutte uguali fra di loro.

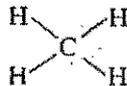
COMPOSIZIONE CHIMICA DEL METANO

Gli atomi componenti la molecola del metano sono:

Carbonio: simbolo C che ha 4 ganci C

Idrogeno: simbolo H che ha un solo gancio H

Per fare una molecola di metano bisogna quindi agganciare a ciascuno dei 4 ganci del carbonio un atomo di idrogeno. Si ottiene così una struttura del tipo:



che si indica brevemente con CH₄. Ciò sta a significare che ogni molecola di metano è fatta da un atomo di carbonio e 4 atomi di idrogeno.

COMPOSIZIONE CHIMICA DI ALTRI ELEMENTI CHE INTERVENGONO NELLA COMBUSTIONE

Fra gli elementi che intervengono correntemente nella combustione ricordiamo:

Ossigeno simbolo O: ha due ganci - O -

Se non trovano di meglio, pur di combinarsi in maniera stabile, gli ossigeni si agganciano fra di loro, scambiando i due ganci e dando luogo alla molecola di ossigeno "O = O" che si scrive più brevemente "O₂", cioè combinazione di due atomi di ossigeno fra di loro. L'ossigeno è un gas inodore ed incolore, molto diffuso in natura, ingrediente attivo dell'aria (≅ 20%).

Azoto simbolo N: ha due ganci (in certe condizioni anche 3 o 5) vale lo stesso discorso fatto per l'ossigeno. Due atomi di azoto si scambiano fra di loro i due ganci e formano una molecola di azoto che si indica con "N₂" (cioè combinazione di due atomi di azoto fra di loro).

L'azoto è un gas inodore ed incolore, ugualmente molto diffuso in natura, componente base dell'aria.

Acqua: si ottiene attaccando a ciascuno dei due ganci di un ossigeno un atomo di idrogeno: H - O - H.

La molecola dell'acqua si indica brevemente con la formula H₂O, cioè combinazione di due atomi di idrogeno con un ossigeno ed è, a temperatura fra 0 e 100°C un liquido, sopra i 100° un gas, al di sotto dello zero un solido (a pressione atmosferica).

Anidride carbonica: si ottiene attaccando ai 4 ganci del carbonio due atomi di ossigeno O = C = O e si indica brevemente con CO₂ (cioè combinazione di un atomo di carbonio con 2 atomi di ossigeno). L'anidride carbonica è un gas incolore ed inodore abbastanza diffuso.

Aria: è una miscela di ossigeno, azoto ed un sacco di altri elementi, per fortuna queste ultime in piccola quantità. Per il nostro scopo diremo semplicemente che l'aria è una miscela di 20% di ossigeno (O₂) ed 80% di azoto (N₂) in volume.

REAZIONI CHIMICHE DI COMBUSTIONE, COMBUSTIBILI

Quando gli atomi si sono agganciati fra di loro in molecole come nei casi visti, non è detto che non si possano più sganciare. Anche tra gli atomi sussiste una forza che definiamo di "simpatia", che può tenerli più o meno stabilmente uniti nella molecola. Ogni atomo infatti gode nei confronti dei suoi consimili di diversi gradi di "simpatia" per cui tende naturalmente a sganciarsi da molecole in cui vi siano partners meno "simpatici" per associarsi in altre molecole in cui vi siano partners più "simpatici". Una molecola tra partners reciprocamente "simpatici" è molto stabile.

Quando degli atomi, agganciati in determinate molecole (cioè in determinate materie prime) si dissociano dalle loro molecole originarie per raggrupparsi in altre diverse (dando origine a prodotti differenti) si dice che avviene una "reazione chimica". Una reazione chimica che parte da molecole meno stabili

(partners antipatici) avviene facilmente, anche spontaneamente, specie se "innescata", ed è sempre accompagnata da liberazione di energia, per esempio calore. Il passaggio inverso invece è più difficile.

Uno degli elementi più "simpatici" della famiglia dei 107 atomi è l'ossigeno. Il suo indice di gradimento è elevatissimo. Quasi tutti gli altri atomi hanno tendenza ad abbandonare i precedenti legami per combinarsi con l'ossigeno. Queste reazioni chimiche si chiamano "ossidazioni" o "combustioni". Poiché l'ossigeno è un elemento particolarmente "simpatico" da luogo a composti generalmente più stabili.

La reazione di ossidazione o combustione avviene inoltre facilmente, specie se innescata, e con liberazione di energia, quasi sempre calore.

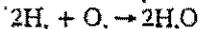
Si definiscono combustibili quei materiali i cui atomi si combinano facilmente con l'ossigeno, con una reazione chimica chiamata combustione e con liberazione di importanti quantità di calore. Il metano è un buon combustibile, infatti i suoi atomi componenti il carbonio e l'idrogeno si separano facilmente per unirsi con l'ossigeno e dar origine rispettivamente ad anidride carbonica (CO₂) ed acqua (H₂O) accompagnate da forte emissioni di calore.

6.2 REAZIONI DI LABORATORIO

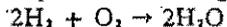
Gli elementi che partecipano alla combustione sono idrogeno, carbonio, zolfo.

- COMBUSTIONE COMPLETA DELL'IDROGENO

Dalla combustione di atomi di idrogeno con atomi di ossigeno si ottengono molecole di acqua con sviluppo di calore.

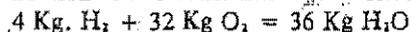


Sapendo che l'idrogeno ha peso atomico 1 e l'ossigeno 16

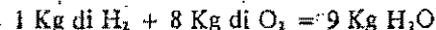


$$2 \times (1 \times 2) + (16 \times 2) = 36$$

Se assumiamo come unità di massa il Kg., l'equazione si trasforma in



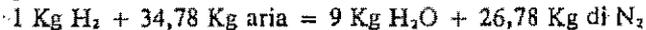
Dividendo entrambi i membri



Poiché l'aria in peso contiene il 23% di ossigeno per ottenere 8 Kg di O₂ occorrono

$$\frac{100 \times 8}{23} = 34,78 \text{ Kg aria in quanto Kg aria} = \frac{100 \times \text{Kg O}_2}{23\% \text{ O}_2}$$

per cui

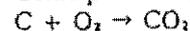


dalla reazione quindi di 1 Kg di idrogeno con 34,78 Kg di aria (aria teorica necessaria) si producono 35,78 Kg di gas con sviluppo di 34.500 Kcal come

p.c.s., dal quale sottraendo le 5400 Kcal/(9) × 600) assorbite dall'acqua per trasformarsi in vapore si ottiene P.C.I. = 29100 Kcal.

- COMBUSTIONE COMPLETA DEL CARBONIO

Come per l'idrogeno sapendo che:



dove C ha massa 12

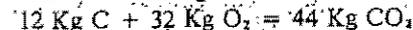
O massa 16

O₂ massa 32

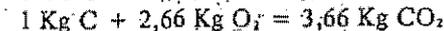


$$12 + 32 = 44$$

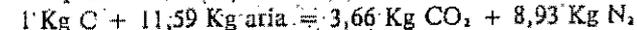
Assumendo il Kg come unità di massa



che si riduce anche a



L'equazione riferita all'aria diventa



bruciando quindi 1 Kg di carbonio si ottengono 12,59 Kg di gas della combustione, e si sviluppano 8130 Kcal.

Massa

C	12
H	1
O	16
S	32

- COMBUSTIONE INCOMPLETA DEL CARBONIO

Quando l'aria a disposizione non è sufficiente per bruciare tutto il combustibile, si parla di combustione incompleta. Poiché l'idrogeno brucia meglio del carbonio, utilizza tutta l'aria necessaria per la sua combustione, e lascia il carbonio stesso in difetto di aria. Si ottiene da detta reazione ossido di carbonio,



con uno sviluppo di calore di sole 2449 Kcal ogni Kg di carbonio.

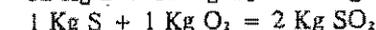
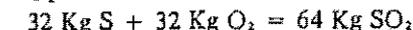
- COMBUSTIONE COMPLETA DELLO ZOLFO

Analogamente



con S = 32

O₂ = 32



che equivale anche a



e si sviluppano 2600 Kcal.

Nei fumi di una reazione teorica con solo ossigeno sono presenti: anidride carbonica, vapore d'acqua e anidride solforosa. I fumi sono invisibili e si ottiene il massimo sviluppo di calore.

6.3 ARIA TEORICA

In una combustione occorre tanta aria quanta ne necessita per fornire l'ossigeno necessario alle reazioni sopra analizzate. Abbiamo calcolato che a C, H, S occorre per la completa combustione:

$$1 \text{ Kg C} \rightarrow 11,59 \text{ Kg aria}$$

$$1 \text{ Kg S} \rightarrow 4,34 \text{ Kg aria}$$

$$1 \text{ Kg H}_2 \rightarrow 34,78 \text{ Kg aria}$$

Con un combustibile che contiene carbonio, idrogeno, ossigeno, zolfo piú ceneri ed acqua, l'aria teorica in massa (ATM), cioè in Kg per Kg di combustibile, si calcola con la formula:

$$\text{ATM} = 11,59 \cdot \frac{C}{100} + 34,78 \cdot \frac{H}{100} + 4,34 \cdot \frac{S}{100} - 8,54 \cdot \frac{O}{100} \quad (\text{Kg/Kg})$$

Per ogni Kg di ossigeno contenuto nel combustibile occorrono ovviamente 8,54 Kg di aria in meno.

Se si vuole conoscere l'aria teorica in volume (ATV), sapendo che la densità dell'aria in normali condizioni è 1,293 Kg/m³, si ottiene:

$$\text{ATV} = 8,964 \cdot \frac{C}{100} + 26,89 \cdot \frac{H}{100} + 3,356 \cdot \frac{S}{100} - 3,356 \cdot \frac{O}{100} \quad (\text{m}^3/\text{Kg})$$

$$V_{\text{Aria}} = \frac{\text{Kg Aria}}{1,293}$$

Esempio: si utilizza olio combustibile avente la seguente composizione:

$$C = 84,67\%$$

$$H = 11,02\%$$

$$O = 0,38\%$$

$$S = 3,93\%$$

Calcolare la quantità di aria teorica in volume riferita alla unità di peso di combustibile.

Dalla formula sopra indicata:

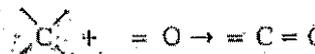
$$\text{ATV} = 8,964 \cdot \frac{84,67}{100} + 26,89 \cdot \frac{11,02}{100} + 3,356 \cdot \frac{3,93}{100} - 3,356 \cdot \frac{0,38}{100} = 10,67 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

6.4 COMBUSTIONE PRATICA

Quando nella combustione non viene fornita aria cioè ossigeno a sufficienza, questa avviene in maniera incompleta. Riducendo l'aria progressivamente il combustibile brucia in maniera parziale.

Gli idrogeni reagiscono per primi formando acqua. Se l'ossigeno è insufficiente alcuni atomi del carbonio possono disporre, anziché di 2 ossigeni per formare CO₂, di un solo ossigeno ed al limite di nessuno.

a) Se il carbonio incontra ancora solo un ossigeno forma un composto intermedio, detto CO od ossido di carbonio



Si tratta di un gas instabile (il carbone ha ancora due "ganci" non impegnati) inodore, incolore ma estremamente tossico e che forma con l'aria miscela esplosiva nella percentuale dal 12,5% al 74,2%. È pericolosissimo funzionare con una combustione in cui si forma del CO perché i fumi sono velenosi e possono formare in ogni momento una miscela esplosiva con l'aria.

b) Se il carbonio non incontra piú neanche un ossigeno allora si combina con altri carboni, dando origine ad un carbone in polvere finissimo (nero fumo).

c) Quando si riduce ulteriormente l'aria, in modo che l'ossigeno diventa insufficiente anche per la combustione degli idrogeni, allora nei fumi di combustione compare, oltre all'ossido di carbonio ed al nero fumo anche idrogeno libero, incombusto. È la condizione di funzionamento meno raccomandata, oltreché per la sicurezza, anche per l'economia.

In definitiva in una combustione incompleta:

- non brucia completamente il combustibile, quindi non sviluppa tutto il calore disponibile;

- l'incombusto principale (ossido di carbonio) è altamente tossico;

- gli incombusti formano miscele esplosive con l'aria (esplosione in camera di combustione);

- il fumo nero depositandosi riduce lo scambio termico con notevoli perdite di calore al camino.

È quindi evidente che la combustione deve avvenire in eccesso d'aria; cioè con una quantità d'aria in eccedenza rispetto a quella teorica.

Si definisce eccesso d'aria:

$$E = \text{VAI} - \text{VAT}$$

dove

VAI = volume aria impiegata

VAT = volume aria teorica

Il parametro E indica la quantità d'aria in eccesso rispetto a quella teorica per una combustione completa e non inquinante (fig. 6.1).

Quando l'eccesso d'aria viene espresso e misurato in percentuale di quello teorico:

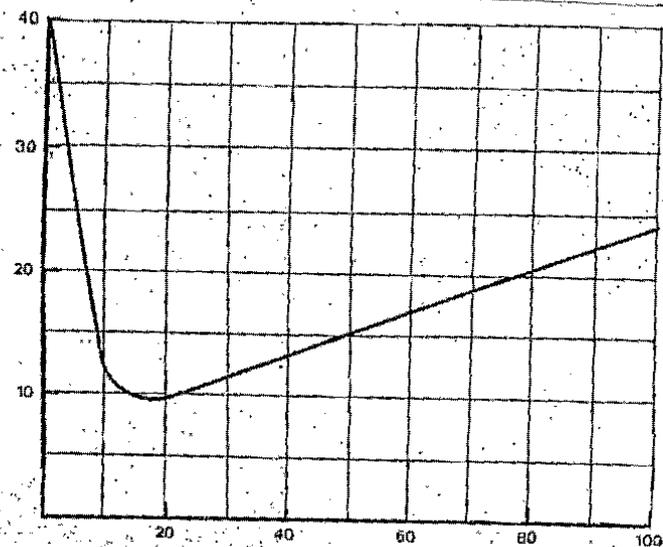
$$E\% = \frac{\text{VAI} - \text{VAT}}{\text{VAT}} \times 100$$

Nella valutazione di una combustione si ricorre talvolta al coefficiente d'eccesso d'aria (e):

$$e = \frac{\text{VAI}}{\text{VAT}}$$

$$e = 1 + \frac{E}{100}$$

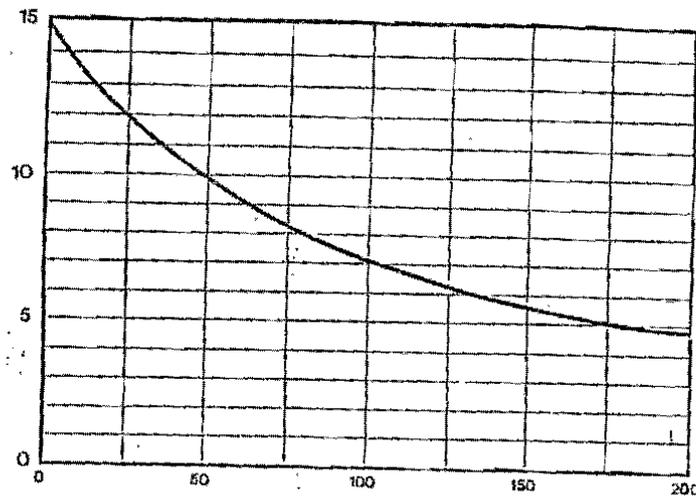
$$e = \frac{\text{CO}_2 \text{ max}}{\text{CO}_2}$$



% ECCESSO DI ARIA

Fig. 6.1 Perdite di calore in funzione dell'eccesso d'aria

% CO₂



% ECCESSO D'ARIA

Fig. 6.2 Relazione fra l'eccesso d'aria ed il contenuto (in volume) di CO₂ nel gas, nella combustione dell'olio combustibile

L'ultima relazione dà luogo ad errori di una certa consistenza, se il combustibile contiene una quantità elevata di idrogeno ed ossido di carbonio; non è assolutamente impiegabile se il combustibile è ricco di azoto. Si dovrà pertanto utilizzare il triangolo di Ostwald. In tutti gli altri casi gli errori che si commettono sono modesti.

TAB. 6.1 VALORI DI CO₂ MAX %

Combustibili	CO ₂ max %
Legno	20.07
Torba	18.28
Antracite	19.14
Litantraci magri	18.97
Litantraci grassi	18.65
Litantraci secchi	19.40
Lignite picea	19.31
Lignite ciloide	19.72
Coke	20.5
Gasolio	15.1
Kerosene	14.9
Olio combustibile fluido	15.6
Olio combustibile semifluido	15.7
Metano	11.7

L'obiettivo di una combustione completa deve essere ottenuto con il minor costo possibile. L'aria in eccesso infatti, non partecipa alla reazione, ma entra in camera di combustione, si riscalda, assorbe calore ed esce con i fumi della combustione alla temperatura di camino. La dispersione di questo calore comporta una diminuzione del rendimento. La perdita di calore è quindi in funzione dell'eccesso d'aria e della temperatura di uscita dei fumi dal generatore. Con un eccesso d'aria del 15% il rendimento diminuisce dell'1%.

- Per verificare se quanto esposto è di utilità pratica, occorre controllare:
- la combustione se completa o incompleta (misura dell'ossido di carbonio)
 - l'eccesso d'aria (rispetto alla teorica).

Misura dell'ossido di carbonio

Si aspirano all'uscita del generatore, mediante una apposita pompa volumetrica, i gas della combustione e si fanno passare attraverso una fialetta contenente un particolare reagente chimico. La fialetta assume un colore nero per un tratto tanto maggiore, quanto maggiori sono le tracce di ossido di carbonio nei fumi. Mediante una scala di lettura già tarata, si risale alla quantità di ossido in parti per milione contenuta, che deve, secondo le norme UNI-CIG, essere inferiore allo 0.1% in volume dei fumi secchi.

Misura dell'eccesso d'aria

Si utilizzano apparecchi capaci di misurare direttamente l'ossigeno ancora libero contenuto nei fumi, che, provvisti di una pompa aspirano i prodotti della combustione all'uscita del generatore e li inviano agli apparecchi dentro ai quali la presenza di uno speciale liquido assorbe l'ossigeno e diminuisce il volume dei fumi. Dal volume del fumo assorbito si risale all'ossigeno libero che, moltiplicato per una costante, indica l'eccesso d'aria.

L'eccesso d'aria viene misurato anche indirettamente mediante la concentrazione di anidride carbonica. La percentuale di CO_2 dipende dalla natura del combustibile, in quanto è proporzionale alla quantità di carbonio presente.

È possibile conoscendo la percentuale di CO e O_2 , consultando il triangolo di Ostwald del combustibile utilizzato, determinare l'eccesso d'aria.

TAB. 6.2

	Eccesso d'aria %	CO_2 %	O_2 %
Antracite	50 ÷ 100	9.5 ÷ 12	7.5 ÷ 10
Coke	40 ÷ 100	10 ÷ 13	7 ÷ 10
Olio combustibile	15 ÷ 35	14 ÷ 12	1.3 ÷ 4.5
Gasolio	5 ÷ 20	14.5 ÷ 13	1.2 ÷ 4
Metano	5 ÷ 15	11 ÷ 10	1.1 ÷ 3

I fumi hanno minimo volume ($CO_2 + SO_2 +$ vapore d'acqua + azoto) e massimo valore in percentuale di anidride carbonica quando non vi è aria in eccesso.

Con una combustione in eccesso d'aria, la quantità di CO_2 non varia ma, essendo aumentata la massa complessiva dei fumi, si trova più diluita. Quindi aumentando l'eccesso di aria, diminuisce il valore di CO_2 espressa in percentuale (fig. 6.2 - 6.3).

Da opportune analisi chimico-fisiche si riscontra che i fumi contengono oltre ad una notevole quantità di calore:

- anidride carbonica: reazione del carbonio con ossigeno;
- vapore d'acqua: dalla reazione idrogeno-ossigeno e dalla vaporizzazione dell'acqua presente nel combustibile (umidità o acqua igroscopica);
- anidride solforosa: reazione dello zolfo con ossigeno;
- anidride solforica: dalla reazione dell'anidride solforosa con ossigeno;
- azoto: presente nell'aria;
- ossido di azoto: combinazione dell'azoto con l'ossigeno a temperature elevate;
- ossigeno: presente perché in eccesso.

Nel caso di combustione incompleta oltre ai gas citati, nel fumo è anche presente ossido di carbonio.

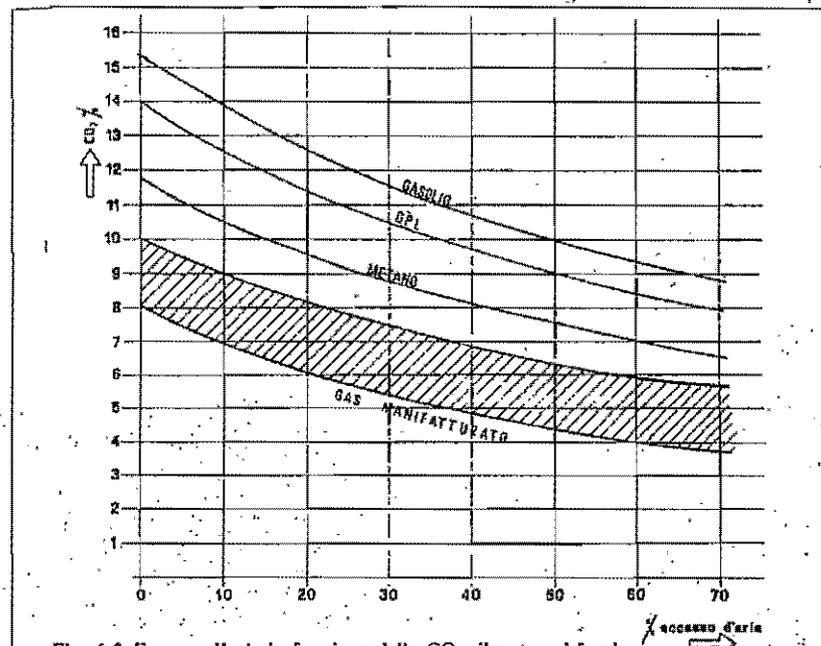


Fig. 6.3 Eccesso d'aria in funzione della CO_2 rilevata nei fumi

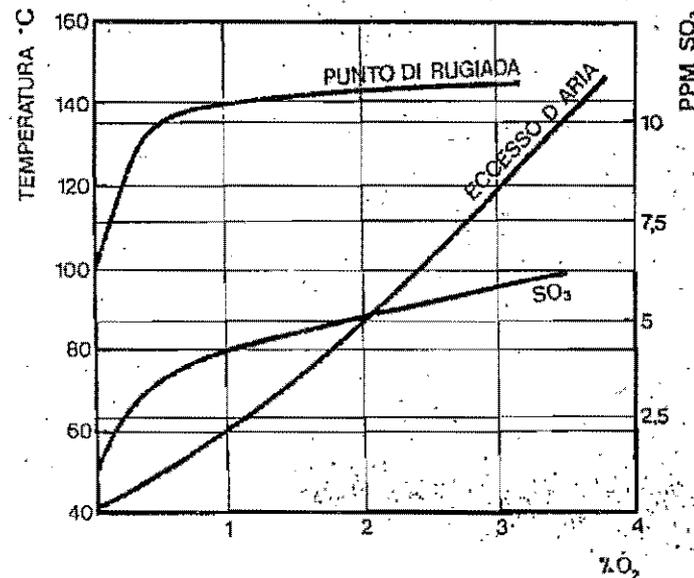


Fig. 6.4 Relazione tra eccesso d'aria ($\%O_2$) usata, quantità di SO_2 nei fumi (ppm) e punto di rugiada ($^{\circ}C$) dei fumi stessi

È ovvio che il contenuto dei fumi dipende unicamente dalla composizione chimica del combustibile.

Il metano non contiene zolfo (viene desolfurato in partenza) per cui non vi è formazione di anidride solforosa e solforica. I fumi possono tuttavia divenire acidi, ed in determinate condizioni corrosivi per i metalli, per la formazione di ossidi di azoto a causa dell'ossidazione di piccole quantità di azoto nel cuore della fiamma per la presenza simultanea dell'ossigeno e dell'elevata temperatura (1200-1300 °C) con conseguente formazioni di acidi a basse temperature.

Passando dal metano all'olio combustibile, per effetto del maggior contenuto di carbonio e del minore di idrogeno, i fumi contengono un maggiore, seppur leggero, contenuto di CO₂ percentuale ed una minore % di vapor d'acqua. Gli stessi fumi conterranno ovviamente, vista la presenza di zolfo, anidride solforosa e solforica.

REGOLAZIONE DELL'ARIA

L'obiettivo principale del conduttore è di ottenere una combustione completa, cioè sicura, quindi con un eccesso d'aria più basso possibile senza creare incombusti.

Se al controllo visivo o strumentale la combustione risulta in difetto d'aria o comunque incompleta, è pericolosissimo aggiungere rapidamente aria perché può provocare una miscela esplosiva aria-incombusti con esplosione dell'impianto. In presenza di incombusti occorre infatti ridurre l'aria solo mediante un dispositivo di regolazione micrometrica oppure verificare la taratura dell'aria stessa arrestando il bruciatore.

EMISSIONE DI PARTICELLE SOLIDE

Emesse esclusivamente da focolari alimentati da combustibili liquidi e carbone, sono costituite prevalentemente da carbonio in polvere sotto forma di:

- **nero fumo:** si forma per arresto della combustione per mancanza d'ossigeno o per abbassamento della temperatura al di sotto dei 750 °C, quando la molecola del combustibile, già passata in fase di vapore, è in fase di craking.

Si produce anche nella combustione a gas con indici d'aria inferiori a 0,9; in tali condizioni vi è il rischio di esplosione per la presenza simultanea di una elevata quantità di ossido di carbonio e gas. La misura si effettua con il metodo Bacharach;

- **polverino di carbone:** si forma nella zona fredda dei focolari e nella parte finale della combustione con oli a molecola complessa;

- **cenofere:** sono carcasse sferoidali di carbonio; si formano specialmente nella combustione degli oli densi, in presenza di polverizzazioni irregolari o grossolane;

- **ceneri:** si formano dalla ossidazione di inquinanti del combustibile (in genere metalli e depositi fangosi) che producono composti solidi.

INCOMBUSTI SOLIDI

Si hanno incombusti, quando le particelle del combustibile non riescono a completare la combustione. In parte si depositano nel circuito dei fumi (fuliggine), e in parte escono con i fumi stessi.

Le cause principali di formazione della fuliggine sono:

- presenza di morchie;
- aria comburente in difetto;
- bassa temperatura in camera di combustione;
- elevata velocità dei gas di combustione.

La fuliggine, fungendo da coibente, riduce l'efficienza del generatore, abbassando lo scambio termico fra i gas della combustione e le superfici di trasferimento del calore.

Determina una perdita di rendimento del 6 ÷ 10% ogni mm. di spessore.

SLAG

È il tipo di deposito che normalmente si riscontra sul surriscaldatore dei generatori (talvolta anche in zona radiante). I componenti che caratterizzano lo slag sono: vanadio, sodio, ferro, nichel, allumina, silicio, calcio e zolfo. Il miscuglio di detti componenti presenta un punto di fusione più basso di quello dei singoli elementi (eutettici). Detti eutettici sono responsabili della formazione dello slag. Lo slag, come la fuliggine, è un isolante termico. Circa 2,5 cm di slag possono ridurre la capacità di scambio del 70%; conseguentemente si nota un innalzamento della temperatura dei gas al camino. Lo slag che si forma al surriscaldatore può limitare notevolmente la temperatura del surriscaldatore compromettendo il buon funzionamento delle turbine.

Lo slag è anche responsabile delle corrosioni dei tubi della zona ad alta temperatura in modo particolare se lo slag contiene un'alta % di vanadio. Lo slag può funzionare da catalizzatore per le reazioni anidride solforosa ed anidride solforica, cioè può causare o incrementare le corrosioni nella zona fredda, nell'economizzatore e nel preriscaldatore.

MORCHIE

La morchia è il prodotto di ossidazione e polimerizzazione di alcuni componenti dell'olio combustibile.

Il combustibile, quale residuo di processo di raffinazione contiene piccolissime quantità di morchie ben disperse uniformemente e ciò non procura inconvenienti quando l'olio viene subito bruciato. Ma, poiché questo viene sottoposto a tempi di stoccaggio, mentre la morchia originale si deposita gradualmente, altra ne forma a causa della presenza dei componenti instabili dell'olio.

La morchia, oltre a ridurre la capacità di stoccaggio dei serbatoi sporca i filtri ed i preriscaldatori. Lo sporco dei filtri può richiedere anche due, tre interventi di pulizia al giorno. Le morchie non trattenute dai filtri sporcano gli ugelli dei bruciatori con cattiva atomizzazione del combustibile. In questi casi si ha presenza di incombusti con conseguente sporco del lato fumi.

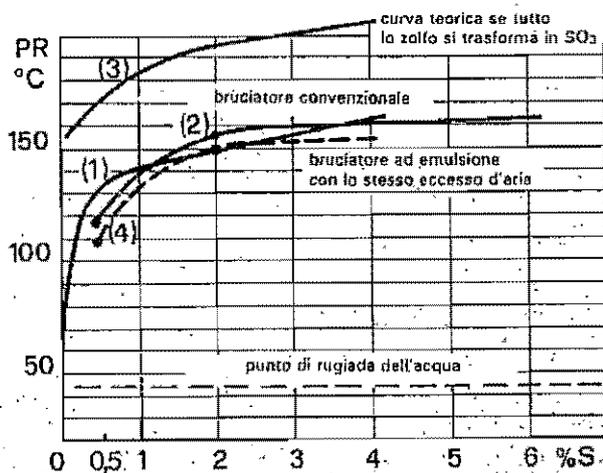
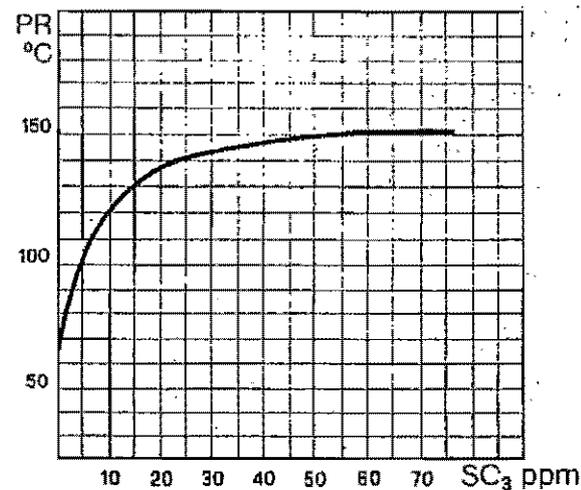


Fig. 6.5 Andamento del punto di rugiada dei fumi di focolari alimentati con O.C. in funzione del tenore di SO_2 nei fumi e di zolfo nell'O.C.

DEPOSITI E CORROSIONI NELLE ZONE FREDE

I depositi nella zona fredda si formano all'economizzatore e al preriscaldatore; sono i maggiori responsabili della formazione di acido solforico.

L'acido solforico attacca le pareti metalliche formando solfato di ferro (i depositi contengono il 25 ÷ 75% di solfato di ferro) e un deposito pericoloso sulle superfici che intrappola le ceneri trasportate dai gas.

I depositi nelle zone fredde determinano una riduzione dell'efficienza del generatore, una perdita di carico nel tiraggio dei fumi con conseguente maggior assorbimento di energia elettrica.

Sono conseguenti alle corrosioni dell'acido solforico formatosi nei gas di combustione. La quantità di acido solforico nelle zone a bassa temperatura dipende da:

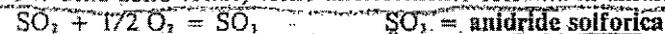
- % di zolfo e altre impurità presenti nel combustibile;
- intensità della fiamma;
- rapporto aria-combustibile;
- temperatura delle superfici di scambio;
- temperatura dei fumi.

Le reazioni che riguardano lo zolfo sono:



La percentuale di trasformazione dello zolfo in anidride solforosa è molto elevata e la quantità emessa dal camino non dipende dalla qualità della combustione ma esclusivamente dalla percentuale di zolfo contenuto nel combustibile.

Successivamente una piccola parte dell'anidride solforosa così formata (2 ÷ 5% dello zolfo totale) viene ulteriormente ossidata in anidride solforica.



La produzione di anidride solforica dipende oltre che dal contenuto di zolfo del combustibile anche dalla qualità della combustione (fig. 6.4-6.5).

Ancora in fase gassosa questa reagisce con l'acqua presente dando origine ad acido solforico.



A temperature superiori a 400-450 °C, la reazione tende alla dissociazione, mentre la dissociazione stessa è modesta a temperatura intorno ai 180 °C, e può considerarsi praticamente nulla a temperature inferiori a 150 °C.

La presenza di acido solforico nei gas di combustione a bassa temperatura ha una notevolissima influenza sul punto di rugiada degli stessi, nel senso che la formazione di condensa in presenza di acido solforico avviene a temperature molto più elevate di quelle alle quali avverrebbe se i gas di combustione contenessero vapore d'acqua puro.

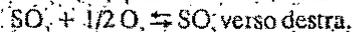
Presenza di acido solforico nei gas di combustione e innalzamento del punto di rugiada possono essere considerati dunque i due fattori concomitanti ed interdipendenti, diretti responsabili dei fenomeni corrosivi che si registrano nelle zone a bassa temperatura degli impianti termici.

La formazione di anidride solforica avviene per la maggior parte all'uscita della camera di combustione dove la temperatura dei gas è minore; si ha comunque presenza di anidride solforica anche direttamente in zona fiamma causa la forte presenza di ossigeno.

I fattori che influiscono sulla concentrazione della anidride solforica nei gas di combustione sono:

A) La quantità di zolfo contenuto.

È ovvio che quanto più alto è il tenore di zolfo, tanto più alta sarà la quantità di SO_2 nei gas di combustione. Infatti una maggiore quantità di zolfo vuol dire automaticamente formazione di una maggiore quantità di anidride solforosa durante la combustione. L'aumentata presenza di quest'ultima sposta inevitabilmente a parità di tutte le altre condizioni, l'equilibrio delle reazioni:



B) Rapporto aria-combustibile.

Ogni aumento nell'eccesso d'aria con il quale viene condotta la combustione, determina un aumento di anidride solforica nei gas di combustione. La ragione di quanto sopra esposto è la stessa del punto A) in quanto, anche in questo caso, è la maggior concentrazione di un membro a sinistra della reazione (in questo caso l'ossigeno) a spostare l'equilibrio di quest'ultima verso destra.

Naturalmente se l'eccesso d'aria raggiunge valori oltremodo elevati, all'effetto sopracitato si somma un effetto diluente dei gas di combustione ed il valore percentuale di SO_2 può tornare a diminuire. Rimane comunque un aumento in assoluto della quantità di anidride solforosa convertita in anidride solforica.

C) Temperatura di fiamma

Un aumento della temperatura di fiamma conduce solitamente ad un aumento nella quantità di anidride solforica prodotta. La causa va ricercata nel fatto che un aumento della temperatura di fiamma porta ad un aumento della concentrazione di ossigeno atomico, particolarmente reattivo nella sua funzione ossidante.

Un ulteriore aumento della SO_2 si determina quando la fiamma viene a lambire le pareti della camera di combustione.

D) Nella maggior parte dei casi la formazione delle scorie e dei residui carbonici sulle pareti degli scambiatori di calore favorisce l'insorgere di fenomeni corrosivi da anidride solforica.

E) Presenza di agenti catalizzatori e dell'ossigeno.

OSSIDI DI AZOTO

A temperature elevate, in presenza di ossigeno libero e di eventuali catalizzatori, una parte dell'azoto dell'aria si combina con l'ossigeno generando ossidi di azoto e successivamente, con l'acqua, acido nitrico.

L'aggressività di tali ossidi e del loro acido nei confronti dei materiali è superiore in media a quella dell'anidride solforica e dell'acido solforico.

In un focolare ben regolato, la quantità di composti nitrici che si produco-

no è dell'ordine delle 130 - 340 ppm pari a circa $0.2 + 0.5$ gr per kg di combustibile bruciato.

La misura degli ossidi di azoto emessi si effettua, come per l'ossido di carbonio, mediante:

- una pompa volumetrica ed una fialetta tarata in ppm e contenente un reagente sensibile agli ossidi
- un apparecchio elettronico con scala graduata in ppm.

Generalmente gli ossidi di azoto consistono per il 95% di monossido di azoto (NO) e per il 5% di biossido di azoto (NO_2). Con gasolio, olio combustibile e gas gli ossidi di azoto si producono in prevalenza termicamente a partire da una temperatura di circa $1300^\circ C$ mediante l'ossidazione dell'azoto presente nell'aria di combustione. Principale responsabile di questa cosiddetta formazione termica di monossido di azoto è la concentrazione d'ossigeno disponibile durante la combustione.

Si conoscono diverse forme di NO :

- NO pronto: si forma direttamente sulla goccia del gasolio al momento della combustione come pure in zone di combustione con mancanza di ossigeno.

- NO del combustibile: l'olio combustibile contiene delle parti di azoto che durante la combustione vengono trasformate in ossido d'azoto. Un Kg di gasolio contiene in media 135 mg di azoto. Calcolando che con circa il 70% avviene una ossidazione, si ottiene già una parte di 25 mg/m³ nei fumi.

- NO termico: si forma soprattutto con temperatura di fiamma sopra i $1200^\circ C$.

Mentre la prima forma di NO indicata è poco e la seconda forma non è del tutto influenzabile, il costruttore del bruciatore può ridurre l' NO termico soprattutto sapendo che i valori che hanno influsso sulla formazione sono:

- la temperatura della fiamma
- il tempo di reazione nella zona calda
- la concentrazione di O_2 .

Analizziamo ora la combustione delle tre famiglie di combustibili;

COMBUSTIBILI SOLIDI

L'eterogeneità dei combustibili solidi obbliga ad effettuare il processo di combustione in più fasi. Inizialmente il combustibile viene essiccato, riscaldato e se ne elimina le sostanze volatili e la gassificazione. Successivamente si effettua la combustione delle sostanze volatili, del gas e del coke. Negli impianti ad elevate potenze il combustibile viene preliminarmente frantumato e macinato per aumentarne la superficie totale e favorirne la combustione. L'ossigeno, per effetto della bassa velocità dell'aria rispetto a quella del combustibile polverizzato, viene inviato al combustibile per diffusione. All'esterno della fiamma si riduce la temperatura dei fumi che rallenta l'ossidazione del combustibile obbligando il combustibile stesso a rimanere per un tempo superiore nel bruciatore e ad aumentare di volume.

COMBUSTIBILI LIQUIDI

L'utilizzo di combustibili liquidi obbliga ad una attenta analisi del processo di polverizzazione, polverizzazione che avviene in più stadi. All'uscita dell'ugello si forma una vena liquida con delle rughe di goccioline, in cui alcune goccioline, già dall'inizio tendono a staccarsi. Si crea in seguito un laceramento lamellare della vena in filamenti liquidi, filamenti che nel movimento rotatorio si spezzano e si trasformano in goccioline.

Per normali valori di pressione di polverizzazione, quest'ultima operazione appare ad una distanza dal foro dell'ugello di circa 3 mm. Si ha quindi, rispetto all'uscita del getto, un ritardo della polverizzazione di un decimillesimo di secondo.

La viscosità del fluido non subisce, per effetto della presenza di particelle in sospensione, elevate modifiche in quanto la concentrazione delle particelle citate è dell'ordine, nella massa gassosa, di un millesimo. In funzione del ritardo della polverizzazione ed alle dimensioni delle goccioline viene stabilita e predeterminata la posizione del fronte di fiamma. Ovviamente in un getto di combustibile le goccioline non hanno tutte lo stesso diametro e lo stesso peso; con pressioni di polverizzazione standard il diametro delle goccioline oscilla fra qualche micron e circa 100 micron. La lunghezza della fiamma sarà rappresentata dalla distanza percorsa dalle goccioline più pesanti, da 100 micron, nel loro periodo di combustione. Si ha quindi che per alcuni valori di pressione di polverizzazione la fiamma ha dimensioni longitudinali, fluttuanti da qualche centimetro a diversi decimetri e segue le distanze raggiunte dalle particelle. La forma della fiamma varia quindi in funzione delle dimensioni delle goccioline del combustibile. Occorre inoltre aggiungere che, quando nella corrente dell'aria di combustione viene inviata ad elevata velocità una massa di goccioline, ogni particella è sottoposta ad una azione ritardatrice ed il suo impulso viene notevolmente ridotto in un tempo molto breve. Le particelle più grandi hanno la caratteristica di possedere un potere di penetrazione superiore prima di essere avvolte completamente dalla corrente d'aria. Il gasolio permette di ottenere, a parità di portata e di altri fattori, rispetto all'olio combustibile una fiamma più stretta e più corta. Il maggior peso dell'olio combustibile e l'eterogeneità dei componenti ingrossa infatti il dardo durante il processo di combustione.

Il peso specifico influenza quindi le dimensioni e la massa del combustibile e conseguentemente la lunghezza totale della fiamma. Una variazione della densità da 830 Kg/mc a 1150 Kg/mc determina una variazione della lunghezza della fiamma con un rapporto di circa 1 a 13. Il diametro delle goccioline varia in funzione dello spessore della pellicola di combustibile. Se si aumenta la velocità di fuoriuscita del combustibile il fronte della fiamma tende a formarsi più vicino all'ugello polverizzatore in quanto una più rapida evaporazione del combustibile consente una migliore nebulizzazione. La lunghezza della fiamma non subisce invece nessun incremento in quanto le particelle, divenute più piccole, subiscono un rallentamento per l'azione della corrente d'aria.

COMBUSTIBILI GASSOSI

La combustione dei combustibili gassosi si può effettuare mediante un premiscelamento dell'aria e del gas o inviando separatamente il gas e l'aria in camera di combustione.

Con il premiscelamento lo spessore del fronte della fiamma è particolarmente ridotto e la parte iniziale della fiamma è trasparente.

Nella seconda soluzione l'aria viene inviata al gas per diffusione e per turbolenza. L'elevata temperatura con cui il gas brucia in corrispondenza delle zone della portafiamma e la scarsa quantità di aria determina la decomposizione in idrogeno e carbonio; quest'ultimo bruciando come un combustibile solido determina la luminescenza della parte iniziale della fiamma.

Effettuando la combustione utilizzando il becco di bunsen (bruciatore atmosferico) alla miscela gas-aria viene somministrata solo una parte di aria necessaria, la restante quantità viene inviata mediante l'ambiente circostante.

6.5 STRUMENTI DI ANALISI E DI MISURA

Per assicurare la combustione più economica possibile e cioè per ottenere un alto grado di efficacia della combustione stessa con grande risparmio di combustibile, ed inoltre per osservare le disposizioni vigenti relative agli inconvenienti provocati dalla fuliggine occorre conoscere, attraverso strumenti di misura, alcuni parametri fondamentali.

Una buona combustione dipende da otto fattori che devono assolutamente essere misurati: tiraggio del camino, pressione relativa in camera di combustione, numero di fuliggine, contenuto di anidride carbonica, ossigeno, ossido di carbonio, eccesso d'aria, temperatura dei fumi.

Presupposto per una continua buona combustione in un generatore a combustione depressurizzata, è la messa a punto dei rapporti costanti del tiraggio del camino, in quanto influiscono in modo essenziale sulla quantità d'aria di combustione. Se non indicato dal costruttore del generatore o del bruciatore, sono considerati normali i seguenti valori:

Superficie riscaldata	Tiraggio del camino in mm di colonna d'acqua
fino a 5 m ²	- 0,75 fino a - 1,5
6 a 15 m ²	- 1,5 fino a - 2
16 a 55 m ²	- 2 fino a - 3
56 a 100 m ²	- 3 fino a - 4
oltre i 100 m ²	oltre i - 4

Con combustione a carbone i valori precisati aumentano di circa 0,75 mm, con combustione a coke di circa 0,25 mm.

Se il tiraggio è troppo debole si ha un ristagno ed i gas della combustione non

possono uscire abbastanza rapidamente dal generatore, il che può provocare una fiamma pulsante. Se al contrario il tiraggio è troppo forte, arriva alla fiamma troppa aria con conseguente surraffreddamento della fiamma ed aumento della temperatura dei gas combusti. Si può rimediare con un limitatore di tiraggio nel canale dei gas della combustione.

Poiché la portata del ventilatore del bruciatore in un generatore a combustione pressurizzata dipende da una determinata contropressione, le variazioni di pressione provocano eccesso o mancanza d'aria. La pressione relativa nella camera di combustione ha di regola valori tra 40 + 150 mm di colonna d'acqua. Il numero di fuliggine permette una rapida valutazione della bontà della combustione. Con esso si misura la percentuale di particelle incombuste che si trovano in forma solida nei gas della combustione. Con l'impiego di olio combustibile non deve essere superato il valore 3 della scala di riscontro, altrimenti si formano depositi di fuliggine e conseguente isolamento delle superfici riscaldate.

La percentuale di CO, nel gas della combustione dipende dalla quantità di carbonio contenuta nel combustibile e dalla quantità d'aria; in valore equivale ad esempio per l'olio combustibile ad un massimo di 15,7%. Per ridurre le perdite di gas della combustione, bisogna registrare in modo da avere possibilmente un valore di CO più alto possibile senza formazione di incombusti ed una temperatura dei gas della combustione più bassa possibile senza raggiungere il punto di rugiada.

La percentuale di O₂ contenuta nei fumi dipende dall'eccesso d'aria utilizzato, eccesso che deve essere mantenuto entro valori minimi che non permettano la formazione di CO.

La temperatura dei gas della combustione deve ammontare all'uscita del generatore a circa 180 + 250 °C. I gas della combustione devono uscire dal camino a circa 100 + 110 °C, affinché siano ad una temperatura ancora superiore al punto di condensazione dell'acqua.

Tutti i fattori necessari per una combustione tecnicamente perfetta possono essere controllati in modo semplice, rapido e con grande precisione utilizzando il triangolo di Ostwald, regoli di corredo, strumenti ed appositi calcolatori che, una volta forniti tutti rilevando eventuali errori effettuati nelle analisi, suggeriscono come procedere per migliorare la combustione se non ottimale ed il rendimento termico.

L'analisi è relativa ai "fumi anidri" in quanto il vapor d'acqua presente nel prelievo, nel raffreddamento si condensa ed il campione è privo di acqua. Soltanto conoscendo la composizione elementare del combustibile si può parlare di analisi dei "fumi umidi".

APPARECCHIO DI ORSAT

I fumi sono generalmente costituiti da anidride carbonica (CO₂), anidride solforosa (SO₂), azoto (N), ossigeno (O₂), vapore d'acqua (H₂O), impurità ed

eventualmente ossido di carbonio (CO). Se escludiamo il vapor d'acqua e le impurità, con il metodo chimico è possibile determinare in percentuale del volume, il contenuto di CO₂, SO₂, O₂ e l'eventuale CO presente, con la formula:

$$N = 100 - (CO_2 + SO_2 + O_2 + CO)$$

si determina la percentuale di azoto contenuto.

Lo strumento utilizzato per l'analisi è l'apparecchio di Orsat.

Si compone (fig. 6.6) di una buretta (1) graduata, del volume di 100 o 50 cm³ che, mediante un rubinetto, viene collegata col tubo di presa dei gas o con l'atmosfera. Nella parte inferiore è applicata una bottiglia (2) contenente acqua che aspira o espelle i gas dai tre laboratori:

L₁: contiene idrato di potassio per l'assorbimento dell'anidride carbonica;

L₂: contiene una soluzione di pirogallato di potassio per l'assorbimento dell'ossigeno;

L₃: contiene cloruro rameoso per l'assorbimento dell'ossido di carbonio.

Sul tubo che collega i laboratori con la buretta sono interposti tre rubinetti.

Mediante una peretta in gomma, e abbassando la bottiglia (2) contenente acqua, i fumi vengono aspirati e raccolti nella buretta graduata (1). Aprendo il

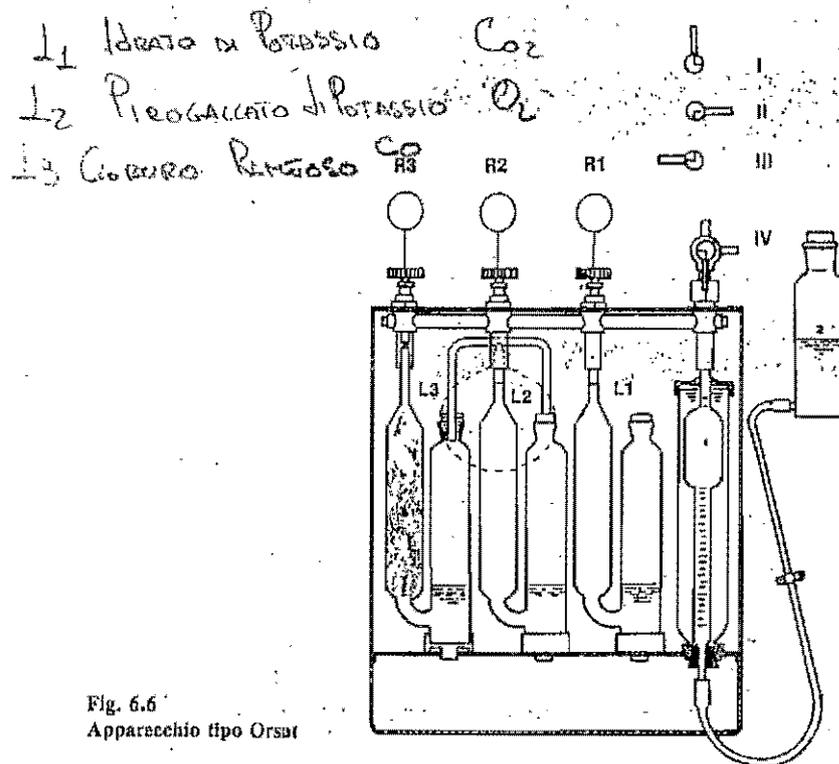


Fig. 6.6
Apparecchio tipo Orsat

rubinetto R, e sollevando la bottiglia i fumi raggiungono il primo laboratorio (L₁). Dopo un intervallo di tempo t, i fumi stessi vengono riportati nella buretta.

Il volume in centimetricubi assorbito dall'idrato di potassio corrisponde all'anidride carbonica ed anidride solforosa contenuta nel campione (normalmente si parla solo di CO₂).

I fumi rimasti vengono successivamente inviati, con il medesimo procedimento, nel laboratorio (L₂) mediante R₁, e riportati nella buretta. La differenza tra il nuovo volume e quello precedente indica la quantità di ossigeno nei fumi. Analogamente i fumi residui attraverso R₂, raggiungono il terzo laboratorio (L₃), per ritornare dopo un intervallo di tempo nella buretta. La nuova differenza di volume consente di stabilire la percentuale di ossido di carbonio.

Dalla relazione:

$$N = 100 - (CO_2 + SO_2 + O_2)$$

si determina la percentuale di azoto.

Il principio di funzionamento per i tre laboratori è quindi uguale. Per ottenere valori precisi e attendibili, occorre prestare attenzione allo stato fisico e chimico dei reagenti.

ANALIZZATORE PORTATILE DI CO₂

È costituito da due camere collegate mediante un tubo centrale, graduato e trasparente (fig. 6.8).

La camera inferiore porta nel fondo un diaframma elastico e contiene una soluzione colorata, avente la proprietà di assorbire la CO₂. La camera superiore possiede in ingresso una valvola per l'immissione dei fumi. A detta valvola è collegato mediante una ghiera, un tubo flessibile provvisto di una pompa a pera in gomma terminante con una cannula in metallo.

Prima di ogni misura capovolgere l'apparecchio di 180° e lasciare defluire completamente il liquido di misurazione. Controllare il punto zero; agendo sulla valvola sulla testa dell'apparecchio premendola ripetutamente si elimina l'aria eventualmente formatasi. Confrontare quindi il menisco del liquido con il punto zero della scala.

Per misurare la CO₂ presente si introduce la cannula nel condotto dei fumi. Agendo quindi sulla peretta in gomma, il campione da analizzare, attraverso la valvola di chiusura, entra nella camera superiore. Si disinnescia la ghiera, affinché la valvola si abbassi e chiuda l'orifizio, e si capovolge il recipiente. La soluzione colorata entra nella camera superiore e assorbe l'anidride carbonica contenuta nel campione. Infine si raddrizza l'apparecchio e dalla nuova altezza della colonna di liquido si determina direttamente la percentuale di anidride carbonica contenuta nei fumi.

ANALIZZATORE ELETTRICO-FISICO DEI GAS

L'analizzatore permette di controllare il tenore di CO₂ ed eventualmente di CO + H₂, rilevando la grandezza (o le grandezze) e trasformandola in un

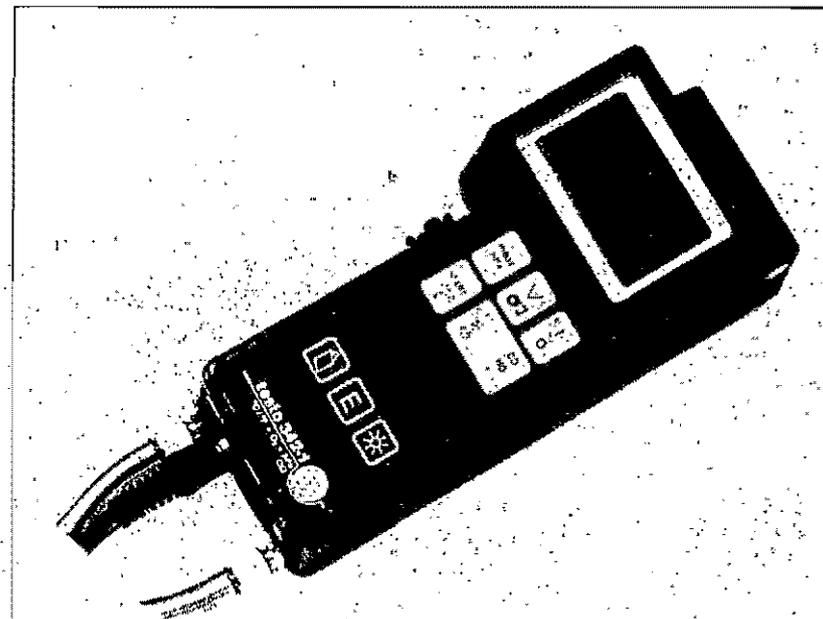


Fig. 6.7 Kit portatile analisi fumi (Testo)

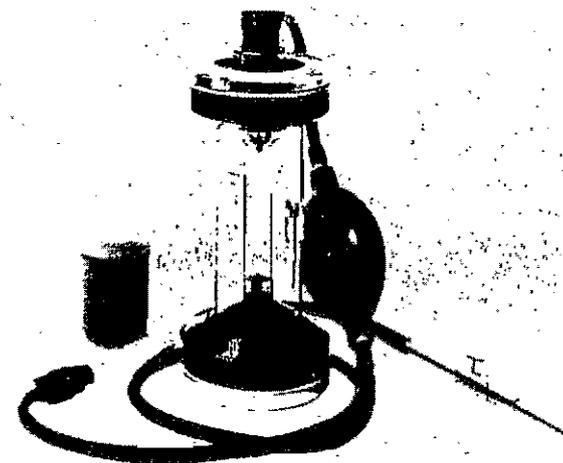


Fig. 6.8 Analizzatore portatile di CO₂

segnale elettrico proporzionale. Con una opportuna presa e una pompa elettromagnetica, i fumi da analizzare vengono aspirati, filtrati con filtri in lana di vetro, refrigerati e immersi in una camera per l'analisi della CO_2 . In questa camera è inserita una resistenza, collegata su un ponte di Wheatstone con un estremo immerso in aria. Poiché la conducibilità termica dei fumi è inferiore a quelli dell'aria e proporzionale alla CO_2 presente, le variazioni della percentuale di CO_2 vengono trasformate in variazioni di resistenza.

Agli estremi del ponte di Wheatstone è presente un segnale elettrico proporzionale rilevabile con un opportuno strumento.

Per determinare i valori della $CO + H_2$, i fumi vengono immessi in una camera, dove è applicato un filo di platino riscaldato, che causa la combustione dei due gas. La variazione di temperatura del filo, per effetto della combustione di CO e H_2 , dipende dal loro tenore nei fumi e determina una variazione di resistenza elettrica rilevabile mediante un circuito a ponte.

MISURA DELL'OPACITÀ

Per rilevare gli incombusti solidi presenti nei fumi si utilizzano due metodi:

A) **Ringelmann**: è costituito da sei cartoni. Il primo è di color bianco (numero 0), l'ultimo nero (numero 5), e gli intermedi hanno tonalità che va progressivamente accentuandosi ma che, a distanza di parecchi metri, appaiono tutti grigi. È un metodo empirico in quanto dipende dallo stato di illuminazione del fumo e del cielo.

B) **Indice di fuliggine o Bacharach**: consiste nel prelevare una determinata quantità di gas della combustione facendoli passare attraverso una carta-filtro speciale. L'apparecchio si compone di una pompa per l'aspirazione, una carta-filtro ed una scala di raffronto costituita da dieci superfici annerite in modo diverso, le quali corrispondono ai numeri di fuliggine da 0 a 9 (scala di Bacharach) (fig. 6.9). Per evitare completamente la formazione di condensa all'interno dell'apparecchio, questo deve avere assunto la temperatura ambiente prima del prelievo del campione.

Si introduce e si blocca la carta-filtro sulla testa della pompa; il campione deve essere prelevato possibilmente nel centro della corrente del gas della combustione. Il volume del gas da esaminare viene aspirato attraverso la carta filtro che è fissata all'apparecchio, effettuando 10 colpi uniformi. La valvola di non ritorno installata nella pompa impedisce che l'aria ritorni indietro e che le particelle solide già separate si stacchino dalla carta-filtro. L'intensità di colore formatasi sulla carta-filtro è legata alla quantità di incombusti presenti nel campione: confrontando il colore con la scala di raffronto si ottiene il numero di fuliggine o di Bacharach.

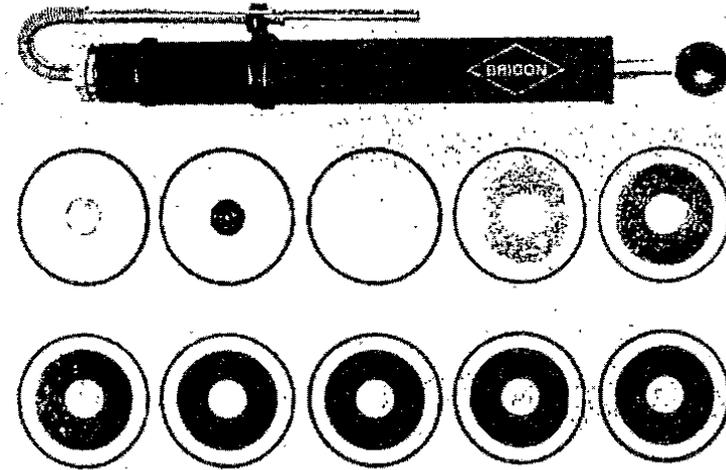


Fig. 6.9 Scala dei fumi di Bacharach

RINGELMANN
BACHARACH

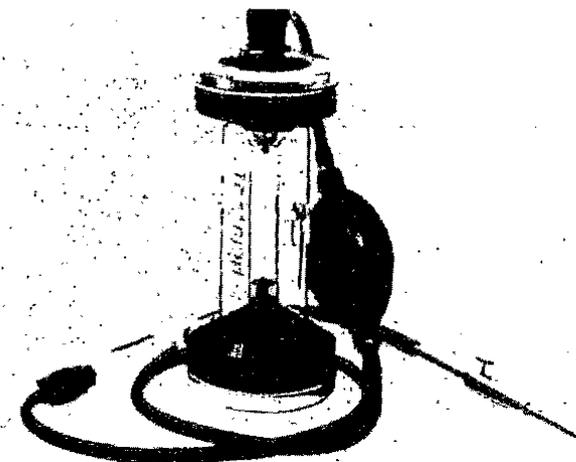


Fig. 6.18 Analizzatore portatile di O_2

N° DI BACHARACH

QUALITA' DELLA COMBUSTIONE

0	
1	eccellente
2	
3	buona
4	
5	
6	accettabile
7	
8	non accettabile
9	limite di fumo nero visibile

ANALIZZATORE D'OSSIGENO A MINI-SONDA

Utilizza il principio che una cella di ossido di zirconio sviluppa una tensione attraverso le due facce quando ognuna di essa è esposta ad una differente concentrazione di ossigeno. Lo strumento (fig. 6.11) misura realmente l'ossigeno libero residuo nel flusso di gas totale compreso il vapore d'acqua, quando tutto il combustibile è bruciato. Viene impiegato per temperature di processo fino a 540 °C e in esercizio migliora la sensibilità al diminuire della concentrazione di ossigeno. Presenta vantaggi quali:

- elemento sensibile inscrivibile direttamente;
- sensibili risparmi di combustibile;
- verifica della taratura senza manomettere la sonda;
- basso costo di manutenzione;
- alta precisione.

Esiste un ulteriore analizzatore multiplo, illustrato in fig. 6.12 che, mediante una sonda all'ossido di zirconio, consente di misurare l'ossigeno libero. I tre elementi primari dello strumento, cella, termocoppia, e riscaldatore, sono facilmente sostituibili. Utilizzando lo stesso strumento è possibile, mediante un elettrolita solido di solfato di potassio, misurare valori di anidride solforosa: si hanno in questo modo due sonde con cella elettrochimica, due elettroniche per la gestione delle sonde ed un dispositivo di controllo e taratura automatica del sistema.

ANALIZZATORE PORTATILE DI O₂

Come nell'analizzatore di CO₂, l'ossigeno del campione da analizzare viene assorbito da un liquido. Ne consegue un aumento di volume, variazione che viene indicata dalla scala posta fra le due camere. La composizione dell'apparecchio ed il procedimento di misurazione sono del tutto simili all'analizzatore portatile di CO₂, (fig. 6.10).

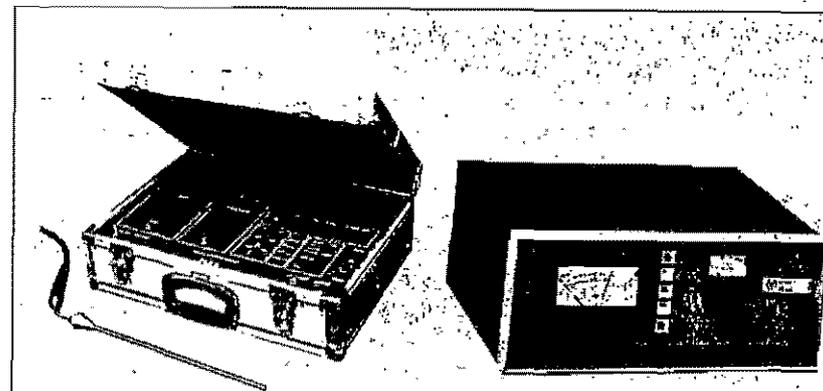


Fig. 6.11 Analizzatore d'ossigeno.

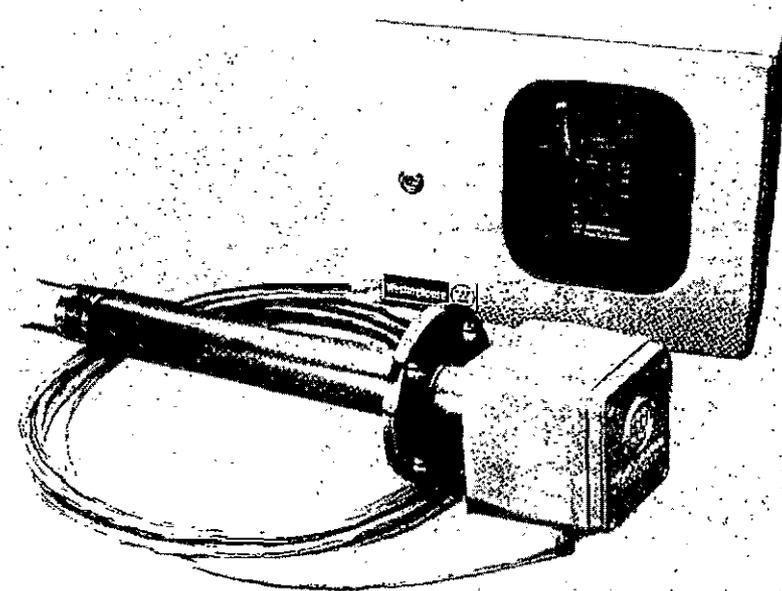


Fig. 6.12 Analizzatore multiplo per O₂ - SO₂ - NO_x.

DETERMINAZIONE DELL'OSSIDO DI CARBONIO

Consiste nell'aspirare attraverso la sonda, dal punto da controllare, una quantità determinata di gas della combustione facendoli pervenire all'apparecchio. Nel cilindro dell'apparecchio i fumi vengono raffreddati e fatti passare attraverso la fialetta di misurazione. Lo strato reagente della fialetta cambia colore ed il valore corrispondente può essere letto sulla scala stampata sulla fialetta.

Nella determinazione di CO il valore misurato può essere trasformato da ppm in vol % mediante la tabella che si trova sull'apparecchio.

Per procedere alla prova levare la testa a sfera ruotandola verso sinistra. Rompere le due estremità a punta della fialetta avvalendosi del foro situato a tale scopo alla fine della camera. Introdurre la fialetta nella camera in modo che la freccia sia diretta verso la testa a sfera. Rimettere a posto quest'ultima e chiuderla premendo un po' ruotandola a destra (fig. 6.13). Effettuare questa operazione con lo stantuffo spinto in dentro. Introdurre la sonda nella corrente di gas da esaminare. Estrarre lo stantuffo fino alla battuta agendo sulla testa a sfera, e successivamente premerlo in dentro così lentamente da vincere appena la resistenza della fialetta.

Il contatore incorporato registra il numero dei colpi di pompa effettuati (da 1 a 10). Per la misurazione della percentuale di CO è di norma sufficiente un solo colpo di pompa; con esso si controlla un campo di misurazione da 0,01 a 0,3 in vol %. Se il colore della fialetta non cambia, sono necessarie altre 9 pompate (in totale quindi 10) con i quali si abbraccia un campo di misurazione da 0,001 a 0,03 in vol %.

TERMOMETRI

Vengono descritti i soli termometri per alte temperature.

- **Termometro di vetro:** è costituito da un gambo di vetro, che entra facilmente nei fori predisposti nelle murature e nel rivestimento stesso (fig. 6.14). Il gambo sottile, estremamente delicato, viene protetto dagli urti con una guaina metallica. Utilizza la proprietà del mercurio liquido contenuto nel bulbo, che aumenta o diminuisce il proprio volume al variare della temperatura.

- **Termometro a variazione di pressione:** sfrutta le proprietà dei liquidi di aumentare di pressione, quando a contatto con una fonte di calore non possono aumentare di volume. È costituito (fig. 6.15) da un bulbo, un capillare di connessione e un tubo manometrico pieno di liquido (generalmente mercurio), che muove l'estremità libera della spirale e agisce sull'indice mobile, sfruttando lo stesso principio del manometro Bourdon.

- **Termometro a coppia termoelettrica:** viene impiegato per la misura di temperature fino a 1500 °C e suddiviso in relazione ai materiali.

Ferro - Costantina per temperature fino a 700 °C;

Cromo - Alluminio per temperature fino a 1300 °C;

Platino - Platino rhodio per temperature fino a 1500 °C.

I due conduttori, di diverso materiale saldati insieme ad una estremità,

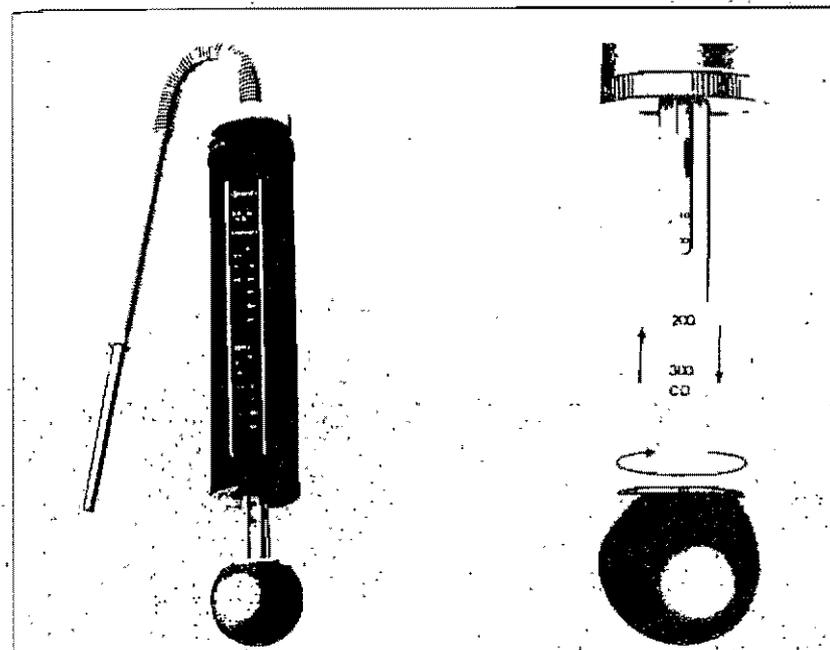


Fig. 6.13 Analizzatore d'ossido di carbonio.



Fig. 6.14 Termometro di vetro

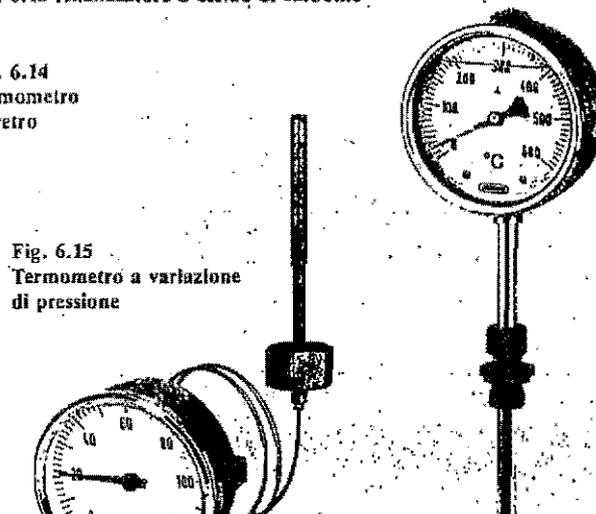


Fig. 6.15 Termometro a variazione di pressione

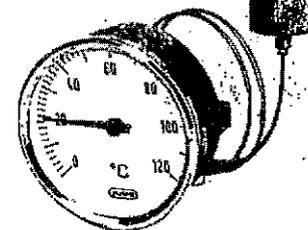


Fig. 6.16 Termometro a quadrante

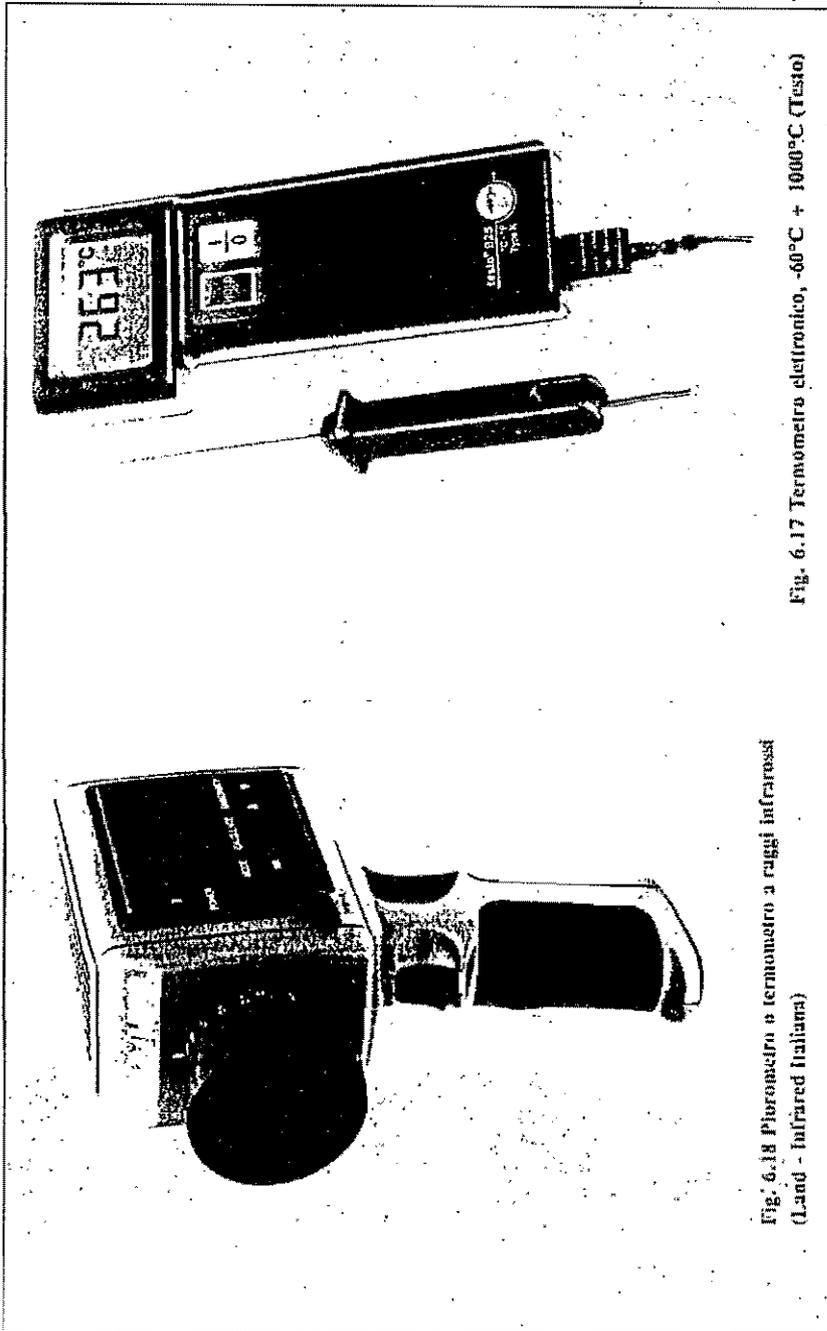


Fig. 6.17 Termometro elettronico, -50°C + 1000°C (Testo)

Fig. 6.18 Pirometro a termometro a raggi infrarossi (Land - Infrared Italiana)

provocano nell'estremità libera, aumentando di temperatura una forza elettromotrice proporzionale alla differenza di temperatura esistente fra giunto caldo e giunto freddo. Misurando ai capi del circuito la f.e.m. generata, si determina la misura di temperatura (fig. 6.17; 6.19b).

Il complesso di misura è quindi costituito da:

- un elemento sensibile o termocoppia costituito da:

* un giunto caldo: punto di unione della termocoppia che viene posto nella zona dove occorre determinare la temperatura;

* un giunto freddo: occorre quale base di confronto per le diverse temperature assunte dal giunto caldo.

- lo strumento: misura le variazioni di f.e.m. agli estremi dei circuiti, con un galvanometro, e fornisce i corrispondenti valori di temperatura.

- Termometro a resistenza elettrica: viene di solito costruito in platino o nichel e impiegato per la misura di temperature comprese fra -200°C e $+600^{\circ}\text{C}$.

Costituito da un conduttore avente resistenza e coefficiente termico noti, è basato sul fenomeno della variazione della resistenza elettrica dei conduttori al variare della temperatura. La misura della temperatura viene ricondotta ad una misura di resistenza (fig. 6.19c).

L'apparecchio si compone:

- un elemento sensibile: viene collocato nel punto in cui si vuole misurare la temperatura;

- una sorgente f.e.m. continua: genera la corrente che percorre il circuito;

- lo strumento: misura le variazioni di resistenza e fornisce i corrispondenti valori di temperatura.

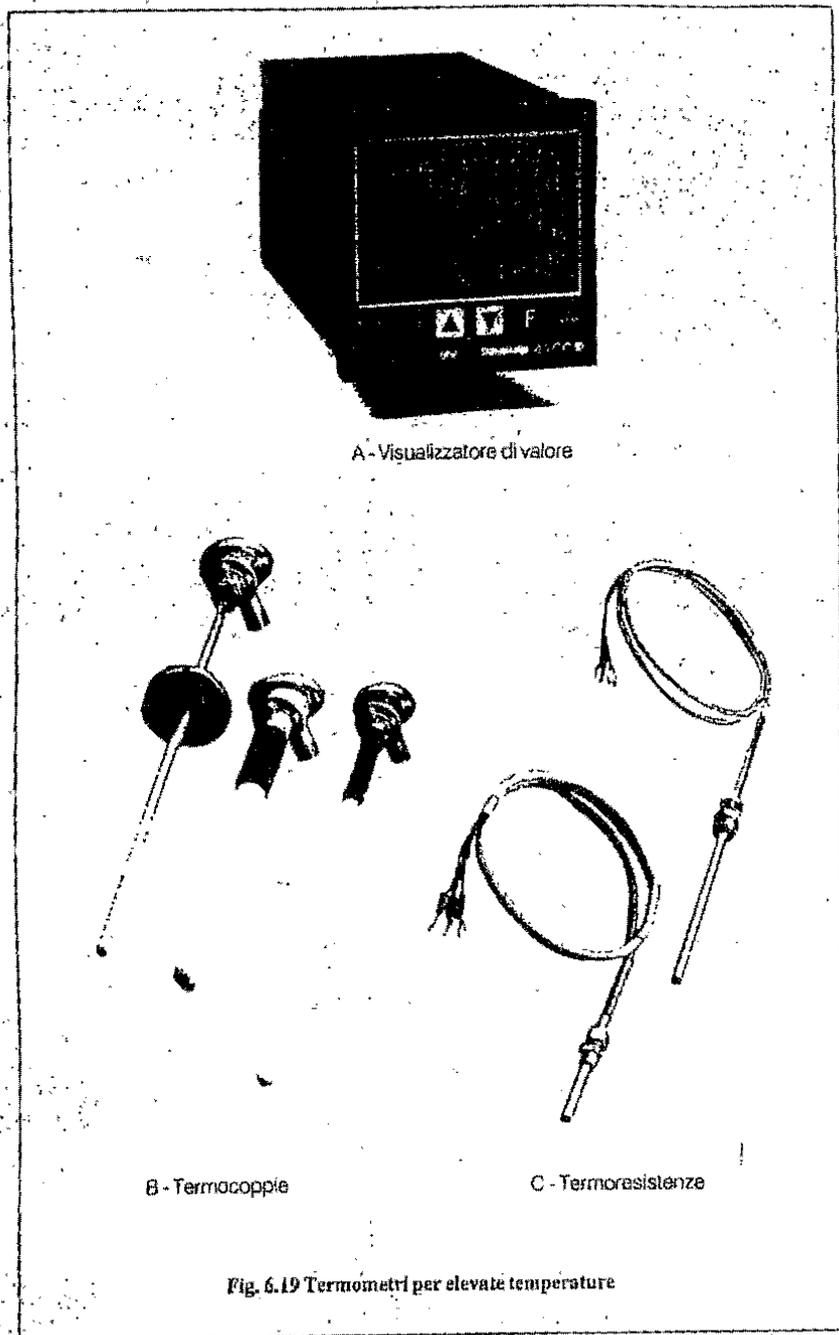
PIROMETRI

Sono utilizzati per temperature molto elevate che un termometro non riesce a determinare.

Pirometro ottico: è costituito da una lampada, nel quale il filamento viene reso incandescente mediante una resistenza. Alterando il valore della resistenza, varia la luminosità del filamento fino all'uguaglianza del colore del filamento stesso con quello del corpo, del quale si vuole determinare la temperatura. Il valore di corrente che attraversa il filamento, è misurato da un ampermetro, in cui la scala è tarata in gradi di temperatura.

Il filamento applicato varia in relazione al valore di temperatura da misurare.

Pirometro o termometro a raggi infrarossi: ha ormai completamente sostituito il vecchio pirometro ottico. Per meglio comprendere il principio di funzionamento è indispensabile un accenno ai concetti base dei principi fisici della radiazione elettromagnetica. Un termometro a radiazione rileva la temperatura di un corpo misurando la radiazione elettromagnetica che esso emette. Questa radiazione elettromagnetica è la risultante della energia contenuta in tutti i corpi e viene emessa in un campo molto ampio di lunghezze d'onda che va



dai raggi gamma attraverso i raggi X, i raggi ultravioletti, il visibile, l'infrarossi e le onde radio. Una rappresentazione grafica di questo campo di lunghezze d'onda emette in risalto la piccola banda degli infrarossi in cui si ha la relazione energia-temperatura. Questa banda si estende dalla parte iniziale dello spettro visibile fino all'infrarosso lontano con lunghezza d'onda di circa 20 μm . Focalizzando l'attenzione su questa banda di lunghezza d'onda è possibile coprire la maggior parte delle misure di temperatura nelle diverse applicazioni industriali. L'energia viene emessa anche all'esterno delle lunghezze d'onda di 0.2 e 30 μm , ma ad un livello così basso da essere trascurabile per i sensori attualmente disponibili. Pertanto possiamo considerare un termometro a radiazione uno strumento che quantifica questa energia e la esprime in una uscita elettrica proporzionale alla temperatura del corpo in misura (fig. 6.18).

Nella scelta del termometro occorre prestare la massima attenzione alla lunghezza d'onda di lavoro dello stesso ricordando la regola che indica di utilizzare sempre il termometro con la minor lunghezza d'onda possibile compatibilmente con il suo campo di misura. La misura si effettua portando lo strumento nella direzione del punto da misurare e focalizzandolo come fosse un cannocchiale. Il microprocessore che sovrintende al completo funzionamento dello strumento trasforma il segnale del sensore nel valore di temperatura del corpo in misura esprimendo in modo digitale, attraverso l'oculatore o in modo analogico e seriale attraverso apposite uscite.

PRESSODEPRIMOMETRI

Servono per rilevare pressioni o depressioni di solito inferiori all'unità.

Sono costituiti da un tubo di vetro a forma di U, più o meno aperto, contenente mercurio o acqua colorata e fissato ad un supporto graduato. Una estremità del tubo è aperta, l'altra è collegata ad una cannula metallica con un tubo flessibile (fig. 6.20). La scala è graduata in mm. e, in condizione di riposo, il livello del mercurio o dell'acqua corrisponde con lo zero. Collegando la cannula con la camera di combustione in presenza di:

- depressione, il mercurio o l'acqua sale nel ramo collegato alla cannula;
- pressione, il mercurio o l'acqua sale nel ramo opposto alla cannula.

Detta pressione o depressione viene determinata dalla differenza dei due livelli in millimetri di colonna d'acqua o mercurio.

Per pressioni o depressioni ancora minori, si utilizza uno strumento a tubo inclinato con scala a maggiore precisione (fig. 6.21).

Per determinare il tiraggio del camino viene anche utilizzato un apparecchio a lancetta corredato di una sonda con un tubo in acciaio. Il funzionamento dello strumento avviene tramite una membrana, che sollecitata in aspirazione o in pressione fa muovere una asta collegata alla lancetta che indica a sua volta nel quadrante i volumi di pressione o depressione.

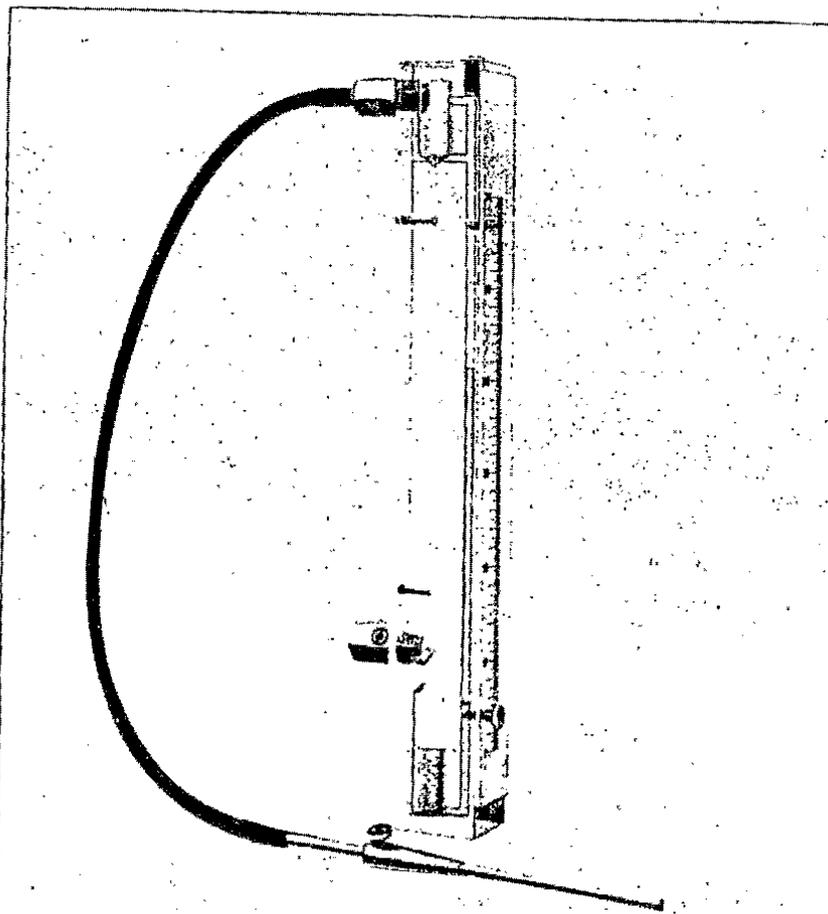


Fig. 6.20 Pressodeprimometro a tubo verticale

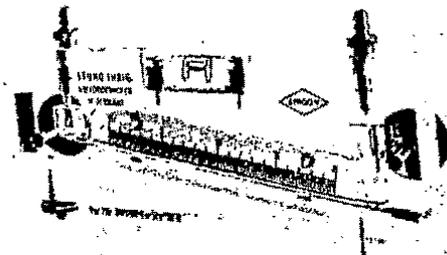


Fig. 6.21 Pressodeprimometro a tubo inclinato.

CONTATORE

Determina la quantità di acqua che fluisce attraverso una condotta (fig. 6.21).

Il contatore più diffuso è quello a mulinello elicoidale; è costituito da un tronco di tubazione cilindrico, da un mulinello ad alette elicoidali installato sull'asse geometrico del tronco, da un movimento rapportatore e da un dispositivo di lettura.

Il mulinello ha alette disposte secondo elicoidi retti, ed il corpo cilindrico centrale, cavo all'interno, è posto in rotazione dalla corrente liquida; la velocità angolare del mulinello è proporzionale alla velocità della corrente e quindi, nota e costante la sezione, alla portata; il numero di giri del mulinello è perciò proporzionale al volume del liquido transitato.

Mediante un opportuno treno di ingranaggi riduttori, il movimento del mulinello è trasmesso ad una serie di rulli numeratori che segnalano, su apposito quadrante, il volume defluito.

MISURATORI DI PORTATA VENTURI

La misura della portata entro condotte in pressione, viene effettuata con notevole precisione mediante strumenti a sistema Venturi.

Il fisico Venturi stabilì che, trascurando gli attriti, in un qualunque punto di una tubazione percorsa da un fluido, la somma della pressione statica e della pressione dinamica è costante e che nell'unità di tempo, per ogni sezione della tubazione, passa la stessa quantità di fluido.

Il sistema utilizza, per il rilievo della portata Q , la caduta di pressione Δh prodotta, a fluido in moto, da una strozzatura collocata nella tubazione (fig. 6.22-C).

Dovendo passare la stessa quantità di fluido aumenta la velocità e quindi la pressione dinamica. Per contro, poiché in una qualsiasi sezione pressione statica e dinamica sono costanti, diminuisce la pressione statica. Installando, prima e dopo la strozzatura un manometro differenziale, dalla differenza della pressione statica indicata si risale, mediante opportuna tabella in funzione della flangia utilizzata e del fluido o gas in esame, al valore della portata.

Sono costituiti da un organo di strozzamento (tubo Venturi o diaframma) inserito sulla condotta e da uno strumento di lettura della portata ad esso collegato con appositi tubetti e rubinetti di intercettazione e manovra.

Gli strumenti di lettura possono fornire l'indicazione della portata istantanea, la registrazione e la totalizzazione dei deflussi, la trasmissione a distanza delle misure effettuate, i telecomandi per impianti automatizzati.

Apposite norme (UNI) regolano la corretta installazione dei vari organi per ogni tipo di misura; nelle applicazioni in acquedotti occorre che la tubazione sia sempre piena d'acqua ed in carico, e che il punto più alto del complesso di misura, si trovi ad una quota opportunamente inferiore a quella piezometrica.

La registrazione si effettua su diagramma a nastro o a disco (giornaliero o settimanale).

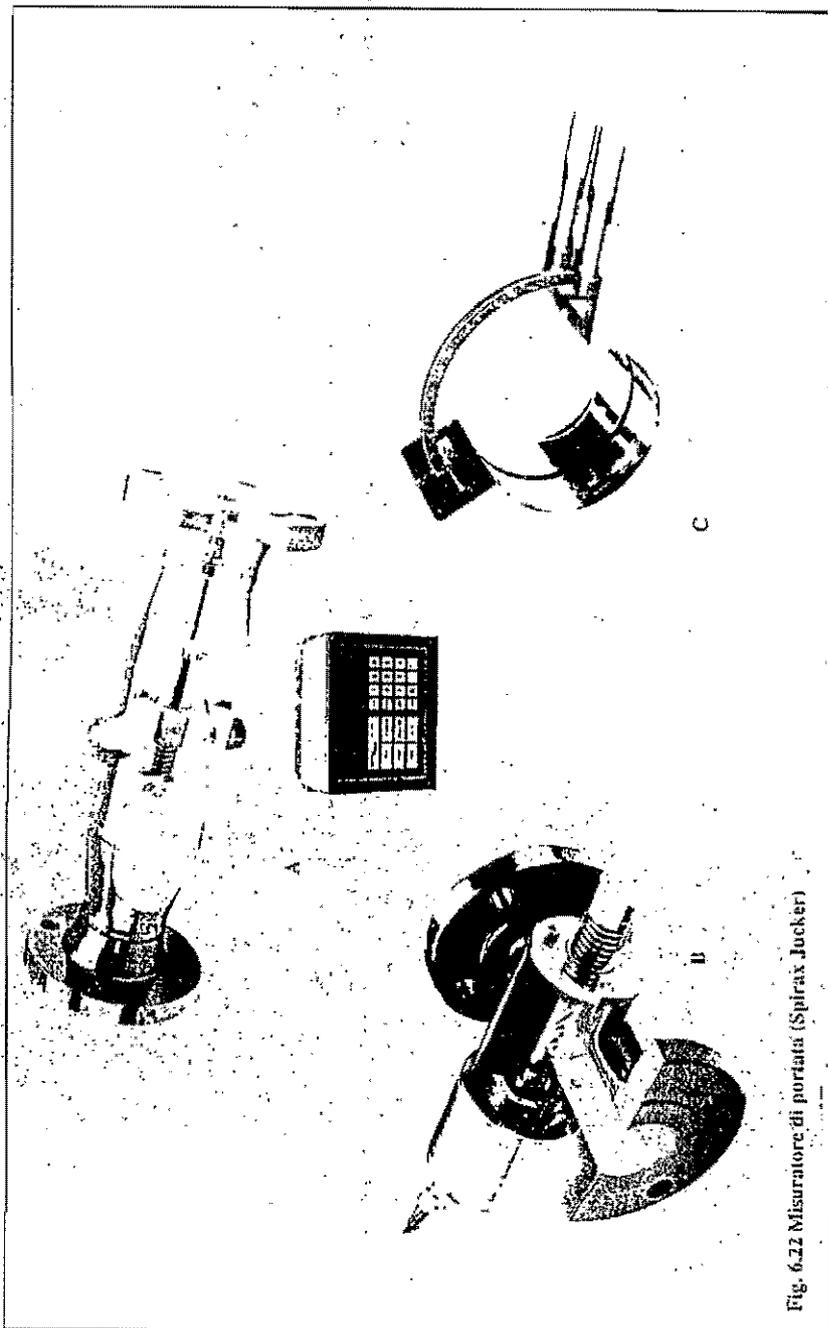


Fig. 6.22 Misuratore di portata (Spirax Jucker)

TRIANGOLO DI OSTWALD

Il diagramma di Ostwald consente di valutare l'eccesso o il difetto d'aria impiegato durante la combustione correlando quattro grandezze percentuali volumetriche: % CO₂, % O₂, % CO, % di eccesso d'aria; note due di queste grandezze si ottengono le restanti due. Per riuscire a costruire il diagramma è indispensabile:

- conoscere la composizione del combustibile;
- escludere la formazione di fuliggine durante la combustione;
- l'idrogeno del combustibile sia bruciato completamente;
- l'unico incombusto eventualmente presente sia ossido di carbonio.

Nel diagramma vengono riportati in ascissa la percentuale di CO₂ (il valore massimo equivale alla quantità stechiometrica ottenuta dalla combustione teorica del combustibile in esame) ed in ordinata la percentuale di O₂ (il valore massimo corrisponde alla concentrazione contenuta nell'aria). L'ipotenusa che unisce i due assi rappresenta l'insieme dei punti caratterizzati dalla completa combustione del carbonio contenuto nel combustibile con differenti eccessi d'aria; i valori di CO% costanti sono definiti da una serie di segmenti paralleli all'ipotenusa.

Mediante l'equazione:

$$\frac{CO_2}{CO_2, \max} + \frac{CO}{CO, \max} + \frac{O_2}{20.8} = 1$$

con CO = 0

$$\frac{CO_2}{CO_2, \max} + \frac{O_2}{20.8} = 1$$

è possibile tracciare in un piano cartesiano la retta corrispondente alla combustione.

Per separare la zona che indica la combustione in eccesso d'aria con quella in difetto occorre tracciare una linea dal vertice della CO₂ ad un punto sull'ordinata dell'O₂ ottenuto con la formula:

$$O_2 = \frac{CO_2, \max}{2 + \frac{CO_2, \max}{100}}$$

La linea corrisponde alle condizioni di combustione stechiometrica; tutte le linee parallele alla destra della linea tracciata indicano i valori d'eccesso d'aria costante, le linee parallele alla sinistra rappresentano i valori in difetto.

La scala graduata sull'ipotenusa esprime il rapporto fra il volume dell'aria teorica e dell'aria effettivamente impiegata ossia l/e. Le linee parallele all'ipotenusa indicano le percentuali di CO.

Dalla fig. 6.23 sono E la percentuale in volume di CO₂ e F quella di O₂ determinate mediante l'analizzatore dei fumi.

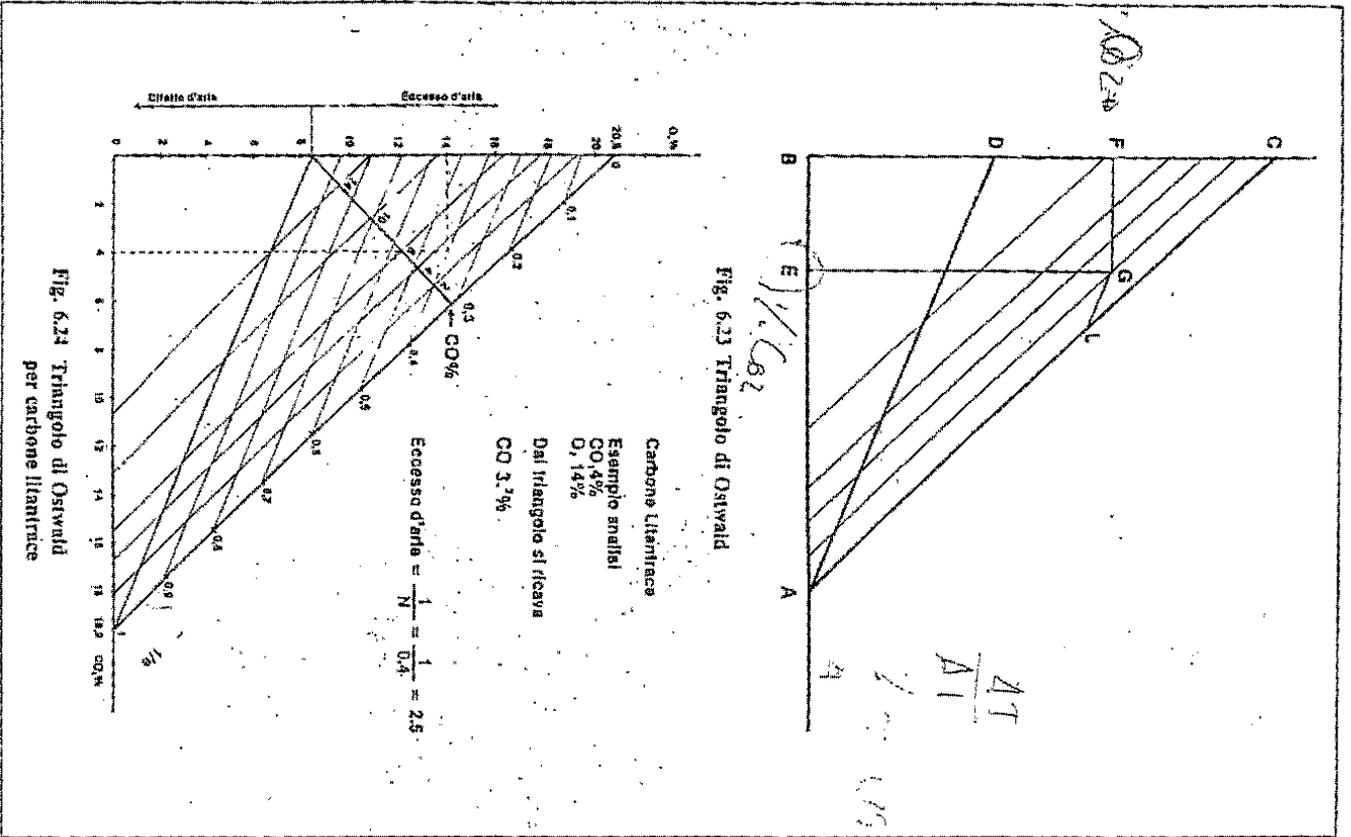
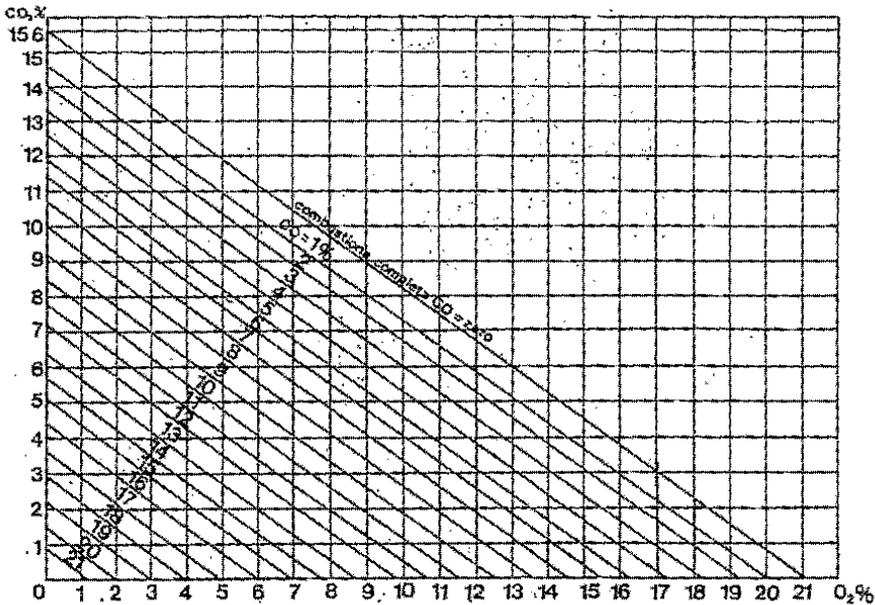


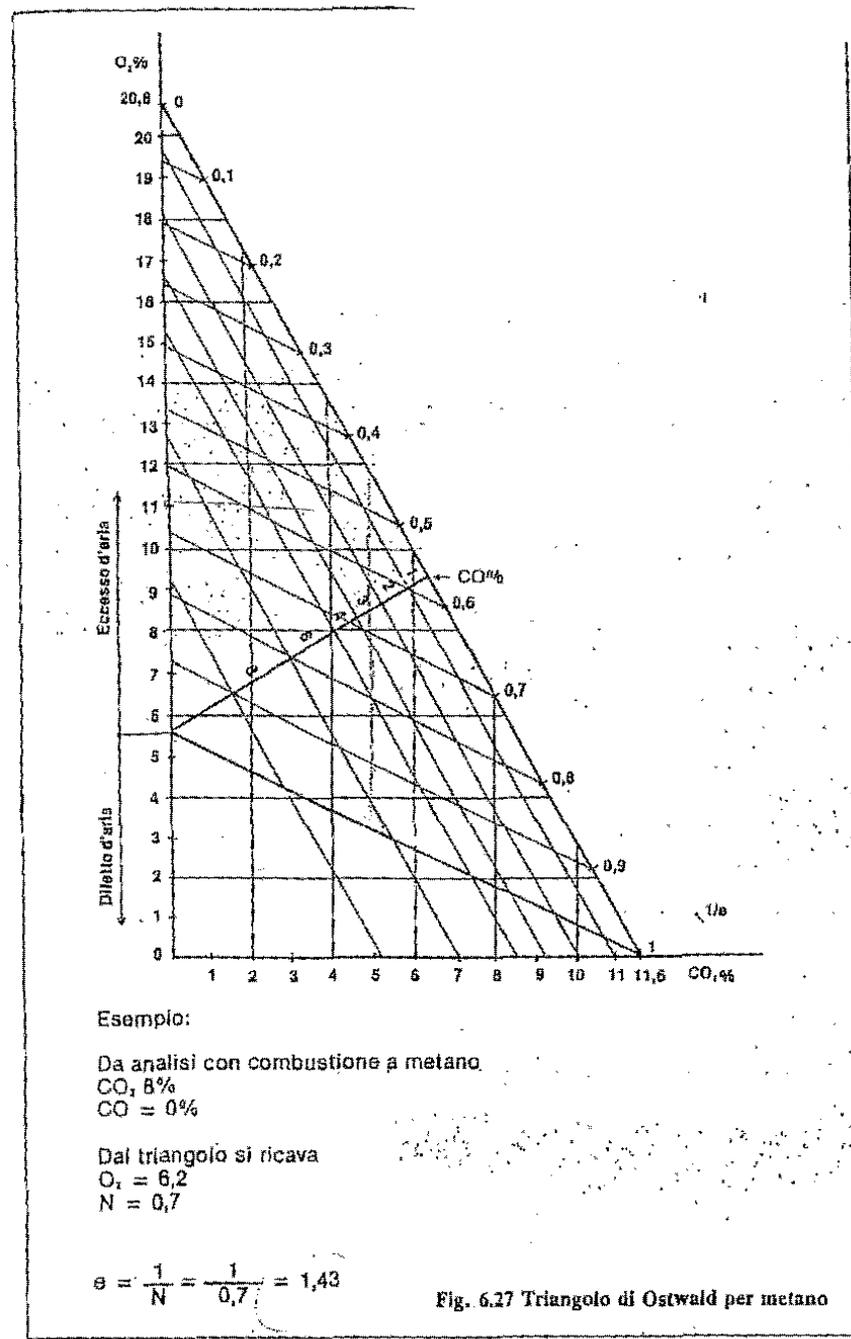
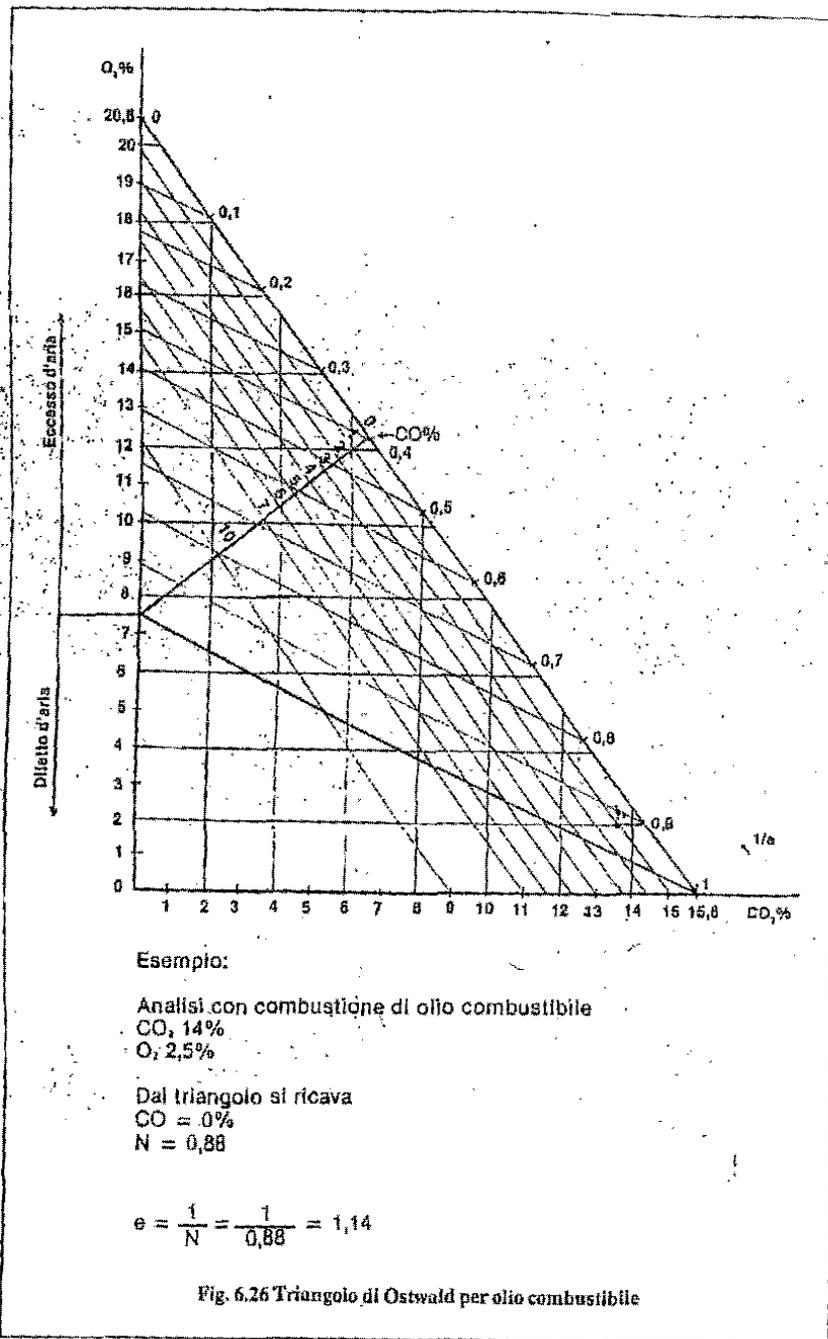
DIAGRAMMA DI OSTWALD PER LA DETERMINAZIONE DELLA PERCENTUALE DI "CO" NEI FUMI



Esempio:
CO₂ = 11%
CO = 0%
Dal diagramma si ricava O₂ = 6,2%

Determinando la percentuale di CO₂ e CO tramite il diagramma è possibile ricavare la percentuale di O₂, oppure misurando il CO₂ e l'O₂, si può ricavare il CO.

Fig. 6.25 Diagramma di Ostwald per olio combustibile



Dai corrispondenti valori sui cateti si tracciano le perpendicolari agli stessi; esse si incontrano nel punto G. Sulle ipotenuse dei cateti, si determina la percentuale di CO presente. Tracciata poi da G la parallela ad A-D si legge in L il numero d'aria N, il cui reciproco esprime l'eccesso d'aria e. Infatti

$$e = \frac{1}{N} = 1$$

ANALIZZATORE ELETTROFISICO

Il sistema di misura utilizza un ponte di Wheatstone con elementi sensibili in platino. Una termocoppia in rame - nichel (3) opportunamente collegata alla base del camino, consente di determinare la temperatura dei fumi.

Le grandezze rilevabili sono:

- percentuale di CO + H₂ nei fumi provenienti dalla combustione (1);
- percentuale di CO₂ nei fumi provenienti dalla combustione (2);
- temperatura dei fumi prodotti dalla combustione;
- pressione alla base del camino (4) e nella camera di combustione (5) mediante un pressodeprimometro a due colonne liquide.

E' dotato anche di un allarme ottico-acustico di massima percentuale di CO + H₂.

Le varie apparecchiature vengono tra loro collegate come in fig. 6.28.

UNITÀ PER IL CONTROLLO DELLA COMBUSTIONE

La cellula di misura della percentuale di CO₂, è costituita da un blocco metallico diviso in quattro camere in ciascuna delle quali è teso un filo di platino. Due camere sono percorse dai fumi (camere di misura), le restanti vengono collegate all'atmosfera (camere di riferimento) (fig. 6.29). I quattro filamenti di platino, collegati a ponte, sono alimentati da un generatore di corrente costante. In assenza di CO₂ i quattro filamenti assumono una temperatura uniforme ed il ponte è in equilibrio. Al crescere della percentuale di CO₂, la conducibilità termica dei fumi diminuisce e di conseguenza la temperatura dei filamenti aumenta. Il ponte si squilibra ed eroga una tensione che è direttamente proporzionale alla percentuale di CO₂.

La cella per la misura degli incombusti (CO + H₂) consta di due camere, nelle quali sono disposti due filamenti di lega di platino. Una camera è percorsa dai fumi, opportunamente mescolati con aria, mentre la seconda, che serve da riferimento, è connessa all'atmosfera.

I due filamenti, collegati a ponte, sono alimentati in modo tale da assumere una temperatura relativamente elevata. Se nei fumi sono presenti incombusti, avviene intorno al filamento una combustione catalitica, che ne innalza la temperatura. Il ponte si squilibra ed eroga una tensione proporzionale al tenore di CO + H₂.

Le tensioni erogate dai ponti di misura vengono lette a distanza mediante

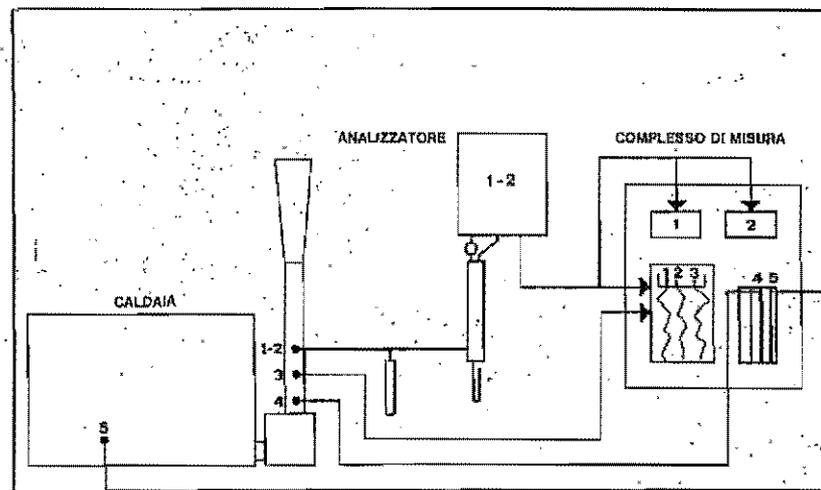


Fig. 6.28 Analizzatore elettrofisico

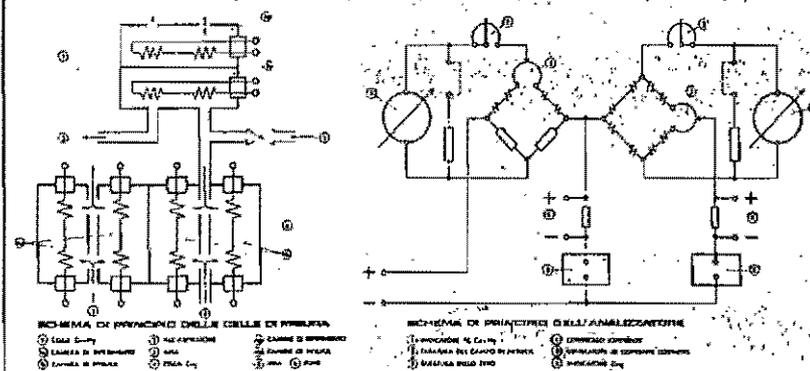


Fig. 6.29 Unità per il controllo della combustione

strumenti indicatori o registratori con scala graduata direttamente in % di CO_2 o di $\text{CO} + \text{H}_2$.

UNITÀ ANALISI PORTATILE DI GAS COMBUSTI

È un analizzatore a microprocessore costituito da una unità di analisi, dallo strumento indicatore e da una sonda di prelievo e misura da introdurre nel condotto fumi (fig. 6.30).

L'unità di analisi è equipaggiata con celle elettrochimiche per la misura dei prodotti di combustione: O_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 . La cella è composta da tre elementi principali; il catodo, l'anodo e l'elettrolita, proprio come una pila. In questa situazione la cella ha un suo potenziale, quindi una sua corrente propria. Ipotizziamo di analizzare l'ossigeno presente nei prodotti della combustione. I fumi, aspirati da una pompa, entrano nella cella, l'ossigeno va a combinarsi sull'anodo, fa variare la corrente che circola all'interno della cella e questa corrente varia proprio in funzione del tenore di ossigeno che la cella sta "sentendo". Opportunamente trasformato questo segnale indica la concentrazione di ossigeno presente nei fumi. Anche se con elementi diversi all'interno, si consideri il funzionamento delle celle CO , NO , NO_2 , SO_2 , analogo a quello dell'ossigeno. Lo strumento consente inoltre la misura delle temperature dell'aria comburente e dei fumi, del tiraggio, del contenuto di CO_2 , delle perdite di rendimento e dell'eccesso d'aria. L'unità è inoltre equipaggiata con una pompa di aspirazione dei gas combustibili ad avviamento sia manuale che automatico, di accumulatori interni atti ad alimentare anche lo strumento e di alimentatore esterno.

Lo strumento elabora i segnali provenienti dal sistema di misura, esegue calcoli su di essi e li visualizza su uno schermo con display.

La sonda di prelievo e misura dei gas combustibili è corredata di una termocoppia chromel/alumel per la misura della temperatura e di una doppia presa d'aria per l'analisi dei gas e la misura del tiraggio. È completa di cavo e tubi flessibili per il collegamento alla unità di analisi.

Il microprocessore interno, oltre a memorizzare tutti i parametri ed effettuare i calcoli, compie un monitoraggio continuo del sistema di misura con funzione di autodiagnosi per segnalare eventuali malfunzionamenti.

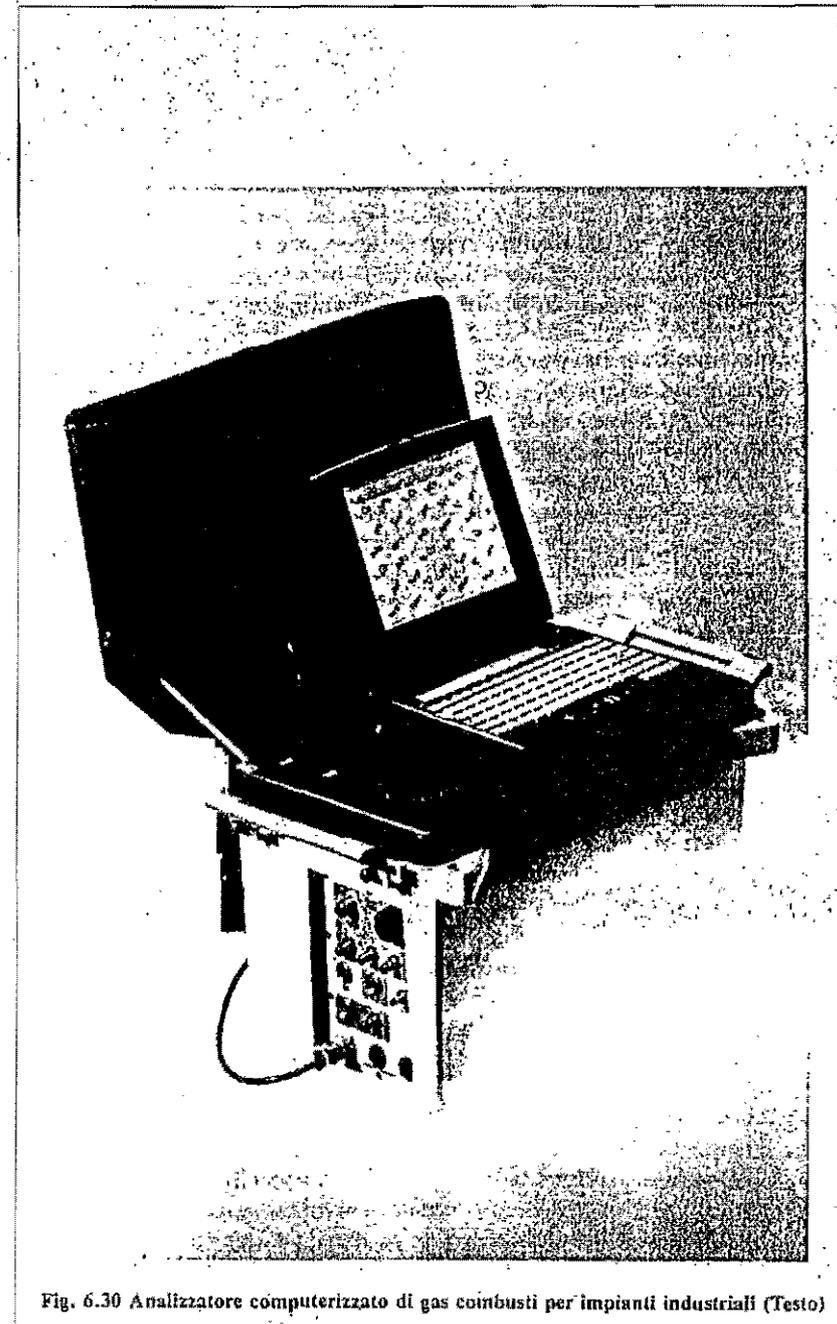


Fig. 6.30 Analizzatore computerizzato di gas combustibili per impianti industriali (Testo)

CAP. 7 GRIGLIE E BRUCIATORI

Per trasformare acqua in vapore il generatore viene corredato di speciali apparecchiature per la combustione del combustibile.

La combustione dei combustibili solidi si effettua su griglie che hanno la funzione di sistemare il combustibile e consentire il passaggio e la distribuzione dell'aria di combustione.

Per combustibili liquidi, gassosi e solidi polverizzati si utilizzano bruciatori che consentono una intima miscelazione tra il combustibile stesso e l'aria comburente.

7.1 FOCOLARI PER COMBUSTIBILI SOLIDI

I focolari per combustibili solidi sono generalmente costituiti da una griglia, un cinerario e un altare.

La griglia a caricamento manuale più semplice consta di una o più serie di barotti in ghisa, sostenuti da opportune traverse. Vengono applicati indifferentemente barotti:

- a sezione trapezoidale, più sottili nella zona inferiore per favorire il passaggio dell'aria e lo scarico delle ceneri delle scorie,
- a superficie, costituiti da blocchi sfalsati fra loro, per favorire una maggiore suddivisione dell'aria.

La griglia viene leggermente inclinata verso il fondo e collegata sul davanti ad una piastra in ghisa, definita comunemente davanzale o avanfocolare, per sostenere ed essiccare il carbone fresco.

Nella parte posteriore viene costruito un altare in mattoni refrattari, per delimitare la camera di combustione e rallentare la velocità dei fumi.

L'esigenza di mantenere costante lo strato di carbone e la richiesta di potenzialità sempre maggiori senza inutile dispendio di manodopera, hanno reso indispensabile la produzione di apparecchi automatici a caricamento continuo.

Vengono suddivisi in:

- focolari con griglia rotante
- focolari sottoalimentati
- griglia a doppio movimento alternato
- focolari con griglia a gradino ad avanzamento meccanico.

- GRIGLIA ROTANTE
- SOTTOALIMENTATI
- A DOPPIO MOVIMENTO
ALTERNATO

FOCOLARI CON GRIGLIA ROTANTE

La griglia, costituita da un tappeto di barotti di forme diverse distanziati l'uno dall'altro da un paio di mm. per il passaggio dell'aria di combustione, viene azionata da un motore elettrico a velocità variabile (fig. 7.1).

Sulla graticola stessa, si adagia il carbone in uno strato mantenuto uniforme a mezzo di un apposito regolatore, in relazione al carico e alla qualità del combustibile.

Il caricamento della griglia avviene attraverso una apposita tramoggia.

L'aria sale attraverso i barotti spinta da un ventilatore applicato a valle dei preriscaldatori.

Ceneri e scorie finiscono in tramogge sottostanti in fondo alla griglia ed a seconda delle condizioni di esercizio vengono convogliate attraverso un opportuno meccanismo che frantuma i blocchi per favorirne l'espulsione.

Una griglia rotante permette di:

- utilizzare qualsiasi combustibile anche ridotto in minutissime particelle. Inoltre il possibile recupero della quantità dispersa negli spazi sottostanti, elimina quasi totalmente le perdite di carbone incombusto.

- ottenere un alto rendimento della combustione in quanto è possibile raggiungere una combustione perfetta con il minor eccesso d'aria e la massima percentuale di CO, nei prodotti della combustione. E' evidente, che nella prima zona della griglia, dove avviene la gasificazione del combustibile, occorre una pressione ed una quantità d'aria maggiore; nelle zone successive se ne regola la pressione e la quantità sino a sopprimerle nell'ultima zona.

- possibilità di adeguarsi in funzione della produzione di vapore;
- automatizzare la pulizia dei barotti sempre fissati con ampio gioco e ribaltabili.
- regolare la velocità in avanzamento delle griglie.

Per regolare il fuoco si agisce sullo spessore del carbone. Se lo strato è elevato, l'aria incontra nel passaggio una resistenza, che diminuisce il tiraggio e la combustione (formazione di CO).

In presenza invece di un piccolo strato, l'aria in eccesso raffredda il fuoco, e riduce la temperatura. Anche la regolazione dell'aria, il tiraggio e la velocità di avanzamento della griglia, incidono notevolmente sulla regolazione del fuoco che deve essere chiaro e brillante. Se, al contrario, la fiamma s'avvicina al bleu la combustione non è completa e vi è formazione di CO.

FOCOLARI SOTTOALIMENTATI

Il carbone viene spinto dall'altro che lo precede, sale dal basso verso l'alto uniformemente all'aria indispensabile per la combustione. Utilizzando detto sistema il carbone fresco si riscalda e i prodotti volatili contenuti si liberano e bruciano al contatto con lo strato superiore (fig. 7.2).

Sono generalmente:

- a coclea: il carbone contenuto in una opportuna tramoggia, mediante

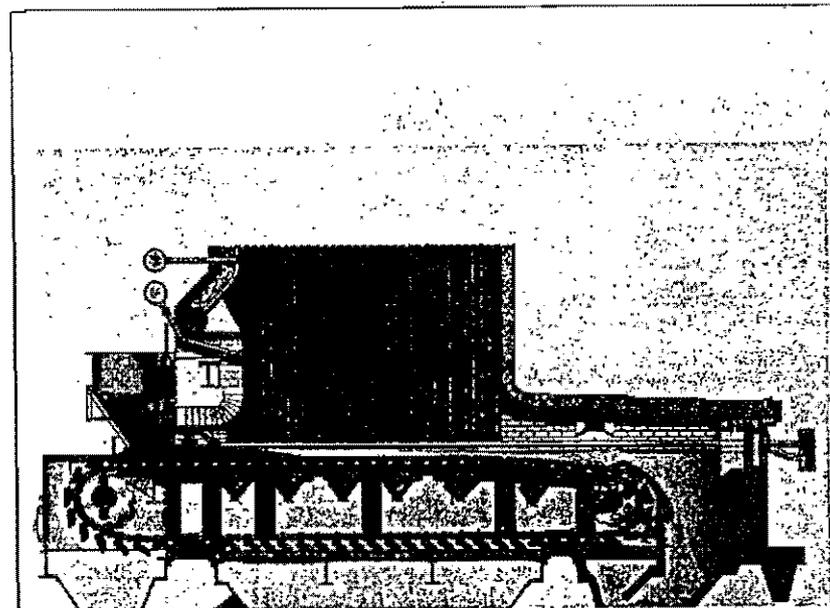


Fig. 7.1 Griglia rotante

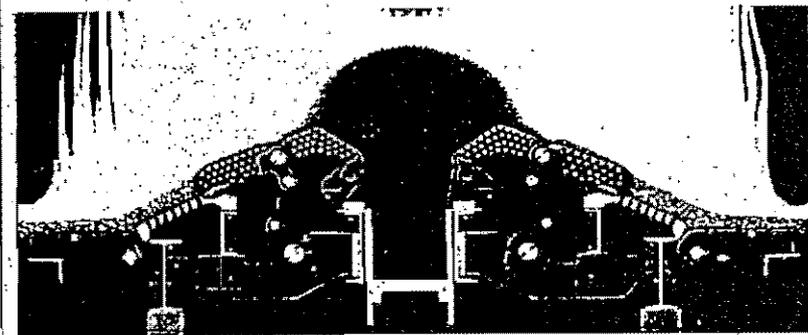


Fig. 7.2 Focolari sottoalimentati

una coclea, giunge alla apertura praticata al centro del focolare e viene spinto nella parte superiore. L'andamento della combustione varia in funzione dell'emisso d'aria e della velocità della coclea, generalmente azionata da un motore elettrico;

a pistone: una griglia inclinata è suddivisa in due parti eguali da un canale centrale al quale affluisce il carbone. Un pistone esterno imprime alla parte inferiore del canale un movimento alternativo. Al canale sono applicati alcuni rilievi che convogliano il carbone sulle griglie provviste di un lento movimento oscillatorio mediante opportuni alberi che consentono lo scarico delle scorie nel cinerario.

GRIGLIA A DOPPIO MOVIMENTO ALTERNATO

E' stata realizzata per la combustione di prodotti a basso potere calorifico.

Il combustibile viene immesso nella tramoggia di alimentazione posta sulla parete frontale sopra l'alimentatore (fig.7.3).

Il fondo della tramoggia è costituito da un alimentatore che, con il suo movimento, assicura un costante flusso di combustibile sulla griglia. La velocità dell'alimentatore è graduabile in modo continuo.

La chiusura verso l'esterno è ottenuta con il materiale che si trova nella tramoggia. Se ciò non bastasse, vi è una serranda di chiusura, posta sopra la tramoggia di alimentazione.

Il combustibile, grazie al movimento alternato dei barrotti, avanza su tutta la superficie della griglia dove avviene la combustione che si completa, alla fine della griglia stessa, quando il combustibile cade nel pozzetto scorie.

La combustione viene agevolata dal calore irraggiato dalle pareti refrattarie della camera di combustione e dal calore ceduto dai gas caldi prodotti.

Lo spazio sotto la griglia è suddiviso in varie zone separate l'una dall'altra, dove viene insuflata l'aria di combustione; la quantità è regolabile zona per zona a seconda delle esigenze e del tipo di rifiuti.

Oltre alla quantità d'aria è possibile regolare anche la velocità di avanzamento della griglia.

Il particolare movimento dei barrotti e la loro forma consentono di far avanzare il combustibile e di rivoltarlo costantemente, esponendo tutte le parti all'aria comburente, ottenendo così una efficace combustione.

Un ulteriore dispositivo per assicurare un'ottima combustione è il salto intermedio posto a metà griglia. Le masse compatte eventualmente contenute, cadendo dalla parte superiore della griglia su quella inferiore, si rompono e bruciano più facilmente.

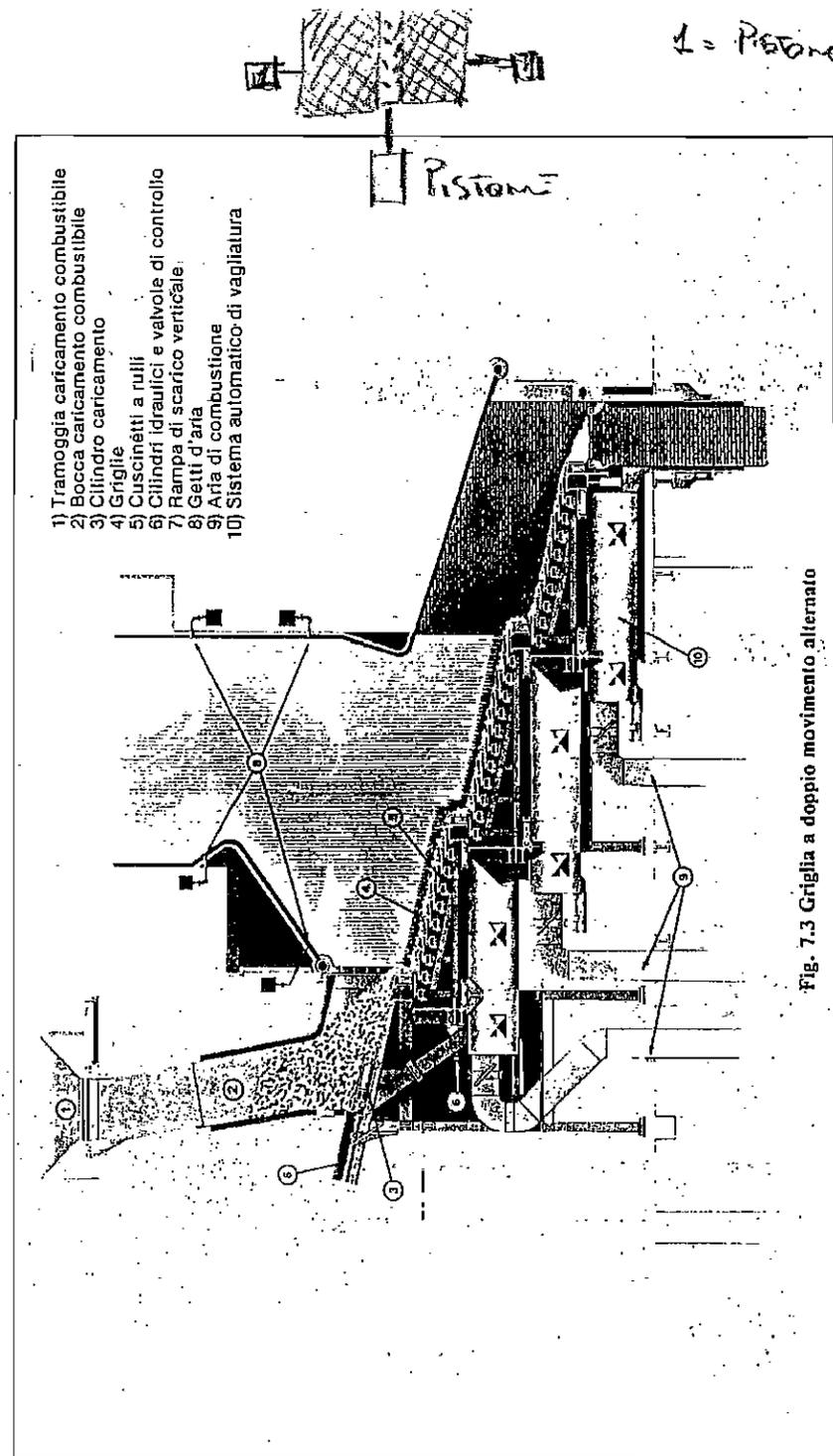


Fig. 7.3 Griglia a doppio movimento alternato

FOCOLARI CON GRIGLIA A GRADINO AD AVANZAMENTO MECCANICO

Un motore aziona un cilindro collegato ad opportuni manovellismi, che trasmettono ai gradini un movimento alternativo.

La presenza di barotti in ghisa speciale racchiusi in scatola, determina un piano inclinato lungo il quale scende il combustibile. Nello spazio compreso fra una scatola e l'altra viene applicato un opportuno lamierino in acciaio ondulato che respinge il combustibile caduto per gravità lungo la griglia.

Il movimento del combustibile determina all'interno dello strato una corrente circolatoria che favorisce la combustione di tutte le parti che possono legarsi al comburente.

Le ceneri vengono convogliate sopra alcune piastre dove partecipano ad una eventuale possibile combustione e inviate in un pozzetto di estrazione a tenuta d'acqua che preclude infiltrazioni di aria nociva.

Sono griglie particolarmente indicate in presenza di combustibili ricchi di ceneri.

7.2 BRUCIATORI

ELEMENTI PRINCIPALI

Il bruciatore è costituito da un insieme di componenti che consentono, svolgendo la loro funzione in fasi successive e concorrenti, di iniziare il processo di ossidazione del combustibile (combustione), proseguirlo e controllarlo nelle caratteristiche principali.

Per potersi definire ottimale deve quindi:

- avere un ampio campo di regolazione;
- nebulizzare finemente il combustibile;
- miscelare il combustibile con la minor quantità di ossigeno indispensabile;

- innescare la combustione in un breve intervallo di tempo;

- iniettare la miscela in camera di combustione, con forma e dimensione in relazione alla camera stessa;

- sviluppare la combustione nella posizione ottimale senza danneggiare la testa del bruciatore o il fondo della camera di combustione;

- essere corredato di tutti i dispositivi di sicurezza.

I componenti principali che concorrono a costituire un bruciatore sono:

- linea combustibile
- linea aria
- linea elettrica di controllo
- linea di accensione.

- Bruciatore Centrifugo
- Bruciatore a Funzione Automatica
- Bruciatore a Regolazione Meccanica (ad Esclusione)

12 Gasolio
25-30 Olio Comb

LINEA COMBUSTIBILE

Ha il compito di preparare il combustibile (liquido o gassoso), che viene miscelato con l'aria da cui attingere O_2 , per iniziare il processo di ossidazione dopo il necessario innesco (scintilla).

I componenti variano a seconda del combustibile utilizzato (liquido e gassoso) e della potenzialità dell'impianto. I combustibili liquidi vengono suddivisi in relazione alla viscosità (gasolio - olio combustibile).

La linea gasolio in un bruciatore è solitamente costituita da:

- filtro in rete: per trattenere le impurità;
- pompa ad ingranaggi (fig. 7.4a) installata:
 - a) in asse con il motore del ventilatore per piccole e medie portate;
 - b) con apposito motore per alte portate.

La rotazione di due ingranaggi (fig. 7.4b), separati da una mezza luna (separatore di flusso), genera un flusso costante, capace di aspirare il combustibile dal serbatoio mantenendolo in pressione (12 bar per il gasolio, 25 - 30 bar per l'olio combustibile) nell'anello di mandata e far passare la restante parte, che non viene nebulizzata dall'ugello nel condotto di ritorno.

La pompa ha sempre una portata 2 - 10 volte superiore a quella dell'ugello.

lettrovalvola: è un dispositivo automatico che consente la chiusura o l'apertura del combustibile (fig. 7.5). Può essere normalmente aperta, quando la valvola, in posizione di riposo, consente il passaggio del combustibile; normalmente chiusa, quando in posizione di riposo non permette alcun passaggio. Vengono talvolta utilizzate elettrovalvole a tre vie che, diseccitate, consentono il ritorno del combustibile; con gasolio vengono installate quelle normalmente chiuse (N.C.).

- ugello polverizzatore: polverizza il combustibile e lo rende per quanto possibile simile ad un gas, per meglio miscelarlo con l'aria comburente (fig. 7.7).

È importante conoscere di un ugello la portata e l'angolo di polverizzazione.

Il tipo di cono di polverizzazione dipende direttamente dalla costruzione dei canali tangenziali nella testa di ripartizione, dall'orifizio, dalla piacca di polverizzazione e dalle dimensioni della camera di rotazione.

L'olio combustibile o il gasolio attraversa il filtro applicato soltanto su ugelli con portata inferiore a 40 Kg/h e viene iniettato nell'ugello dalla pressione impressa dalla pompa.

L'energia di pulsazione non basta per la nebulizzazione, deve essere trasformata in energia di turbolenza, introducendo il combustibile sotto pressione nei canali tangenziali dalla testa di dispersione (distributore). In questo modo si crea nella camera di rotazione, un movimento rotatorio dell'olio combustibile. A quel punto dall'ugello, circa la metà dell'energia di pulsazione viene trasformata in energia di turbolenza. La forza centrifuga che

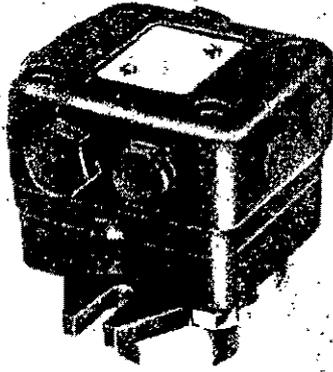


Fig. 7.4a
Pompa ingranaggi

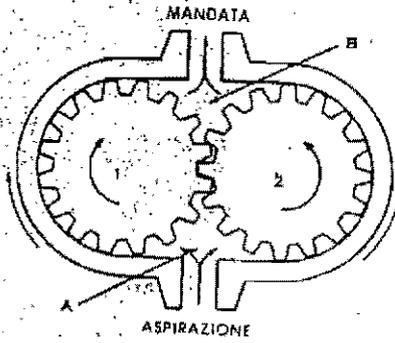


Fig. 7.4b
Sezione pompa ingranaggi

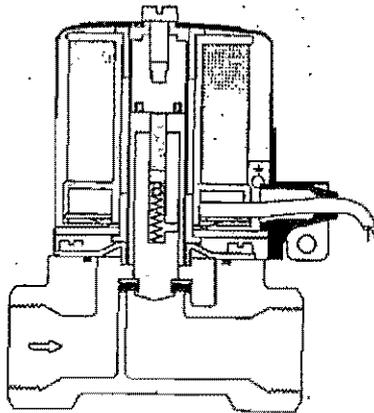
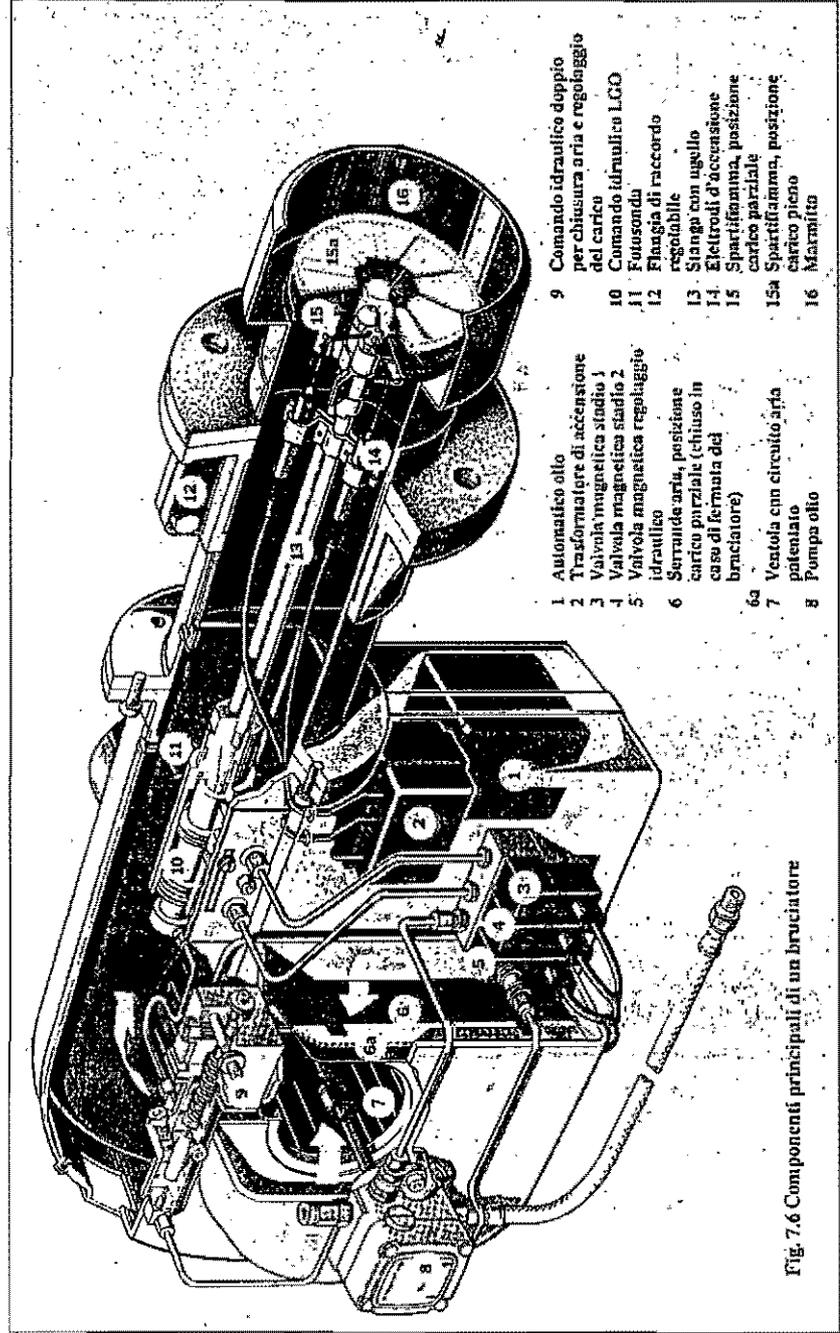


Fig. 7.5
Elettrovalvola



- | | | | |
|----|---|-----|--|
| 1 | Automatico otto | 9 | Comando idraulico doppio per chiusura aria e regolaggio del carico |
| 2 | Trasformatore di accensione | 10 | Comando idraulico LGO |
| 3 | Valvola magnetica stadio 1 | 11 | Fusosonda |
| 4 | Valvola magnetica stadio 2 | 12 | Flangia di raccordo regolabile |
| 5 | Valvola magnetica regolaggio idraulico | 13 | Stanga con ugello |
| 6 | Serrande aria, posizione carico parziale (chiuso in caso di fermata del bruciatore) | 14 | Elettrodi d'accensione |
| 6a | Serrande aria, posizione carico parziale | 15 | Spartifiamma, posizione carico pieno |
| 7 | Ventola con circuito aria patentato | 15a | Spartifiamma, posizione carico pieno |
| 8 | Pompa olio | 16 | Marmitta |

Fig. 7.6 Componenti principali di un bruciatore

agisce sul combustibile, lo spinge contro la parete dell'apertura dello ugello dal quale il combustibile stesso lascia l'apertura di polverizzazione sotto forma di tulipano. Nella fase seguente, il combustibile forma una pellicola a forma di cono che si allunga fino al momento in cui si spezza in goccioline di varie dimensioni.

Il cono d'olio può essere del tipo pieno, vuoto, semivuoto o universale (fig. 7.8a) con angolo da 30° a 90° (fig. 7.8b).

- Cono pieno (Tipo "S"): consente di ottenere una fiamma lunga e concentrata. Sono indicati soprattutto per bruciatori ad aria soffiata per una distribuzione omogenea delle goccioline all'interno del cono di polverizzazione.

- Cono vuoto (Tipo "H" + "PH"): vengono utilizzati per portate ridotte e dove la concentrazione della fiamma si trova all'esterno della fiamma. Una fine polverizzazione permette una buona accensione.

- Semivuoto (Tipo "SS"): si ottiene un aumento della percentuale di goccioline di piccole dimensioni con un aumento del rendimento di combustione. Si ottiene una accensione senza problemi e una fiamma silenziosa.

- Universale (Tipo "Q"): la distribuzione delle goccioline nel cono dell'ugello a bassa portata tende ad essere vuoto. Vengono utilizzati quando si hanno problemi con ugelli a cono vuoto o pieno.

LINGA OLIO COMBUSTIBILE

- Cono pieno (Tipo S) consente di ottenere una fiamma lunga e concentrata. Sono indicati soprattutto per bruciatori ad aria soffiata per una distribuzione omogenea delle goccioline all'interno del cono di polverizzazione.

- Cono vuoto (Tipo H-PH); vengono utilizzati per portate ridotte e dove la concentrazione della fiamma si trova all'esterno della fiamma. Una fine polverizzazione permette una buona accensione.

- Semivuoto (Tipo SS): si ottiene un aumento della percentuale di goccioline di piccole dimensioni con un aumento del rendimento di combustione. Si ottiene una accensione senza problemi e una fiamma silenziosa.

- Universale (Tipo Q): la distribuzione delle goccioline nel cono dell'ugello a bassa portata tende ad essere vuoto. Vengono utilizzati quando si hanno, mediante cavi scaldanti mantengono la propria temperatura a 40°C, mentre la pompa funziona regolarmente per evitare eventuali tappi di combustibile.

Questa pompa viene installata solo in presenza di elevate potenzialità e viscosità.

- filtro a rete autopulente: serve a trattenere le impurità sospese; viene talvolta preriscaldato e regolato alla temperatura di 40°C.

- pompa ad ingranaggi di polverizzazione: simile alla pompa installata con gasolio e con prevalenza di 25-60 bar.

- preriscaldatore: consente al combustibile di giungere all'ugello con viscosità

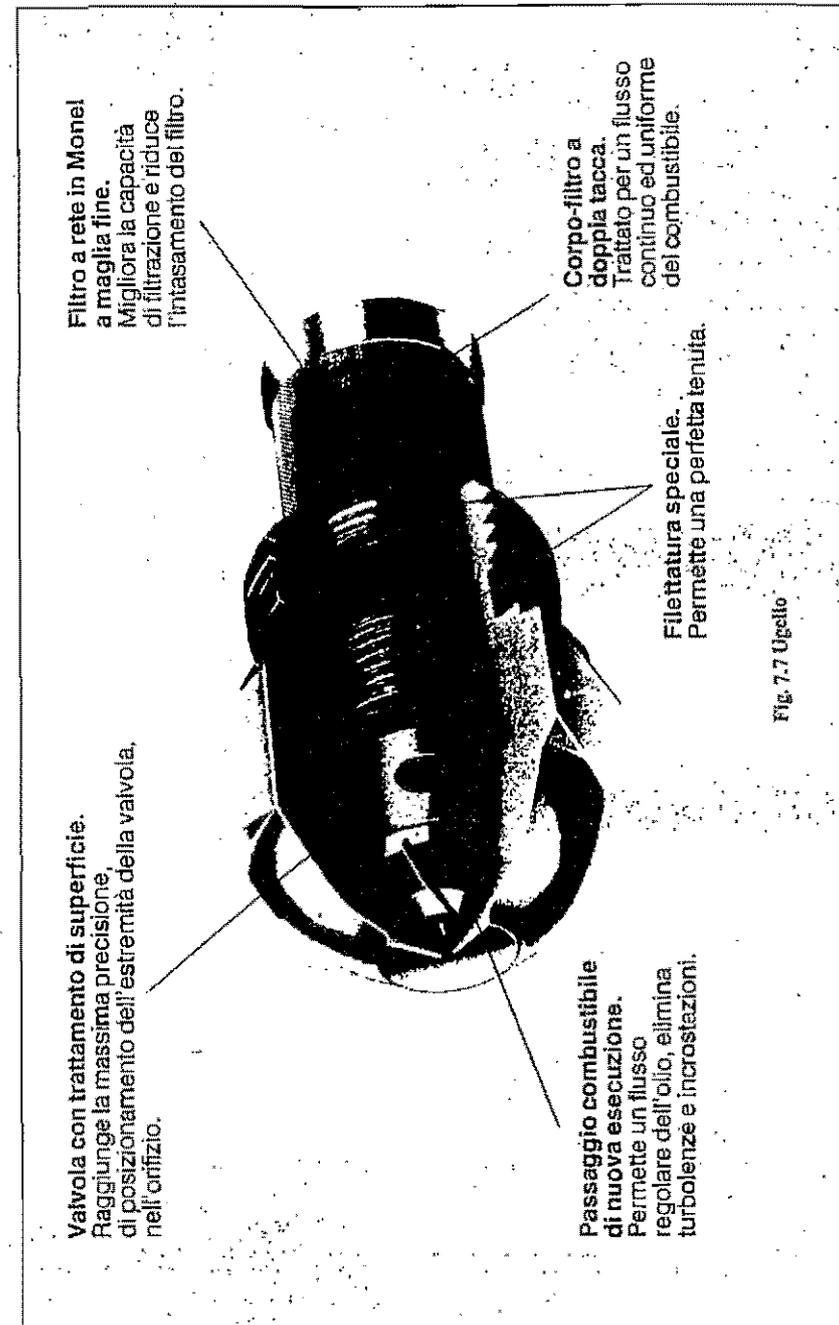


Fig. 7.7 Ugello

Portate - Angolazioni di spruzzo - Modello di spruzzo



Tipo S

Da 1,14 a 15,0 litri all'ora (da 0,30 GPH a 4 GPH).
Ugello a cono pieno, realizzato per ottenere uno spruzzo uniforme, fine, a nebbiolina per tutta la sua superficie.
Tuttavia la nebulizzazione non è così accentratata e fine come quella dell'ugello di tipo H.



Tipo H

Da 1,51 a 6,50 litri all'ora (da 0,40 GPH a 2,25 GPH).
Modello di spruzzo a cono cavo, finemente nebulizzato. L'ugello è stato realizzato per l'impiego con tipi d'aria a cono cavo, ne risulta un focolare pulito, silenzioso, ed efficace.
Si consiglia l'impiego di questo ugello in fase sperimentale su bruciatori quando non sono note le caratteristiche del flusso d'aria.



Tipo Q

Da 1,89 a 11,4 litri all'ora (da 0,50 GPH a 3,00 GPH).
Ugello di realizzazione speciale con tipo di spruzzo particolare da impiegarsi laddove i tipi S e H non offrono risultati soddisfacenti. Si dimostra utilissimo nella soluzione di problemi critici di combustione poiché riduce i focolari rumorosi e le pulsazioni.



Tipo SS

Da 17 a 189 litri all'ora (da 4,50 GPH a 50,00 GPH).
Ugello per scopi multipli, nelle portate maggiori che emette un tipo di spruzzo a cono semipieno. Con l'aumentare della portata dell'ugello il tipo di spruzzo assume forme più cave.
Si consiglia questo ugello, come il tipo PH, per tutti gli impieghi che richiedono grosse portate.



Tipo PH

Da 9,50 a 189 litri all'ora (da 2,50 GPH a 50, GPH).
Il tipo di spruzzo è simile al tipo H, tuttavia lo spruzzo stesso risulta relativamente più cavo. Eseguito per soddisfare le grandi portate per impieghi di olii carburanti leggeri e pesanti, sempre che si richieda una nebulizzazione fine.

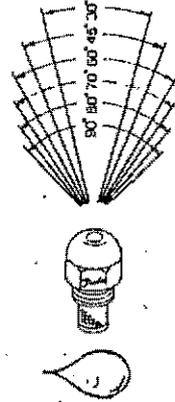


Fig. 7.8a Portate-Angolazioni di spruzzo - Modello di Spruzzo (A.N. Commerciale)

Fig. 7.8b Angoli di polverizzazione

1,6 - 1,8°E. Per una corretta polverizzazione è indispensabile che un olio combustibile fluido (3 + 5°E a 50°C) arrivi all'ugello a 80-90°C, quello denso (15 + 20°E a 50°C) a 120-300°C.

Per ottenere suddetti valori, occorre preriscaldare il fluido ad una temperatura maggiore, causa l'inevitabile raffreddamento lungo il percorso dall'ultimo preriscaldatore all'ugello.

- elettrovalvola: vedi linea con gasolio.

- ugello: ha medesimo principio di funzionamento dell'ugello per gasolio.

A detta linea, viene accoppiata nelle grosse unità una seconda linea per consentire in qualsiasi momento il regolare funzionamento del bruciatore.

La linea combustibile per i bruciatori a gas è estremamente semplice in quanto si compone di una o più elettrovalvole (omologate di classe A), valvola di sfiato, filtro, stabilizzatore di pressione omologato C.E. (fig. 7.10A) e tutti gli accessori previsti dalle attuali tabelle UNI - CIG N. 8041-8042 (fig. 7.9 a.b.c.).

Il gas esce dalle elettrovalvole di controllo, entra in appositi orifizi anulari nella parte del bruciatore direttamente esposto nella camera di combustione del generatore e viene miscelato dall'aria comburente.

LINEA ARIA

Alimentazione dell'aria

Un componente essenziale del bruciatore è il gruppo motoventilatore. Rappresenta la "pompa dell'aria" con funzione analoga a quella che la "pompa della nafta" ha per i combustibili liquidi. Nei bruciatori di media e grande potenza (superiori a 3.000.000 Kcal/h) l'aria di combustione viene di solito fornita di un'apposito gruppo motoventilatore autonomo, situato in prossimità della testa di combustione (testata) alla quale viene collegata da una condotta metallica.

Per bruciatori piccoli e medi, con potenzialità unitaria fino a 3.000.000 di Kcal/h, il bruciatore può essere in versione monoblocco. In questo caso il corpo del bruciatore è costituito proprio dal "gruppo motoventilatore" di tipo centrifugo, composto da una soffiante monostadio a turbina, azionata da un motore elettrico trifase coassiale a 2800 + 2900 g/min, contenuta in una cassa (chiocciola).

I limiti della potenzialità di un bruciatore sono costituiti soprattutto dalla sua capacità di pompare aria, cioè del suo motoventilatore.

Parlando della reazione chimica di combustione si è constatato che, per bruciare in condizioni reali (cioè in eccesso d'aria controllato) del combustibile, occorrono 11 + 15 Nm³ d'aria per ogni Kg di combustibile (o Nm³ di metano).

Il ventilatore deve quindi "pompate" una quantità d'aria sufficiente per bruciare tutto il combustibile previsto. Si definisce "portata" (oraria) di un motoventilatore il numero di normal metri cubi (Nm³) di aria che riesce a

Fig. 7.9a Schema esemplificativo di installazione di un bruciatore per bassa pressione di potenza termica nominale Q_n 100kW

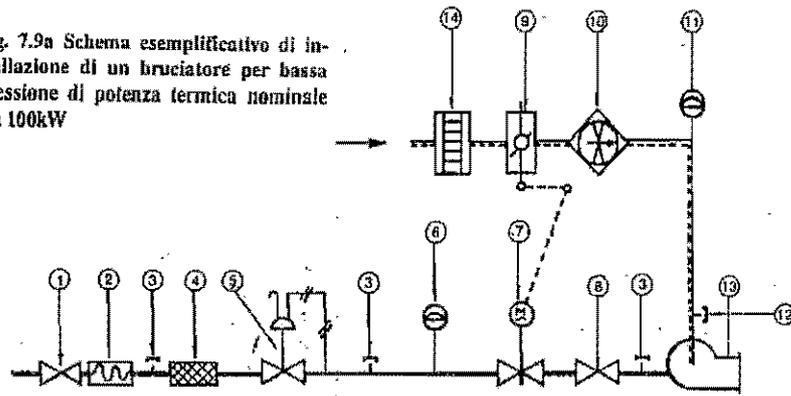


Fig. 7.9b 1° Schema esemplificativo di installazione di un bruciatore per bassa pressione di potenza nominale 100 kW Q_n 350kW

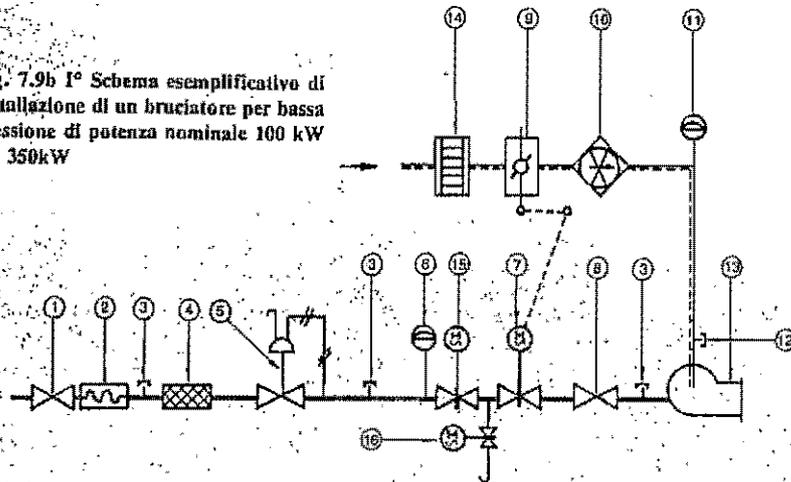
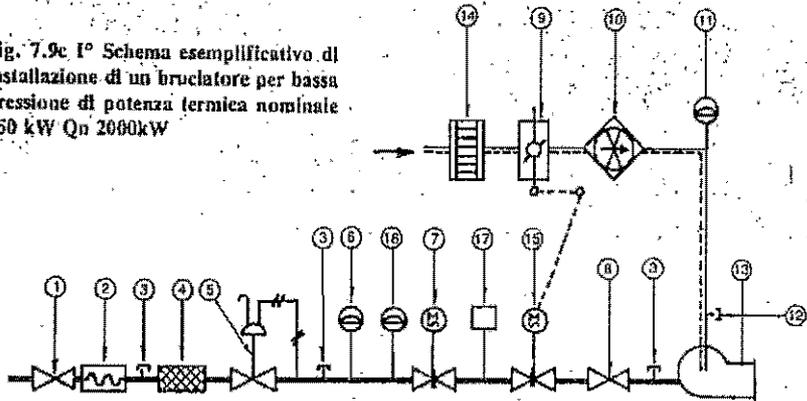


Fig. 7.9c 1° Schema esemplificativo di installazione di un bruciatore per bassa pressione di potenza termica nominale 350 kW Q_n 2000kW



LEGENDA FIG. 7.9a - 7.9b - 7.9c

Fig. 7.9a

1) Rubinetto di intercettazione - 2) Giunto antivibrante - 3) Presa pressione gas per la misura della pressione - 4) Filtro gas - 5) Regolatore pressione gas - 6) Organo di controllo della minima pressione gas - 7) Elettrovalvola di sicurezza classe A. Tempo di chiusura T_c 1 s - 8) Eventuale regolatore di portata gas - 9) Serranda regolazione aria, funzionante in dipendenza funzionale con l'elettrovalvola (7) - 10) Ventilatore aria - 11) Organo di sicurezza della minima pressione aria - 12) Presa pressione aria - 13) Testa di combustione - 14) Griglia o rete di protezione o altro dispositivo che non consenta il passaggio di una sfera di diametro maggiore di 12 mm

Fig. 7.9b

1) Rubinetto di intercettazione - 2) Giunto antivibrante - 3) Presa pressione gas per la misura della pressione - 4) Filtro gas - 5) Regolatore pressione gas - 6) Organo di controllo della minima pressione gas - 7) Elettrovalvola di regolazione classe A o B. Tempo di chiusura T_c 1s. Potenza d'avviamento 10 a 40% della potenza nominale - 8) Eventuale regolatore manuale di portata gas - 9) Serranda regolazione aria, funzionante in dipendenza funzionale con l'elettrovalvola (7) - 10) Ventilatore aria - 11) Organo di sicurezza della minima pressione aria - 12) Presa pressione aria - 13) Testa di combustione - 14) Griglia o rete di protezione o altro dispositivo che non consenta il passaggio di una sfera di diametro maggiore di 12 mm - 15) Elettrovalvola di sicurezza classe A, tempo di chiusura T_c 1s - 16) Elettrovalvola di sfiato in atmosfera, classe A o B, aperta a bruciatore fermo

Fig. 7.9c

1) Rubinetto di intercettazione - 2) Giunto antivibrante - 3) Presa pressione gas per la misura della pressione - 4) Filtro gas - 5) Regolatore pressione gas - 6) Organo di controllo della minima pressione gas - 7) Elettrovalvola di sicurezza classe A. Tempo di chiusura T_c 1s - 8) Eventuale regolatore manuale di portata gas - 9) Serranda regolazione aria, funzionante in dipendenza funzionale con l'elettrovalvola (15) - 10) Ventilatore aria - 11) Organo di sicurezza della minima pressione aria - 12) Presa pressione aria - 13) Testa di combustione - 14) Griglia o rete di protezione o altro dispositivo che non consenta il passaggio di una sfera di diametro maggiore di 12 mm - 15) Elettrovalvola di regolazione classe A. Apertura lenta a più stadi. Tempo di chiusura T_c 1 s. Potenza d'avviamento 10 a 40% della potenza nominale - 16) Organo di controllo della massima pressione gas - 17) Dispositivo di prevenzione delle fughe interne di gas.

pompate in un'ora. La sola "portata" non è comunque sufficiente a definire le caratteristiche di un ventilatore e dell'aria "pompata".

Altra caratteristica importante è la "prevalenza" o "pressione statica" che si misura con un "manometro".

A conclusione il ventilatore è una "pompa", che assorbe energia al motore elettrico che lo trascina e la trasferisce all'aria, imprimendo un moto a tutte le sue particelle.

Il movimento impresso "nel senso del moto" (velocità di avanzamento) serve ad alimentare la portata. Più l'aria esce veloce, maggiore è la quantità di Nm³/h che defluiscono alla combustione.

Il movimento impresso "nel senso inverso al moto" del combustibile (turbolenza, urti tra le particelle) rappresenta una "riserva di energia" che il ventilatore trasferisce all'aria (misurabile come pressione) e che è indispensabile per:

- vincere la resistenza del percorso dal ventilatore alla fiamma;
- vincere la contropressione di caldaia cioè la resistenza che incontrano i "fumi" nel percorso dalla camera di combustione al camino, attraverso focolare, tubi di fumo, cassa fumi (caldaie pressurizzate);
- attivare la miscelazione fra l'aria e le particelle di combustibile, essenziale per una buona combustione.

LINEA ELETTRICA DI CONTROLLO:

Si compone essenzialmente di programmatore o centralina, teleruttori, relais, fusibili, rilevatori di fiamma (vedi paragrafo 7.6), ecc.. La parte essenziale di un bruciatore è il programmatore. Rappresenta il vero cervello pensante in quanto consente al bruciatore stesso, di svolgere il programma di accensione e di funzionamento in fasi successive e concorrenti.

Nei bruciatori a metano, la pericolosità del combustibile richiede la massima perfezione del programma per eseguire le verifiche della:

- pressione dell'aria comburente;
- qualità dell'arco elettrico di accensione;
- pressione di min. e max del combustibile;
- tenuta delle elettrovalvole;
- autoverifica di tutti i circuiti di sicurezza prima di ogni avviamento;
- segnalazione a quadro delle cause del blocco;
- autoverifica continua del rilevatore di fiamma.

LINEA ACCENSIONE:

Consente di innescare automaticamente la combustione o di accendere la fiamma pilota mediante una scintilla elettrica.

Si compone:

- trasformatore: consente di trasformare la normale tensione di linea (220-



Fig. 7.10A Stabilizzatore di pressione (Giuliani Anello)

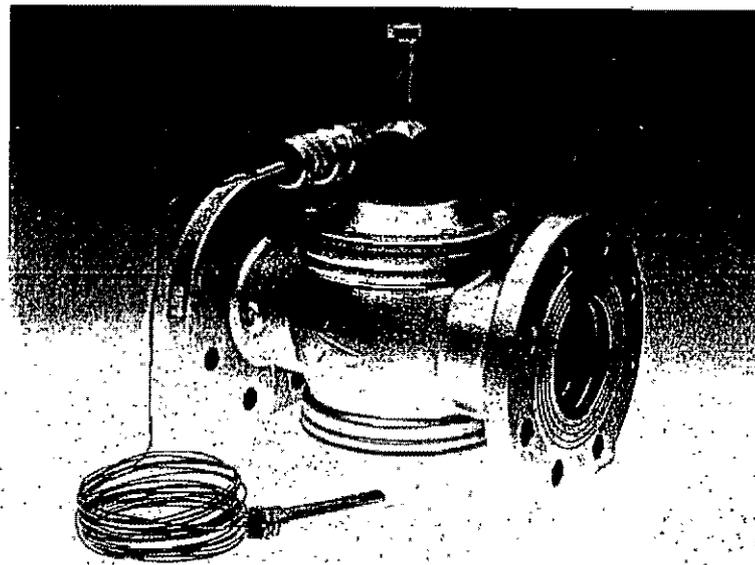


Fig. 7.10B Valvola di sicurezza linea combustibile a gas (Giuliani Anello)

380 V) in corrente ad alta tensione (8 - 20 KV) con intensità di 20 mA;

- **elettrodi**: sono costituiti da tondo (\varnothing 4mm) in acciaio al tungsteno - molibdeno con una parte centrale isolata per consentire il fissaggio, una parte piegata, affinché sia possibile avvicinarli all'ugello (distanza media 4 mm) e sviluppare la scintilla di innesco. L'altra estremità viene filettata (4 MA) o corredata di appositi terminali Rajah. Nella fase di installazione degli elettrodi occorre prestare attenzione onde evitare che:

- la scintilla non si scarichi sul deflettore o sull'ugello;
 - gli elettrodi non vengano investiti dal getto di polverizzazione;
 - l'isolamento non subisca danni nella fase di fissaggio.
- **fiamma pilota**: permette di innescare la combustione in un breve intervallo di tempo anche in presenza di bruciatori ad elevata potenzialità.

7.3 BRUCIATORI (O POLVERIZZATORI) PER OLIO COMBUSTIBILE

Vengono suddivisi in base al sistema di polverizzazione.

BRUCIATORE CENTRIFUGO

Apparecchio che, nonostante abbia avuto in passato largo impiego, viene oggi abbandonato in quanto caratterizzato da una grossolana nebulizzazione e necessità di una camera di combustione completamente rivestita di mattoni refrattari.

È costituito da una coppa tronco-conica aperta verso il focolare, calettata ad un perno cavo, e fatto ruotare ad una velocità di $3000 \div 4000$ giri al minuto.

Il combustibile dalla linea, spinto dalla pompa, attraverso il perno arriva alla coppa che ruota ad alta velocità. Per effetto della forza centrifuga, il combustibile arriva all'esterno creando un velo che, investito dall'aria primaria (circa 1/3) spinta dal ventilatore calettato sul perno stesso, convoglia il combustibile ed il comburente in camera di combustione.

Da una apertura anulare esterna entra l'aria secondaria, necessaria per una perfetta combustione. La regolazione si effettua agendo sulla valvola del combustibile e dell'aria. Ha una portata max di 2800 Kg/h e un campo di regolazione di 1/4 in meno rispetto alla portata nominale.

BRUCIATORE CON FLUIDO AUSILIARIO

L'energia necessaria per la polverizzazione è fornita dal vapore o dall'aria che uscendo dall'ugello subisce una rapida espansione.

Il vapore viene iniettato nella pre-camera dell'ugello e si emulsiona con l'olio combustibile. La miscela vapore-olio, per effetto del contenuto termico del vapore aumenta la propria temperatura, diminuisce la viscosità a valori inferiori ad 1 °F ed uscendo dall'ugello si nebulizza finemente. La miscela esce ad alta velocità, dall'estremità esposta in camera di combustione, attraverso due o più fori (il numero varia in relazione alla portata) opportunamente angolati in funzione della forma e della dimensione della camera di combustione. L'aria

primaria, spinta dal ventilatore mediante il deflettore, crea una turbolenza tale da favorire la miscelazione e si combina successivamente con aria secondaria.

Quando il fluido ausiliario è costituito da aria compressa, la pressione è di $0.2 \div 2$ bar; viceversa con vapore preferibilmente secco o surriscaldato è indispensabile una pressione $1 \div 2$ bar superiore a quella del combustibile.

Si possono bruciare senza eccessivi inconvenienti anche oli ad elevata viscosità. Non sempre vengono impiegati perché consumano circa 0,1 Kg di vapore per ogni Kg di combustibile; ad elevate portate sono inoltre rumorosi.

Quando nella fase di accensione non è disponibile vapore viene utilizzata aria compressa. L'impiego del vapore determina una migliore nebulizzazione, in quanto viene sfruttato il contenuto termico e il salto di pressione.

BRUCIATORI A POLVERIZZAZIONE MECCANICA

La polverizzazione avviene mediante trasformazione della pressione, impressa dalla pompa ad ingranaggi, in velocità mediante l'ugello (fig. 7.11, 7.12). La portata varia in funzione:

- della pressione di lavoro (la variazione non deve alterare la qualità della nebulizzazione);

- del tipo di ugello.

La forma della fiamma dipende:

- dall'angolo di nebulizzazione dell'ugello;
- dalla pressione del combustibile;
- dalla portata e prevalenza del ventilatore;
- dalla regolazione del deflettore;
- dalla scelta del bocaglio.

Il combustibile viene compresso da una pompa ad ingranaggi alla pressione di $20 \div 60$ bar, immesso in uno o più ugelli e fatto passare attraverso canali ricavati tangenzialmente sulla testa conica dove parte dell'energia potenziale (circa il 50%) viene trasformata in energia cinetica. Successivamente giunge in camera di turbolenza ed attraverso il foro centrale dell'ugello in camera di combustione nebulizzato.

In funzione delle dimensioni della camera di combustione viene scelto il tipo di ugello da utilizzare; in relazione all'ugello si ottiene la forma del cono d'olio.

I bruciatori ad olio combustibile a polverizzazione meccanica possono essere:

- a regolazione di pressione diretta sulla pompa;
- a regolazione di pressione sulla pompa ed all'ugello.

Nei primi l'olio combustibile, compresso da una pompa, viene spinto nell'ugello ed iniettato nebulizzato in camera di combustione. Poiché la portata è proporzionale alla pressione, il foro sulla testa dell'ugello determina la portata e la valvola posta sulla mandata della pompa determina la pressione scaricando parte del combustibile e valle della pompa stessa.

Il campo di regolazione, che varia in funzione del tipo di ugello, non deve essere inferiore del 30% della portata nominale; la pressione non deve essere inferiore ai 10 bar. Il ristretto campo di regolazione ne consente l'utilizzo solo

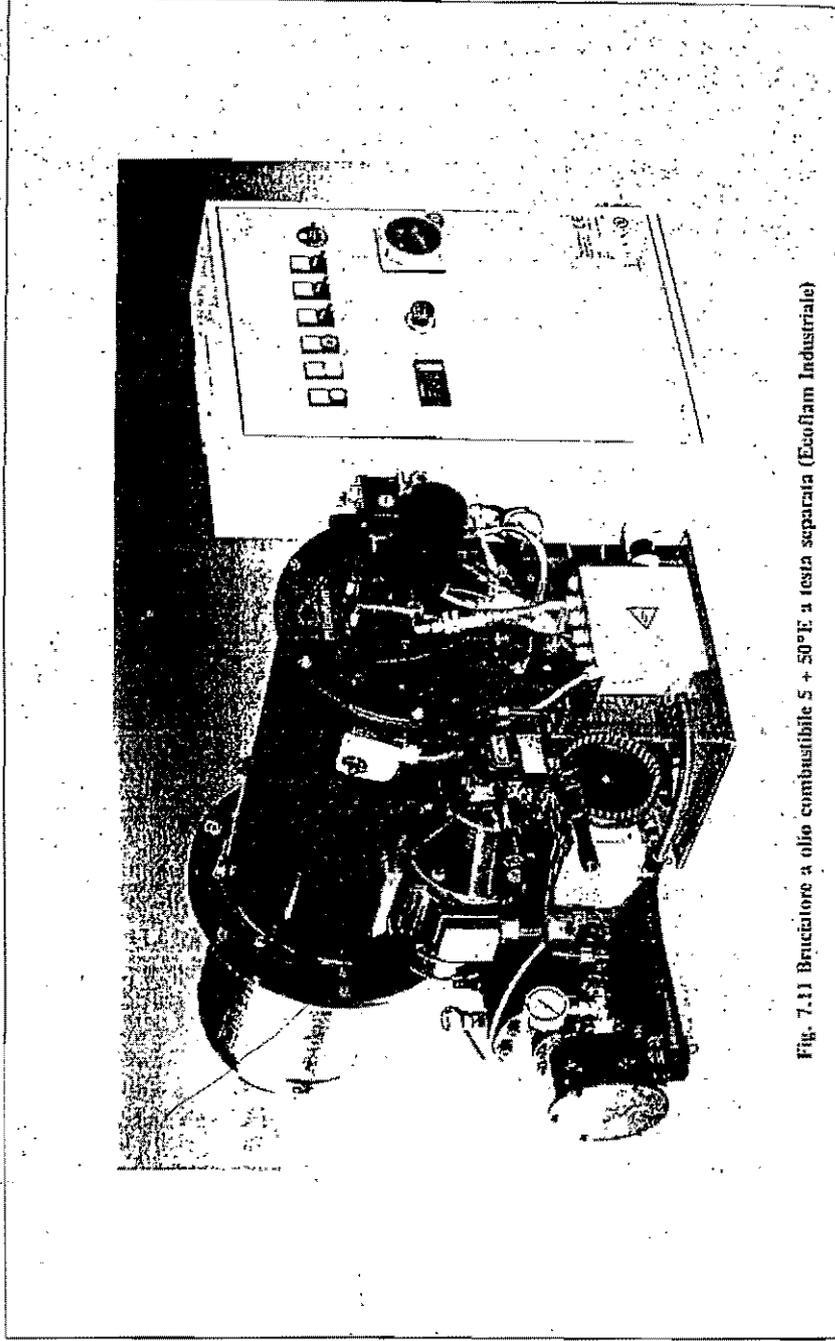


Fig. 7.11 Bruciatore a olio combustibile 5 + 50°E: a testa separata (Esosiam Industriale)

269



Fig. 7.12 Bruciatore ad olio combustibile a polverizzazione meccanica versione modulare (Baltur)

per piccole portate e/o impieghi monostadio.

I bruciatori a ritorno dell'ugello vengono impiegati in campo industriale per portate medio alte in bruciatori, a più fiamme o modulanti. Il combustibile mediante la pompa arriva attraverso le scanalature dell'ugello alla camera di turbolenza. Una parte di combustibile viene iniettata in camera di combustione ed il rimanente ritorna sull'aspirazione della pompa attraverso la valvola di regolazione o lo spicco posto sull'ugello. Nell'intero arco di regolazione la pressione all'ugello rimane costante. Il bruciatore ha un campo di regolazione da $1 \div 50$ e pressione di lavoro fino a 60 bar.

Per meglio comprendere il funzionamento di questi bruciatori analizziamo dettagliatamente le fasi di un bruciatore a due fiamme e di uno modulante.

Nei bruciatori a due fiamme (fig. 7.13), quando la temperatura dell'olio ha raggiunto il valore sufficiente, si chiude il termostato di minima, alla chiusura del quale, se gli altri termostati (regolazione e sicurezza) lo consentono, la corrente arriva all'apparecchiatura che inserisce, secondo il programma prestabilito, i dispositivi componenti il bruciatore.

L'inserzione del motore del bruciatore avviene contemporaneamente a quella del trasformatore di accensione.

Il motore mette in rotazione la ventola, che effettua la preventilazione con aria della camera di combustione, e contemporaneamente la pompa, che determina una circolazione dell'olio caldo nei condotti espellendo, attraverso il ritorno, l'olio freddo ed eventuale gas.

Questa fase di "prelavaggio" e "preventilazione" ha una durata di 25 secondi ed ha termine con la chiusura dell'elettrovalvola n° 1 (aperta nella posizione di riposo) che interrompe il libero scarico dell'olio verso la cisterna.

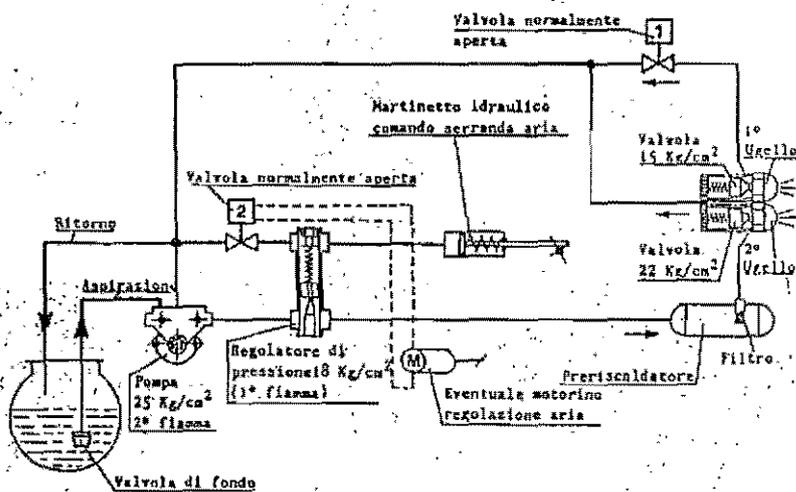


Fig. 7.13 Schema di principio per bruciatore due fiamme di olio combustibile (Baltur)

Alla chiusura dell'elettrovalvola fa seguito l'aumento della pressione nei condotti di mandata.

Quando tale pressione raggiunge il valore di 15 Kg/cm² si apre la valvola meccanica che si trova nel gruppo polverizzatore consentendo all'olio di raggiungere l'ugello della 1° fiamma e, da questo uscire in camera di combustione finemente polverizzato. La pressione si stabilizza al valore di circa 18 Kg/cm² perché a questo valore è tarato il regolatore di pressione della 1° fiamma.

Appena l'olio polverizzato esce dall'ugello viene incendiato dalla scarica agli elettrodi che è già presente dalla partenza del motore.

Durante l'accensione della 1° fiamma la serranda dell'aria è mantenuta nella posizione registrata in funzione della quantità di combustibile bruciato, dalla molla di richiamo.

Se compare regolarmente la fiamma, si supera la posizione di blocco si disinserisce il trasformatore d'accensione e si inserisce l'elettrovalvola n° 2 che intercetta il flusso dell'olio attraverso il regolatore di pressione della 1° fiamma.

Il regolatore di pressione della 1° fiamma viene così escluso e la pressione aumenta fino al valore a cui è tarato il regolatore di pressione incorporato nella pompa (25 Kg/cm²).

La pressione di 25 Kg/cm² agisce anche sul pistone che comanda il regolatore dell'aria, il pistone si sposta, fino a fine corsa, aprendo maggiormente la serranda dell'aria.

La pressione di 25 Kg/cm² agisce anche sulla valvola meccanica che, fino ad una pressione di 22 Kg/cm² impedisce l'afflusso del combustibile al secondo ugello.

Questa valvola viene così aperta dalla pressione stessa ed entra in funzione anche il secondo ugello. La pressione di 25 Kg/cm² agisce ora sui due ugelli.

Quando l'apparecchio lavora alla pressione di 25 Kg/cm² è alla portata massima.

Quando l'apparecchio è in funzione a pieno regime, resta in questa posizione fino al raggiungimento del valore di pressione a cui è regolato il dispositivo di comando (pressostato).

Il dispositivo di comando scatta, disinserendo la seconda fiamma, (combustibile ed aria) quando si raggiunge il valore a cui lo stesso è regolato.

Il bruciatore resta così in funzione con la sola prima fiamma.

La sola prima fiamma non è, normalmente, sufficiente per mantenere la pressione al valore desiderato, e quindi la stessa diminuirà fino a raggiungere il valore a cui il dispositivo di comando della seconda fiamma (pressostato) inserisce nuovamente la portata totale di aria e combustibile.

Il bruciatore viene arrestato completamente quando, con la sola prima fiamma inserita, la pressione raggiunge il valore di intervento del dispositivo di esercizio (pressostato).

Automaticamente l'apparecchio si riaccende quando la pressione diminuisce al di sotto del valore a cui il pressostato è regolato.

Nei bruciatori modulanti (fig. 7.14), durante la fase di preriscaldamento dell'olio combustibile l'apparecchiatura viene inserita solo quando, nel preriscaldatore, si raggiunge la temperatura e si disinseriscono le resistenze (apertura del contacto del termostato di regolazione), quindi alla massima temperatura.

L'apparecchiatura (relè ciclico) di comando e controllo del bruciatore viene quindi inserita dal termostato di regolazione del preriscaldatore quando, lo stesso, esclude le resistenze disinserendo il relativo teleruttore.

L'apparecchiatura a relè ciclico, svolge il programma di accensione mettendo in funzione il motore del ventilatore per effettuare la fase di preventilazione.

Se la pressione dell'aria fornita dalla ventola è sufficiente per far intervenire il relativo pressostato, si inserisce subito, anche il motore della pompa che effettua la precircolazione dell'olio caldo, nei condotti del bruciatore.

Dalla pompa l'olio raggiunge il preriscaldatore, lo attraversa riscaldandosi alla temperatura prevista ed esce attraversando un filtro per raggiungere il gruppo polverizzatore.

L'olio caldo circola nel gruppo polverizzatore senza uscire dall'ugello perché i passaggi verso l'ugello (andata) e dall'ugello (ritorno) sono chiusi.

L'olio circola ed esce dal ritorno del gruppo polverizzatore, attraversa il pozzetto dove è inserito il termostato TRU, e arriva al regolatore di pressione di ritorno, lo attraversa e raggiunge il ritorno della pompa e, da questa, si scarica nel ritorno.

Questa fase di preventilazione e precircolazione dell'olio ha una durata di 22,5 secondi circa.

Detto tempo può essere prolungato (teoricamente all'infinito) perché una particolare realizzazione del circuito elettrico non consente, di proseguire nello svolgimento del programma di accensione, fino a quando la temperatura del combustibile, nella tubazione di ritorno dall'ugello, ha raggiunto il valore a cui il termostato TRU (Termostato sul Ritorno dell'Ugello) è regolato.

Questa realizzazione non consente al combustibile di attraversare l'ugello fino a quando il combustibile stesso raggiunge almeno la temperatura a cui il termostato TRU è regolato.

L'intervento del TRU, (olio in circolo sufficientemente caldo) consente all'apparecchiatura di proseguire nello svolgimento del programma di accensione inserendo il trasformatore di accensione che alimenta con alta tensione gli elettrodi.

L'alta tensione tra gli elettrodi innesca la scarica elettrica (scintilla) per l'accensione della miscela combustibile-aria.

Dopo 2,5 secondi dall'inizio della scintilla di accensione l'apparecchiatura porta tensione al magnete che mediante opportuni leverismi, fa arretrare le due aste di intercettazione del flusso (andata e ritorno) del combustibile all'ugello.

L'arretramento delle aste determina anche la chiusura del passaggio (by-pass) interno al gruppo polverizzatore, di conseguenza la pressione in pompa si porta al valore normale.

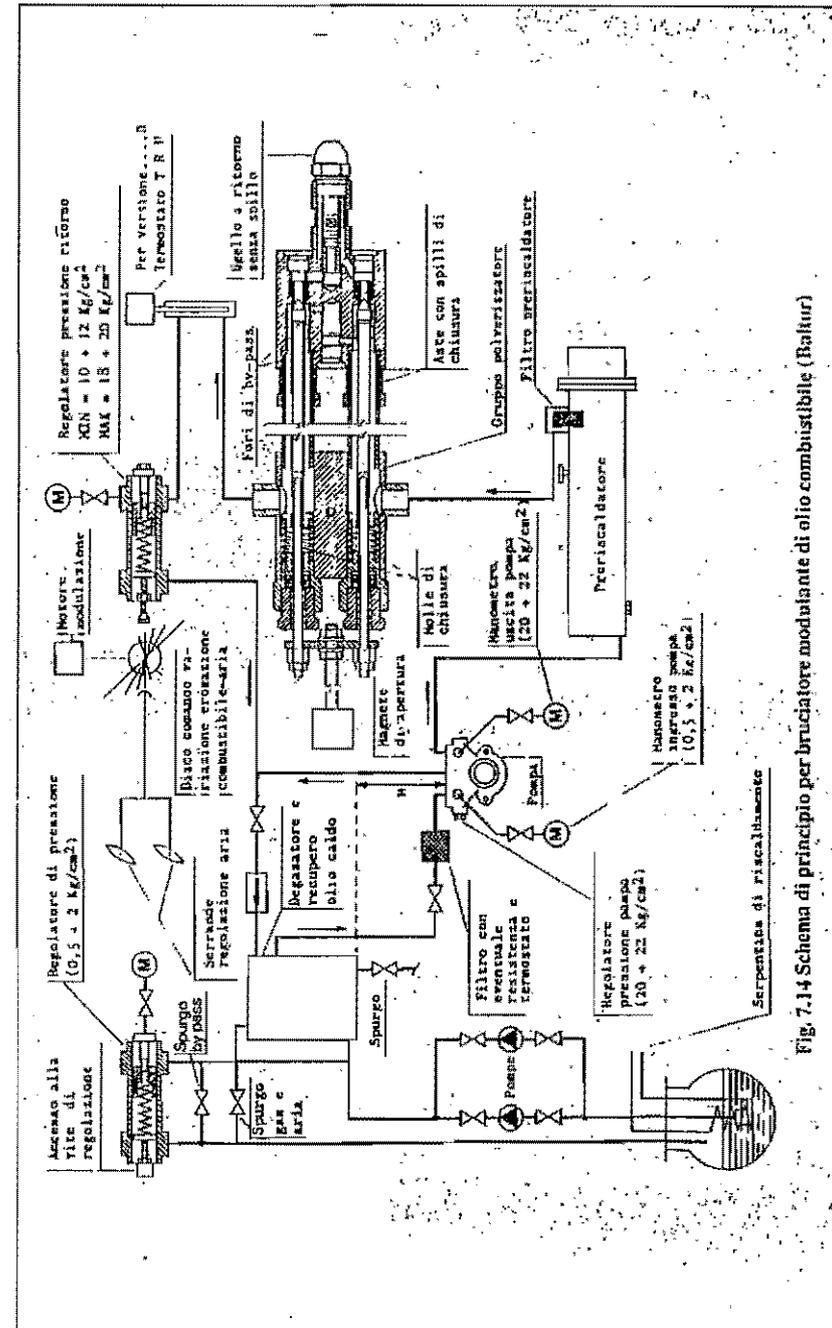


Fig. 7.14 Schema di principio per bruciatore modulante di olio combustibile (Baltur)

Lo scostamento delle due aste, dalle sedi di chiusura, consente al combustibile di entrare, ora, nell'ugello alla pressione regolata alla pompa, e uscire dall'ugello adeguatamente polverizzato. La pressione di ritorno, che determina l'erogazione in focolare, è regolata dal regolatore di pressione di ritorno.

Il combustibile polverizzato che esce dall'ugello, portata minima, si miscela all'aria fornita dalla ventola e viene acceso dalla scintilla agli elettrodi. La presenza della fiamma è rilevata dalla fotoresistenza.

Il programmatore prosegue e, dopo cinque secondi, supera la posizione di blocco, stacca l'accensione e, successivamente, inserisce il circuito di modulazione.

Il motore di modulazione comanda l'aumento della erogazione contemporanea del combustibile e dell'aria comburente.

L'aumento dell'erogazione del combustibile viene determinato dal disco con profilo variabile che, ruotando, realizza una maggior compressione della molla del regolatore della pressione di ritorno e quindi un aumento della pressione di ritorno corrisponde un aumento di erogazione del combustibile.

All'aumento dell'erogazione del combustibile deve corrispondere un aumento, in quantità adeguata, dell'aria di combustione.

L'erogazione del combustibile e contemporaneamente dell'aria comburente aumenta fino al valore massimo.

L'erogazione di combustibile e di aria comburente resta al valore massimo fino a quando la pressione del generatore si avvicina al valore regolato e determina il richiamo del motore di comando della modulazione in senso inverso al movimento precedente. Il movimento di ritorno del motore di modulazione determina una riduzione dell'erogazione di combustibile e della relativa aria di combustione. Se anche con erogazione minima di combustibile e di aria comburente si raggiunge la pressione massima, interviene al valore a cui è regolato, il pressostato che determina l'arresto completo del bruciatore. Riabbassandosi la pressione al di sotto del valore di intervento del dispositivo di arresto, il bruciatore ritorna ad accendersi come precedentemente descritto.

BRUCIATORE A POLVERIZZAZIONE MECCANICA AD EMULSIONE

Utilizza il principio dell'emulsione per ottenere una completa polverizzazione dell'olio combustibile e migliorarne la combustione. Le gocce di acqua, disperse nel combustibile, hanno diametro 1 micron (1 millesimo di millimetro); ogni goccia di combustibile emulsionato che viene spruzzato dall'ugello, contiene quindi diverse migliaia di goccioline di acqua rivestite di combustibile.

La temperatura di preriscaldamento è sempre superiore a quella di ebollizione dell'acqua a pressione atmosferica: quando la goccia di emulsione esce dall'ugello, l'improvvisa diminuzione del valore della pressione, consente una rapida vaporizzazione che, nel passaggio dalla fase liquida a quella gassosa, aumenta il volume di circa 1500 volte, provocando migliaia di micro-esplosioni che riducono il combustibile in microscopiche goccioline. Tanto più piccole sono le

goccioline di olio, tanto maggiore è il numero delle gocce stesse, a parità di peso iniziale con aumento della superficie a contatto con l'ossigeno comburente (migliore combustione).

L'impiego di olio combustibile emulsionato ad acqua determina una:

- riduzione della formazione di fuliggine (si ottengono valori simili a quelli con bruciatore a gasolio).
- maggiore pulizia del generatore dalla parte fumi con miglior scambio termico con valore di temperatura dei fumi all'uscita inferiore.
- minor eccesso d'aria che determina una maggiore percentuale di CO₂ e una riduzione delle perdite per calore sensibile.
- limitata formazione di anidride solforica e ossido di azoto.

7.4 BRUCIATORI A GAS

Hanno la funzione di miscelare i due gas (aria e combustibile) per ottenere una perfetta combustione.

Vengono classificati in:

- atmosferici
- soffiati.

Nei bruciatori atmosferici il gas, uscendo dall'ugello, aumenta la velocità e, nel tubo di Venturi a forma tronco conica, aspira una parte dell'aria (primario). L'aria si miscela nel tubo e brucia nel becco dove viene a contatto per diffusione, con l'aria necessaria per completare la combustione. Viene impiegato solo per piccole portate o per uso domestico.

I bruciatori soffiati vengono costruiti per alte potenzialità o focolari pressurizzati (fig. 7.15-7.16).

Il bruciatore di gas vero e proprio si compone di:

- un toro bruciatore, costituito da un anello toroidale, sul quale è praticata una corona di fori situati lungo un circolo direttore;
- una doppia diramazione, che congiunge il toro con il collettore;
- un collettore, costituito dall'intercapedine fra due tubi coassiali, all'interno dei quali viene inserito il polverizzatore di nafta se il bruciatore è misto.
- un raccordo a L tra estremità esterna del collettore e tubo flessibile di arrivo del gas;
- una gola Venturi.

Il gas in pressione passando attraverso il collettore giunge all'interno del toro bruciatore e fuoriesce dalla corona anulare dei fori in getti finemente suddivisi. La velocità di fuoriuscita del gas dai fori del toro bruciatore, e quindi la portata, sono tanto più elevate quanto maggiore è la pressione con la quale il gas arriva al toro (pressione al bruciatore). Anche la portata, e quindi la velocità dell'aria comburente attraverso la gola Venturi, devono essere proporzionate alla portata di gas affluente dal toro bruciatore.

Per quanto detto in precedenza, la turbolenza dell'aria comburente assicura una intima miscelazione di essa con il gas e quindi una buona combustione. Al diminuire della portata di gas (e quindi anche dell'aria comburente) la

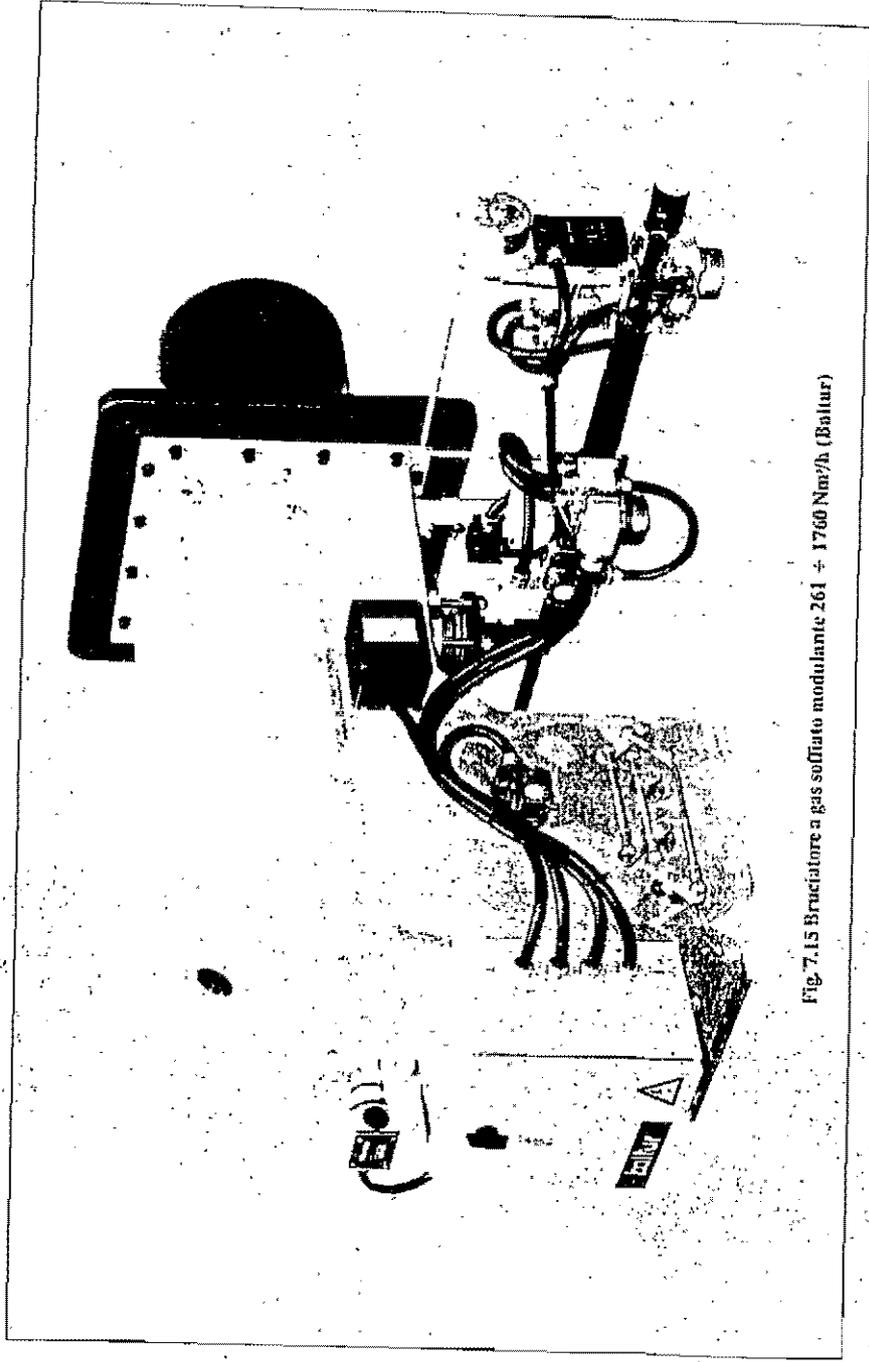


Fig. 7.15 Bruciatore a gas soffiato modulante 261 ÷ 1760 Nm²/h (Baltur)

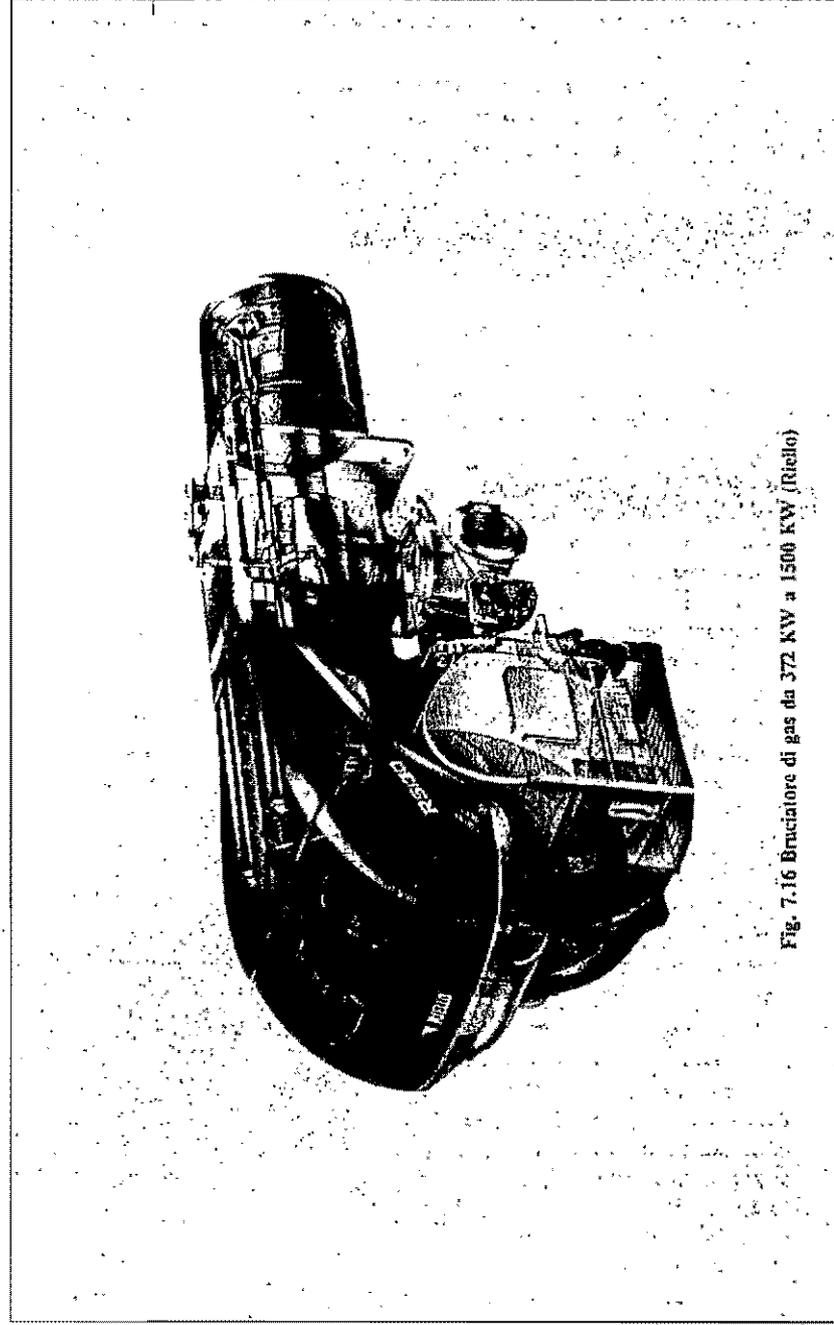


Fig. 7.16 Bruciatore di gas da 372 KW a 1500 KW (Rielto)

velocità e la turbolenza necessariamente si riducono fino a che la combustione risulta imperfetta.

La pressione del gas al bruciatore è fissata in generale intorno a 3000 mm. H₂O, mentre la pressione minima è quella alla quale la combustione tende a diventare incompleta o instabile. Di norma il valore della pressione minima del gas è di circa 200 mm. H₂O al bruciatore.

Dicesi "campo di regolazione" di un bruciatore di gas il rapporto fra le portate di gas bruciato in corrispondenza delle pressioni massima e minima come sopra definite. Questo rapporto corrisponde all'incirca alla radice quadrata del rapporto delle pressioni stesse e, quindi, per i valori sopra indicati il campo di regolazione è di circa 3 a 1.

In relazione alla pressione del gas vengono classificati in bruciatori a:

- bassa pressione: inferiori a 300 mm. colonna d'acqua;
- media pressione: inferiori a 3000 mm. colonna d'acqua;
- alta pressione: inferiori a 3 bar.

Presentano vantaggi quali:

- ottimo lavaggio della camera di combustione;
- buona miscelazione del gas con ossigeno;
- minor eccesso d'aria con maggiore temperatura di combustione;
- affidabilità di funzionamento;
- completa dotazione di apparecchiature di sicurezza;
- miglior rendimento della combustione.

FUNZIONAMENTO DEL BRUCIATORE A METANO MODULANTE

L'accensione è preceduta, come disposto dalle Norme, dalla preventilazione della camera di combustione, con aria aperta; la durata della stessa è di 60 secondi.

Se il pressostato di controllo dell'aria di ventilazione ha rilevato la pressione sufficiente si inserisce, alla fine della fase di ventilazione, il trasformatore d'accensione e dopo due secondi, si aprono le valvole della fiamma di accensione (pilota).

Il gas raggiunge la testa di combustione, si miscela con l'aria fornita dalla ventola e si incendia.

Due secondi dopo l'inserzione delle valvole della fiamma d'accensione si disinserisce il trasformatore d'accensione.

Il bruciatore è così acceso con la sola fiamma di accensione (pilota). La presenza della fiamma viene rilevata dal relativo dispositivo di controllo (sonda a ionizzazione immersa nella fiamma, oppure cellula UV).

Il relè programmatore supera la posizione di blocco e dà tensione al motorino di modulazione.

Il movimento dello stesso, fa echiudere un contatto che porta tensione alle valvole principali del gas.

Se il termostato modulante lo consente (regolato ad un valore di pressione superiore a quella esistente nel generatore) il motorino di modulazione inizia a

girare determinando un aumento graduale dell'erogazione di gas e della relativa aria di combustione fino a raggiungere l'erogazione massima a cui il bruciatore è stato regolato.

Il bruciatore resta nella posizione di massima erogazione fino a quando la pressione raggiunge un valore sufficiente a determinare l'intervento del dispositivo di modulazione pressostato che fa ruotare il motorino di modulazione in senso inverso a quello precedente.

Con questa manovra il sistema di modulazione cerca di equilibrare la quantità di calore fornito al generatore con quello che la stessa cede all'utilizzo.

Se anche con erogazione al minimo si raggiunge il valore limite (pressione) a cui è regolato il dispositivo di arresto completo (pressostato) il bruciatore viene arrestato dall'intervento dello stesso.

Riabbassandosi la pressione al di sotto del valore di intervento del dispositivo di arresto il bruciatore viene nuovamente inserito secondo il programma precedentemente descritto.

BRUCIATORI MISTI

Sono apparecchi che sfruttano la possibilità di impiegare due combustibili (fig. 7.17). I principali accoppiamenti sono:

- carbone polverizzato, olio combustibile;
- gasolio, metano;
- metano, olio combustibile;

Sono costituiti da due bruciatori accoppiati con programmatori separati e ventilatore unico. I bruciatori misti vengono suddivisi in:

- misto alternativo: viene impiegato separatamente uno dei due combustibili.

La portata di ogni singolo combustibile equivale al carico termico del focolare;

- misto contemporaneo: vengono impiegati contemporaneamente i due combustibili scelti con portata in funzione della disponibilità sul momento e della convenienza. La somma delle portate dei due combustibili corrisponde al carico termico del focolare.

7.5 CABINA DI DECOMPRESSIONE E DI MISURA

Cabina nella quale il metano, prima di essere immesso nel bruciatore, viene filtrato, preriscaldato e decompresso mediante uno o due salti. Installata in una zona aerata e separata dal locale caldaia si compone essenzialmente di:

- valvola di intercettazione
- preriscaldatore elettrico a 15 °C
- termometro
- manometro per indicare la pressione in arrivo
- filtro
- valvola di riduzione quando il gas di ingresso ha pressione inferiore a 5 bar viene installato un solo riduttore: Se diversamente la pressione iniziale è

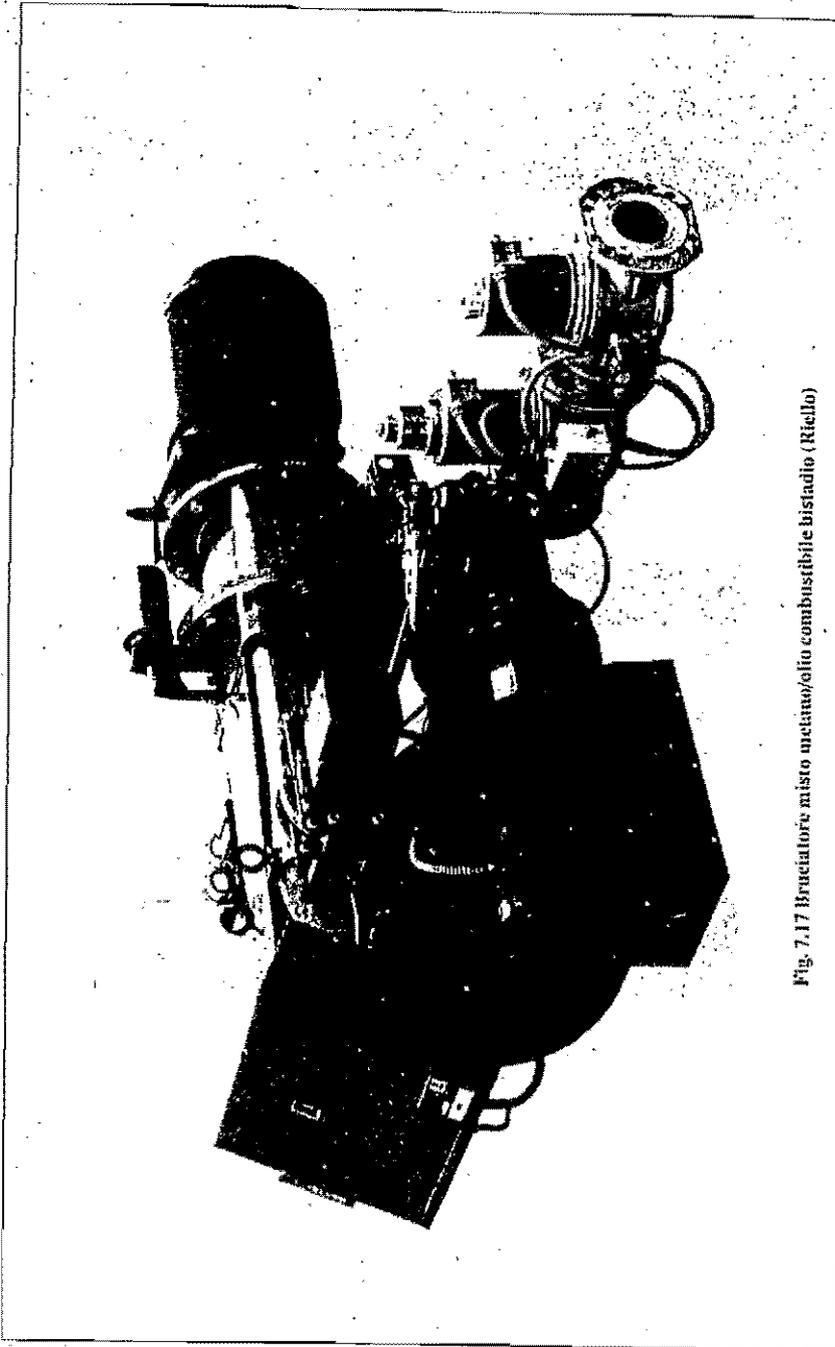


Fig. 7.17 Bruciatore misto metano/olio combustibile bistadio (Riello)

superiore viene applicato un secondo riduttore

- valvola di sicurezza
- manometro per indicare la pressione in uscita
- apparecchio di misura con relativo diagramma per indicare pressione, temperatura e portata
- valvola di non ritorno per eventuali ritorni di fiamma
- valvola di intercettazione.

7.6 RILEVATORI DI FIAMMA

Per prevenire gli inconvenienti causati dall'accidentale scomparsa della fiamma, è indispensabile installare nei bruciatori automatici appositi controlli.

Il circuito elettrico, costituito da rilevatore e relais, in assenza di fiamma apre il contatto del circuito principale degli ausiliari; determina il blocco del bruciatore e disecca l'elettrovalvola del combustibile.

A fotoresistenza

GASOLIO - OLIO COME

La fiamma viene rilevata mediante un elemento, la cui resistenza varia in relazione inversa alla illuminazione (fig. 7.18). Senza fiamma, la resistenza elettrica assume valori elevati, la corrente che circola non riesce a eccitare il "relais di fiamma" e il bruciatore va in blocco.

In presenza di fiamma diminuisce la resistenza e la corrente giunge al "relais" con un valore tale da mantenere eccitato "il relais di fiamma" ed il bruciatore in funzione. La corrente viene misurata con un ampermetro a bobina mobile.

Il rilevatore a fotoresistenza trova larga applicazione con gasolio e olio combustibile; per contro non viene utilizzato in bruciatori a gas.

A fotocellula

Utilizza la proprietà di alcuni elementi di emettere cariche elettriche se illuminate, in quanto sensibili alla luce (fig. 7.19). Un'ampolla di vetro contiene una placchetta di silicio o cesio che, investito dalla luce, emette elettroni e genera una corrente elettrica che, amplificata, mantiene eccitato il "relais di fiamma". In presenza di un guasto, di un corto circuito o in assenza di fiamma, la fotocellula annulla il segnale e manda in blocco il bruciatore. Non viene applicata a bruciatori a gas, in quanto insensibile alle radiazioni ultraviolette della fiamma.

A ionizzazione

GAS

Utilizza la proprietà di un gas che, ionizzato, diviene conduttore di corrente (fig. 7.20).

Ad un elettrodo installato al centro della testa di combustione viene applicata una microcorrente; in assenza di fiamma, non si verifica alcun passag-

gio di corrente tra elettrodo e bruciatore. In presenza di fiamma, la corrente, mediante gli ioni della fiamma stessa, giunge ad un amplificatore e assume un valore sufficiente a mantenere eccitato il relais. La corrente rilevatrice, misurata con un microamperometro collegato in serie con l'elettrodo di fiamma, deve avere intensità superiore a $7 \mu\text{A}$.

Tipo UV

Viene installato in comunicazione con la camera di combustione per consentire un contatto visivo diretto con la luce emessa dalla fiamma (fig. 7.21).

L'apparecchio si compone di un tubo di vetro contenente una minima quantità di gas ed un sistema anodo-catodo, sensibile alla sola luce a raggi ultravioletti. Fra anodo-catodo, al quale viene applicata una tensione continua, non esiste movimento di elettroni, se il tubo non viene investito da raggi ultravioletti. Viceversa se investito, il gas ionizzandosi determina l'insorgere di una scarica fra i due elementi, e la corrente generata eccita il relais di fiamma.

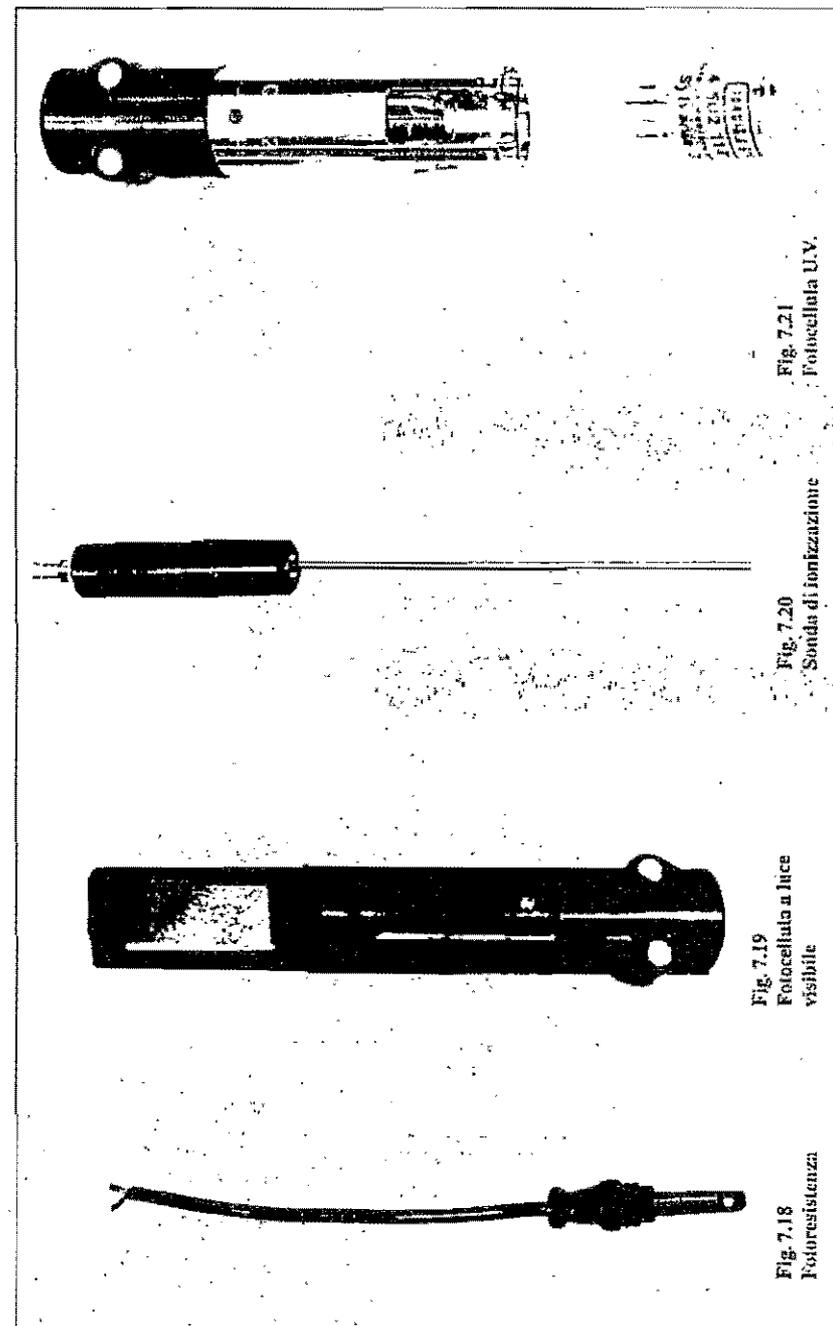


Fig. 7.21
Fotocellula UV.

Fig. 7.20
Sonda di ionizzazione

Fig. 7.19
Fotocellula a luce
visibile

Fig. 7.18
Fotoresistenza

CAP. 8 BILANCIO TERMICO

Il bilancio termico esprime che, in condizioni di regime stazionario, in un generatore di vapore l'energia termica che entra è uguale a quella che esce. Parametro fondamentale di un qualsiasi bilancio termico è il rendimento, ossia il rapporto tra calore utilizzato e calore speso.

$$\eta = \frac{CU}{CS}$$

$$\eta \% = \frac{CU}{CS} \times 100$$

η = rendimento
 $\eta\%$ = rendimento percentuale
CU = calore utilizzato
CS = calore speso
CP = calore perduto

dove

$$CS = CU + CP$$

Il rendimento espresso da un numero puro, indipendentemente dalle unità di misura utilizzate, è sempre inferiore all'unità; viene indicato quindi con un decimale o in percento.

Calore speso: rappresenta l'energia sviluppata nella camera di combustione; si ottiene dalla quantità di combustibile utilizzato moltiplicato per il potere calorifico inferiore.

Calore utilizzato: è il calore assorbito dall'acqua per trasformarsi in vapore saturo o surriscaldato.

Calore perduto: esprime l'energia che non viene utilizzata e che va dispersa.

In un generatore è estremamente importante conoscere l'entità delle perdite, al fine di ridurle se possibile, e aumentarne il rendimento. Tali perdite vengono classificate in:

PERDITE PER CALORE SENSIBILE (Pcs)

È il calore contenuto nei fumi alla base del camino. Le perdite per calore sensibile aumentano con l'aumentare dell'eccesso dell'aria nella combustione (quantità dei fumi prodotti); sono inoltre proporzionali alla temperatura dei fumi che non può essere inferiore alla temperatura di rugiada e deve garantire un tiraggio regolare.

Sono le perdite sulle quali si può intervenire e contenere:

- riducendo l'aria in eccesso;
- utilizzando aria comburente alla temperatura più elevata possibile;

- conservando pulite le superfici di scambio;
- installando dispositivi per il recupero di calore.

In presenza di piccole quantità di incombusti si applica, per il calcolo delle perdite, la formula di Hassenstein:

$$Pcs\% = Ks \cdot \frac{T-t}{CO_2\%}$$

dove

Pcs = perdita di calore sensibile espresso in percento del calore speso;

T = temperatura dei fumi in gradi centigradi a valle del camino;

t = temperatura dell'aria comburente espressa in gradi centigradi;

CO₂% = percentuale di anidride carbonica nei fumi rilevata nello stesso punto in cui si misura la temperatura T;

Ks = coefficiente funzione dell'anidride carbonica che varia da combustibile a combustibile (tab. 8.1).

PERDITE PER CALORE LATENTE (Pcl)

Sono presenti quando si ha una combustione incompleta, in cui il combustibile non riesce a sviluppare l'intero calore (formazione di ossido di carbonio).

Gli incombusti vanno così al camino senza avallare quella quantità di calore che svilupperebbero in una combustione completa.

Con una perfetta miscelazione combustibile-comburente vengono trascurate, in quanto raggiungono una percentuale inferiore allo 0,1% in valore dei fumi privi di umidità.

Per determinare le perdite per calore latente, occorre misurare la percentuale in volume di ossido di carbonio e di anidride carbonica presente nei fumi e applicare detti valori alla formula:

$$Pcl\% = Kc \cdot \frac{CO\%}{CO_2\% + CO\%}$$

dove

Pcl = perdite per calore latente espresse in percento del calore speso;

CO %, CO₂ % = percentuale di ossido di carbonio e anidride carbonica presente nei fumi;

Kc = costante che varia in relazione al combustibile utilizzato.

- carbone 59
- metano 37,8
- olio combustib. 50,5

Kc

TAB. 8.1 - VALORI DELLA COSTANTE DI HASSENSTEIN, K_s, IN FUNZIONE DEL CONTENUTO PERCENTUALE IN VOLUME DI CO₂ NEI FUMI PER ALCUNI TIPI DI COMBUSTIBILE

CO ₂ [%]	COSTANTE DI HASSENSTEIN K _s [1/°C]				
	Gasolio	Olio comb.	Metano	Coke	Antracite
4	0,523	0,543	0,418	0,749	0,683
5	0,530	0,550	0,427	0,749	0,684
6	0,536	0,556	0,537	0,750	0,685
7	0,543	0,563	0,447	0,750	0,686
8	0,550	0,570	0,457	0,751	0,687
9	0,557	0,576	0,466	0,751	0,688
10	0,564	0,583	0,476	0,752	0,689
11	0,571	0,590	0,486	0,752	0,690
12	0,578	0,596		0,753	0,691
13	0,585	0,603		0,753	0,692
14	0,592	0,610		0,754	0,693
15				0,754	0,694
16				0,755	0,695

TAB. 8.2 - PERDITE DI CALORE SENSIBILE NEI FOCOLARI A METANO CON p.c.i. 8.555 Kcal/Nm³

CO ₂ % nei fumi	Eccesso d'aria %	Perdite di calore sensibile espresse in % del p.c.i. con Δt uguale a:				
		100°C	150°C	200°C	250°C	300°C
max 11.61	—					
11	5.0	4.29	6.44	8.58	10.73	12.88
10	14.4	4.63	6.93	9.26	11.56	13.89
9	26.0	5.04	7.56	10.08	12.60	15.12
8	40.4	5.56	8.34	11.12	13.90	16.68
7	59.0	6.23	9.34	12.45	15.56	18.68
6	83.7	7.11	10.66	14.21	17.77	21.32
5	119.5	8.35	12.53	16.70	20.88	25.05
4	175.6	10.21	15.30	20.40	25.50	30.60

PERDITE PER IRRAGGIAMENTO (Pi)

La trasmissione del calore avviene secondo i tre metodi citati nel cap. 1 per cui si parla di irraggiamento solo per semplicità, in quanto vengono indicate con il termine irraggiamento tutte le perdite determinate dallo scambio termico tra generatore e ambiente. Per misurare queste perdite, esistono strumenti, metodi e formule in funzione della superficie e della temperatura delle pareti, della velocità dell'aria, ecc. Talvolta vengono valutate indirettamente, cioè per differenza.

PERDITE VARIE (Pv)

Sono caratterizzate da pessima tenuta degli accessori di un generatore, e dal calore perduto con gli spurghi. Data la loro piccola entità, vengono talvolta valutate insieme alle perdite per irraggiamento.

Applicando il principio di conservazione dell'energia ad un bilancio termico, in cui pressione, temperatura, livello dell'acqua rimangono costanti e il regime di lavoro è stazionario (energia termica entrante è uguale a quella uscente).

Un bilancio termico può essere svolto solo in:

- modo diretto: si determina calore speso, calore utilizzato, calore perduto.

$$CS = CU + Pcs + Pcl + Pi + Pv$$

dove

CS = calore speso, equivale a quello sviluppato in camera di combustione. Si ottiene moltiplicando il potere calorifico inferiore con la massa del combustibile utilizzato. $CS = p.c.i. \times Q \text{ comb. (Kg o Nm}^3\text{)}$;

h_{H_2O} = entalpia dell'acqua di alimento;

CU = calore ceduto all'acqua per trasformarsi in vapore;

$CU = (h_{vap.} - h_{H_2O}) \times \text{quantità di vapore prodotto (Kg)}$;

$h_{vap.}$ = contenuto termico del vapore prodotto;

Pcs = quantità di calore contenuta nei fumi all'uscita del generatore, corrisponde alle perdite per calore sensibile;

Pcl = quantità di calore non sviluppata per cattiva combustione, corrisponde alle perdite per calore latente;

Pi = calore disperso in ambiente per cattivo isolamento termico (perdite per irraggiamento);

Pv = perdite varie.

- Bilancio termico in modo diretto

Occorre installare: misuratore di portata per vapore e combustibile; termometro per l'acqua d'alimento, a valle del camino, per aria comburente; analizzatore alla base del camino per $CO_2\%$ e $CO\%$, titolometro.

I dati indispensabili sono: quantità di vapore e di combustibile; temperatura

dell'acqua d'alimento, dei fumi, dell'aria comburente, del vapore se surriscaldato; $CO\%$; $CO_2\%$; potere calorifico inferiore del combustibile; pressione del vapore; titolo del vapore se saturo, diagramma per il calcolo delle perdite per irraggiamento, entità degli spurghi di fondo.

Quando invece si vuole conoscere solo il rendimento termico dell'impianto, lo si può calcolare in:

- modo diretto: applicando la formula $\eta = \frac{CU}{CS}$

Occorre pertanto installare: misuratore di portata, combustibile e vapore, termometro nel serbatoio dell'acqua d'alimento, titolometro.

- modo indiretto:

a) si calcola il calore speso o il calore utilizzato, l'intero calore perduto e per differenza si determina il calore utilizzato o il calore speso.

b) dal rendimento (cento) si tolgono le perdite di calore in percentuale.

- Rendimento termico in modo indiretto (a)

È necessario installare: misuratore di portata di vapore o combustibile; termometro per l'acqua d'alimento, per i fumi a valle del camino e l'aria comburente; analizzatore fumi per valori di CO_2 e CO .

Occorre conoscere: quantità di combustibile o vapore; temperatura dell'acqua d'alimento, dei fumi, dell'aria comburente e del vapore se surriscaldato; $CO\%$; $CO_2\%$; potere calorifico inferiore del combustibile; pressione vapore; titolo del vapore se saturo; perdite irraggiamento; perdite varie.

- Rendimento termico in modo indiretto (b)

È necessario installare: analizzatore fumi per valori CO_2 , CO ; termometro a valle del camino.

I valori necessari sono: temperatura dei fumi e dell'aria comburente; $CO\%$; $CO_2\%$; perdite per irraggiamento; perdite varie.

Analizziamo ora il bilancio termico di un generatore secondo il S.I., in modo dettagliato separando le varie perdite ed i recuperi del calore in funzione del calore speso.

Il calore somministrato (speso) al generatore (CS) è:

$CS = Q_{comb} \cdot P.C.I.$ dove
 Q_{comb} : quantità di combustibile utilizzato
P.C.I.: potere calorifico inferiore

Se all'aria comburente viene somministrato calore (Ca) mediante una fonte estranea al generatore (escluso preriscaldamento tramite fumi):

$Ca = Q_a \cdot c_{sm} \cdot (t_a - t_o)$ dove
 Q_a = quantità d'aria utilizzata

CALORE
SPESO

CALORE
DATO
ALL'ARIA
COMBURENTE
DA FONTE ESTERNA

c_{sm} = calore specifico medio dell'aria a pressione costante
 t_a = temperatura dell'aria all'ingresso della camera di combustione
 t_o = temperatura ambiente

Se al combustibile viene somministrato calore (C_c) mediante una fonte estranea al generatore:

CALORE DATO AL COMBUSTIBILE

$$C_c = Q_{comb} \cdot c_s \cdot (t_c - t_o) \quad \text{dove}$$

Q_{comb} = quantità di combustibile utilizzato

c_s = calore specifico del combustibile

t_c = temperatura del combustibile dopo il preriscaldamento mediante la fonte esterna

t_o = temperatura ambiente

Il calore totale fornito al generatore (C_{fgen}):

$$C_{fgen} = C_S + C_a + C_c$$

Il contenuto termico del vapore (C_{tv}) è invece:

CONTENUTO TERMICO VAPORE

$$C_{tv} = Q_{vap} \cdot h_{vap} \quad \text{dove}$$

Q_{vap} = quantità di vapore prodotto

h_{vap} = entalpia del vapore

Nel calcolo del contenuto termico occorre altresì tenere conto del titolo del vapore.

Se analizziamo un impianto corredato di surriscaldatore, nel calcolo del contenuto termico occorre consultare la tabella entalpica del vapore surriscaldato (tab. I.11).

Il contenuto termico dell'acqua di alimento ($C_{t H_2O}$) è:

CONTENUTO TERMICO H₂O ALI

$$C_{t H_2O} = Q_{H_2O} \cdot h_{H_2O} \quad \text{dove}$$

Q_{H_2O} = quantità d'acqua che alimenta il generatore

h_{H_2O} = entalpia dell'acqua

Poiché attraverso gli spurghi si disperde calore, il contenuto termico degli spurghi stessi (C_{sp}) è:

CONTENUTO TERMICO SPURGHII

$$C_{sp} = Q_{sp} \cdot h_{sp} \quad \text{dove}$$

Q_{sp} = quantità d'acqua spurgata

h_{sp} = entalpia dell'acqua spurgata

Il calore utilizzato dal generatore (C_{ugen}) si ottiene quindi:

CALORE UTILIZZATO DAL GENERAT.

$$C_{ugen} = C_{tv} - (C_{t H_2O} + C_{sp})$$

Il rendimento percentuale ($\eta\%$) è quindi:

$$\eta\% = \frac{C_{tv} - (C_{t H_2O} + C_{sp})}{C_S + C_a + C_c}$$

Nell'eventualità il generatore sia corredato di economizzatore e/o preriscaldatore si ha:

CALORE RECUPERATO DAL ECON.

$$C_{reco} = Q_{H_2O} \cdot (h_{usc H_2O} - h_{ent H_2O}) \quad \text{dove}$$

C_{reco} = calore recuperato nell'economizzatore

Q_{H_2O} = quantità d'acqua che alimenta il generatore

$h_{usc H_2O}$ = entalpia dell'acqua all'uscita dell'economizzatore

$h_{ent H_2O}$ = entalpia dell'acqua all'entrata dell'economizzatore

$$C_{pre} = Q_a \cdot c_{sm} \cdot (t_a - t_o) \quad \text{dove}$$

C_{pre} = calore recuperato nel preriscaldatore

Q_a = quantità d'aria preriscaldata

c_{sm} = calore specifico medio dell'aria a pressione costante

t_a = temperatura dell'aria all'ingresso del generatore

t_o = temperatura ambiente

Il calore utilizzato dal generatore (C_{ugen}) diviene:

$$C_{ugen} = C_{tv} - (C_{t H_2O} + C_{sp}) + C_{reco} + C_{pre}$$

ed il rendimento percentuale ($\eta\%$):

$$\eta\% = \frac{C_{tv} - (C_{t H_2O} + C_{sp}) + C_{reco} + C_{pre}}{C_S + C_a + C_c}$$

Si può calcolare il calore utilizzato dal generatore (C_{ugen}), anche sottraendo al calore fornito al generatore stesso (C_{fgen}) le varie perdite determinate:

$$C_{ugen} = C_{fgen} - C_{ptot} \quad \text{dove}$$

C_{ptot} = perdite totali

o anche

$$C_{ugen} = C_S + C_a + C_c - C_{ptot}$$

ed il rendimento percentuale si ottiene:

$$\eta\% = \frac{CS + Ca + Cc - C_{ptot}}{CS + Ca + Cc} \cdot 100$$

oppure.

$$\eta\% = 100 - C_{ptot}\%$$

Il calore totale perduto si ottiene sommando rispettivamente:

$$C_{ptot} = C_{pig} + C_{pis} + C_{pcs} + C_{pir} + C_{pv} \quad \text{dove}$$

C_{pig} = perdite per incombusti gassosi (latente)

C_{pis} = perdite per incombusti solidi

C_{pcs} = perdite per calore sensibile

C_{pir} = perdite per irraggiamento

C_{pv} = perdite varie

PERDITE PER INCOMBUSTI GASSOSI (LATENTE)

$$C_{pig} = 12644 \cdot \frac{Q_{gs}}{P.C.I.} \cdot CO\% \quad \text{dove}$$

Q_{gs} = quantità volumetrica di gas secchi per Kg di combustibile

P.C.I. = potere calorifico inferiore

CO% = percentuale volumetrica di ossido di carbonio nei gas secchi

12644 = perdita di calore in KJ per ogni Nm³ di CO

PERDITE PER INCOMBUSTI SOLIDI

$$C_{pis} = \frac{R \cdot SC}{100} \cdot \frac{33000}{P.C.I.} \quad \text{dove}$$

$$R = \frac{Q_r}{Q_{comb}} \cdot 100 \quad \text{dove}$$

R = percentuale di residuo

SC = percentuale di sostanze combustibili nei residui

Q_r = percentuale di residui per ogni Kg di combustibile bruciato

Q_{comb} = consumo di combustibile

P.C.I. = potere calorifico inferiore

33000 = potere calorifico della fuliggine (carbonio puro) in KJ/Kg

PERDITE PER CALORE SENSIBILE

$$C_{pcs} = \frac{M_g}{P.C.I.} (h_f - h_o) \cdot 100$$

M_g = massa dei gas per Kg di combustibile

P.C.I. = potere calorifico inferiore

h_f = entalpia del gas alla temperatura di uscita del gas stesso dal generatore

h_o = entalpia del gas alla temperatura ambiente

Per un calcolo approssimativo si può utilizzare la formula di Hassenstein.

Analizziamo ora alcuni bilanci termici:

Esercizio 1

Noti i valori:

- consumo olio combustibile semifluido 1000 Kg (p.c.i. 9700 Kcal/Kg = 40.643 KJ/Kg)

- temperatura H₂O alimento 24,1 °C = 101 KJ/Kg

- pressione di esercizio 7 bar

- produzione vapore saturo secco 13200 Kg

determinare il rendimento termico.

Dalla tabella 1.10 alla pressione assoluta di 8 bar si ha:

contenuto termico del vapore = 2767,5 KJ/Kg

calore utilizzato = (contenuto termico vapore - contenuto termico H₂O alim.) x produzione vapore

$$= (2767,5 - 101) \times 13200$$

$$= 35.197.800 \text{ KJ}$$

calore speso = consumo olio combustibile x p.c.i. olio combustibile

$$= 1000 \times 40.643$$

$$= 40.643.000 \text{ KJ}$$

$$\eta = \frac{\text{calore utilizzato}}{\text{calore speso}}$$

$$= \frac{35.197.800}{40.643.000} = 0.866$$

$$\eta\% = 86,6$$

Per la trasformazione della temperatura dell'acqua da °C in KJ vedi tab. 1.10.

Esercizio 2

Sapendo che:

- pressione del vapore 15 bar
 - produzione del vapore 9800 Kg
 - temperatura H₂O alimento 44,83 °C = 187,65 KJ/Kg
 - consumo metano 800 Nm³ (p.c.i. 8570 Kcal/Nm³ = 35908 KJ/Nm³)
 - titolo vapore 90%
- calcolare il rendimento termico.

Come da tabella 1.10 il contenuto termico del vapore è 2791,7 KJ/Kg, poiché il vapore ha titolo 0,90 si ha 0,90 vapore saturo secco + 0,10 liquido - contenuto termico effettivo = (contenuto termico vapore x titolo del vapore) + (contenuto termico liquido x quantità liquido)

$$= (2791,7 \times 0,9) + (858,56 \times 0,1)$$
$$= 2598,38 \text{ KJ/Kg}$$

calore utilizzato = (contenuto termico effettivo - contenuto H₂O alim.) x produz. vapore

$$= (2598,38 - 187,65) \times 9800$$
$$= 23.625.154 \text{ KJ}$$

calore speso = consumo metano x p.c.i. metano

$$= 800 \times 35908$$
$$= 28.726.400 \text{ KJ}$$

$$\eta = \frac{\text{calore utilizzato}}{\text{calore speso}}$$
$$= \frac{23.625.154}{28.726.400} = 0,822$$

$$\eta \% = 82,2$$

Esercizio 3

Si ha un generatore con:

- temperatura dei fumi 230 °C
- consumo olio combustibile semifluido 1900 Kg
- temperatura aria comburente 25 °C
- temperatura H₂O alimento 89,96 °C = 376,77 KJ/Kg
- pressione del vapore saturo secco 10 bar
- CO₂ 13%
- produzione vapore saturo secco = 28.000 Kg

- perdite per irraggiamento 2%

Determinare le perdite varie

calore utilizzato = (contenuto termico vapore - temperatura H₂O alimento) x produzione vapore

$$= (2779,7 - 376,77) \times 28.000$$
$$= 67.282.040 \text{ KJ}$$

calore speso = consumo olio combustibile x p.c.i. olio combustibile

$$= 1900 \times 40.643$$
$$= 77.221.700 \text{ KJ}$$

$$\eta = \frac{\text{calore utilizzato}}{\text{calore speso}}$$
$$= \frac{67.282.040}{77.221.700} = 0,871$$

$$\eta \% = 87,1$$

$$P_{cs} = K_s \times \frac{T - t}{CO_2 \%}$$
$$= 0,603 \times \frac{230 - 25}{13} = 9,5\%$$

$$P_v = 100 - (\eta + P_{cs} + P_i)$$
$$= 100 - (87,1 + 9,5 + 2)$$
$$= 1,4\%$$

Esercizio 4

Nota:

- produzione vapore 2000 Kg
- temperatura dei fumi 240 °C
- titolo del vapore 90%
- CO 1%
- pressione del vapore 19 bar
- temperatura dell'aria 25 °C
- temperatura H₂O alimento 81,35 °C = 340,56 KJ/Kg
- CO₂ 11%

- consumo combustibile 157 Nm³ di metano
 - perdite varie 1,5%
- determinare le perdite per irraggiamento

$$\begin{aligned} \text{contenuto termico eff.} &= (\text{conten. termico} \times \text{titolo del vapore}) + (\text{contenuto termico del liquido} \times \text{quantità di liquido}) \\ &= (2797,2 \times 0,9 + 908,59 \times 0,1) \\ &= 2608,33 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{calore utilizzato} &= (\text{contenuto termico eff.} - \text{conten. H}_2\text{O alimento}) \times \text{produzione vapore} \\ &= (2608,33 - 340,56) \times 2000 \\ &= 4.535.540 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{calore speso} &= \text{consumo combustibile} \times \text{p.c.i. del combustibile} \\ &= 157 \times 35908 \\ &= 5.637.556 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{calore utilizzato}}{\text{calore speso}} \\ &= \frac{4.535.540}{5.637.556} = 0,8045 \end{aligned}$$

$$\eta \% = 80,45$$

$$\begin{aligned} P_{cs} &= K_s \times \frac{T - t}{CO_2 \%} \\ &= 0,486 \times \frac{240 - 25}{11} = 9,49\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cl} &= K_c \times \frac{CO \%}{CO \% + CO_2 \%} \\ &= 37,9 \times \frac{1}{11 + 1} = 3,15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_i &= 100 - (\eta + Q_{cs} + Q_{cl} + Q_v) \\ &= 100 - (80,45 + 9,49 + 3,15 + 1,5) \\ &= 5,41 \end{aligned}$$

Esercizio 5

Quanti Nm³ di metano sono necessari per produrre 1000 kg di vapore alla pressione di 39 bar e alla temperatura di 460°C in un generatore con rendimento 0,9. L'acqua di alimento ha una temperatura di 81,3°C = 340,6 KJ/Kg.

$$\begin{aligned} \text{contenuto termico vapore surriscaldato a 40 bar e a } 460^\circ\text{C} &= 3354 \text{ KJ/Kg} \\ \text{calore utilizzato} &= (\text{contenuto termico} - \text{conten. H}_2\text{O alim.}) \times \text{produzione vapore} \\ &= (3354 - 340,6) \times 1000 \\ &= 3.013.400 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\eta = \frac{\text{calore utilizzato}}{\text{calore speso}} \text{ dalla quale}$$

$$\begin{aligned} \text{calore speso} &= \frac{\text{calore utilizzato}}{\eta} \\ &= \frac{3.013.400}{0,9} = 3.348.222 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{consumo combustibile} &= \frac{\text{calore speso}}{\text{p.c.i.}} \\ &= \frac{3.348.222}{35.908} = 93,2 \text{ Nm}^3 \text{ metano} \end{aligned}$$

Esercizio 6

Quanti Kg di vapore vengono prodotti con 500 Nm³ di metano da un generatore a:

- pressione del vapore 13 bar
- titolo 0,9
- temperatura dei fumi 240°C
- temperatura dell'aria comburente 20°C
- temperatura dell'H₂O alimento 0°C = 0 KJ/Kg
- CO₂ 10%
- perdite varie 1,53%
- CO 0%

cs
Pcs 2,4

$$\begin{aligned} \text{contenuto termico vapore effettivo} &= (\text{cont. termico} \times \text{titolo del vapore}) + (\text{contenuto termico del liquido} \times \text{quantità di liquido}) \\ &= (2787,8 \times 0,9 + 830,08 \times 0,1) \\ &= 2592,02 \text{ KJ/Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{calore speso} &= \text{consumo combustibile} \times \text{p.c.i.} \\ &= 500 \times 35.908 \text{ KJ} \\ &= 17.954.000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cs} &= K_s \times \frac{T - t}{CO_2} \\ &= 0,476 \times \frac{240 - 20}{10} = 10,47\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta\% &= 100 - (P_{cs} + P_v) \\ &= 100 - (10,47 + 1,53) \\ &= 88\% = 0,88 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{calore utilizzato} &= \eta \cdot \text{calore speso} \\ &= 0,88 \times 17.954.000 \\ &= 15.799.520 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\text{calore utilizzato} = \text{contenuto termico vapore} \times \text{quantità vapore}$$

dalla quale

$$\begin{aligned} \text{quantità vapore} &= \frac{\text{calore utilizzato}}{\text{contenuto termico vapore}} \\ &= \frac{15.799.520}{2592,02} = 6095,4 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Esercizio 7

Rilevati i valori:

- vapore saturo secco Kg 3600
- CO_2 13%
- pressione vapore 19 bar
- temperatura H_2O alimento $75,89^\circ C = 317,65 \text{ KJ/kg}$
- temperatura aria $20^\circ C$
- temperatura fumi $210^\circ C$
- perdite varie 1,19%
- CO 0%

determinare i Kg di olio combustibile fluido (p.c.i. = 40894 KJ/Kg)

$$\begin{aligned} \text{calore utilizzato} &= (\text{contenuto termico} - \text{conten. } H_2O \text{ alim.}) \times \text{prod. vapore saturo} \\ &= (2797,2 - 317,65) \times 3600 \\ &= 8.926.380 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cs} &= K_s \times \frac{T - t}{CO_2} \\ &= 0,603 \times \frac{210 - 20}{13} = 8,81\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{tot} &= P_{cs} + P_v \\ &= 8,81 + 1,19 \\ &= 10\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \eta &= 100 - P_{tot} \\ &= 100 - 10 \\ &= 90\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{calore speso} &= \frac{\text{calore utilizzato}}{\eta} \\ &= \frac{8.926.380}{0,9} = 9.918.200 \text{ KJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{quantità combustibile} &= \frac{\text{calore speso}}{\text{p.c.i.}} \\ &= \frac{9.918.200}{40.894} = 242,5 \text{ kg olio combustibile} \end{aligned}$$

Esercizio 8

Un generatore a combustione pressurizzata ha:

- produzione max di 5000 Kg/h con temperatura H_2O d'alimento $20^\circ C$
- titolo del vapore 90%
- pressione di bollo 15 bar
- produzione vapore d'esercizio 4000 Kg/h a pressione di 14 bar, e temperatura H_2O di alimento $75,89^\circ C = 317,65 \text{ KJ}$

Determinare:

- 1) il peso da applicare alle valvole di sicurezza a grande alzata a leva e peso con \varnothing 50 mm., braccio minore di 60 mm., braccio maggiore di 600 mm. e pe

so dell'otturatore Kg. 0,5 (nella determinazione del peso non occorre considerare il peso della leva);

2) la prevalenza del cavallino a vapore a pressione di esercizio con \varnothing del pistone vapore 120 mm. e \varnothing pistone acqua 100 mm.;

3) la portata e la prevalenza minima della pompa-centrifuga con perdite di carico di 25 mt. di colonna d'acqua e altezza del generatore di 3 mt.;

4) le perdite per calore sensibile con temperatura dell'aria comburente 30°C, dei fumi 230°C, CO = 0%, O₂ = 3,5%; *O₂ e CO₂*

5) il rendimento termico, sapendo che le perdite totali sono 1,73%;

6) il consumo orario di olio combustibile fluido;

7) l'indice di vaporizzazione;

8) il carico termico totale della camera di combustione a regime d'esercizio;

$$1) \text{ potenza} = \frac{\pi \times (\varnothing + 0.2)^2 \times \text{pressione bollo}}{4}$$

$$= \frac{3.14 \times (5 + 0.2)^2 \times 15}{4} = 318.39 \text{ Kg}$$

$$\text{peso} = \frac{(\text{potenza} - \text{peso otturatore}) \times \text{braccio potenza}}{\text{braccio resistenza}}$$

$$= \frac{(318.39 - 0.5) \times 6}{60} = 31.78 \text{ kg.}$$

$$2) \text{ area pistone vapore} = \frac{\pi \times \varnothing^2}{4}$$

$$= \frac{3.14 \times 12^2}{4} = 113.04 \text{ cm}^2$$

$$\text{area pistone acqua} = \frac{\pi \times \varnothing^2}{4}$$

$$= \frac{3.14 \times 10^2}{4} = 78.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{prevalenza} = \frac{\text{area pistone vapore}}{\text{area pistone acqua}} \times \text{pressione vapore}$$

$$= \frac{113.04}{78.5} \times 14 \times 10.2 = 205.6320 \text{ mt H}_2\text{O}$$

poichè 1 bar = 10,2 mt colonna H₂O

3) In relazione dal D.P.R. N. 1208 del 5/9/1966 per generatori con produzione specifica superiore a 20 bar

Q = 115% con regolazione automatica

Q = produzione max x % pompa alimento

$$= 5000 \times \frac{115}{100} = 5750 \text{ lt/h}$$

pressione di bollo 15 bar = 153 mt colonna H₂O

prevalenza = pressione bollo + 5% + altezza gen. + perdite carico

$$= 153 + 7.65 + 3 + 25$$

$$= 188.65 \text{ mt colonna d'acqua}$$

4) Dal Triangolo di OSTWALD

$$\text{CO}_2 = 13\%$$

$$\text{Pcs} = \text{Ks} \times \frac{T - t}{\text{CO}_2\%}$$

$$= 0.603 \times \frac{230 - 30}{13} = 9.27\%$$

$$5) \eta = 100 - (\text{Pcs} + \text{Pv})$$

$$= 100 - (9.27 + 1.73)$$

$$= 89\% = 0.89$$

$$6) \text{ contenuto termico vap.} = (\text{conten. termico vap.} \times 0.9) + (\text{contenuto termico liquido} \times 0.1)$$

$$= (2789.9 \times 0.9) + (844.67 \times 0.1)$$

$$= 2595.37 \text{ KJ}$$

$$\text{calore utilizzato} = (\text{contenuto termico vap.} - \text{conten. H}_2\text{O alim.}) \times \text{produzione vapore}$$

$$= (2595.37 - 317.69) \times 4000$$

$$= 9.110.720 \text{ KJ/h}$$

$$\begin{aligned} \text{Calore speso} &= \frac{\text{calore utilizzato}}{\mu} \\ &= \frac{9.110.720}{0.89} \\ &= 10.236.764 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo combustibile} &= \frac{\text{calore speso}}{\text{P.C.I.}} \\ &= \frac{10.236.764}{40894} = 250,324 \text{ Kg/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 7) \text{ Indice di vaporizzazione} &= \frac{\text{Produzione oraria vapore}}{\text{Consumo combustibile orario}} \\ &= \frac{4000}{250,324} = 15,98 \text{ Kgvap/Kg comb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 8) \text{ Carico termico totale} &= \text{Consumo combustibile orario} \times \text{P.C.I.} \\ &= 250,324 \times 40894 \\ &= 10.236.750 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

In questo esempio il calore speso equivale al carico termico totale perché la prova di rendimento è durata un'ora.

CAP. 9 CONDOTTA DEI GENERATORI DI VAPORE

9.1 AVVIAMENTO

La scarsa diffusione dei generatori a combustibile solido, ci consente di esaminare i soli generatori a combustibile liquido e gassoso.

AVVIAMENTO DOPO SOSTA NOTTURNA

- inserire l'interruttore generale e il preriscaldatore dell'olio combustibile se installato;

- aprire la valvola di intercettazione del gruppo di ritegno;

- mettere in funzione l'impianto trattamento acqua e aprire l'acqua di reintegro;

- inserire la pompa di alimento;

- effettuare uno spurgo rapido, pressione permettendo, agli indicatori di livello acqua per verificarne le indicazioni;

- aprire la valvola di intercettazione manuale del combustibile e controllare la pressione (fase da compiere nei soli generatori a combustibile gassoso);

- avviare il bruciatore e verificarne il programma di accensione;

- a una pressione di 2 - 3 Kg/cm² aprire la valvola a maschio, e a due o tre riprese successive quella a volantino, per eliminare i fanghi depositati nella sosta;

- a due terzi della pressione normale di funzionamento aprire lentamente la valvola di presa del vapore ed effettuare i controlli giornalieri.

ARRESTO PER SOSTA NOTTURNA

- arrestare il bruciatore e, in presenza di una combustione a gas, chiudere la valvola manuale;

- chiudere la valvola di presa del vapore ad una pressione tale, da non provocare l'apertura delle valvole di sicurezza;

- alimentare il generatore con pompa in manuale ad un livello superiore rispetto a quello di esercizio;

- chiudere la valvola a maschio del gruppo scarico fanghi e quella d'intercettazione del gruppo di ritegno;

- togliere corrente al quadro elettrico;

- arrestare l'impianto trattamento acqua, e chiudere l'acqua di reintegro del serbatoio d'alimento.

9.2 PRIMO AVVIAMENTO

Controlli iniziali:

- serraggio delle connessioni elettriche del quadro;
- taratura del pressostato;
- pulizia dei contatti dei teleruttori e dei relais;
- verifica manuale della regolare rotazione della pompa;
- serraggio dei bulloni degli accessori;
- rimozione della testa del bruciatore per accertare la distanza delle punte di accensione e della corretta installazione del deflettore;
- senso di rotazione dei motori;

Chiudere:

- le valvole di scarico di fondo del generatore e del serbatoio d'alimento;
- la valvola principale del vapore;
- i rubinetti di spurgo degli indicatori di livello;

Aprire:

- la valvola di reintegro acqua del serbatoio d'alimento;
- la valvola del manometro, del pressostato e del controllo livello acqua d'alimento;

- i rubinetti dell'acqua e del vapore degli indicatori di livello;
- le valvole sulla condotta d'alimento dell'acqua e del combustibile;
- il rubinetto a tre vie;

In seguito:

- riempire il serbatoio d'alimento acqua;
- collocare l'interruttore di controllo della pompa d'alimento in posizione "A" (automatico). Controllare attentamente il livello di acqua nel serbatoio d'alimento, onde evitare che la pompa resti "a secco";
- verificare che si arresti quando l'acqua raggiunge il livello prestabilito;
- premere il pulsante d'inserimento sul relais di blocco "basso livello".

9.3 ACCENSIONE

Dopo aver adescato il sistema di circolazione del combustibile, inserito il preriscaldatore, verificato il sistema di accensione e il controllo di fiamma:

- porre il commutatore della pompa del combustibile, del ventilatore, del bruciatore e dell'apparecchio di alimentazione in posizione "A" automatico;

- premere il pulsante di marcia, affinché si realizzi automaticamente:

- * il prelavaggio della camera di combustione per espellere eventuali fumi o vapori;
- * l'accensione della fiamma pilota (se presente);
- * l'accensione della fiamma principale;
- * lo spegnimento della fiamma pilota e il conseguente inserimento del controllo di fiamma. Qualora non si stabilizza la fiamma, il controllo in-

terviene e determina la posizione di "blocco".

Il programmatore si arresta successivamente in posizione di normale funzionamento se:

- il relais di livello minimo dell'acqua ed il controllo di fiamma rimangono inseriti;

- i contatti termici dei motori sono inseriti;

- la pressione del combustibile e dell'aria rientrano nell'intervallo stabilito (min. ÷ max);

- la temperatura di preriscaldamento dell'olio combustibile è superiore al valore minimo

9.4 PRIMO AVVIAMENTO O DOPO PROLUNGATA SOSTA

Nel caso di un primo avviamento, è indispensabile un graduale riscaldamento, al fine di evitare che la rapida dilatazione del corpo a pressione danneggi le murature o determini una eventuale smandrinatura o deformazione dei tubi. Si rende necessario:

- accendere varie volte il bruciatore per qualche minuto e spegnerlo con intervalli sempre maggiori fino al completo riscaldamento;

- aprire la valvola nel punto più alto del generatore per eliminare l'aria presente;

- accertarsi del perfetto serraggio di tutti i bulloni delle flange, del preimpostaggio delle valvole di intercettazione della pompa e degli indicatori di livello;

- serrare sistematicamente ogni giorno per la prima settimana di funzionamento, i dadi delle portine passamano e dei passi d'uomo.

Effettuato l'avviamento occorre:

- regolare i pressostati di lavoro e di sicurezza;

- accertarsi del regolare funzionamento del regolatore di livello acqua di sicurezza;

- controllare la sensibilità e la taratura delle valvole di sicurezza;

- rilevare la temperatura dei fumi;

- analizzare i prodotti della combustione.

9.5 CONTROLLI E MANUTENZIONE NEL NORMALE FUNZIONAMENTO

GIORNALIERI

Eseguire ogni turno di lavoro giornaliero:

- l'analisi delle peculiarità dell'acqua d'alimento e d'esercizio, come da circolare N. 30/81 del 1981 con registrazione;

- il drenaggio di fondo del generatore in funzione delle caratteristiche dell'acqua;
- il drenaggio del barilotto del regolatore automatico del livello dell'acqua, per mantenere gli elementi sensibili immuni da fango e da sedimenti;
- il controllo della temperatura dei fumi e dell'acqua d'alimento;
- la registrazione del consumo di combustibile, della produzione di vapore ed eventuali interventi di emergenza;
- lo spurgo completo degli indicatori di livello acqua;
- il controllo della combustione mediante rilevazione e registrazione dei valori di CO_2 - CO - O_2 .

SETTIMANALI

Verificare ogni settimana:

- la sensibilità di sfiato delle valvole di sicurezza;
- l'efficienza del controllo di fiamma;
- il perfetto funzionamento del controllo di livello acqua di sicurezza. Disinserire la pompa d'alimento acqua ed effettuare un drenaggio di fondo al raggiungimento del livello minimo, il regolatore manda in "blocco" il bruciatore senza possibilità di sblocco fino al ripristino del livello acqua.

MENSILI

Eeguire:

- il controllo dei contatti elettrici del quadro di comando;
- la pulizia del filtro del combustibile, dell'acqua d'alimento, dell'aria comburente e dell'analizzatore fumi;
- il drenaggio del serbatoio d'alimento acqua e la verifica del controllo di livello;
- la lubrificazione dei motori elettrici se richiesto dal costruttore;
- l'estrazione del bruciatore con controllo e pulizia generale (ugello - elettrodi di accensione - deflettore - pompa - preriscaldatore);
- la manutenzione dei premistoppa;
- l'allineamento ed il controllo del giunto di collegamento motore - pompa;
- l'analisi dei prodotti della combustione se privo di analizzatore continuo;
- l'avviamento dell'apparecchio di emergenza d'alimentazione;
- la taratura delle valvole di sicurezza;
- lo spurgo del manometro e dei pressostati.

TRIMESTRALI - SEMESTRALI - ANNUALI

Si effettuano in funzione delle ore di lavoro e del combustibile impiegato.

Raffreddare lentamente il generatore e:

- eliminare totalmente l'acqua presente all'interno del generatore;
- togliere le portine di ispezione dal lato acqua e fumo;
- lavare la parte acqua mediante un idrante ad alta pressione, facendo

scorrere la lancia nelle aperture affinché incrostazioni e sedimenti vengano estratti dal corpo forte;

- pulire gli elementi sensibili dei regolatori di livello acqua, temperatura e portata;
- pulire la parte fumi;
- richiudere il corpo forte con guarnizioni nuove;
- riempire con l'acqua e procedere all'avviamento come si trattasse di "primo avviamento".

9.6 INTERVENTI DI EMERGENZA

Se in un generatore di vapore l'acqua non è visibile negli indicatori di livello ed il bruciatore è in "blocco" il conduttore deve:

- chiudere la valvola principale di presa vapore;
- individuare la causa tra:
 - * assenza di acqua nel serbatoio
 - * motore in avaria
 - * filtro otturato sul tubo di aspirazione
 - * cattivo funzionamento della termica o dei fusibili del motore
 - * valvola di ritegno bloccata
 - * rottura del regolatore automatico di livello acqua
- eliminare la causa;
- alimentare lentamente il generatore con acqua alla temperatura massima;

- disinserire il "blocco" e rimettere in esercizio.

Se invece il bruciatore funziona regolarmente:

- spegnere il bruciatore;
 - chiudere la valvola principale di presa vapore;
 - effettuare uno spurgo rapido ad un indicatore di livello.
- Se esce acqua dallo spurgo o se chiudendo il rubinetto è possibile intravedere il livello dell'acqua stessa, la superficie di riscaldamento è ancora raffreddata ed il generatore non ha subito alterazioni di nessuna natura.
- verificare il funzionamento del controllo automatico del livello acqua di sicurezza e di servizio;

- procedere come nel caso precedente all'identificazione della causa.

Se invece non compare nessuna indicazione di livello, raffreddare e successivamente aprire il generatore in tutte le parti e richiedere una visita supplementare delle autorità competenti.

9.7 INTERVENTO DELLE VALVOLE DI SICUREZZA

All'apertura delle valvole di sicurezza il conduttore deve:

- fermare il bruciatore;
- controllare l'indicazione del manometro;
- posizionare il commutatore della pompa d'alimento in manuale;
- effettuare un lungo drenaggio di fondo mantenendo il livello dell'acqua entro valori accettabili, seguendo queste direttive fino alla chiusura delle valvole.

Se le valvole di sicurezza intervengono ed il manometro indica la pressione di bollo si può avere:

- improvvisa chiusura della valvola di presa del vapore;
- cattivo funzionamento del pressostato di blocco e di regolazione.

Infine, se la pressione è inferiore a quella di bollo le cause di intervento sono da ricercare nella:

- forte oscillazione dell'acqua nel generatore;
- difettosa taratura delle valvole di sicurezza;
- errata indicazione del manometro.

9.8 EBOLLIZIONE TUMULTUOSA

Si verifica nei generatori con acqua di esercizio a elevata quantità di sali minerali o sostanze oleose.

Si ha:

- una forte oscillazione dell'acqua nel generatore con trascinarsi di acqua nel vapore;
- una possibile apertura delle valvole di sicurezza a pressione inferiore a quella di bollo;
- una oscillazione del generatore, se di piccola unità.

In presenza di detto fenomeno il conduttore deve:

- spegnere il bruciatore;
- chiudere la presa principale del vapore;
- effettuare un controllo della salinità. Se il valore rilevato è eccessivamente elevato, è indispensabile una serie di drenaggi di fondo mantenendo sempre visibile l'acqua negli indicatori di livello;
- accendere il bruciatore e riaprire la valvola del vapore.

E' indispensabile sostituire, appena possibile, l'acqua di esercizio ed effettuare costantemente le analisi prescritte.

In presenza di sostanze oleose si rende necessario un lavaggio chimico con soda caustica o fosfato trisodico ad una temperatura di 90°C per eliminare i grassi presenti.

9.9 RITORNO DI FIAMMA O ESPLOSIONE DI COMBUSTIBILE

Si verificano, se vi è presenza accidentale di gas, che raggiunge la temperatura di scoppio, in camera di combustione. Il gas si accumula quando si hanno:

- perdite nelle valvole solenoide;
- ostruzione dei giri di fumo;
- deflusso difettoso di olio combustibile.

Al verificarsi di un ritorno di fiamma occorre:

- spegnere immediatamente il bruciatore;
- verificare che il generatore non abbia subito danni. Se viene riscontrata la presenza di combustibile in camera di combustione, è indispensabile una accurata pulizia;
- individuare ed eliminare le cause che hanno provocato il ritorno di fiamma;
- effettuare un lavaggio manuale della camera di combustione per circa 10 minuti;
- riaccendere il bruciatore;

9.10 CONSERVAZIONE DEL GENERATORE

Un generatore che funziona stagionalmente e che rimane fermo per lunghi periodi, deve essere conservato "a secco" o "a umido" durante il periodo di inattività.

Se il generatore viene esposto a temperature rigide, occorre una conservazione "a secco", effettuando:

- un drenaggio completo ed una pulizia interna ed esterna sia dal lato fumi che dal lato acqua. Asciugare poi con aria compressa.

- l'installazione all'interno del corpo cilindrico di recipienti con calce viva, per assorbire qualsiasi traccia di umidità. Chiudere accuratamente onde impedire la penetrazione dell'umidità dell'aria.

- il drenaggio del serbatoio per la condensa, della pompa e di tutte le tubazioni;

Per conservare il generatore "a umido":

- scaricare l'acqua ed effettuare una pulizia completa al generatore. Riempire il corpo forte fino al normale livello di esercizio e dopo un breve periodo di evaporazione è indispensabile spurgare nell'atmosfera per eliminare tutti i gas disciolti. Riempire poi completamente il generatore, dosando sufficiente idrazina per sviluppare una concentrazione residua di oltre 100 ppm che impedisca gli attacchi dell'ossigeno disciolto nell'acqua. Aggiungere inoltre, fosfato trisodico, affinché l'alcalinità totale sia superiore a 400 ppm. Chiudere successivamente tutte le connessioni.

- controllare tutte le connessioni per accertare che non vi siano perdite e prelevare campioni di acqua a regolari intervalli, constatando che il valore

dell'alcalinit  non abbia subito alterazioni.

E' sempre consigliabile una conservazione "a umido" in quanto:

- garantisce maggiori garanzie di perfetta conservazione;
- richiede un minor intervallo di tempo, per raggiungere le condizioni di regolare esercizio.

9.11 PREPARAZIONE PER LE VERIFICHE ANNUALI

PROVA A CALDO

Il generatore deve funzionare alla pressione di esercizio, con tutti gli accessori efficienti, ed il conduttore deve presentare al tecnico autorizzato la patente, il libretto di immatricolazione del generatore con i relativi precedenti verbali.

VISITA INTERNA

All'ispettore occorre presentare il generatore aperto, "freddo", asciutto e pulito in tutte le sue parti (lato acqua e fumi). E' inoltre indispensabile una lampada portatile, provvista di involucro di vetro, ad una tensione max di 25 volt, e il libretto di immatricolazione con i verbali precedenti.

PROVA IDRAULICA

Il conduttore deve:

- raffreddare lentamente il generatore;
- aprire le portine d'ispezione lato fumi ed eliminare la fuliggine presente;
- chiudere tutte le valvole d'intercettazione (esclusa quella del gruppo di ri-
tegno);
- riempire completamente d'acqua il generatore;
- raggiungere una pressione prossima a quella di bollo, utilizzando una
pompa a mano;
- controllare che la pressione si stabilizzi per alcuni minuti. Diversamente,
ricercare le cause controllando la tenuta delle valvole d'intercettazione, dei
rubinetti, delle valvole di sicurezza e del corpo a pressione.
- verificare che l'impianto sia corredato di un accessorio che abbia una pre-
valenza sufficiente per effettuare la prova idraulica

CAP. 10

NORME PRINCIPALI DEL DECRETO MINISTERIALE

LOCALE CALDAIA (D.M. 22-4-1935 - LEGGE 615/66)

Ubicazione

1.1 Il generatore termico pu  essere installato in un qualsiasi vano di un edificio ovvero in apposito fabbricato ad esso esclusivamente destinato, purch  il locale abbia almeno una parte confinante con spazi a cielo libero (strade, cortili, giardini, intercapedini scoperte o superiormente grigliate affacciantisi su spazio a cielo libero, terrapieni).

Ai fini delle presenti norme pu  considerarsi spazio a cielo libero lo spazio antistante a parete con oggetti aventi rapporto maggiore di 2 fra l'altezza di impostazione dal piano campagna e sporgenza. Se lo spazio a cielo libero   costituito da cortile chiuso sui lati, questa deve avere le pareti prospicienti distanti fra loro almeno a mt. 3.50 e superficie in metri quadrati non inferiore a quella calcolata moltiplicando l'altezza della parete pi  bassa, espressa in metri, per 3.

Se la parete   attestata su intercapedine, questa deve essere ad esclusivo servizio del locale caldaia; deve avere larghezza minima non inferiore a mt. 0.60 e, al piano grigliato, sezione netta non inferiore ad una volta e mezzo la superficie di aerazione del locale stesso. Quando l'intercapedine immette sul cortile, questo deve presentare i requisiti fissati al comma precedente. Se la parete   attestata sul terrapieno, il dislivello fra la quota del piano di campagna ed il soffitto del locale deve essere almeno di mt. 0.60, onde consentire la realizzazione di aperture di aerazione.

Dette aperture dovranno immettere a cielo libero ed avere altezza non inferiore a cm. 50.

Caratteristiche costruttive

1.2. Le strutture verticali ed orizzontali del locale caldaia devono presentare una resistenza al fuoco non inferiore a 120 minuti primi.

La durata della resistenza al fuoco deve essere determinata secondo le modalit  riportate nell'appendice.

Nelle tabelle 1, 2 e 3 dell'appendice sono indicati gli spessori di alcuni materiali e rivestimenti che assicurano una resistenza al fuoco non inferiore a 120 minuti primi.

La soglia della porta del locale caldaia deve essere rialzata di almeno 0.20 mt. rispetto al pavimento del locale.

Il pavimento e le parti inferiori delle pareti, per un'altezza di 0.20 mt. devono, mediante l'impiego di materiali idonei, essere rese impermeabili al liquido combustibile adoperato.

Dimensioni

1.3. L'altezza del locale caldaia non deve essere inferiore a 2.5 mt.. Tra le pareti del locale ed il generatore termico deve essere lasciato un passaggio libero non inferiore a 0.60 mt., che consenta comunque l'accessibilità per i controlli ad ogni apparecchiatura della caldaia. Tra il soffitto e l'involucro della caldaia deve intercorrere una distanza di almeno un 1,80 mt.

Per caldaie con bollitore incorporato, la distanza fra l'involucro del bollitore stesso ed il soffitto deve essere non inferiore a 0.50 mt.

Accesso e comunicazioni

1.4. Il locale caldaia non deve avere aperture di comunicazione con locali destinati ad altro uso, compresi i vani scala ed ascensore. I fabbricati destinati a collettività, a pubblico spettacolo ed a particolari usi (ad esempio: scuole, ospedali, caserme, teatri, cinematografi, biblioteche, grandi magazzini di vendita, alberghi, ecc.) e in fabbricati di civile abitazione di altezza in gronda superiore a 24 mt., l'accesso al locale caldaia deve realizzarsi direttamente da spazi a cielo libero oppure da intercapedine superiormente grigliata a servizio esclusivo del locale stesso.

Negli altri fabbricati l'accesso può realizzarsi anche attraverso disimpegno avente un lato attestato verso spazio a cielo libero e con aperture, prive di serramento, di superficie non inferiore a m^2 0.5.

Nel caso che il disimpegno non sia attestato su spazio a cielo libero, oppure non sia possibile realizzare tutta la superficie di aerazione sopraddetta, l'aerazione può essere ottenuta mediante condotto, in materiale incombustibile, sfociante al di sopra della copertura del fabbricato; tale condotto deve essere sufficientemente coibentato se attraversante altro locale e deve avere una sezione non inferiore a m^2 0,12.

Porte

1.5. Le porte del locale e del disimpegno devono essere apribili verso l'esterno, incombustibili e munite di congegno di autochiusura. Quelle che si aprono verso locali interni devono essere anche a tenuta di fumo.

Aperture di ventilazione

1.6. Nei comuni nei quali non si applicano le prescrizioni del regolamento alla legge 13/7/66, n.615, contro l'inquinamento atmosferico, approvato con D.P.R. 22 dicembre 70 n.1391, il locale caldaia, ai fini della sicurezza, deve avere una o più aperture dirette su spazio a cielo libero, aventi sezione complessiva netta non inferiore ad 1/30 della superficie in pianta del locale per gli impianti di potenzialità fino a 1 milione di Kcal/h e non inferiore a 1/20 della superficie in pianta del locale, per gli impianti di potenzialità superiore a 1 milione di Kcal/h, con un minimo di:

- a) 0.50 m^2 per gli impianti di potenzialità fino a 500.000 Kcal/h;
- b) 0.75 m^2 per gli impianti di potenzialità superiore a 500.000 Kcal/h e fino a 750.000 Kcal/h;
- c) 1.00 m^2 per gli impianti di potenzialità superiore a 750.000 Kcal/h.

1.7. Ai fini delle presenti norme, per impianti per forni da pane e forni di

altri laboratori artigianali, per cucine e lavaggio stoviglie, per lavaggio biancheria e sterilizzazione, per inceneritori di rifiuti, deve intendersi non il solo impianto termico o bruciatore, ma il complesso dei locali e degli impianti necessari allo svolgimento delle lavorazioni strettamente collegate all'uso dell'impianto termico. La superficie di tali locali, al fine della determinazione della superficie di aerazione di cui al precedente punto 1.6, va limitata a quella minima indispensabile alla conduzione dell'impianto in relazione anche alla potenzialità termica dell'impianto stesso.

Ai locali destinati a detti impianti non vanno applicate le norme del precedente punto 1.3.

CONDOTTA DEI GENERATORI A VAPORE (R.G. 824/27)

Art. 27 - Nessun generatore di vapore, fatta eccezione di quelli indicati agli art. 4 e 5, può essere posto e mantenuto in azione senza la continua assistenza di persona che abbia i seguenti requisiti:

- 1) età non minore di 18 anni compiuti;
- 2) moralità e buona condotta;
- 3) idoneità fisica;
- 4) possesso del certificato di abilitazione per il tipo di generatore corrispondente.

Art. 28 - Quando più generatori posti nel medesimo opificio funzionino in locali separati o distinti, siano pure contigui, per ogni locale deve esservi un conduttore patentato, a meno che sia prescritto un numero maggiore, con ordinanza motivata dell'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione.

Art. 29 - Il certificato di abilitazione è rilasciato dagli uffici dell'Ispettorato del lavoro, in base ai risultati di esame sostenuti dinanzi ad apposita Commissione, nominata dal Ministero per il lavoro e la previdenza sociale e composta:

- 1) da un ispettore del lavoro, laureato in ingegneria, di grado non inferiore all'ottavo, appartenente all'Ufficio dell'Ispettorato del lavoro nella cui circoscrizione si svolge la sessione di esami, con funzioni di presidente;
- 2) dal direttore della sezione dell'Associazione Nazionale per il controllo della combustione, competente per territorio, o da un funzionario della sezione stessa laureato in ingegneria da lui delegato;
- 3) da un esperto in materia di impianti di generazione di vapore.

Il certificato di abilitazione deve essere conforme al modello stabilito dal Ministero del lavoro e dalla previdenza sociale.

Art. 30 - Con Decreto Ministeriale sono stabilite le sedi e le epoche in cui si svolgono le sessioni di esami, e sono indicate le modalità per l'ammissione agli esami, per l'espletamento delle relative prove, per il rilascio dei certificati e per i gradi dei certificati medesimi. Sono altresì stabilite le norme per l'equipollenza dei certificati e titoli ottenuti in base ad altri regolamenti.

Art. 31 - Gli agenti tecnici dell'Associazione debbono accertare se il personale addetto alla condotta dei generatori di vapore possieda i requisiti prescritti dall'art. 27 ed in quale modo disimpegni le proprie mansioni. Anche gli ispettori del lavoro hanno facoltà di procedere agli accertamenti di cui al precedente comma.

Qualora il conduttore non adempia abitualmente con diligenza le sue mansioni o abbia determinato, per dolo o per negligenza, notevoli avarie al generatore da lui condotto, anche se non vi sia stato infortunio ovvero abbia comunque posto in pericolo l'incolumità di altri lavoratori, il capo circolo dell'Ispettorato del Lavoro, con ordinanza motivata e previa contestazione degli addebiti, può senza pregiudizio delle altre sanzioni previste dalla legge e dal contratto di lavoro, sospenderlo fino a sei mesi dall'esercizio delle sue mansioni od anche revocare il certificato di abilitazione.

Contro l'ordinanza del capo circolo è ammesso ricorso entro trenta giorni dalla sua comunicazione al Ministero dell'Economia Nazionale che decide definitivamente.

Art. 32 - Salvo i casi di forza maggiore, il conduttore non può abbandonare il servizio senza preavviso di almeno cinque giorni, fermi restando i termini e le altre condizioni stabiliti dal contratto di lavoro o dalla consuetudine che non contraddicano a tale disposizione.

In caso di contravvenzione da parte del conduttore all'obbligo suddetto, il capo circolo dell'Ispettorato del Lavoro può con ordinanza motivata e previa contestazione degli addebiti ed indipendentemente dalle altre sanzioni penali e delle azioni civili, sospendere il conduttore stesso, per un periodo non superiore a due mesi, dall'abilitazione alla condotta dei generatori ed, in caso di recidiva o nei casi di pericolo di infortunio, può anche ordinare detta sospensione per un periodo fino a 6 mesi o revocare l'abilitazione.

Contro i suddetti provvedimenti è dato ricorso entro trenta giorni dalla comunicazione al Ministero dell'Economia Nazionale che decide definitivamente.

Art. 33 - In ogni locale ove siano generatori di vapore deve essere affisso, a cura dell'utente, un estratto delle principali disposizioni relative agli obblighi dei conduttori, compilato dall'Associazione per il controllo sulla combustione.

DENUCIE

Denuncie di costruzione o di riparazione.

Art. 45 - Entro dieci giorni dalla data in cui viene iniziata la costruzione o la riparazione di un apparecchio a pressione, il costruttore o il riparatore ne deve dare denuncia all'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione.

Colui che abbia introdotto nello Stato un apparecchio a pressione deve darne denuncia all'Associazione entro 10 giorni dalla avvenuta introduzio-

ne.

Denuncie di esercizio

Art. 46 - Salve le norme di cui all'art. 44 per i recipienti destinati al trasporto di gas e per i recipienti fissi assimilabili ad essi, deve essere data denuncia all'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione, di ogni apparecchio soggetto alle prescrizioni del presente titolo, che:

- a) debba essere posto in esercizio;
- b) abbia subito uno dei restauri indicati dall'art. 60, lettera c);
- c) sia stato oggetto di nuovo impianto;
- d) sia stato riattivato dopo un periodo di inattività constatata da un agente tecnico dell'Associazione, con verbale di diffida d'uso;
- e) sia stato oggetto di trasferimento di proprietà o di possesso;
- f) abbia avuto un cambiamento d'uso o d'esercizio;
- g) sia da porsi fuori d'uso, per determinazione del possessore;
- h) sia da ritenersi che rimarrà inattivo per un periodo superiore ad un anno.

E' altresì obbligatoria la denuncia fatta quando ne sia fatta richiesta dall'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione.

Nel casi indicati alle lettere a), b), d), e), ed al capoverso primo la denuncia anche se l'apparecchio sia inattivo o sia impiegato per usi che non ne richiedano il funzionamento sotto pressione, è obbligatoria.

E' prescritta la denuncia nei casi previsti dal presente articolo anche per gli apparecchi per i quali sia stata rilasciata la dichiarazione di esonero.

Art. 47 - La denuncia deve indicare gli elementi necessari per l'individuazione dell'apparecchio.

Per i generatori fissi e semifissi alla denuncia di nuovo impianto deve essere allegato un disegno in scala (pianta e sezione) del locale destinato all'impianto.

Nel caso di apparecchio totalmente esonerato, insieme alla denuncia deve essere inviato all'Associazione il libretto di cui all'art. 69.

Art. 48 - Quando si tratta di variazione di possesso di un apparecchio totalmente esonerato, l'Associazione ne prende nota sulla dichiarazione di esonero che dalla Associazione stessa deve essere consegnata al nuovo possessore.

Art. 49 - Le denuncie debbono essere fatte dal proprietario o dal possessore dell'apparecchio.

Le denuncie per trasferimento di proprietà o di possesso debbono essere fatte tanto da chi cede, quanto da chi subentra nella proprietà o nel possesso dell'apparecchio.

Quando l'apparecchio è posto in esercizio dopo una riparazione il proprietario o il possessore dell'apparecchio non sono obbligati alla denuncia se questa sia stata fatta dal riparatore agli effetti dell'art. 52.

Art. 50 - Le denuncie di cui alla lettera a) dell'art. 46 debbono pervenire all'Associazione prima che l'apparecchio sia posto in esercizio ed in tempo uti-

le perchè possano essere eseguite le verifiche regolamentari; le denunce di cui alle lettere b) e c) debbono pervenire prima che l'apparecchio venga riattivato; quelle di cui alle lettere d), e), f) e g) entro 10 giorni dall'avvenuta variazione; le denunce di cui alla lettera h) entro il mese di ottobre dell'anno precedente a quello in cui si prevede che l'apparecchio rimarrà inattivo, e le denunce di cui al capoverso primo dell'art. 46 debbono pervenire nei termini che saranno stabiliti dall'Associazione.

Denunce per avarie

Art. 51 - Nel caso di scoppio o di gravi avarie di un apparecchio anche se non determinanti infortunio, l'utente deve farne denuncia entro 24 ore, mediante lettera raccomandata od in altro modo equipollente, sia all'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione che al Ministero dell'Economica Nazionale (Direzione generale del lavoro), fermi restando gli obblighi che in materia possano derivargli da altre disposizioni legislative.

VERIFICHE

Verifiche di costruzione e di riparazione

Art. 52 - Salvo deroghe stabilite dall'art. 5 e salvo le norme speciali, di cui all'art. 44, gli esercenti di officine per la costruzione di apparecchi a pressione debbono far sottoporre gli apparecchi soggetti alle norme del presente titolo che man mano costruiranno o porranno in riparazione, ad una visita interna quando l'apparecchio sia ancora smontato o comunque non finito e ad una successiva prova idraulica quando la costruzione o la riparazione sia terminata.

Ambedue queste verifiche debbono eseguirsi in officina. Tuttavia per gli apparecchi che non possono montarsi che sul luogo di esercizio, si eseguirà in officina solo la visita interna.

Le visite sindacate debbono essere eseguite a norma degli articoli 55 e seguenti dagli agenti tecnici dell'Associazione, i quali rilasceranno un certificato delle prove eseguite.

Il presente articolo si applica anche agli apparecchi in corso di costruzione e riparazione all'entrata in vigore del presente regolamento.

Art. 53 - Le verifiche prescritte dal precedente articolo, anche se eseguite con esito positivo, non esimono i costruttori ed i riparatori di apparecchi a pressione dalle eventuali responsabilità civili e penali relative agli apparecchi da essi costruiti o riparati.

Art. 54 - I costruttori e riparatori di apparecchi a pressione debbono consegnare in doppio esemplare all'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione, prima che venga eseguita la visita interna, il disegno quotato indicante esattamente tutti i particolari costruttivi necessari agli effetti del controllo, di ogni apparecchio in costruzione o riparazione.

Anche chi importa dall'estero un apparecchio a pressione deve inviare all'Associazione il predetto documento non oltre dieci giorni dalla introduzio-

ne in Italia dell'apparecchio stesso.

Verifiche di esercizio

Disposizioni generali

Art. 55 - Salvo le deroghe stabilite dall'art. 5 e salvo le norme speciali di cui all'art. 44, gli apparecchi a pressione soggetti alle norme del presente titolo debbono essere sottoposti, per poter essere messi e mantenuti in esercizio, alle verifiche prescritte dai seguenti articoli.

Dette verifiche sono eseguite dagli agenti tecnici dell'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione.

Art. 56 - Salva l'eccezione di cui all'art. 65 capoverso secondo, l'Associazione è obbligata a preavvisare l'interessato del giorno in cui avrà luogo la verifica. Può tuttavia disporre senza preavviso quando siano da presumersi infrazioni alle disposizioni regolamentari.

Art. 57 - Ove l'agente tecnico ritenga che l'apparecchio non sia idoneo al funzionamento, ne deve ordinare la sospensione d'uso e deve trascrivere le sostituzioni, le riparazioni e le aggiunte necessarie, stabilendo altresì i termini per il loro adempimento e le verifiche da eseguirsi prima che l'apparecchio possa funzionare.

Art. 58 - I generatori semifissi di capacità totale inferiore ai 150 litri sono soggetti soltanto alle visite ed alle prove di esercizio prescritte per le locomobili.

Art. 59 - Per i recipienti di vapore, gli agenti tecnici dell'Associazione incaricati della verifica possono sostituire, in caso di necessità, una prova idraulica alla visita interna oppure eseguire, in luogo di tali verifiche, una prova speciale iniettando vapore nel recipiente fino ad ottenere la pressione di mezzo chilogrammo per cm² superiore a quella del bollo e mantenendo tale pressione durante tutto il tempo occorrente per l'ispezione.

In ogni caso è obbligatoria la prima prova idraulica.

Prova idraulica

Art. 60 - Oltre alle verifiche di cui all'art. 52 salvo le norme speciali di cui all'art. 44, ogni generatore fisso o semifisso o qualsiasi apparecchio proveniente dall'esterno, prima di essere posto in funzione, deve subire la prova idraulica sul luogo d'impianto.

Sono soggetti altresì alla prova idraulica:

a) gli apparecchi che, sebbene provati anteriormente, formino oggetto di nuovo impianto;

b) gli apparecchi per i quali, in seguito alla visita interna, sia stata riconosciuta la necessità della prova stessa dell'Associazione con provvedimento motivato;

c) gli apparecchi che abbiano avuto uno dei seguenti restauri:

- 1) applicazione di una o più toppe, la cui superficie complessiva sia superiore ad un quarto di m²;
- 2) applicazione di una toppa di qualunque dimensione, in una lamiera

esposta alla fiamma diretta;

- 3) applicazione di una toppa che interrompa una chiodatura di una lamiera per un terzo della sua lunghezza totale;
- 4) applicazione di una toppa all'incontro di più lamiere; cioè comprendente insieme un giunto trasversale ed uno longitudinale del corpo del generatore;
- 5) cambio di una parte essenziale del generatore;
- 6) sostituzione di oltre un quarto dei tubi da fumo o da acqua quando tale quarto non sia inferiore a sei tubi.

Art. 61 - Gli apparecchi di nuovo impianto devono essere sottoposti alla prova idraulica prima che siano chiusi dalla muratura o da altro rivestimento.

Per le locomobili è in facoltà dell'agente tecnico di eseguire la prova senza far togliere il rivestimento.

Per gli apparecchi chiusi da muratura o da altro rivestimento è in facoltà dell'agente tecnico di esigere che per la prova la muratura o il rivestimento siano in tutto o in parte rimossi, specialmente quando non siano ispezionabili interamente.

Ogni apparecchio deve essere sottoposto ad una prova idraulica entro dieci anni dalla data in cui sia stata eseguita altra prova idraulica.

Art. 62 - La prova idraulica consiste nel sottoporre l'apparecchio a pressione idraulica.

La pressione deve essere mantenuta per tutto il tempo necessario per l'esame dell'apparecchio in ogni sua parte.

Per gli apparecchi costruiti nello Stato, dopo l'entrata in vigore del presente regolamento, completamente con materiale nuovo, mai adoperati e che debbono funzionare a non più di 10 Kg. la prova idraulica si esegue ad una pressione uguale ad una volta e mezzo la pressione massima effettiva di lavoro. La pressione però non deve essere inferiore a Kg. 1,5 per cm².

Ove si tratti di apparecchi funzionanti al di sopra di 10 Kg. per cm², la prova deve essere fatta ad una pressione che superi di 5 Kg. per cm² quella normale.

Tale pressione di prova non deve essere mai inferiore, in ogni caso, ad una volta e un quarto la pressione massima di lavoro.

Le disposizioni di cui ai commi precedenti si applicano altresì:

- a) agli apparecchi importati, anche se anteriormente all'entrata in vigore del presente regolamento, né mai sottoposti in Italia alle verifiche di legge;
- b) agli apparecchi per i quali non si abbiano gli elementi di individuazione prescritti dal presente regolamento (libretto, targhetta e bollo);
- c) agli apparecchi per i quali dall'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione sia stato autorizzato un aumento di pressione.

L'Associazione non può autorizzare un aumento di pressione tale da superare quella indicata sulla targhetta o altrimenti dichiarata dal costruttore.

Per gli apparecchi usati o riparati dei quali si conosca la provenienza e si

abbiano gli elementi di individuazione prescritti dal presente regolamento, nonché per i generatori e recipienti di vapore, le prove idrauliche si eseguono ad una pressione uguale ad una volta e un quarto la pressione massima effettiva di lavoro o comunque mai inferiore ad un Kg per cm². Ove si tratti di apparecchi funzionanti al di sopra di 10 Kg per cm² la nuova prova sarà fatta ad una pressione che superi di Kg 2,5 quella normale ed in ogni caso non mai inferiore ad una volta ed un ottavo la pressione massima di lavoro.

La pressione di prova per gli apparecchi indicati ai commi a) e c) dell'art. 60 deve essere quella indicata per i generatori o recipienti usati o riparati di cui al capoverso precedente.

Per gli apparecchi di vapore di cui alla lettera b) dell'art. 60 ed all'art. 61 la pressione di prova deve essere uguale a quella di bollo.

Visita interna.

Art. 63 - La visita interna consiste nell'esame di tutte le parti dell'apparecchio tanto internamente quanto esternamente, e dei suoi accessori.

Indipendentemente dalle visite e prove eseguite nella officina del costruttore o del riparatore, la prima visita interna sul posto di impianto deve sempre accompagnare la prima prova idraulica dell'apparecchio fatta sul posto; la seconda deve aver luogo entro un anno dalla prova a caldo. Le successive visite interne debbono essere eseguite a periodi di tempo non maggiori di due anni.

Quando un apparecchio subisca per qualsiasi ragione una prova idraulica, questa deve essere sempre accompagnata da una visita interna; una successiva visita interna deve essere eseguita entro un anno dalla detta prova o dalla prova a caldo che immediatamente la segua.

Per gli apparecchi rimasti inattivi oltre due anni, la visita interna, da eseguirsi alla ripresa del lavoro, deve precedere la prova a caldo.

Art. 64 - I generatori ed i recipienti di vapore usati che sono sottoposti alla prima visita interna senza bollo o senza targhetta ovvero senza libretto, oppure senza documenti che permettano di conoscere i precedenti di costruzione e di esercizio, debbono subire la visita interna senza rivestimento esterno, e, ove abbiano fascio di tubi da fumo, a fasci tubolari estratti.

Per i generatori a tubi da fumo anche se provvisti di targhetta, bollo e libretto, l'agente tecnico che deve eseguire la visita interna può esigere, qualora lo ritenga necessario, la rimozione parziale o anche totale dei tubi.

Quando nei generatori fissi o semifissi i tubi da fumo per una ragione qualunque siano stati tutti rimossi, l'utente deve chiedere all'Associazione che sia eseguita una visita interna prima che siano rimessi a posto. Nel verbale di visita l'agente tecnico dell'Associazione deve certificare la avvenuta rimozione dei tubi.

Prove a caldo.

Art. 65 - La prova a caldo consiste nell'esame accurato del funzionamento del generatore e del recipiente di vapore e dei suoi accessori.

La prova a caldo si deve fare dopo la prima prova idraulica e dopo le pro-

INSIEME
ACCA FUMI
MURATURA
CENTRO
LAVORO
FUMI A
CALDO
SUCCESSIVE
OGNI 2 ANNI

OGNI 10
ANNI
PROVA
IDRAULICA

ve idrauliche per nuovo impianto e per restauro.

Le prove a caldo successive sono fatte, anche senza preavviso, a periodi di tempo non maggiori di due anni.

Per le locomobili destinate ad uso agricolo la prova a caldo periodica può essere sostitutiva, a giudizio dell'agente tecnico incaricato della verifica da una prova idraulica alla pressione del bollo oppure da una visita interna.

In ogni caso però la prova a caldo deve essere eseguita dopo un intervallo non maggiore di 4 anni.

Art. 66 - Indipendentemente da quanto è disposto nei precedenti articoli, ogni generatore, o recipiente di vapore, deve subire in ogni anno la visita interna o una prova a caldo, anche se nell'anno precedente abbia subito ambedue queste verifiche.

Bollo di prova, libretti e verbali di verifica.

Art. 67 - Su ogni apparecchio nell'apposito spazio circolare della targhetta deve essere applicato dall'agente tecnico, dopo eseguita la prova, un bollo conforme al modello stabilito dal Ministero dell'Economia Nazionale indicante in Kg per cm² la pressione che non deve essere oltrepassata, e sul bollo l'agente tecnico deve punzonare tre numeri indicanti il giorno, il mese e l'anno della prima prova.

Tanto la data punzonata sul bollo quanto i numeri punzonati sui chiodi della targhetta devono essere indicati sul certificato di prova.

Quando ad un apparecchio sia comunque modificata la pressione di esercizio, l'agente tecnico deve ritirare il bollo e sostituirlo con altro indicante la nuova pressione, sul quale deve punzonare i tre numeri della data della visita e della riprova in base alla quale sia stata fatta la modificazione della pressione, certificando nel verbale l'adempimento delle suddette operazioni.

Art. 68 - La targhetta ed il bollo devono essere applicati anche agli apparecchi per i quali sia emessa la dichiarazione di esonero.

Sugli apparecchi totalmente esonerati deve essere però applicato un bollo speciale avente stampato in rilievo la dicitura di "esonero".

Art. 69 - Salve le disposizioni di cui all'art. 44, per ogni apparecchio a pressione, anche se esonerato, deve essere rilasciato dall'agente tecnico dopo eseguita la prima visita, un libretto da lui compilato e conforme al modello stabilito dall'Associazione.

Per gli apparecchi nuovi, il libretto deve contenere anche lo schizzo quotato dell'apparecchio, ove non si tratti di tipo noto.

Art. 70 - Di ciascuna verifica l'agente tecnico deve redigere verbale i cui risultati saranno da lui trascritti sul libretto nel quale deve dichiarare altresì se l'apparecchio sia atto o meno al funzionamento.

Nei verbali di verifiche fatte in dipendenza del restauro dell'apparecchio, l'agente deve indicare il nome e l'indirizzo del riparatore e se questi abbia soddisfatto alle prescrizioni di cui all'art. 52.

Art. 71 - Il libretto deve dall'utente essere consegnato al conduttore del generatore o dei recipienti e deve essere estensibile a richiesta degli agenti techni-

ci dell'Associazione o degli ispettori del lavoro.

Art. 72 - Ogni apparecchio soggetto al presente titolo è contrassegnato dalla sigla della Provincia in cui è stato costruito od importato - quando si tratti di apparecchi provenienti dall'estero - e per ogni Provincia da un numero di matricola.

Dette sigle vengono assegnate dall'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione.

Demolizioni e modificazioni di uso.

Art. 73 - Ove un apparecchio, per il suo stato di conservazione o per il modo di costruzione o per altre cause, non dia, ai fini della tutela della incolumità dei lavoratori e della prevenzione degli infortuni, sufficiente garanzia di idoneo funzionamento, né presenti possibilità di adatte riparazioni, sostituzioni o aggiunte, ovvero quando l'interessato non provveda a far eseguire tali opere nel termine prescritto ai sensi dell'art. 57, l'Associazione Nazionale per il controllo sulla combustione deve ordinare la demolizione dell'apparecchio, anche se inattivo.

La demolizione deve essere eseguita previo tempestivo avviso da farsi dall'interessato all'Associazione, entro il termine da questa prescritto, e sotto il controllo di un suo agente tecnico, il quale provvederà a ritirare la targhetta col bollo ed il libretto. Ove l'interessato non proceda alla demolizione nel termine prescritto, vi provvederà d'ufficio l'Associazione, a spese dell'interessato suddetto, senza pregiudizio delle sanzioni penali.

Quando il possessore dichiara di volersi servire dell'apparecchio per usi che non ne richiedano il funzionamento sotto pressione, l'Associazione può concedere l'autorizzazione relativa, determinandone le condizioni e soprassedendo alla demolizione.

In tal caso sarà ritirato dall'Associazione il bollo. L'apparecchio però dovrà essere usato nel luogo indicato dall'utente nella sua domanda all'Associazione, e se trasportato altrove, ne deve essere data denuncia all'Associazione entro 10 giorni dall'effettuato trasporto.

E' vietata la cessione a qualsiasi titolo dell'apparecchio per il quale sia stata data l'autorizzazione di cui al terzo capoverso del presente articolo.

NORME PER L'ABILITAZIONE ALLA CONDUZIONE DI GENERATORI DI VAPORE

Classifica dei certificati di abilitazione alla conduzione dei generatori di vapore e requisiti generali per il rilascio degli stessi.

Art. 1 - Certificati di abilitazione - I certificati di abilitazione alla conduzione dei generatori di vapore sono di 4 gradi:

Il certificato di 1° grado abilita alla conduzione di generatori di vapore di qualsiasi tipo e di qualsiasi superficie;

Il certificato di 2° grado abilita alla conduzione di generatori di vapore di qualsiasi tipo, aventi una produttività fino a 20 t/h di vapore;

Il certificato di 3° grado abilita alla conduzione di generatori di vapore di qualsiasi tipo, aventi una producibilità fino a 3 t/h di vapore;

Il certificato di 4° grado abilita alla conduzione di generatori di vapore di qualsiasi tipo, aventi una producibilità fino a 1 t/h di vapore;

Art. 2 - Determinazione della producibilità - Il valore della producibilità da prendere in considerazione ai fini dei gradi stabiliti dall'art. 1 è quello della producibilità massima continua dichiarato dal costruttore e riportato nel libretto matricolare del generatore.

Ove il valore di cui al precedente comma non fosse specificato, sono stabiliti i seguenti limiti:

4° grado: valido per conduzione di generatori di vapore avente superficie di riscaldamento non superiore a 30 m²;

3° grado: valido per la conduzione di generatori di vapore avente superficie di riscaldamento non superiore a 100 m²;

2° grado: valido per la conduzione di generatori di vapore avente superficie di riscaldamento non superiore a 500 m²;

1° grado: nessuna limitazione;

Art. 3 - Modalità e requisiti per l'ammissione agli esami e per il rinnovo dei certificati di abilitazione - I certificati di abilitazione vengono rilasciati a norma del presente decreto, previo esito favorevole degli esami di abilitazione di cui appresso.

Per l'ammissione agli esami l'aspirante deve avere l'età non inferiore a 18 anni compiuti.

L'aspirante deve presentare all'ispettorato provinciale del lavoro nella cui circoscrizione ha luogo la sessione di esami a cui intende partecipare, apposita domanda su carta legale nella quale deve dichiarare il grado di abilitazione che intende conseguire.

Alla domanda devono essere allegati:

a) il certificato di nascita comprovante che l'aspirante conduttore ha compiuto gli anni 18 alla data di scadenza del termine stabilito dal bando di esami per la presentazione della domanda;

b) il certificato medico di idoneità psico-fisica alla conduzione dei generatori di vapore rilasciato, in data non inferiore a tre mesi da quella di scadenza del termine stabilito dal bando di esame per la presentazione della domanda, dall'ufficiale sanitario comunale o dal medico provinciale o da sanitari di enti ospedalieri o da altri medici all'uopo autorizzati;

c) il libretto personale di tirocinio, con le dichiarazioni di cui agli artt. 8 e 11 del presente decreto;

d) due fotografie formato tessera di data recente firmate sul verso dall'aspirante.

Il certificato di abilitazione ha validità di cinque anni dalla data del suo rilascio e scade comunque al compimento del 65° anno di età del conduttore abilitato.

L'ispettorato provinciale del lavoro provvede al rinnovo dei certificati di

abilitazione su domanda degli interessati, alla scadenza del quinquennio; la domanda potrà essere corredata dal certificato medico rilasciato dai medici indicati al precedente art. 3, dal quale risulti il permanere della idoneità psico-fisica del conduttore.

Tirocinio

Art. 4 - Libretto personale di tirocinio - Salvo quanto disposto dagli artt. 19 e 20 del presente decreto, l'aspirante al conseguimento di un certificato di abilitazione, per potere comprovare l'effettuazione del periodo di tirocinio prescritto, deve provvedersi del libretto personale di tirocinio.

Art. 5 - Modalità per il rilascio del libretto di tirocinio - Per ottenere il rilascio del libretto di tirocinio, l'interessato deve presentare domanda alla sezione dell'Associazione Nazionale per il controllo della combustione, nella cui circoscrizione l'aspirante abbia la propria residenza, corredata da:

a) fotografia di data recente formato tessera, firmata sul verso dall'interessato;

b) certificato di nascita;

c) certificato degli studi compiuti.

La sezione dell'Associazione Nazionale per il controllo della combustione, accertata la regolarità della documentazione, provvede gratuitamente al rilascio del libretto personale di tirocinio all'interessato.

Il giorno della presentazione della domanda, l'interessato deve aver compiuto 16 anni di età.

Art. 6 - Durata del tirocinio - Per l'ammissione agli esami per il conseguimento di ciascuno dei seguenti gradi di abilitazione è necessario che l'aspirante sia in possesso dei requisiti sotto indicati:

1° grado:

a) sia in possesso di laurea in ingegneria o di laurea in chimica industriale, di diploma di istituto tecnico nautico sezione macchinisti o di istituto tecnico industriale limitatamente alle specializzazioni: fisica industriale, industrie metalmeccaniche, industria navalmeccanica, meccanica, meccanica di precisione, termotecnica o di diploma di maturità professionale riconosciuto ad essi equipollente oppure sia in possesso del certificato di 2° grado, rilasciato a norma del presente decreto da almeno un anno, purché abbia compiuto gli studi di istruzione obbligatoria;

b) abbia prestato un tirocinio di 180 giornate lavorative presso un generatore di vapore avente una potenzialità di oltre 20 t/h di vapore o, in difetto di tale valore, presso un generatore di vapore avente una superficie di riscaldamento superiore a 500 m²;

2° grado: abbia prestato un tirocinio di 240 giornate lavorative presso un generatore di vapore avente una potenzialità di oltre 3 t/h di vapore o, in difetto di tale valore, presso un generatore di vapore avente superficie di riscaldamento superiore a 100 m²;

3° grado: abbia prestato un tirocinio di 180 giornate lavorative presso un generatore di vapore avente una potenzialità di oltre 1 t/h di vapore o, in di-

fetto di tale valore, presso un generatore di vapore avente superficie di riscaldamento superiore a 30 m².

4° grado: abbia prestato un tirocinio di 150 giornate lavorative presso un generatore di vapore di tipo non esonerabile dall'obbligo del conduttore patentato.

Art. 7 - Frazionamento del periodo di tirocinio - Il tirocinio può essere effettuato in non più di due periodi ed è ritenuto valido qualora fra i suddetti periodi non intercorra un lasso di tempo superiore ad un anno. Comunque ai fini della sua validità, tra la data di completamento del tirocinio e quella di presentazione della domanda in esame non deve intercorrere un periodo di tempo superiore ad un anno.

Art. 8 - Validità del tirocinio - Il tirocinio è valido per la partecipazione ad una sola sessione di esami e la data di inizio dello stesso non può essere anteriore a quella di rilascio del libretto personale di tirocinio.

Il prescritto periodo di tirocinio si computa dalla data di inizio alla data di chiusura di esso, apposte sul relativo libretto dall'utente del generatore presso il quale il tirocinio suddetto viene effettuato; comunque la data della fine del tirocinio non deve essere posteriore a quella indicata nel bando di esami, quale data di scadenza del termine per la presentazione della domanda.

A comprova dell'esecuzione del periodo di tirocinio prescritto, devono essere apposte sul libretto una dichiarazione firmata del conduttore patentato sulla guida del quale l'aspirante ha effettuato il tirocinio ed una firma di convalida dell'utente del generatore.

Qualora nel corso del periodo di tirocinio si verificano variazioni riguardanti il generatore di vapore o il conduttore o l'utente, devono essere rinnovate le annotazioni riguardanti l'apparecchio, la dichiarazione del conduttore e la firma dell'utente, a seconda del caso verificatosi.

Agli effetti dell'ammissione agli esami è necessario l'accertamento da parte dell'agente tecnico dell'Associazione Nazionale per il controllo della combustione, della rispondenza della dichiarazione del conduttore patentato.

Art. 9 - Riduzione di tirocinio - La durata del tirocinio, di cui ai presenti art., è ridotta di un terzo in favore dell'aspirante in possesso di uno dei seguenti titoli:

a) certificato di frequenza, con buon esito, di un corso per conduttori di generatori di vapore, relativo al grado che intende conseguire, autorizzato dal Ministero del lavoro e della previdenza sociale;

b) certificato di abilitazione di 3° e 4° grado ai fini del conseguimento dell'abilitazione immediatamente superiore.

Le riduzioni suddette non sono cumulabili fra loro.

Art. 10 - Tirocinio supplementare - Il candidato che non abbia conseguito l'idoneità in una sessione di esami prevista dagli artt. 12 e seguenti del presente decreto, per essere ammesso ad altra sessione di esami deve compiere un tirocinio supplementare, di durata pari alla metà del periodo di tirocinio prescritto per il tipo di abilitazione per il conseguimento della quale non è stato

riconosciuto idoneo.

Il tirocinio supplementare è obbligatorio anche per il candidato che, per l'ammissione agli esami in cui sia stato respinto, abbia beneficiato di equipollenza, ai sensi dell'art. 19 del presente decreto.

Il tirocinio supplementare deve essere effettuato secondo le modalità previste dagli artt. 7 e 8 del presente decreto.

Art. 11 - Modalità per l'accertamento di tirocinio - Gli agenti tecnici dell'Associazione Nazionale per il controllo della combustione, in occasione dei sopralluoghi o di verifiche, dopo aver constatato, su richiesta dell'aspirante conduttore, che lo stesso effettua il tirocinio pratico sotto la guida del conduttore patentato e presso il generatore del tipo indicato nel libretto personale di tirocinio, appongono sul libretto stesso la dichiarazione dell'accertamento eseguito.

PROSPETTO DELLE SESSIONI DI ESAMI PER IL CONSEGUIMENTO DELL'ABILIAZIONE ALLA CONDUZIONE DI GENERATORI DI VAPORE DA TENERSI PERIODICAMENTE.

Sede degli esami	Epoca degli esami
Aosta	Maggio - giugno
Torino	Maggio - giugno
Alessandria	Gennaio - febbraio
Asti	Ottobre - novembre
Biella	Ottobre - novembre
Cuneo	Settembre - ottobre
Novara	Marzo - aprile
Vercelli	Novembre - dicembre
Genova	Novembre - dicembre
La Spezia	Giugno - luglio
Savona	Aprile - maggio
Milano	Febbraio - marzo
Milano	Giugno - luglio
Milano	Ottobre - novembre
Bergamo	Maggio - giugno
Brescia	Marzo - aprile
Brescia	Settembre - ottobre
Como	Settembre - ottobre
Cremona	Settembre - ottobre
Mantova	Maggio - giugno
Pavia	Gennaio - febbraio
Varese	Gennaio - febbraio
Bolzano	Novembre - dicembre
Trento	Aprile - maggio
Venezia	Novembre - dicembre

Padova
Treviso
Verona
Vicenza
Trieste
Pordenone
Udine
Bologna
Ferrara
Forlì
Modena
Parma
Piacenza
Reggio Emilia
Firenze
Arezzo
Livorno
Lucca
Pisa
Perugia
Terni
Ancona
Ascoli Piceno
Pesaro
Roma
Latina
Rieti
L'Aquila
Chieti
Pescara
Teramo
Campobasso
Napoli
Salerno
Bari
Brindisi
Foggia
Lecce
Taranto
Reggio Calabria
Catanzaro
Cosenza
Palermo
Caltanissetta

Maggio - giugno
Marzo - aprile
Settembre - ottobre
Gennaio - febbraio
Maggio - giugno
Febbraio - marzo
Novembre - dicembre
Maggio - giugno
Settembre - ottobre
Gennaio - febbraio
Novembre - dicembre
Settembre - ottobre
Marzo - aprile
Gennaio - febbraio
Novembre - dicembre
Settembre - ottobre
Luglio - agosto
Maggio - giugno
Gennaio - febbraio
Marzo - aprile
Settembre - ottobre
Maggio - giugno
Febbraio - marzo
Settembre - ottobre
Maggio - giugno
Febbraio - marzo
Ottobre - novembre
Maggio - giugno
Aprile - maggio
Ottobre - novembre
Febbraio - marzo
Ottobre - novembre
Novembre - dicembre
Maggio - giugno
Settembre - ottobre
Novembre - dicembre
Maggio - giugno
Marzo - aprile
Gennaio - febbraio
Gennaio - febbraio
Giugno - luglio
Settembre - ottobre
Maggio - giugno
Maggio - giugno

Catania
Messina
Siracusa
Trapani
Cagliari
Sassari

Marzo - aprile
Settembre - ottobre
Novembre - dicembre
Novembre - dicembre
Settembre - ottobre
Giugno - luglio

ESONERI PARZIALI (D.M. 21-5-1974)

Art. 43: Generatori di vapore a funzionamento automatico.

1. Generalità

1.1 La presente specifica si applica ai generatori di vapore, o di acqua surriscaldata con camera di vapore, a funzionamento automatico, aventi produttività a carico massimo continuo non superiore a 3 t/h e pressione massima d'esercizio non superiore a 15 Kg/cm², per i quali si intenda ottenere l'esonero dalla prescrizione relativa alla presenza continua, nel luogo di installazione, del conduttore abilitato, ai sensi dell'art. 43 del D.M. 21/5/1974.

1.2 I generatori di vapore che alla data del 31/12/1974 fruiscono dell'esonero dall'assistenza continua del conduttore abilitato ai sensi dell'art. 46 del D.M. 27/10/1969 possono continuare ad usufruire di detto esonero fino al 31/12/1975.

2. Definizioni

2.1 Generatore di vapore automatico.

Per generatore di vapore automatico si intende quel generatore, il cui funzionamento è controllato da apparecchiature automatiche che regolano l'alimentazione del combustibile e dell'acqua in funzione di determinate grandezze di riferimento ed è protetto da apparecchiature di sicurezza pure automatiche.

2.2 Regolatore dell'alimentazione del combustibile

Per regolatore dell'alimentazione del combustibile si intende una apparecchiatura automatica che ha la funzione di regolare l'alimentazione del combustibile al bruciatore per mantenere entro i limiti prefissati la grandezza di riferimento che può essere:

2.2.1 Pressione del vapore nel generatore o pressione di fluidi secondari, scambianti calore con il vapore o con l'acqua del generatore stesso.

2.2.2 Temperatura dell'acqua nel generatore o temperatura di fluidi secondari scambianti calore con il vapore o con l'acqua del generatore stesso.

2.2.3 Portata del vapore o dell'acqua prelevati dal generatore o portata di fluidi secondari scambianti calore con il vapore o con l'acqua del generatore stesso.

2.2.4 I regolatori dell'alimentazione del combustibile in funzione della pressione o della temperatura o della portata vengono chiamati regolatori della pressione o della temperatura o della portata.

2.3 Regolatore dell'alimentazione dell'acqua (regolatore di livello).

Per regolatore dell'alimentazione dell'acqua si intende una apparecchiatura automatica che ha la funzione di regolare l'alimentazione per mantenere entro i limiti prefissati il livello dell'acqua nel generatore.

2.4 Apparecchiatura di sicurezza contro la sovrappressione in caldaia (prestato di sicurezza o di blocco).

Per prestato di sicurezza o di blocco si intende una apparecchiatura automatica che ha la funzione di interrompere l'alimentazione del combustibile al bruciatore al raggiungimento della pressione massima prefissata.

2.5 Apparecchiatura di sicurezza contro la mancanza dell'acqua (livellostato di sicurezza o di blocco).

Per livellostato di sicurezza o di blocco, si intende una apparecchiatura automatica che ha la funzione di interrompere l'alimentazione del combustibile al bruciatore al raggiungimento del livello minimo prefissato.

2.6 Apparecchiatura di sicurezza della combustione (controllo fiamma).

Per apparecchiatura di sicurezza della combustione si intende una apparecchiatura che interrompa l'alimentazione del combustibile al bruciatore allorchè vengono a mancare le condizioni di sicurezza della combustione.

Tale apparecchiatura deve comprendere un dispositivo rilevatore di fiamma che intervenga in mancanza di questa.

2.7 Le apparecchiature di regolazione automatica possono essere del tipo:

2.7.1 - tutto o niente;

2.7.2 - a gradini;

2.7.3 - modulanti.

3. Disposizioni di carattere generale

3.1 I generatori di vapore di cui al punto 1.1 devono essere corredati dalle sottoelencate apparecchiature:

3.1.1 regolatore dell'alimentazione del combustibile (regolatore della pressione o regolatore della temperatura o regolatore della portata) come definito al punto 2.2;

3.1.2 regolatore dell'alimentazione dell'acqua (regolatore di livello) come definito al punto 2.3;

3.1.3 apparecchiatura di sicurezza contro la sovrappressione (livellostato di sicurezza o di blocco) come definita al punto 2.4, che intervenga ad un valore della pressione non superiore a quello di taratura della valvola di sicurezza;

3.1.4 apparecchiatura di sicurezza contro la mancanza di acqua (livellostato di sicurezza o di blocco) come definito al punto 2.5, che intervenga ad un valore del livello non inferiore al minimo definito nell'art.22 del R.D. 12/5/1927 n. 824;

3.1.5 apparecchiatura di sicurezza della combustione (controllo di fiamma) come definito al punto 2.6, che realizzi le seguenti funzioni:

a) prelavaggio della camera di combustione e del circuito fumi del generatore prima di ogni accensione;

b) interruzione dell'alimentazione del combustibile in caso di mancata accensione di fiamma;

c) interruzione dell'alimentazione del combustibile in caso di accidentale spegnimento del bruciatore.

3.2 Il guasto o l'esclusione di una delle apparecchiature di regolazione o di sicurezza comporta l'obbligo della presenza continua del conduttore patentato fino al ripristino del sistema.

3.3 I generatori di cui al punto 1.1 devono essere alimentati con acqua preventivamente depurata.

4 Caratteristica del sistema di regolazione e di sicurezza

4.1 Le apparecchiature di sicurezza debbono essere funzionalmente indipendenti fra di loro e da quelle di regolazione.

L'indipendenza di ciascuna apparecchiatura di sicurezza è garantita allorchè il suo funzionamento è assicurato indipendentemente dall'azione, o dall'eventuale guasto delle altre apparecchiature.

L'utente o il realizzatore del sistema di regolazione e di sicurezza del generatore deve certificare che le apparecchiature possiedano i requisiti di cui al precedente capoverso. L'indipendenza funzionale dovrà comunque essere accertabile praticamente sul generatore.

4.2 L'intervento di ogni apparecchiatura di sicurezza deve comportare il ripristino manuale dell'apparecchiatura stessa che deve essere possibile solo dopo l'eliminazione delle cause di blocco.

4.3 La mancanza di energia ad ogni apparecchiatura di sicurezza deve comportare l'intervento di blocco con ripristino manuale dopo ripresa dell'alimentazione dell'energia.

4.4 L'intervento di blocco delle apparecchiature di sicurezza deve essere segnalato da un allarme visivo (singolo per ogni apparecchiatura) e da un allarme acustico nel locale del generatore.

Un allarme acustico deve essere riportato in un punto esterno normalmente frequentato e può essere unico per tutte le apparecchiature.

4.5 Eventuali organi (interruttori elettrici, valvole di intercettazione, ecc.) che consentano l'esclusione dal funzionamento delle apparecchiature di regolazione e sicurezza devono essere dotati di chiara indicazione della loro posizione (chiusura o apertura).

4.6 Gli elementi sensibili del regolatore di livello e del livellostato di sicurezza possono essere inseriti direttamente nel corpo del generatore o applicati esternamente ad esso nei modi seguenti:

4.6.1 in contenitori direttamente applicati al corpo del generatore;

4.6.2 in contenitori applicati a barilotto intermedio a sua volta direttamente applicato al corpo del generatore.

4.7 I collegamenti lato vapore di contenitori o barilotti intermedi al corpo del generatore debbono avere diametro interno non inferiore a 20 mm.

I collegamenti lato acqua debbono avere diametro interno non inferiore ai seguenti valori:

- 4.7.1 20 mm. - per contenitori di un solo elemento sensibile;
- 4.7.2 50 mm. - per contenitore di un elemento sensibile, al quale sia anche applicato un indicatore di livello regolamentare;
- 4.7.3 50 mm. - per barilotto intermedio al quale sia applicato il contenitore di un elemento sensibile ed eventualmente un indicatore di livello regolamentare;
- 4.7.4 90 mm. - per contenitore di entrambi gli elementi sensibili e al quale eventualmente sia anche applicato un indicatore di livello regolamentare;
- 4.7.5 90 mm. - per barilotto intermedio al quale siano applicati i contenitori di entrambi gli elementi sensibili ed eventualmente un indicatore di livello regolamentare.
- 4.7.6 Se ad un contenitore di elementi sensibili sono applicati anche entrambi gli indicatori di livello regolamentari, entrambi i collegamenti con il corpo del generatore dovranno avere diametro interno non inferiore a 90 mm. e non essere intercettabili.
- 4.7.7 In nessun caso i collegamenti tra contenitori, barilotti intermedi e il corpo del generatore possono avere diametro interno inferiore a 20 mm.
- 4.7.8 La sezione minima di qualunque contenitore o barilotto intermedio non può essere inferiore a quella del suo attacco di maggior diametro.
- 4.8 I contenitori ed i barilotti intermedi devono essere dotati di un rubinetto di spurgo avente diametro di passaggio non inferiore a 12 mm. e tubazione di drenaggio almeno dello stesso diametro scaricante in modo da non danneggiare le persone. Eventuali spie in vetro sulle tubazioni di drenaggio devono essere protette da schermo.
- 4.9 Dai collegamenti di un contenitore o di un barilotto intermedio al corpo del generatore può essere derivato un indicatore di livello regolamentare.
- 4.10 I barilotti intermedi ed i contenitori di elementi sensibili possono avere i collegamenti intercettabili. Le valvole o i rubinetti di intercettazione debbono avere lo stesso diametro dell'attacco ed essere a passaggio pieno (sarcinesche, rubinetti a maschio, ecc.).
- 4.11 Il regolatore di pressione ed il pressostato di sicurezza possono essere applicati direttamente sul corpo del generatore o su eventuali contenitori o barilotti intermedi ad esso applicati.

Il collegamento di una sola di dette apparecchiature deve avere diametro interno non inferiore a 10 mm.

Se il collegamento di tutte e due dette apparecchiature è comune, deve avere diametro interno non inferiore a 15 mm.

5. Caratteristiche dell'acqua

5.1 Le caratteristiche dell'acqua di alimentazione e dell'acqua in caldaia debbono soddisfare alle prescrizioni eventualmente fissate dal costruttore del generatore. In ogni caso non debbono essere superati i limiti sotto indicati per la durezza totale residua dell'acqua di alimentazione, per la salinità totale e per la alcalinità dell'acqua in caldaia:

5.1.1 Durezza totale residua dell'acqua di alimentazione non superiore a

0.5 gradi Francesi.

5.1.2 Salinità totale dell'acqua in caldaia non superiore a 4.000 ppm.

5.1.3 Alcalinità dell'acqua in caldaia non superiore a 1.200 ppm come Ca CO₃.

6. Prove e controlli periodici degli accessori e delle apparecchiature di regolazione e di sicurezza

6.1 Debbono essere effettuati ogni tre turni di esercizio e comunque non meno di una volta al giorno i seguenti controlli e prove:

6.1.1 Controllo dell'efficienza del livellostato di sicurezza.

Il controllo può essere effettuato provocando le reali condizioni di intervento (abbassamento del livello dell'acqua in caldaia al valore minimo prefissato) o simulando le condizioni di intervento nel caso che l'elemento sensibile del livellostato di sicurezza sia inserito in contenitore o in barilotto intermedio intercettabile.

In ogni caso l'efficienza del livellostato di sicurezza nelle reali condizioni di intervento deve essere controllata almeno una volta alla settimana.

6.1.2 Spurgo degli indicatori di livello regolamentari, dei barilotti intermedi e/o dei contenitori.

6.1.3 Verifica dell'efficienza del controllo di fiamma.

6.1.4 Controllo della salinità totale e della alcalinità dell'acqua di alimentazione.

6.2 Devono essere effettuati ogni settimana i seguenti controlli:

6.2.1 Controllo della efficienza del pressostato di sicurezza alla sua pressione di taratura.

6.2.2 Controllo della durezza totale residua dell'acqua di alimentazione.

6.3 Le operazioni periodiche di prova e controllo prescritte nei punti 6.1 e 6.2 e l'ora della loro effettuazione debbono essere segnate dal conduttore abilitato su di un apposito registro.

6.4 Il registro di cui al punto 6.3 deve prevedere un apposito spazio sul quale il conduttore abilitato deve annotare tutte le eventuali disfunzioni riscontrate durante il funzionamento del generatore e i relativi interventi di ripristino.

6.5 Il registro di cui al punto 6.3 deve essere settimanalmente controllato e vistato dall'utente o da un responsabile designato dallo stesso ed essere ostensibile a richiesta dei tecnici dell'A.N.C.C.

6.6 Il conduttore abilitato, onde accertarsi del regolare funzionamento del generatore e dei suoi accessori ed apparecchiature, deve effettuare sopralluoghi all'inizio ed alla fine del proprio turno di lavoro ed un sopralluogo intermedio con un intervallo massimo di quattro ore fra due sopralluoghi consecutivi.

Tali sopralluoghi debbono essere segnati sul registro di cui al punto 6.3. A convalida della avvenuta effettuazione delle prove, dei controlli e dei sopralluoghi periodici, di cui al presente punto 6, il conduttore abilitato dovrà apporre la sua firma sul registro prescritto al punto 6.3.

- Art. 44: Generatori di vapore a recupero di condensa.

1. Per i generatori di vapore a recupero diretto di condensa l'A.N.C.C. concede di norma l'esonero previsto dall'art. 44 alle condizioni seguenti:

- a) l'unico mezzo di alimentazione sia capace di fornire una portata d'acqua non inferiore al doppio di quella necessaria per il reintegro, con un minimo pari al 5% della producibilità di vapore al carico massimo continuo;
- b) il generatore sia munito di dispositivo di blocco automatico con riapertura manuale il quale intercetti il flusso di combustibile in caso di abbassamento del livello dell'acqua ad un valore non inferiore al minimo regolamentare.

11.1 TERMODINAMICA

LEGGI DEI GAS PERFETTI

Legge di Boyle: se si mantiene costante la temperatura, il volume di una data massa di un gas è inversamente proporzionale alla pressione, cioè:

$$P \cdot V = \text{costante} \quad \text{ovvero}$$

$$P_0 V_0 = P_1 V_1$$

1ª legge di Gay-Lussac: se si mantiene costante la pressione, il volume di una data massa di gas varia al variare della temperatura t secondo la legge:

$$V_t = V_0 (1 + \alpha t) \quad \text{per } P = \text{costante} \quad \text{dove}$$

V_0 = volume del gas a 0°C

$$\alpha = \frac{1}{273} \quad (\text{costante valida per tutti i gas})$$

t = temperatura del gas

2ª legge di Gay Lussac: se si mantiene costante il volume, la pressione di una data massa di gas varia al variare della temperatura t secondo la legge:

$$P_t = P_0 (1 + \alpha t) \quad \text{per } V = \text{costante} \quad \text{dove}$$

P_0 = pressione del gas a 0°C

P_t = pressione del gas alla temperatura t

$$\alpha = \frac{1}{273} \quad (\text{costante valida per tutti i gas})$$

$$P_0 = \frac{P_t}{1 + \alpha t}$$

GAS PERFETTI

Si definisce gas perfetto quel gas ideale che soddisfa esattamente alle tre leggi:

- Legge di Boyle,
- 1ª legge di Gay - Lussac,
- 2ª legge di Gay - Lussac,

qualsiasi sia la sua densità e la temperatura. In natura non esiste alcun gas

TEMP COSTANTE
VOLUME INVERSA PROP
PRESSIONE

PRESS COST
VOLUME VARIA AL
VARIARE DELLA TEMP

VOLUME COST
P PRESS VARIA AL VARIARE
DELLA TEMP

perfetto; il comportamento di un gas reale si avvicina tanto più a quello del gas perfetto, quanto più è rarefatto e tanto più la sua temperatura è lontana dalla temperatura di liquefazione.

EQUAZIONE CARATTERISTICA ED EQUAZIONE DI STATO DEI GAS PERFETTI

Le tre leggi dei gas possono riassumersi in una unica relazione che si definisce equazione caratteristica o equazione di stato dei gas perfetti. Indicando con:

V_0 = volume di una massa di gas a 0°C

P_0 = pressione di una massa di gas a 0°C

V = volume della stessa massa a $t^\circ\text{C}$

P = pressione della stessa massa a $t^\circ\text{C}$

si ha:

$$P \cdot V = P_0 V_0 (1 + \alpha t) \quad \text{dove}$$

$$\alpha = \frac{1}{273}$$

TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE

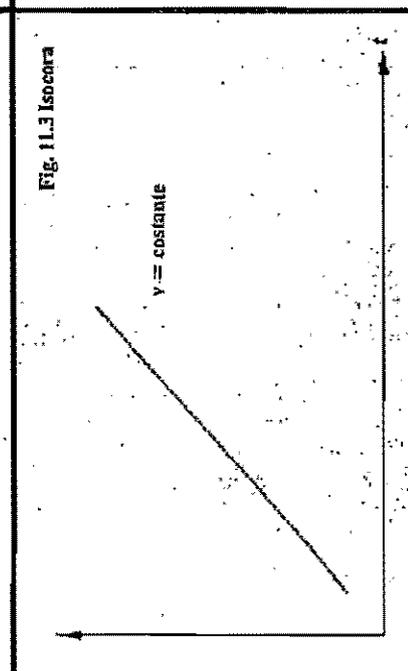
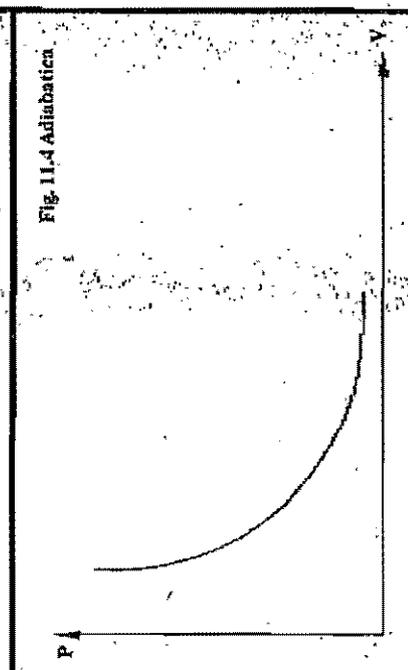
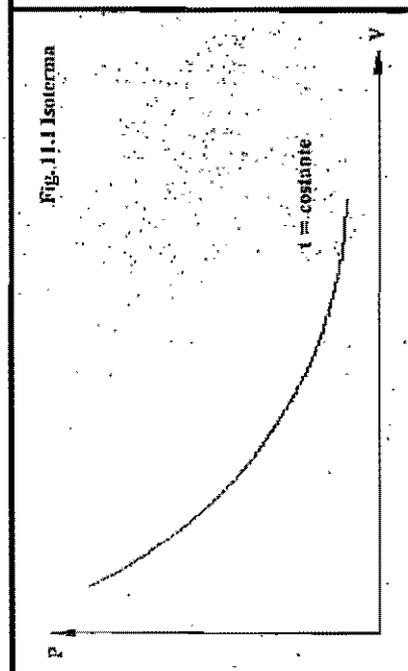
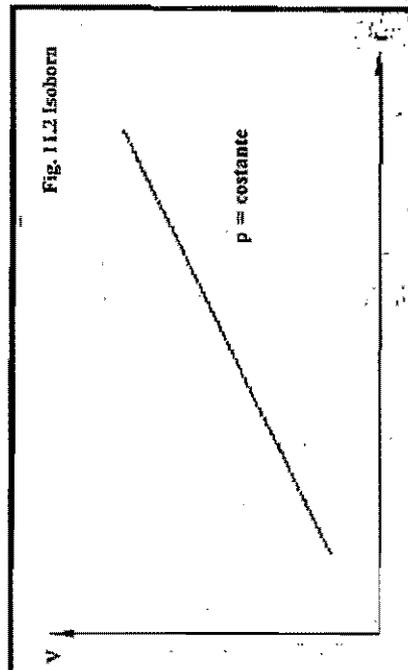
Trasformazione isoterma: è la rappresentazione della legge di Boyle. La trasformazione isoterma, definita da una iperbole equilatera (fig. 11.1) avviene a temperatura costante.

Trasformazione isobora: è la rappresentazione della 1ª legge di Gay-Lussac. Le curve in un diagramma volume-temperatura a pressione costante si definiscono isobare e sono rette passanti per l'origine degli assi (fig. 11.2). La trasformazione isobora avviene a pressione costante.

Trasformazione isocora: le curve in un diagramma pressione-temperatura a volume costante, definite isocore, sono rappresentate da rette passanti per l'origine degli assi (fig. 11.3).

Trasformazione adiabatica: un sistema, in particolare un fluido omogeneo, subisce una trasformazione adiabatica dallo stato di equilibrio iniziale A allo stato di equilibrio finale B, quando durante la trasformazione, il sistema non scambia calore con l'esterno. Per realizzare una trasformazione adiabatica, occorre racchiudere il sistema in un involucro impermeabile al calore. Tale condizione non è mai esattamente realizzabile; è possibile ridurre gli scambi di calore con l'esterno, ad una entità praticamente trascurabile, se la trasformazione è sufficientemente rapida. Si può anzi dire che le trasformazioni molto rapide (es.: una espansione improvvisa) sono in pratica sempre adiabatiche (fig. 11.4).

Fluido omogeneo: si definisce fluido omogeneo qualsiasi corpo il cui comportamento viene regolato da una equazione di stato, ossia da una relazione, che lega fra loro i valori delle tre grandezze P (pressione), V (volume) e t (temperatura).



Boyle
Gay
Gay
QUANDO
NON SCAMBIAMO
CALORE CON
L'ESTERNO

Stato termodinamico: lo stato termodinamico di un fluido omogeneo è determinabile se si assegnano i valori di due delle tre grandezze P, V, t .

CICLO DI CARNOT

Il ciclo di Carnot è un ciclo ideale costituito da due trasformazioni isoterme e da due trasformazioni adiabatiche. Viene rappresentato in un diagramma in cui sull'asse X si ha il volume (V) e sull'asse delle Y la pressione (P) (fig. 11.5).

Per meglio spiegare il ciclo di Carnot ci serviamo di una macchina termica reversibile costituita da un cilindro munito di un pistone; le pareti laterali del cilindro sono perfettamente isolate, mentre la base del cilindro è termicamente conduttrice. Nell'interno del cilindro vi è un gas che supponiamo perfetto.

Analizziamo ora le quattro fasi della macchina termica reversibile in oggetto.

I FASE

Il gas si trova inizialmente nella condizione 1 (P_1, V_1, T_1). Se il cilindro viene posto su una sorgente di calore a temperatura costante T_1 , il pistone si innalza, si ha quindi un aumento del volume del gas, diminuisce la sua pressione mentre la temperatura T_1 rimane costante. Il gas passa quindi dallo stato 1 (P_1, V_1, T_1) allo stato 2 (P_2, V_2, T_1) assorbendo dall'esterno una quantità di calore Q_1 . Sul diagramma si ottiene la curva 1,2 che è una isoterma.

II FASE

Il cilindro viene ora posto su una base isolante. Innalziamo ancora il pistone, il volume del gas aumenta, diminuisce la sua pressione e la temperatura passa da T_1 a T_2 ; questo in quanto il gas non scambia calore con l'esterno. Il gas passa quindi dallo stato 2 (P_2, V_2, T_1) allo stato 3 (P_3, V_3, T_2) senza scambio di calore con l'esterno. Sul diagramma si ottiene la curva 2,3 che è una adiabatica.

III FASE

Si pone il cilindro a contatto con una sorgente di calore a temperatura costante T_2 . Il gas si comprime abbassando il pistone, il volume del gas diminuisce, aumenta la sua pressione, mentre la temperatura T_2 rimane costante. Il gas passa dallo stato 3 (P_3, V_3, T_2) allo stato 4 (P_4, V_4, T_2) cedendo all'esterno la quantità di calore Q_2 . Sul diagramma si ottiene la curva 3,4 che è una isoterma.

IV FASE

Isoliamo di nuovo il cilindro ponendolo su una base isolante. Si comprime ulteriormente il gas abbassando il pistone, il volume del gas diminuisce, aumenta la pressione e la temperatura (passa da T_2 a T_1); il gas durante questa fase non scambia calore con l'esterno. Il gas passa dallo stato 4 (P_4, V_4, T_2) allo stato 1 (P_1, V_1, T_1) senza scambio di calore con l'esterno. Sul diagramma si ottiene la curva 4,1 che è una adiabatica.

La superficie 1, 2, 3, 4 limitata dalle due curve isoterme e dalle due adiabatiche corrisponde al lavoro compiuto in un ciclo:

$$L = Q_1 - Q_2 \quad \text{dove}$$

ISOTERMA
ADIABATICA
ISOTERMA
ADIABATICA

Q_1 = calore assorbito dal gas
 Q_2 = calore ceduto dal gas al refrigerante

N.B.

Il rendimento termico della macchina termica reversibile sopra descritta è

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

CICLO DI RANKINE

Negli impianti a vapore con motori a turbina e nelle motrici alternative a vapore viene attuato il ciclo di Rankine. Il ciclo rappresentato in un diagramma in cui sull'asse X è posto il volume (V) e sull'asse delle Y la pressione (P), è costituito da quattro trasformazioni: la prima isobara, la seconda adiabatica, la terza isobara, la quarta isocora (fig. 11.6).

I TRASFORMAZIONE

Inizialmente il fluido (acqua) contenuto nel generatore (stato A) viene riscaldato passando da acqua a vapore e poi surriscaldato a vapore secco alla temperatura T_1 .

Il liquido passa dallo stato A allo stato B assorbendo dall'esterno una quantità di calore Q_1 . Sul diagramma si ottiene la curva AB che è una isobara.

II TRASFORMAZIONE

Il vapore contenuto nel cilindro, espandendosi determina lo spostamento dello stantuffo sviluppando lavoro utile. Il vapore surriscaldato dello stato B diventa via via vapore saturo umido nello stato C trasformando una parte del calore Q_1 in lavoro utile. Sul diagramma si ottiene la curva BC che è una trasformazione adiabatica.

III TRASFORMAZIONE

Il vapore passa dal cilindro al condensatore e ritorna allo stato liquido; per realizzare la condensazione del vapore occorre sottrarre calore al sistema. Passando dallo stato C allo stato D a pressione costante il vapore cede una quantità di calore Q_2 al condensatore. Sul diagramma si ottiene la curva CD che è una trasformazione isobara.

IV TRASFORMAZIONE

Il liquido del condensatore, stato D, per mezzo di una pompa viene ricondotto nel generatore, stato A, dove inizia un nuovo ciclo; la pressione aumenta ed il volume rimane costante. Sul diagramma si ottiene la curva DA che è una trasformazione isocora.

L'area racchiusa nel ciclo ABCD è proporzionale al lavoro compiuto in un ciclo. Il diagramma raffigurato rappresenta un ciclo ideale che si discosta da quello reale. Nel diagramma sopra descritto abbiamo infatti trascurato: le perdite di carico e di pressione subite dal fluido, le perdite di attrito, le perdite di lavoro dovute al fluido che non ha avuto una espansione completa e le perdite

ISOBARA
ADIABATICA
ISOBARA
ISOBARA

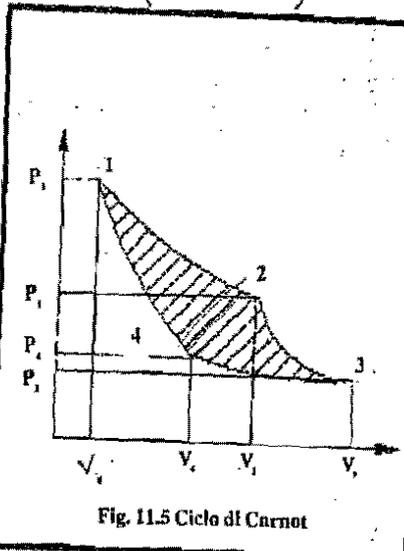


Fig. 11.5 Ciclo di Carnot

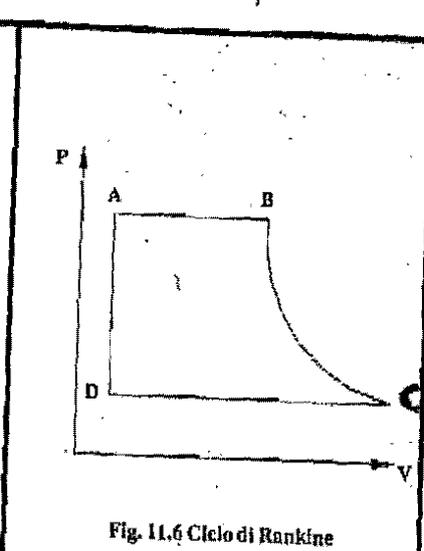


Fig. 11.6 Ciclo di Rankine

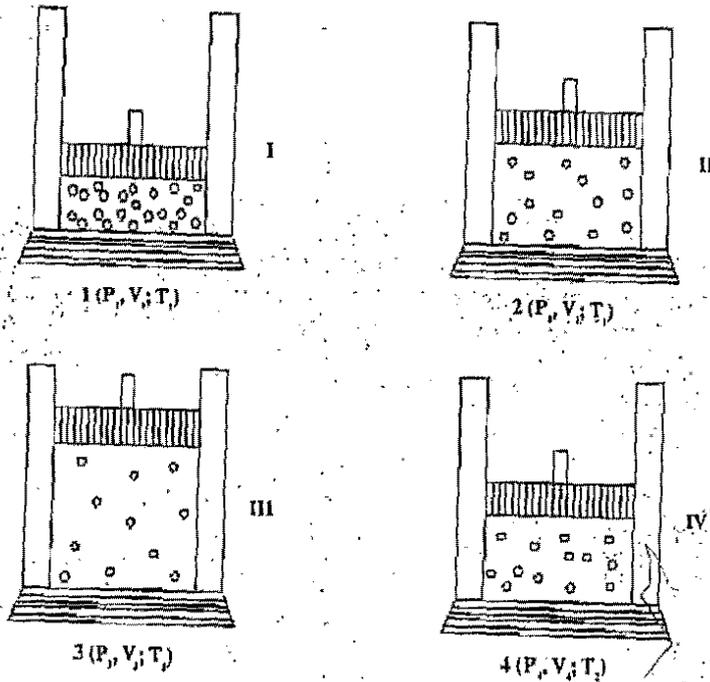


Fig. 11.7 Trasformazioni in un ciclo di Rankine

di calore provocate dal non perfetto isolamento nella trasformazione adiabatica.

ENERGIA TERMICA $\xrightarrow{\text{ADIABATICO}}$ ENERGIA CINETICA

11.2 TURBINE A VAPORE

Le turbine a vapore sono macchine rotanti che trasformano l'energia termica di un vapore, che si espande adiabaticamente, in energia cinetica nel distributore e successivamente attraverso la girante o rotore in energia meccanica (fig. 11.8).

L'energia cinetica del vapore è proporzionale alla velocità, velocità che dipende dalla differenza di entalpia che il vapore stesso possiede all'ingresso della turbina ed allo scarico.

$$v = \sqrt{E_{in} - E_{out}}$$

Le turbine a vapore vengono suddivise in:

- turbine ad azione: il salto di entalpia viene trasformata interamente in energia cinetica nel distributore. Il getto di vapore velocissimo esce da un condotto fisso o ugello opportunamente sagomato ed agisce sulle palette di una ruota posta di fronte al getto che mette così in movimento la ruota; il vapore cede in questo modo la sua forza viva creata con la trasformazione della pressione in velocità, trasformazione che avviene nel condotto fisso cioè prima che il vapore venga a contatto con le palette della ruota.

- turbine a reazione: il salto di entalpia viene trasformato solo parzialmente in energia cinetica; la restante conversione avviene nei condotti mobili della girante. Il vapore in pressione viene immesso in una scatola cava ruotante intorno ad un perno, munita di due beccucci o ugelli situati in posizione diametralmente opposta. Il vapore immesso nella scatola si espande nei beccucci, nei quali avviene la trasformazione della pressione in velocità e fuori-esce ad elevata velocità; conseguentemente la scatola si pone in rotazione per reazione in senso inverso a quello dei getti di vapore.

Costruttivamente una turbina si identifica in un rotore costituito da una o più palette mobili riportate, mediante dischi o tamburi ad un albero motore. Il rotore gira all'interno di una struttura quasi cilindrica definita statore, statore al quale sono collegati i distributori ed i condotti di adduzione e di scarico del vapore. I distributori vengono disposti lungo un asse ad andamento prefissato affinché allo sbocco il vapore venga utilizzato sulle palette ad una velocità e ad una direzione che consentono di lavorare sulle palette stesse con un elevato rendimento. Allo statore sono applicati anche i supporti dell'albero motore, le scatole di tenuta per evitare fughe di vapore ed i gruppi di lubrificazione costituiti da una o più pompe per l'olio che lubrificano e refrigerano i supporti.

Gli elementi fondamentali delle turbine sono comunque due: il distributore e la girante.

Nel distributore il vapore trasforma, in tutto o in parte, la sua energia di pressione in energia cinetica (di velocità); nella girante avviene la utilizzazione dell'energia. Quando la trasformazione dell'energia avviene completamente

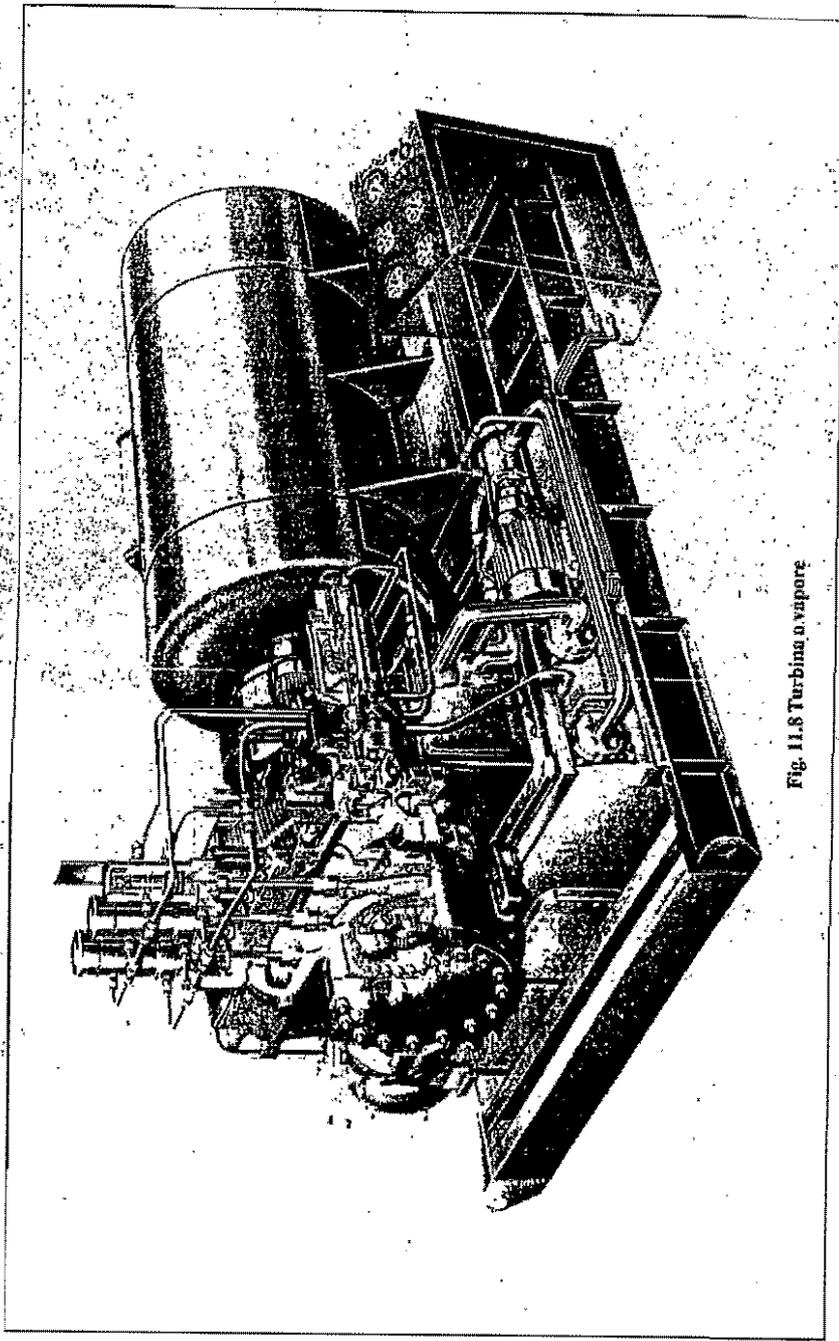


Fig. 11.8 Turbina a vapore

nel distributore la turbina è ad azione, quando la trasformazione avviene in parte nel distributore ed in parte nella girante la turbina è a reazione.

Per le turbine a reazione occorre quindi definire il grado di reazione che è il rapporto tra l'energia di pressione che si trasforma in energia cinetica nella girante e l'energia totale disponibile (relativa ad 1 Kg. di vapore). I tipi più usati di turbine a reazione hanno grado di reazione - 0,5 cioè dette turbine sono a reazione solo per metà, perché al vapore, prima di farlo venire a contatto con le palette della girante, si lascia libertà di espandersi negli appositi canali del distributore fisso fino a raggiungere una pressione circa la metà di quella del generatore.

Nella turbina ad azione il vapore prodotto ad alta pressione, vien fatto espandere in un condotto fisso (o ugello) di forma speciale opportunamente studiata: esso, perdendo pressione, acquista una equivalente quantità di energia cinetica. La trasformazione della pressione in velocità avviene totalmente in detto condotto fisso cioè *completamente prima* che il vapore venga a contatto con le palette della ruota. Il getto di vapore velocissimo che esce dall'ugello penetra senza urti nello spazio compreso tra le palette curve, disposte alla periferia della ruota mobile. Esso è obbligato perciò dalla curvatura delle palette a deviare dalla sua traiettoria rettilinea e sviluppa una spinta tanto più grande quanto più piccolo è il raggio di curvatura delle palette, cioè quanto più curve sono le palette. Il vapore, dopo aver prodotto il movimento della ruota cedendo la sua energia cinetica, si scarica con una velocità che deve essere la più bassa possibile.

CLASSIFICAZIONE DELLE TURBINE A VAPORE

La necessità della riduzione dei numeri di giri da valori altissimi a valori accettabili, cioè utilizzabili praticamente (per l'accoppiamento diretto con i generatori di energia, con le macchine operatrici, con le eliche delle navi, ecc.), ha portato alla realizzazione di diversi tipi di turbine di cui diamo una classificazione fatta in base ai diversi processi secondo cui può avvenire la trasformazione dell'energia termica posseduta inizialmente dal vapore in energia meccanica utile.

		<i>La girante</i>	semplici (De Laval)
TURBINE A VAPORE	ad azione		a salti di velocità (Curtiss)
			a salti di pressione <i>ESPANSIONE NEI CONDOTTI FISSI</i>
			a salti di velocità e pressione (miste ad azione)
	a reazione		semplici
			a salti di pressione (Parsons) <i>ESPANSIONE NEI CONDOTTI FISSI</i>
	miste		ad azione e reazione <i>È NELLA GIRANTE</i>

La classificazione si riferisce propriamente alle turbine assiali, nelle quali cioè il vapore si muove all'incirca parallelamente all'asse della macchina.

(Esistono anche turbine radiali, nelle quali il vapore si muove nel senso dei raggi della ruota, dal centro alla periferia).

Tutte le turbine classificate, ad eccezione di quelle ad azione semplice e a salti di velocità che sono ad una sola ruota, sono a ruote multiple.

Utilizzando parecchie ruote, tutte calettate sullo stesso albero e disposte in modo che il vapore uscente da una entri nella seguente si riduce la velocità senza diminuire il rendimento.

Va da se che nelle turbine a reazione, poiché il vapore si espande passando da una ruota alla altra, le palette vanno crescendo di altezza lungo il cammino del vapore in modo da raccogliarlo tutto malgrado il suo aumento di volume. Con il sistema a ruote multiple, poiché non viene sfruttata in ogni ruota che una parte della caduta di pressione o di velocità totale, la girante multipla così ottenuta raggiunge un numero di giri sufficientemente basso o tale da consentire l'accoppiamento con altre macchine.

TURBINE A SALTI DI PRESSIONE

Un mezzo efficace per abbassare la velocità dell'albero motore, senza diminuire il rendimento, è la suddivisione del salto totale di pressione tra il generatore ed il condensatore in un numero più o meno grande di salti parziali. Si hanno così le turbine a salti di pressione.

Si immagini di far lavorare una ruota tra la pressione del generatore ed una pressione di poco inferiore; la velocità del vapore è piccola ed anche piccola sarà la velocità della ruota, pur realizzandosi la condizione di massimo rendimento.

Il vapore si scarica dalla prima ruota subisce poi una seconda espansione e va a lavorare nella ruota del secondo salto, e così potranno esserci altri salti, fino a raggiungere la pressione del condensatore; ad ogni salto corrisponde una corona di condotti fissi ed una ruota.

Quanto più grande è il numero dei salti, tanto più piccola sarà la velocità del vapore e quindi della ruota.

Quando l'espansione avviene solo nei condotti fissi, la turbina è ad azione a salti di pressione.

Costruttivamente la turbina è divisa in tante celle in ognuna delle quali esiste una ruota mobile. Passando da una cella alla successiva, il vapore si espande attraverso i condotti e cede la sua velocità alla ruota. Il numero dei condotti fissi va aumentando da una cella all'altra, perché il vapore, diminuendo di pressione, aumenta di volume. Tutte le ruote mobili successive sono montate sullo stesso albero e costituiscono la girante della turbina. Quando l'espansione avviene sia nella parte fissa che nella parte mobile, la turbina è a reazione a salti di pressione.

Costruttivamente la parte mobile (girante) è costituita da uno o più tamburi sui quali vengono fissati in giro tante corone di palette mobili (rotanti), separate da altrettante corone di palette fisse (distributrici) che sono fissate alla superficie interna della carcassa fissa. Nelle turbine a reazione il vapore aumenta il

proprio volume diminuendo la pressione, poiché fin dall'inizio il vapore occupa tutta la periferia; bisogna pertanto aumentare progressivamente o l'altezza delle palette o il raggio delle corone. Nelle turbine a reazione il numero di salti è sempre grandissimo. In alcuni tipi di turbine Parsons si hanno 150 salti; la velocità del vapore è ridotta a 100 m/sec; l'albero fa soltanto 300 giri al minuto.

TURBINE AD AZIONE A SALTI DI VELOCITÀ (CURTISS)

Permette una riduzione di velocità dell'albero motore.

L'energia di pressione del vapore viene trasformata totalmente in energia cinetica nel distributore fisso (ugello).

L'energia cinetica viene quindi trasformata in lavoro utile (producendo cioè un moto rotatorio) in due o più corone di palette consecutive calettate sulla stessa ruota e funzionanti tutte naturalmente in un ambiente alla stessa pressione (quella dello scarico), poiché il complesso costruttivo che ne risulta deve sempre rispondere alle caratteristiche di una turbina ad azione.

Solo una parte dell'energia posseduta dal vapore viene quindi trasformata in lavoro meccanico nella prima corona di palette, dalla quale il vapore si scarica perciò con una velocità ancora rilevante che verrà utilizzata o nella corona e nelle corone di palette successive.

Poiché la direzione secondo cui il vapore si scarica da una corona di palette non si presta al diretto invio del vapore stesso nella corona successiva, bisognerà intercalare, fra l'una e l'altra serie di palette, delle palette deviatrici fisse destinate semplicemente a modificare la direzione del vapore dirigendolo nella direzione opportuna nella corona successiva senza alterarne la velocità.

Si ha così la turbina ad azione a salti di velocità nella quale, pur rimanendo inalterata la pressione attraverso tutte le corone di palette successive, varia diminuendo nei canali di ogni corona la velocità del vapore. Sostanzialmente quindi una turbina a salti di velocità è analoga alla turbina ad azione monoruota

De Laval

Essa consta di una girante sul contorno della quale sono calettate 2, 3 o eccezionalmente 4 corone di palette, tra le quali sono interposte altre palette fisse alla carcassa della macchina, a profilo inverso rispetto a quello delle palette mobili, aventi soltanto il compito, come abbiamo detto, di deviare il vapore senza alterarne la velocità.

Vi sono infine turbine che utilizzano insieme due dei sistemi descritti. Si hanno così:

- turbine a salti di pressione e velocità, nelle quali ogni salto di pressione è diviso in 2 o 3 salti di velocità;
- turbine miste, aventi la parte ad alta pressione ad azione e quella a bassa pressione a reazione.

APPLICAZIONE DELLE TURBINE A VAPORE

Turbine a recupero totale o parziale di vapore. Osservando la tabella del vapore saturo si nota che il contenuto di calore del vapore, cioè il calore che

occorre per ottenere 1 Kg di vapore partendo da acqua presa a 0 °C, va sempre aumentando con l'aumentare della pressione fino a che raggiunta la pressione di 25 Kg/cm² raggiunge il valore massimo di circa 669 Kcal. e che superata detta pressione incomincia a diminuire e va a mano a mano sempre più diminuendo fino alla pressione critica di 225 Kg/cm² alla quale raggiunge il valore massimo di 501 Kcal.

Questo fatto dimostra la convenienza economica che si ha a produrre vapore alle alte ed alle altissime pressioni.

Vi sono molte industrie che hanno necessità di produrre grandi quantità di vapore a bassa pressione, 2 o 3 Kg/cm², da utilizzare per scopi speciali come negli impianti di zuccherifici, di cartiere, di tintorie, di lavanderie, di essiccazione, di riscaldamento, ecc. ed hanno contemporaneamente necessità di produrre una certa potenza motrice per fornire energia luce e per azionare svariati macchinari.

Dette industrie dovrebbero quindi installare due tipi di generatori di vapore, uno ad alta pressione per produrre l'energia occorrente ed uno a bassa pressione per produrre il vapore per gli apparecchi utilizzatori; così facendo però i risultati raggiunti sarebbero poco economici.

In tal caso risultano invece molto convenienti le turbine a recupero di vapore, dette anche *turbine a contropressione*, perché basterà installare solo il generatore di vapore ad alta pressione; il vapore prodotto dal generatore a pressione elevata va prima ad azionare la turbina dove si espande fino alla pressione di utilizzazione per riscaldamento, cioè fino a 2 o 3 Kg/cm².

Le turbine a recupero di vapore sono di 2 tipi: *turbine a recupero totale e turbine a recupero parziale o a prelievamento intermedio di vapore*.

Turbine a recupero totale: consistono nell'utilizzare il vapore prodotto dai generatori lasciandolo espandere entro turbine di solito del tipo ad azione (che funzionano in tal caso come valvole di riduzione della pressione), ottenendo l'energia motrice richiesta dall'impianto, mentre il vapore di scarico viene immesso, alla pressione bassa voluta, nelle tubazioni che lo porteranno agli apparecchi utilizzatori.

Questa condizione richiede però che il peso di vapore che agisce per la produzione di energia sia uguale o minore di quello che viene utilizzato per altri scopi nell'impianto, condizione che non sempre può essere soddisfatta.

Turbine a recupero parziale o a prelievamento intermedio: quando fra i due pesi di vapore da utilizzare sotto le due diverse forme sopradette vi è una forte differenza e precisamente quando la quantità di vapore che deve agire per produzione di energia motrice è alquanto superiore all'altra; dopo una prima e conveniente espansione di esso nelle turbine ad azione, potrà convenire di derivarne quella quantità destinata ad altri scopi, per lasciare espandere il vapore residuo in turbine del tipo a reazione fino a raggiungere la pressione di scarico nel condensatore.

Tutto ciò è possibile precisare con discreta esattezza quando risultano noti:

- la potenza complessiva necessaria per i servizi che richiedono consumo di

energia motrice;

- le pressioni ed il peso di vapore da utilizzare per scopi di varia natura.

Le condizioni migliori si verificano quando l'uso del vapore e della forza motrice è contemporaneo e vi è fra i due consumi un rapporto tale da permettere il recupero totale.

Le turbine sono munite di un regolatore di velocità e di un regolatore di pressione.

Turbine per centrali termoelettriche: sono sempre di grande potenza; ad un solo tamburo per potenze fino a 30.000 KW., a 3 o 4 tamburi fino a 100.000 KW e su due assi per potenze superiori.

La pressione effettiva di esercizio è compresa fra 30 e 120 Kg/cm².

Le palettature sono di tipo misto: alta pressione ad azione, media e bassa pressione a reazione.

(Il numero dei giri è in relazione alla frequenza della corrente prodotta: $n = 3.600, 3.000, 2520$ per $f = 60, 50, 42$ Hz.).

È sempre prevista l'estrazione intermedia di una parte del vapore che viene usato per preriscaldare l'acqua di alimentazione (si preleva il 4 ÷ 6% e si aumenta il rendimento del 3 ÷ 8%).

Con le pressioni più elevate è usato un surriscaldamento intermedio per evitare che nelle ultime ruote arrivi vapore molto umido che provocherebbe sensibili perdite.

Turbine di piccola potenza: sono quasi sempre turbine ausiliarie, costruite ad una sola girante a salti di velocità a recupero totale del vapore di scarico che viene usato per riscaldamento dell'acqua di alimentazione o inviato nelle ultime ruote della turbina principale.

Il numero di giri varia da 3.000 a 15.000 giri al minuto primo.

CONDOTTA DELLE TURBINE A VAPORE

All'avviamento occorre un preriscaldamento lento e graduale per evitare discontinuità nella dilatazione della girante e della cassa.

Bisogna anche scaricare la condensa per evitare colpi d'acqua che danneggerebbero gravemente le palettature.

Durante il funzionamento bisogna sorvegliare la lubrificazione (particolarmente la temperatura dell'olio) e la registrazione del gioco fra cassa e girante da cui dipende il regolare funzionamento delle tenute di vapore. Si compie una revisione generale ogni 2000 o 3000 ore di funzionamento.

CONDENSATORI

Sono basati sul fatto che raffreddando con acqua il vapore contenuto in un recipiente chiuso, detto vapore si condensa e si viene così a formare nel recipiente una certa depressione cioè un certo grado di vuoto. Se ora a questo recipiente si collega il tubo di scarico di una macchina a vapore (ad es. di una turbina) la contropressione che incontrerà il vapore di scarico sarà molto minore di quella che si avrebbe se scaricasse nell'atmosfera (pressione atmosfere-

rica) per cui la potenza della macchina risulterà maggiore.

I condensatori servono quindi per abbassare la pressione di scarico delle turbine a vapore, aumentando così il salto di pressione disponibile.

Si distinguono in condensatori a miscela e condensatori a superficie.

Il grado di vuoto che si crea nei condensatori è dato dal rapporto tra la depressione creata nel condensatore e la pressione esterna; detto grado di vuoto viene espresso in percentuale ed ottenuto utilizzando un eiettore. Così ad esempio: se la pressione esterna è di 750 mm. di Hg e quella del condensatore è di 75 mm. di Hg, si avrà nel condensatore una depressione di $750 - 75 = 675$ mm. di Hg e pertanto un grado di vuoto dato da: $675 : 750 = 0,9 = 90\%$.

EIETTORE

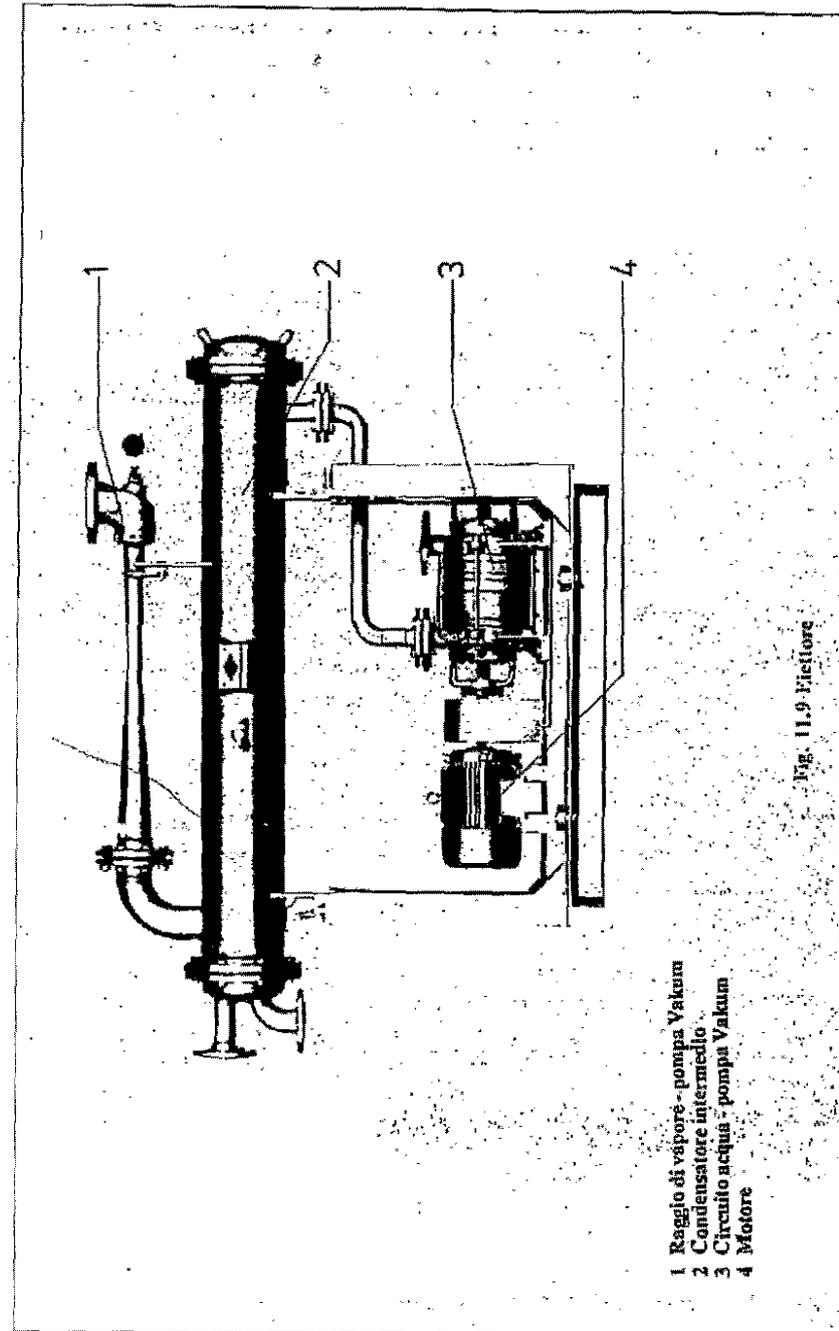
L'eiettore è una pompa statica che trova impiego negli impianti chimici ed industriali nella generazione del vuoto e nella termocompressione (fig. 11.9). L'eiettore non ha parti in movimento ed esplica il proprio funzionamento secondo il principio di Bernoulli, cioè sulla trasformazione di energia statica in energia cinetica e sulla ritrasformazione di parte della energia cinetica in energia statica. Quale energia motrice si utilizza quella del fluido primario a pressione elevata, detto fluido motore, per aspirare un fluido secondario a bassa pressione, detto fluido aspirato, ed ottenere la miscela dei fluidi a pressione intermedia. Detto trasporto di energia, che direttamente non potrebbe avvenire, è reso possibile grazie alla trasformazione dell'energia statica in energia cinetica e viceversa. Parti essenziali dell'eiettore sono l'ugello ed il diffusore.

Allo scopo di aumentare la differenza entalpica utilizzabile in turbine a condensazione, si costruiscono condensatori di turbina operanti a pressione molto basse.

Se la turbina facesse affluire nel condensatore solamente vapore a bassa pressione e non gas inerti, il vuoto potrebbe essere prodotto e mantenuto unicamente con la condensazione. La pressione di condensazione che si otterrebbe nel condensatore dipenderebbe dalla costruzione del condensatore e da condizioni quali: il flusso d'acqua refrigerante, la temperatura dell'acqua refrigerante, il flusso di vapore a bassa pressione.

Tuttavia, in pratica si è provato che non esistono condensatori a prova assoluta di tenuta e di conseguenza vapore a bassa pressione completamente privo di gas inerti. Malgrado una sigillatura il più possibile efficace delle giunture, delle flange di collegamento, delle valvole a premistoppa e nonostante le buone saldature delle linee di giuntura, flussi d'aria penetrano nel condensatore. Inoltre la turbina a bassa pressione fa entrare aria e gas non condensabili.

Il gas inerte (che d'ora innanzi sarà chiamato aria) si accumula nel condensatore e ha un effetto non trascurabile sui trasferimenti di calore delle superfici refrigeranti. Dove i condensatori non sono adeguatamente progettati in considerazione delle norme tecniche è probabile che possano introdursi delle bolle



d'aria. Perciò il trasferimento di calore in questi punti sarà ridotto per il fatto che il vapore deve diffondersi attraverso gli strati d'aria. Così rimane una differenza di temperatura che non può essere ulteriormente ridotta che comporta un incremento della temperatura del condensato e quindi una diminuzione dell'efficienza della turbina. Allo scopo di prevenire quest'effetto l'aria deve essere continuamente estratta mediante pompe.

11.3 GENERATORI AD IRRAGGIAMENTO

Sono generatori costituiti costruttivamente da una grande camera di combustione completamente schermata; il calore indispensabile a produrre il vapore, viene quasi totalmente trasmesso in camera di combustione.

Al termine della camera di combustione o del fascio tubiero, fascio che può essere di dimensioni modeste rispetto al generatore o assente, vengono installati i surriscaldatori, l'economizzatore ed eventualmente il risurriscaldatore. All'uscita dell'economizzatore i fumi caldi ($350 + 400$ °C) entrano nel preriscaldatore d'aria dove cedono calore all'aria comburente e vengono aspirati, se la camera di combustione è depressurizzata, dal ventilatore o raggiungono direttamente il camino se il generatore è pressurizzato. Frequentemente vengono corredati di un ventilatore che all'uscita dell'economizzatore aspira parte dei fumi e li immette alla base della camera di combustione. Talvolta vengono effettuati, un condotto che by-passa l'aria fredda in prossimità del preriscaldatore, ed un condotto di ricircolazione dell'aria calda che viene immessa, dopo essere stata prelevata in parte all'uscita del preriscaldatore, sull'aspirazione del ventilatore premente. Il ventilatore ed i condotti descritti consentono di ottenere la temperatura desiderata del vapore surriscaldato e controllare i fenomeni corrosivi che si manifestano nel preriscaldatore d'aria.

Il corpo cilindrico, situato nella posizione più elevata del generatore alimenta i collettori di ingresso delle pareti tubiere in camera di combustione, mediante grossi tubi di caduta.

La miscela acqua-vapore formatasi nei tubi vaporizzatori, attraversa i collettori di uscita superiori e ritorna nel corpo cilindrico mediante dei tubi di ritorno. Il corpo cilindrico, pur raggiungendo talvolta i 2 metri di diametro ed i 15 metri di lunghezza ha dimensioni ridotte rispetto a quelle del generatore.

Nei generatori ad irraggiamento vengono schermate le pareti ed il cielo della camera di combustione, le pareti laterali del vano che contiene il surriscaldatore secondario ed il risurriscaldatore, e le pareti della colonna nella quale sono installati il surriscaldatore primario e l'economizzatore.

Nella parte superiore del generatore, si ha un fascio di collettori e tubi di collegamento che devono essere coibentati; nei generatori a circolazione naturale ed accelerata viene coibentato anche il corpo cilindrico.

Le pareti tubiere, in corrispondenza dei bruciatori, ed i tubi delle pareti vengono curvati e sovrapposti per realizzare l'apertura per il bruciatore.

I bruciatori vengono disposti in file il cui numero varia in funzione della

potenza del bruciatore e del generatore, o negli angoli per creare una combustione tangenziale.

Il generatore viene corredato di soffiatori di fuliggine funzionanti a vapore, del tipo fissi in parete o retrattili che, installati all'esterno vengono applicati solo quando si effettua la soffiatura.

Mediante collari di dispersione e tiranti che sostengono le pareti e i fasci si ottiene la libera dilatazione del generatore in tutte le direzioni. I generatori ad irraggiamento vengono costruiti per pressioni e potenze particolarmente elevate (fino a 1000 MW).

I generatori a circolazione naturale pongono una limitazione alla pressione nella diminuzione di rapporto fra densità dell'acqua e del vapore all'elevarsi della pressione stessa; al contrario generatori a circolazione accelerata, per effetto dell'intervento della pompa, non trovano nessun limite.

I generatori a circolazione forzata vengono costruiti sia per pressioni subcritiche che per pressioni ipercritiche. La temperatura del vapore surriscaldato e risurriscaldato non supera generalmente i 540 °C, raramente la temperatura raggiunge i 600 + 620 °C. Mediante l'utilizzo di scambiatori alimentati dal vapore spillato dai vari stadi della turbina, la temperatura dell'acqua di alimento è generalmente compresa fra i 200 e i 250 °C; ciò consente di migliorare il rendimento del ciclo.

I generatori vengono costruiti indifferentemente per l'utilizzo di almeno due combustibili tra l'olio combustibile, il gas naturale ed il polverino di carbone o la lignite.

11.4 METODI DI REGOLAZIONE AUTOMATICA DEI GENERATORI DI VAPORE

La regolazione automatica garantisce il funzionamento sicuro ed efficiente del generatore di vapore in regime stazionario e variabile.

Il sistema di regolazione automatica è costituito da sistemi di protezione e di bloccaggio atti a prevenire avarie ed errate manovre. L'elemento principale dei generatori di vapore con regolazione automatica è il sistema di telecomando che consente al personale di servizio di variare il regime del generatore di vapore nel caso di situazioni impreviste.

Il compito del sistema di regolazione automatica in regime normale è quello di mantenere i parametri prestabiliti del vapore all'uscita dal generatore di vapore e di assicurare il rapporto ottimale tra i principali parametri tecnologici che condizionano il suo elevato rendimento.

Nei generatori di vapore a corpo cilindrico è necessario mantenere costanti la pressione, la temperatura del vapore se surriscaldato, il livello dell'acqua nel corpo cilindrico, la portata di combustibile e d'aria, la depressione o la pressione in camera di combustione.

Le grandezze variabili in un generatore di vapore che occorre conoscere e controllare sono:

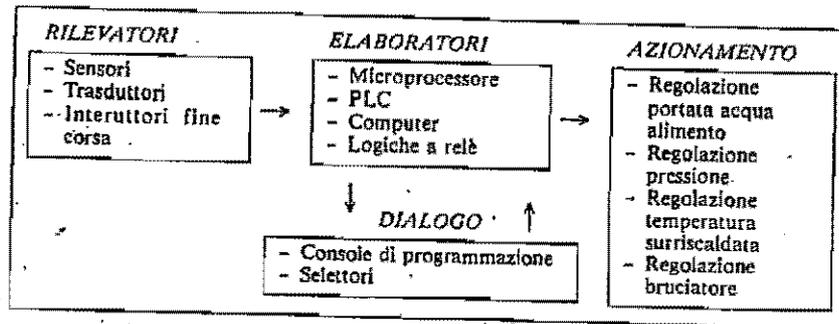
- il livello dell'acqua di esercizio;
- la produzione istantanea di vapore;

- la temperatura del vapore surriscaldato;
- la pressione del vapore;
- la pressione o depressione in camera di combustione;
- la portata del combustibile;
- la portata nell'aria comburente;
- la verifica dei prodotti della combustione.

Si deve perciò corredare il generatore di vapore di apparecchiature in grado di percepire qualsiasi variazione dei valori indicati e trasmettere dei segnali funzionali per mantenere i valori nei parametri prestabiliti.

I principali sistemi utilizzati sono elettrici, elettronici, pneumatici, idraulici e meccanici. I cinque sistemi trovano talvolta una applicazione combinata tra di loro.

Analizziamo ora i principali componenti di una regolazione automatica come indicato nella scheda



SENSORI E TRASDUTTORI DATI

I sensori sono dispositivi capaci di trasformare in modo continuo una grandezza fisica in segnale elettrico utile sia per monitorare l'uscita che per attivare il dispositivo di azione e di retroazione del sistema di regolazione.

I trasduttori sono sensori associati ad apparecchi per il trattamento dei segnali nella regolazione automatica dei generatori di vapore. Vengono impiegati per il controllo delle seguenti grandezze:

- pressione
- livello
- portata
- temperatura
- analisi fumi

Trasduttori potenziometri di pressione o pressostati modulanti

La pressione esercitata su una membrana (tipo Schaeffer) o su un tubo ellittico piegato ad arco (tipo Bourdon), è tradotta in un segnale elettrico median-

te il movimento di un cursore, che si muove su una resistenza, a spirale (fig. 11.10), rettilinea su un supporto in ceramica. Il segnale presente sul cursore del potenziometro è in relazione alla posizione fisica che esso occupa, in riferimento continuo ai due estremi dello stesso potenziometro. In definitiva il funzionamento del trasduttore, utilizza la variazione della resistenza, in relazione allo spostamento impresso dal sistema con un segnale elettrico in uscita, inversamente proporzionale alla variazione di pressione.

Trasduttori estensimetrici di pressione

In questo tipo di trasduttori una pressione, agendo su un sistema di forze, provoca una deflessione meccanica che viene trasmessa a un estensimetro. La sua variazione di resistenza elettrica risulta dipendere dalla sua lunghezza e dalla pressione applicata. Se si inserisce l'estensimetro in un ramo di un ponte di Wheastone, è possibile convertire lo stress meccanico; subito dall'estensimetro, in segnale elettrico. L'uscita del ponte produrrà un valore di tensione che varierà a seconda della sua resistenza risultante (fig. 11.11).

Trasduttori per la regolazione del livello

Si suddividono in:

- potenziometrici.

Funzionano utilizzando lo stesso principio di quelli per la regolazione della pressione; in questi modelli il cursore è azionato da un galleggiante che trasforma il proprio movimento in un segnale elettrico inversamente proporzionale al livello (fig. 11.12).

- Capacitivi: le sonde di livello, che funzionano sul principio capacitivo utilizzando un elettrodo come sensore, vengono inserite all'interno del contenitore. In funzione del livello di riempimento varia il segnale in uscita, segnale che è inversamente proporzionale al tratto di sonda coperta dalla sostanza di riempimento.

Trasduttori per il controllo della portata

Si suddividono in:

- volumetrici: un motorino idraulico collegato ad un trasduttore di rotazione trasforma la velocità di rotazione in un segnale elettrico;
- effetto venturi: vedi pag. 237;
- a resistenza variabile: viene sfruttato il principio che trasforma la portata in pressione la quale viene convertita in uno spostamento e successivamente in un segnale elettrico proporzionale (fig. 6.22A);
- magnetici induttivi: misurano il volume del flusso; elettricamente conduttivo, applicando la legge che la f.e.m. indotta è direttamente proporzionale alla variazione di portata.

Un fluido passando attraverso un campo magnetico prodotto da due elettrodi contrapposti installati sulla tubazione genera una tensione direttamente proporzionale al valore della velocità. Poiché l'induzione magnetica e la distanza degli elettrodi (\varnothing del tubo) sono costanti è possibile risalire alla portata.

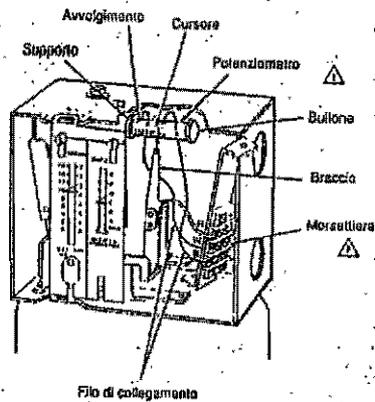


Fig. 11.10 Pressostato modulante

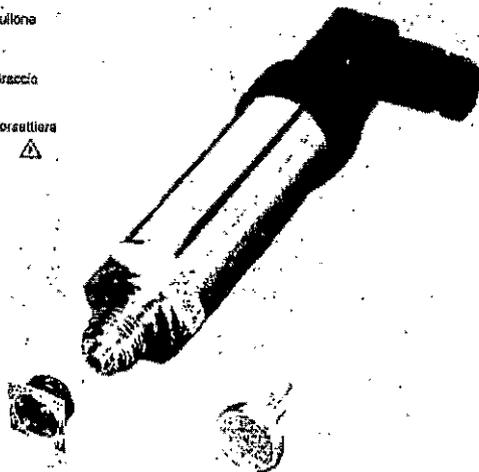


Fig. 11.11 Trasduttore di pressione estensimetrico



Fig. 11.12 Trasduttore livello potenziometrico

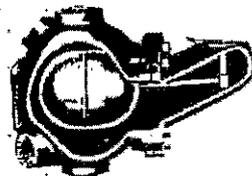


Fig. 11.13 Regolazione del livello (Italgestra)

Il controllo della temperatura e dell'analisi dei fumi sono stati trattati precedentemente (vedi pag. 230 - 233 - 244 - 246).

La regolazione automatica può essere:

- 1) a moduli indipendenti;
- 2) a moduli interconnessi.

In una regolazione automatica a moduli indipendenti si ha il controllo del livello dell'acqua e della pressione di esercizio.

Per la regolazione del livello occorre:

- trasduttore di livello;
- valvola di intercettazione servocomandata modulante.

La valvola servocomandata modulante riceve un impulso del trasduttore di livello in grado di mantenere costante il livello dell'acqua di esercizio (fig. 11.13).

Per il controllo della pressione si installa:

- trasduttore di pressione;
- bruciatore modulante.

Il bruciatore varia la propria portata in funzione dell'impulso ricevuto dal trasduttore di pressione in modo inversamente proporzionale alla pressione, consentendo di mantenere costante la pressione stessa.

La regolazione a moduli indipendenti è utilizzata solo in generatori a media potenzialità e pressione per contenere i costi di impianto.

In generatori di vapore ad elevate potenzialità essendo le grandezze (livello portata pressione ecc.) influenzabili tra loro occorre utilizzare una regolazione interconnessa dove tutti i dati trasmessi dai trasduttori vengono inviati ad un P.L.C. o ad un computer che elabora i dati e li invia agli accessori di regolazione di combustione e di alimentazione acqua.

Il regolatore di processo di combustione dei generatori di vapore con bruciatori a camera ha il compito di mantenere costante la pressione del vapore e di assicurare il massimo rendimento del bruciatore.

Con la perturbazione del bilancio termico, la pressione del vapore dietro il generatore di vapore che agisce sul regolatore principale, varia. Quest'ultimo invia un impulso al regolatore di combustibile e al regolatore d'aria che, agendo sui corrispondenti organi regolatori, fanno variare la mandata del combustibile e dell'aria nel bruciatore. Per cui viene cambiata la rarefazione o la pressione nella parte superiore del bruciatore. Se la combustione è depressurizzata o a tiraggio equilibrato, l'impulso per la rarefazione viene inviato al regolatore di rarefazione che comanda il funzionamento degli aspiratori di fumi.

Siccome il generatore di vapore possiede una determinata inerzia, la variazione della pressione del vapore provocata dall'azione del sistema di regolazione ritarda rispetto all'inizio dell'azione. Nei sistemi di regolazione più perfetti oltre all'impulso della grandezza principale (ad esempio, della pressione p) viene introdotto un impulso supplementare della portata istantanea in grado di anticipare l'azione e mantenere lineare la pressione del vapore.

Per assicurare la completa combustione del combustibile con coefficienti ottimali di eccesso d'aria sul regolatore d'aria viene trasmesso l'impulso del contenuto di O_2 , CO , CO_2 nei fumi di scarico.

Il regolatore di alimentazione assicura un livello costante dell'acqua nel corpo cilindrico. L'impulso principale viene trasmesso al regolatore da un rilevatore di livello. Il livello dell'acqua nel corpo cilindrico dipende però non soltanto dal rapporto tra le portate di acqua e di vapore ma anche dalla variazione della pressione nel corpo cilindrico nei processi transitori. Con l'aumento della portata di vapore la pressione nel corpo cilindrico cala, l'acqua diventa surriscaldata, avviene l'ebollizione e l'aumento di livello apparente nel corpo cilindrico. Dopo un certo tempo il livello si abbassa al di sotto di quello iniziale. Per questa ragione, oltre all'impulso del livello, al regolatore vengono inviati ancora due impulsi di portate di acqua e di vapore.

Il regolatore di temperatura del vapore surriscaldato ha la funzione di mantenere costante la temperatura indipendentemente dal variare della portata dei bruciatori.

Per mantenere costante la temperatura del vapore è necessario regolare la quantità di acqua o di vapore utilizzata nei desurriscaldatori (pag. 88).

Il trasduttore di temperatura posto a valle dell'attemperatore regola la portata di acqua o di vapore saturo agendo sulla valvola modulante per riportare il vapore surriscaldato alla temperatura prestabilita.

Analizziamo ora l'esempio pratico di una automazione in un generatore di vapore (fig. 11.14):

- 1. blocco per minimo livello con autoverifica periodica;
- 2. blocco combinato per livello minimo e massimo, con autoverifica periodica;
- 3. regolazione continua di livello acqua alimento con allarme di alto e basso livello ed indicazione a distanza. L'indicatore di livello remoto può sostituire il secondo livello visivo;
- 4. blocco per temperatura, a sicurezza positiva con interruttore autocontrollato;
- 5. regolazione continua conducibilità acqua (controllo TDS): sonda, regolatore continuo con uscita in corrente per indicatore o registratore e contatti di minima e massima conducibilità, valvola BAE;
- 6. al rievaporatore (recupero calore dallo spurgo continuo);
- 7. utilizzo calore residuo per preriscaldamento acqua alimento;
- 8. refrigeratore campioni;
- 9. allo scambiatore per raffreddare il miscuglio acqua/fango, ottemperando alle normative ambientali;
- 10. defangazione periodica automatica: programmatore, fitro, elettrovalvola a 3 vie, valvola pneumatica di defangazione ad azione rapida;
- 11. rilevatore di presenza olio e torbidità;

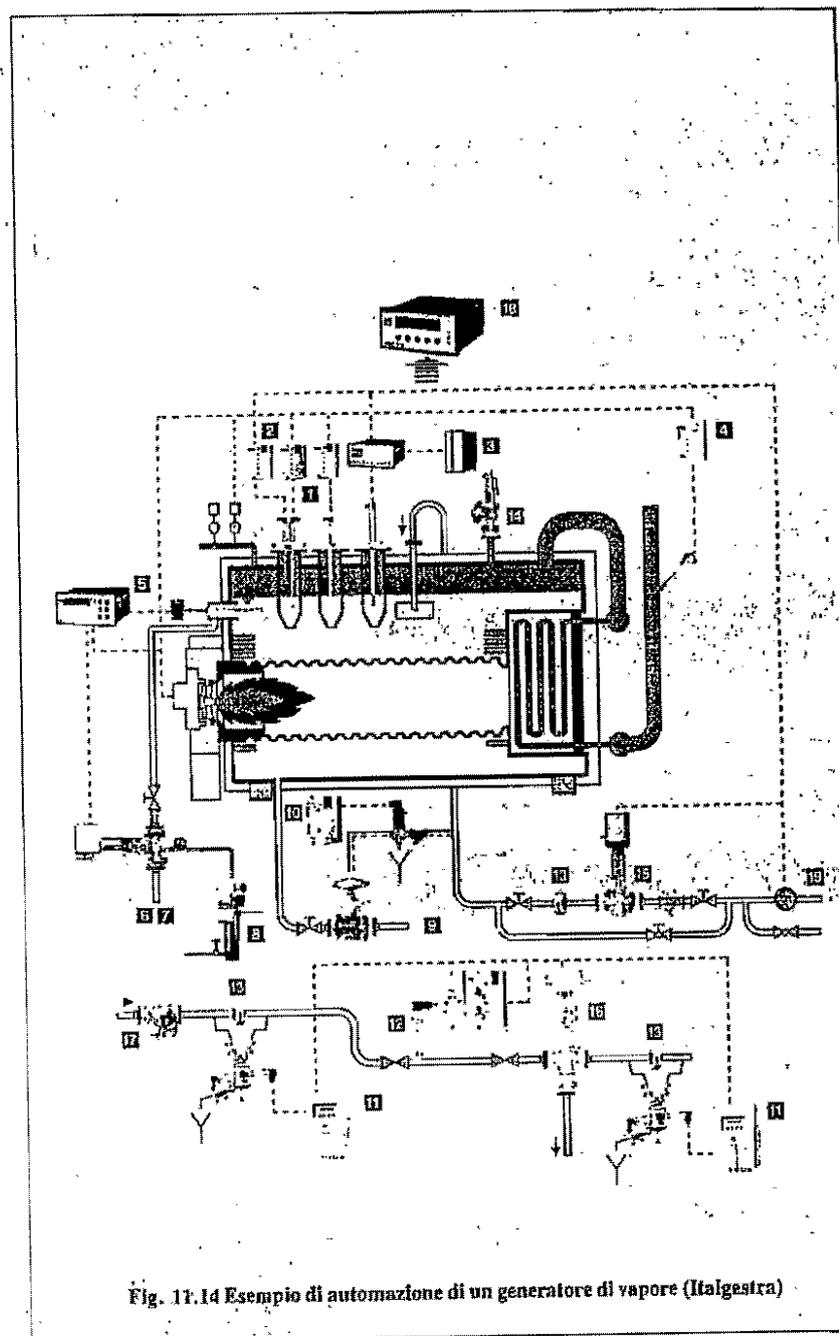


Fig. 11.14 Esempio di automazione di un generatore di vapore (Italgestra)

- 12. limitatore di conducibilità: sonda con uscita in corrente, soglie combinate di minima e massima conducibilità;
- 13. valvola di non ritorno a disco, per prevenire il ritorno di acqua dalla caldaia alla linea di alimentazione;
- 14. valvola di sicurezza;
- 15. valvola di regolazione con attuatore elettrico;
- 16. valvola a 3 vie con attuatore pneumatico;
- 17. scaricatore di condensa;
- 18. registratore di eventi con visualizzatore di facile lettura: visualizzazione del primo allarme, per determinare le ragioni del malfunzionamento oppure dell'ultimo, per una chiara individuazione di tutti i malfunzionamenti. Possibilità di inserire informazioni o istruzioni operative relative a ciascun specifico disturbo;
- 19. analisi conducibilità o durezza dell'acqua alimento come controllo della funzionalità del trattamento acqua.

11.5 ACCESSORI VARI

INDICATORI DI LIVELLO

L'indicatore di livello a vetro è uno strumento di grande semplicità, che garantisce una quasi totale sicurezza di lettura e viene impiegato con la massima frequenza possibile. Vi sono tuttavia, in taluni casi, alcune limitazioni ed inconvenienti:

- fluidi che attaccano chimicamente il vetro, come acido fluoridrico, vapore d'acqua a media ed alta pressione;
- variazioni di temperatura che possono incrinare i cristalli (occorre utilizzare numerosi piccoli cristalli, proteggere l'indicatore dall'esterno);
- grandi escursioni di livello (si devono utilizzare più indicatori accettando la presenza di bande cieche o installando gli indicatori sfalsati o aggiungendo altre livellette in corrispondenza delle bande cieche).

Per ovviare a questi inconvenienti degli indicatori a vetro occorre un appesantimento costruttivo; di solito una maggiore manutenzione e talvolta un certo rischio. Pertanto in tutti i casi d'impieghi dove i fluidi sono:

- ad alta pressione,
 - ad alta temperatura,
 - chimicamente aggressivi,
 - inquinanti per l'ambiente,
 - dannosi o velenosi per l'uomo,
 - infiammabili o esplosivi,
 - con uguali caratteristiche ottiche delle fasi sovrapposte (interfaccia),
- una buona soluzione è rappresentata dall'indicatore magnetico.

Il funzionamento dell'indicatore di livello a sensore magnetico (fig. 11.15), detto anche semplicemente "indicatore di livello magnetico", si basa su alcuni principi fisici elementari:

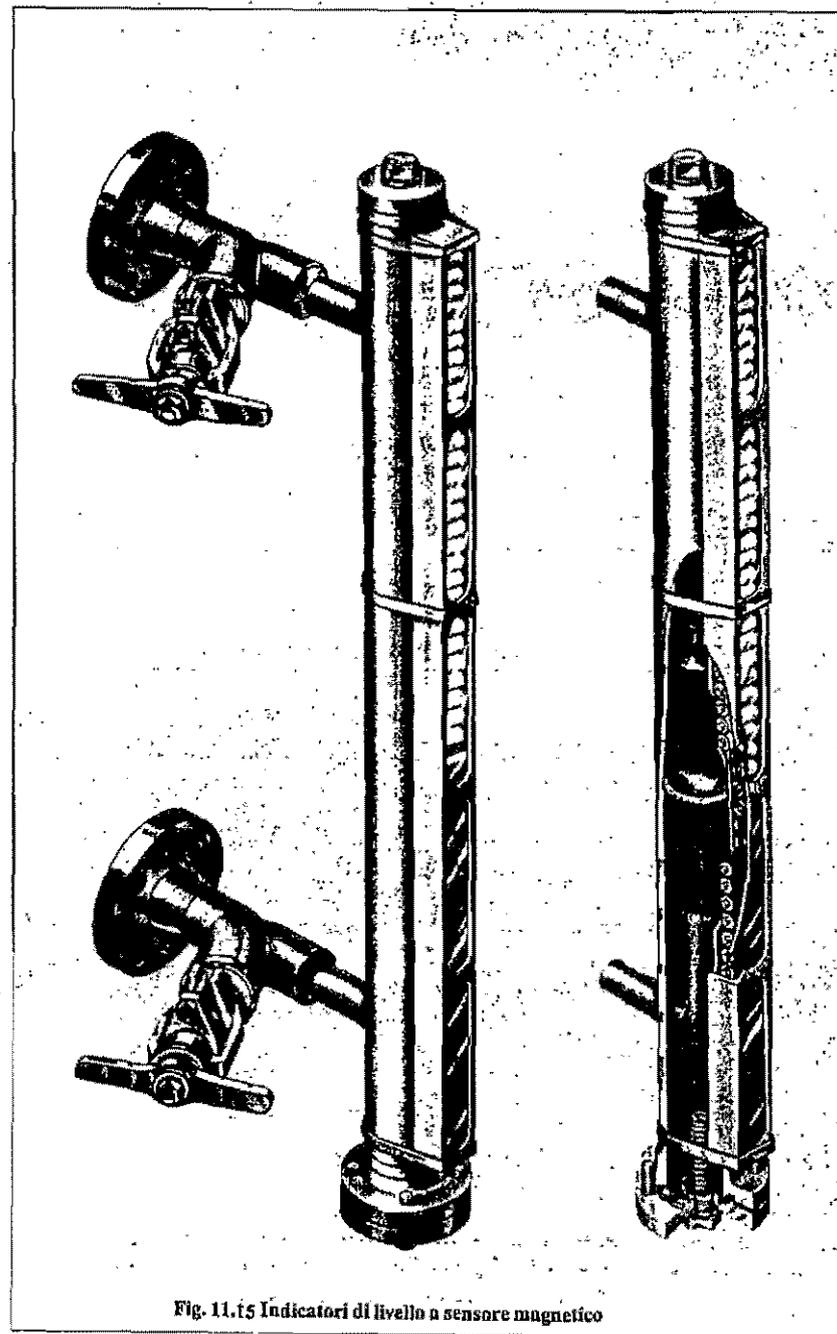


Fig. 11.15 Indicatori di livello a sensore magnetico

- il principio dei vasi comunicanti, per il quale in due recipienti opportunamente comunicanti tra loro, il liquido si trova al medesimo livello in entrambi i recipienti;

- il principio di Archimede, per il quale un corpo immerso in un liquido riceve una spinta idrostatica dal basso verso l'alto del valore pari al peso del liquido spostato;

- il principio di attrazione tra i poli nord e sud di due magneti permanenti e di repulsione di due poli del medesimo segno. Nell'indicatore di livello magnetico questo principio è utilizzato due volte:

- una prima volta tra il magnete posto nel galleggiante contenuto nella colonna ed ogni singolo magnete della scala visibile;

- una seconda volta tra i singoli magneti facenti parte della scala visibile.

Un indicatore di livello magnetico è schematicamente costituito da:

- due tronchetti orizzontali, per l'attacco al serbatoio che contiene il liquido del quale si vuole conoscere il livello;

- due valvole di intercettazione, una su ogni tronchetto, che servono ad escludere l'indicatore di livello;

- una colonna verticale, costituita da un tubo di adeguato materiale, diametro e spessore, contenente un galleggiante nel quale è montato il gruppo magnetico, posto esattamente sulla linea di galleggiamento;

- una scala visibile esterna alla colonna verticale, costituita da una scatola di materiale amagnetico con la faccia anteriore trasparente e contenente una serie di piccoli magneti permanenti racchiusi in piccoli cilindri che possono ruotare sul loro asse orizzontale. Questi cilindri si presentano con la superficie esterna di due colori diversi. Secondo l'orientamento assunto da ogni magnete, ogni cilindro presenterà all'osservatore esterno la metà della sua superficie di un colore, oppure dell'altro. La scala visibile apparirà quindi di un colore (per esempio bianco) per il tratto che all'interno della colonna è occupato dalla fase gas o vapore; apparirà invece dell'altro colore (per esempio: rosso) per il tratto che all'interno della colonna è occupato dalla fase liquida. L'altezza del livello può essere rilevata a distanza mediante uno o più interruttori magnetici sistemati all'altezza richiesta. È anche possibile controllare il livello a distanza in corrispondenza di molti punti del livello, quasi con continuità. In questo caso si applica all'indicatore una scatola di comando, collegata con cavi ad una centralina elettronica ed a un display situato nel locale di comando.

Il display porta sul suo frontale una colonna di led verdi ed una colonna di led rossi (o di altri colori). Dal punto di livello in su si accendono solo i led verdi; dal punto di livello in giù si accendono solo i led rossi. Questo dispositivo viene costruito ovviamente secondo le norme di sicurezza prescritte.

TURBO-POMPA

Nei generatori di vapore ad elevata potenzialità, i cavallini a vapore, per effetto di una limitata portata e di non possedere dispositivi automatici di avviamento vengono sostituiti, come apparecchi di alimentazione secondari, da

turbo-pompe. La parte motrice di una turbo-pompa è costituita da una turbina a vapore accoppiata ad una pompa centrifuga. Tradizionalmente la turbina è una monostadio ad azionamento diretto con palettatura percorsa da flusso assiale ad azione. Viene azionata con vapore surriscaldato o vapore saturo umido con titolo elevato (98 + 100%). La turbina viene corredata con un regolatore di velocità completamente idraulico in grado di portare la turbina stessa in 10 secondi, da freddo, alla velocità di esercizio ed a carico massimo. Alla turbina viene altresì applicato un dispositivo d'avviamento rapido che ha il compito di mettere automaticamente in funzione la turbina a vapore nel caso di mancanza di corrente elettrica e di caduta di pressione.

Il dispositivo è costituito da un'elettropompa per l'olio e da una valvola di commutazione.

Nel funzionamento normale, l'elettropompa per l'olio è inserita attraverso un interruttore manuale ed un relais e funziona parallelamente con la macchina elettrica di comando. La pressione dell'olio prodotta dall'elettropompa per l'olio comprime la sfera nella valvola di commutazione contro la sede sinistra della sfera. La pressione dell'olio può in tal modo agire sul pistone di regolazione della valvola di regolazione e mantenere chiusa questa valvola in contrasto con le forze elastiche.

In assenza di corrente elettrica oppure se la pressione dell'acqua d'alimentazione scende sotto il valore impostato, l'elettropompa per l'olio resta ferma. L'olio che si trova nel cilindro di regolazione defluisce attraverso il foro di strozzamento e permette alla forza elastica di aprire la valvola di regolazione. La turbina a vapore si avvia e la turbopompa dell'olio ivi congelata comincia a lavorare. La pressione dell'olio che dipende dalla velocità ed è prodotta da questa turbopompa comprime ora la sfera della valvola di commutazione contro la sede destra della sfera e può quindi assumere, attraverso il motore di regolazione della valvola di regolazione, la regolazione della turbina.

Ritornata la corrente elettrica, l'elettropompa per l'olio comincia automaticamente a funzionare. Dato che questa pompa eroga una pressione superiore a quella della turbopompa, la sfera nella valvola di commutazione viene premuta contro la sede sinistra della sfera. La valvola di regolazione si chiude e la turbina viene arrestata.

11.6 LA CHIMICA DELL'ACQUA

ALCALINITÀ E DUREZZA

Nella chimica dell'acqua particolare interesse pratico rivestono gli equilibri chimici legati agli idrati, ai carbonati e bicarbonati, e alla CO_2 , equilibri che sono vicendevolmente influenzati dal valore di pH dell'acqua in esame, oltre che dalla pressione e temperatura.

Questi equilibri sono utilizzati nei processi chimici di addolcimento di un'acqua, e possono avere luogo spontaneamente nelle acque industriali duran-

te il loro utilizzo come mezzo di trasferimento di calore.

Se prendiamo in esame un'acqua e i suoi sali disciolti, e variamo il pH di quest'acqua, notiamo che possono essere presenti nell'acqua soltanto alcune di queste sostanze e non altre.

Partendo dalla CO_2 , che in acqua acida è presente come acido carbonico H_2CO_3 , abbiamo in prima approssimazione:

- H_2CO_3 esiste da pH = 0 a pH = 8,2 H_2CO_3 = acido carbonico
- HCO_3^- esiste da pH = 4,2 a pH = 10,2 HCO_3^- = bicarbonato
- CO_3^{--} esiste da pH = 8,2 in poi CO_3^{--} = carbonato
- OH^- esiste da pH = 10,2 in poi OH^- = idrato

Risulta che non possono coesistere nella stessa acqua e nelle stesse condizioni CO_2 e CO_3^{--} oppure CO_2 e OH^- , oppure HCO_3^- e OH^- .

Una stima delle quantità di queste grandezze presenti in un'acqua è fatta con le titolazioni "P" e "M", dove con M si definisce la somma degli idrati, carbonati e bicarbonati eventualmente presenti, e dove con P si definisce la somma degli idrati e di metà carbonati eventualmente presenti.

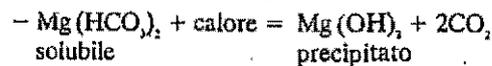
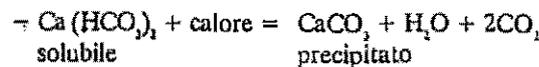
(* M = alcalinità totale, è tutta l'alcalinità presente nell'acqua fino a pH = 4,3 (e si titola con il Metilarancio che vira a pH = 4,3).

(* P = alcalinità alla fenolftaleina, è alcalinità presente nell'acqua fino a pH = 8,3 (e si titola con la fenolftaleina che vira a pH = 8,3).

Alcune osservazioni indicative su quanto fin qui detto ci dicono che:

- a pH > di 4,2 esiste solo $\text{CO}_3^{--}/\text{HCO}_3^-$ e la M = 0. L'acqua è acida
- a pH tra 4,2 e 8,2 esistono $\text{CO}_3^{--}/\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$, la M \neq 0 e la P = 0;
- a pH = 8,2 esiste solo HCO_3^- ;
- a pH tra 8,2 e 10,2 esistono $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{--}$. La M \neq 0 e la P \neq 0 ma inferiore a $\frac{1}{2}$ M;
- a pH = 10,2 esistono solo CO_3^{--} . Qui $2P - M = 0$ cioè $2P = M$
- a pH > 10,2 esistono solo $\text{CO}_3^{--} \rightleftharpoons \text{OH}^-$ e la P > $\frac{1}{2}$ M;
- se P = M esiste solo OH^- .

La durezza temporanea (o carbonatica) in un'acqua industriale può causare problemi legati alle seguenti reazioni:



La durezza non carbonatica, quella cioè legata ad anioni come cloruri, solfati, nitrati, non è influenzata dal calore.

Poiché la durezza totale da sola non è in grado di indicare il grado dei problemi di precipitazione che possiamo aspettarci da un'acqua utilizzata come mezzo di scambio termico, dobbiamo prendere in esame anche la quantità di bicarbonati (precipitabili) presenti cioè la M. Dalla relazione tra H e M, entrambe espresse in ppm di CaCO_3 , possiamo avere utili indicazioni, riportate nella tabella seguente.

TAB. 11.1 CLASSIFICAZIONE DELLA DUREZZA IN RELAZIONE ALL'ALCALINITÀ

M > H. H = durezza tutta temporanea o carbonatica M-H = alcalinità sodica o eccesso	H > M M = durezza temporanea o carbonatica H-M = durezza permanente o non carbonatica
---	---

La durezza calcica e magnesiacca, i bicarbonati, carbonati e idrati sono normalmente presenti nelle seguenti forme:

- $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, molto solubile rappresenta la durezza temporanea o carbonatica
- $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, molto solubile
- NaHCO_3 , molto solubile rappresenta l'alcalinità sodica (M > H)

ALCALINITÀ PARZIALE (P) E TOTALE (M)

L'alcalinità p è definita come segue:

in assenza di basi deboli e di sali di altri acidi deboli

$$p = 1000 (m_{\text{OH}^-} + m_{\text{CO}_3^{--}})$$

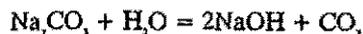
ove m_{OH^-} ed $m_{\text{CO}_3^{--}}$ stanno per la molarità degli ioni OH^- e CO_3^{--} .

Essa è dunque una misura degli alcali forti contenuti nell'acqua del generatore. Secondo la normativa VGB la quantità di ioni CO_3^{--} ammessa per l'acqua del generatore è relativamente ridotta. La normativa UNI ammette invece la presenza di anidride carbonica combinata. Perciò, attenendosi a tale normativa, è possibile avere nell'acqua del generatore quantità relativamente elevate di carbonato di sodio, che reagiscono con l'acqua, formando soda caustica e anidride carbonica, che passa nel vapore:



La quantità di soda (carbonato di sodio) che subisce tale trasformazione dipende in larga misura dalla sua concentrazione, dal tempo di permanenza nel generatore di vapore e dalla circolazione dell'acqua. Normalmente nei generatori del tipo cornovaglia e a tubi di fumo si decompone circa il 70-80%, mentre nei generatori di vapore a tubi d'acqua si va dall'80 al 100%.

bicarbonato si decompone in ca. 45 minuti, mentre dopo 120 minuti la decomposizione è completa. Pertanto si può partire dal presupposto che il bicarbonato di sodio introdotto in un generatore di vapore si decomponga quantitativamente. Il carbonato di sodio formatosi in seguito a tale decomposizione reagisce con l'acqua secondo la reazione:



Di conseguenza aumenta l'alcalinità *p* dell'acqua del generatore, e diminuisce il pH del vapore.

In presenza di carbonati l'alcalinità totale è sempre superiore all'alcalinità *p*. In presenza di soli idrati l'alcalinità totale è uguale all'alcalinità *p*. Ricordando che l'UNI ammette l'introduzione nel generatore di vapore di carbonati e bicarbonati in quantità non specificata, non esiste in pratica una sostanziale differenza tra i valori prescritti dall'UNI per l'alcalinità totale (integrati dal pH) e i valori raccomandati dalla VGB per l'alcalinità *p*. Del resto una coppia di detti valori definisce automaticamente il terzo. Il fatto che il terzo valore non possa essere determinato mediante un calcolo molto semplice non ha importanza, poiché la conduzione di un generatore di vapore non è basata sulla conoscenza del rapporto esistente nella sua acqua tra idrati, carbonati e bicarbonati. Si può dire soltanto che è opportuno avere nella stessa un rapporto possibilmente vicino ad 1 tra alcalinità *p* ed *m*. Ciò significa introdurre nel generatore la minore quantità possibile di carbonati e bicarbonati. Se il rapporto tra *p* ed *m* è uguale ad 1 o si avvicina sensibilmente a tale valore, è opportuno peraltro limitare l'alcalinità totale a valori inferiori a quelli riportati nella tabella UNI, oppure attenersi ai valori indicati dalla tabella VGB per l'alcalinità *p*.

pH

È noto come il pH sia definito dal logaritmo del reciproco della concentrazione dell'ione-idrogeno ($\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$). È un numero compreso tra 0 e 14 e indica il grado di acidità o basicità.

La gamma del pH è come una scala termometrica o densimetrica. Così come un termometro misura l'intensità del calore e un densimetro la densità di una soluzione, la gamma del pH indica l'intensità dell'alcalinità o dell'acidità.

Il punto medio della scala del pH è 7: una soluzione che ha questo pH è neutra. I numeri più bassi di 7 denotano acidità, quelli più alti basicità.

Poiché pH è una funzione logaritmica, le soluzioni aventi pH 6,0; (5,0), (4,0) sono 10, (100) e (1000) volte più acide di una con pH di 7,0.

Questi concetti si applicano sempre nella chimica dell'acqua. In aggiunta alle molecole di H₂O, l'acqua pura contiene parti distinte di molecole chiamate ioni-idrogeno (H⁺) e ioni ossidrilici (OH⁻).

L'ammontare delle dissociazioni è costante ad una data temperatura.

A 25° C il prodotto della concentrazione di H⁺ e OH⁻ è 1 x 10⁻¹⁴. Quando la

concentrazione ione-idrogeno cambia, la concentrazione dell'ione-ossidrilico cambia in proporzione e sempre in direzione opposta.

Se l'ione H⁺ diminuisce, l'ione OH⁻ aumenta in modo che il prodotto delle due concentrazioni, a 25°C, rimane 1 x 10⁻¹⁴. L'esponente -14 è tipico della gamma del pH, ed è un modo di esprimere la concentrazione idrogenionica in termine di un logaritmo negativo a base 10.

La natura acida o alcalina di una soluzione dipende dalla presenza dominante di ioni-idrogeno o di ioni-ossidrilici.

La teoria ionica dice che i sali, gli acidi e le basi sono scissi dalle molecole dell'acqua per formare frammenti chiamati ioni a segno positivo o negativo.

Quando gli acidi sono mescolati con l'acqua, l'ione di idrogeno è uno dei risultati della scissione.

In una miscela di basi e acqua, il risultato è l'ione-ossidrilico.

Gli ioni di idrogeno rendono acida una soluzione e quelli di ossidrilici la rendono basica. Quando la soluzione contiene un ione OH⁻ per ogni ione H⁺, l'effetto acido equilibrerà quello alcalino e viceversa.

Il risultato è una soluzione neutra con pH 7,0.

FRAGILITÀ CAUSTICA

La fragilità caustica o la frattura infracrystallina del metallo si verifica in presenza delle seguenti condizioni:

1 - L'acqua del generatore ha caratteristiche tali da produrre fragilità e di attaccare il metallo della caldaia quando è presente un idrossido alcalino libero e una certa percentuale di silice.

2 - Una lenta infiltrazione dell'acqua del generatore attraverso la saldatura di un giunto o una incrinatura. Via via che l'acqua si infiltra, essa si trasforma in vapore lasciando pericolose concentrazioni di idrossido alcalino nella screpolatura. Una concentrazione media di idrossido alcalino in se stessa, tuttavia, non sarebbe sufficiente a provocare la fragilità del metallo.

3 - Il metallo del generatore è molto sollecitato nel punto della perdita.

Questo può essere provocato da un errato sistema di chiodatura, allineamento difettoso, lavorazioni a freddo, dilatazione, ecc.

È stato riconosciuto che adottando i rapporti di alcalinità tra solfato e carbonato secondo le norme ASME, non si ha una sufficiente protezione contro le rotture per fragilità. Per tale ragione si preferiscono metodi più aggiornati comprendenti l'impiego di inibitori come il nitrito di sodio. I derivati della lignina, i tannini, o la regolazione dell'alcalinità mediante un controllo coordinato del valore del pH con fosfato.

DEMINERALIZZAZIONE CON LETTO MISTO FINALE

Viene utilizzato quando si produce vapore ad alta pressione o per l'alimentazione di turbine dove è necessario vapore privo di sali minerali e silice.

L'impianto è costituito da:

- colonna contenente resina cationica forte in ciclo acido;

- torre di decarbonatazione;
- colonna contenente resina anionica in ciclo ossidrilico;
- colonna a letto misto.

Le prime tre colonne hanno un funzionamento analogo a quello descritto a pag. 170.

La colonna a letto misto contiene una miscela costituita da una resina cationica forte ed una resina anionica forte, che agisce come una serie di colonne cationiche ed anioniche in grado di eliminare dall'acqua le ultime tracce di sali e di silice rimasti (conduttività 0,01 μ S).

La rigenerazione viene effettuata separando prima le resine con un lavaggio in controcorrente in relazione a loro diverso peso specifico (fig. 11.16); si provvede poi alla rigenerazione delle resine facendo entrare contemporaneamente soda caustica dall'alto ed acido cloridrico dal basso con uscita dei rigeneranti al centro dove per agevolare la separazione abbiamo una zona occupata da materiale granulare inerte. Successivamente si procede ad un lavaggio in equicorrente ed una miscelazione, delle resine con aria compressa. Per ottenere il perfetto funzionamento dell'impianto occorre installare all'uscita un phmetro ed un conduttivimetro.

OSMOSI INVERSA

L'osmosi inversa è un processo di separazione dei corpi estranei dall'acqua mediante l'utilizzo di membrane semipermeabili.

L'uso di membrane semipermeabili per rigenerare o purificare l'acqua è abbastanza recente; questo metodo è basato in generale sulla capacità dell'acqua (solvente) di attraversare una membrana lasciando dietro questa barriera alcune sue impurità e/o alcuni suoi sali (soluto) che vengono così a concentrarsi.

La quantità delle impurezze rimosse è determinata dal tipo di membrana, dal metodo applicativo delle forze di condizione del solvente attraverso la membrana e dalle caratteristiche dell'acqua.

L'osmosi in particolare è il processo nel quale il solvente attraversa una membrana che separa una soluzione meno concentrata da una soluzione più concentrata.

Il flusso del solvente è nella direzione che riduce la concentrazione della soluzione più concentrata. E in una cella osmotica si nota come il volume della soluzione più concentrata aumenti per l'arrivo di acqua dalla soluzione meno concentrata; la differenza di livello aumenta finché non viene bilanciata la pressione osmotica (dovuto al gradiente di concentrazione) responsabile del flusso del solvente.

Nell'osmosi inversa il flusso del solvente attraverso la membrana avviene dalla soluzione più concentrata verso la soluzione più diluita; tale flusso si realizza inducendo una differenza di pressione tra le due soluzioni di pressione che deve ovviamente essere più alta della pressione osmotica naturalmente

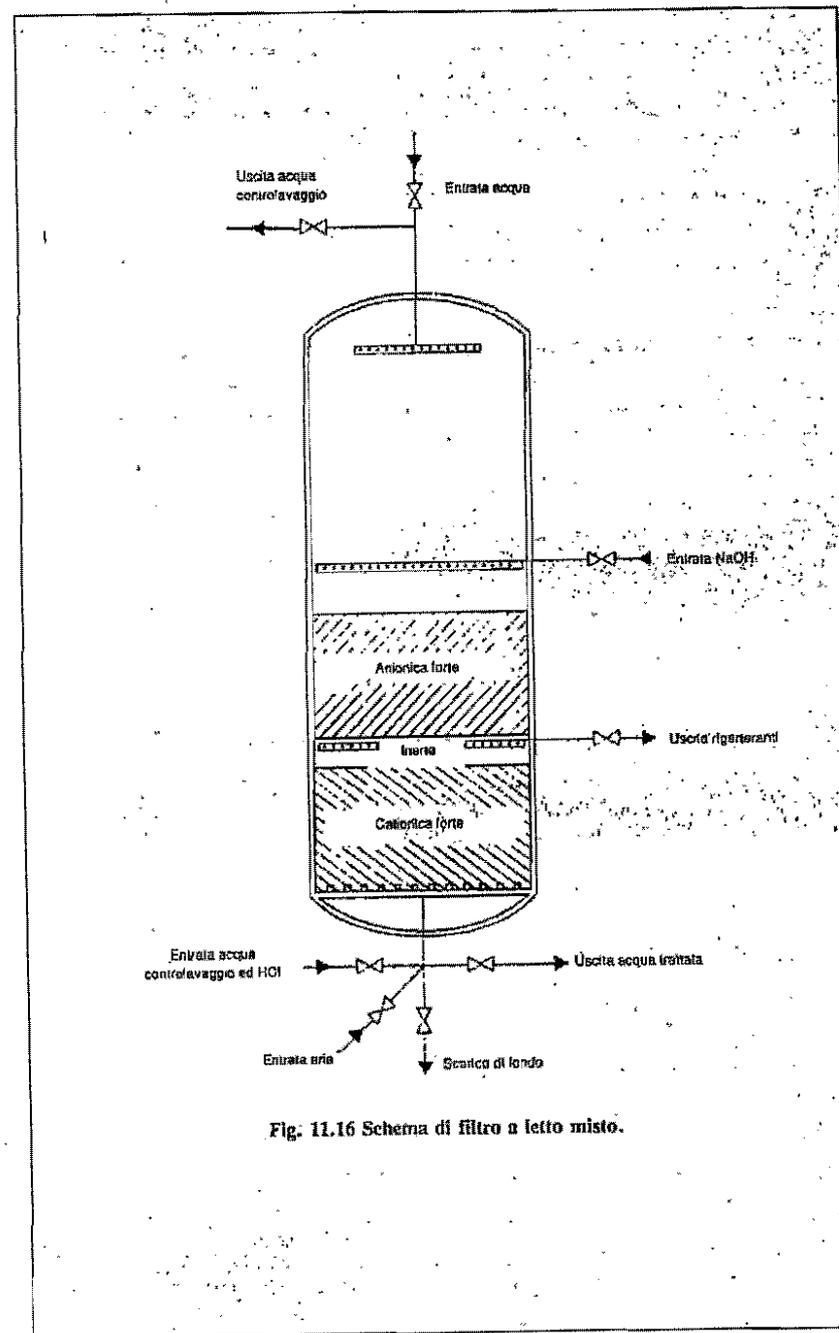


Fig. 11.16 Schema di filtro a letto misto.

presente. Mediamente occorre ridurre un $\Delta p = 0,7 \text{ Atc}$ per ogni 100 ppm di TDS esistente tra le due soluzioni.

Il trattamento di osmosi inversa consiste quindi nel forzare l'acqua attraverso una membrana semipermeabile per separare i corpi estranei disciolti di origine sia organica che inorganica. Pur avendo dimensioni dei pori minimi, l'osmosi inversa non opera una filtrazione convenzionale piuttosto una "filtrazione tangenziale". Nella filtrazione convenzionale, l'intera soluzione acquosa da filtrare è spinta attraverso il mezzo filtrante, e ogni impurezza troppo grande, per passare attraverso i pori del mezzo filtrante viene trattenuta o intrappolata dal mezzo stesso.

Nella filtrazione tangenziale vi sono due flussi in uscita dal sistema: il "concentrato" ovvero il flusso che contiene quelle impurezze che vengono respinte o che non passano attraverso la membrana, e il "permeato" ovvero il flusso che viene spinto attraverso la membrana.

CONDIZIONAMENTO DEI CIRCUITI ACQUA - VAPORE - CONDENSA

A) Inconvenienti nei circuiti vapore - condense causati dalla corrosione

Gli inconvenienti che più spesso si lamentano nei circuiti vapore-condensa e che maggiormente preoccupano gli Utenti ed i Tecnici preposti alla conduzione ed alla manutenzione degli impianti stessi sono rappresentati dalle conseguenze dirette ed indirette della corrosione.

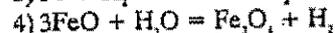
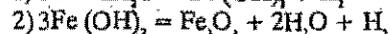
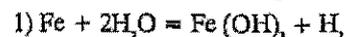
A seguito di forature si possono avere anche inquinamenti del condensato con conseguenze che, nei casi più gravi, porta notevoli complicazioni nella conduzione dei generatori di vapore o metterli addirittura fuori servizio per lunghi periodi. Inoltre, dopo le riparazioni del caso, potrebbe risultare indispensabile un complicato e costoso lavaggio chimico dei circuiti e del generatore.

I prodotti della corrosione (idrati e ossidi di ferro ed anche di rame) riciclati con le condense, oltre ad esaltare o provocare dannosi trascinamenti essendo agenti schiumogeni, possono dare origine a reazioni elettrochimiche di ossidoriduzione con il ferro delle pareti dei generatori e quindi originare diffusi focolai di corrosione.

Per il depositarsi in forma incoerente dei prodotti della corrosione (ossidi e idrati di ferro) possono verificarsi, anche in assenza di sali incrostanti, parziali o totali occlusioni dei tubi con pericolosi fenomeni di surriscaldamento e possibilità di scoppio.

B) Cause che provocano la corrosione

Per valutare le cause che provocano la corrosione occorre tener presente che il ferro a contatto con acqua e vapore non è stabile ma è sottoposto ad ossidazione secondo le seguenti reazioni:



L'ossido che si forma con le reazioni 2 e 4 (magnetite) è stabile fino a temperature di 580°C .

OSSIGENO

L'ossigeno può trovarsi nell'acqua del generatore e nei circuiti vapore-condensa per varie cause, fra le quali ad esempio:

- a) assenza o insufficienza di degasazione dell'acqua di alimento;
- b) rientro di aria dal circuito di utilizzazione del vapore attraverso valvole, giunti, apparecchiature a tenuta non perfetta, ecc.;
- c) solubilizzazione dell' O_2 atmosferico, in misura maggiore o minore a seconda delle temperature e delle pressioni in gioco, nei serbatoi di recupero condensa.

L'azione dell'ossigeno è duplice:

- d) depolarizzazione per distruzione del cuscinetto gassoso protettivo di idrogeno.
- e) ossidazione dell'idrato ferroso con rottura dell'equilibrio e conseguente precipitazione di idrato ferrico.

La comparsa di ioni ferrici determina, secondo alcuni autori, la distruzione della magnetite presente che precipita nella massa liquida.

ANIDRIDE CARBONICA

L'anidride carbonica trasportata con il vapore si scioglie come acido carbonico nella condensa abbassandone il pH e rendendola, anche in assenza di ossigeno, fortemente aggressiva nei confronti del ferro con formazione di bicarbonato ferroso. Questo sale riciclato nel generatore con le condense si scinde sviluppando nuovamente CO_2 che passa ancora nel vapore, mentre il ferro si concentra in caldaia incrementando il processo corrosivo. Si instaura così un "processo corrosivo in ciclo chiuso" che procede a ritmo sempre più elevato, provocando in breve tempo danni gravissimi agli impianti di produzione e utilizzazione del vapore.

Si deve ricordare inoltre che l'elevato coefficiente di solubilità della CO_2 ne determina l'assorbimento selettivo da parte delle condense che si trovano a contatto con l'atmosfera, sia nei serbatoi di raccolta sia nel circuito stesso del condensato quando si verificano dei rientri d'aria. Per una più esatta valutazione del ruolo preminente della CO_2 nei confronti dei processi corrosivi basta osservare le forti variazioni di pH che si verificano in acqua praticamente pura, in presenza di piccole quantità di CO_2 .

CONDIZIONAMENTO CHIMICO ANTINCROSTANTE

Per quanto riguarda il controllo dei fenomeni incrostanti, il condizionamento può essere di natura precipitante o stabilizzante. Lo scopo del condizionamen-

to di tipo precipitante è quello di abbattere le sostanze incrostanti producendo fanghi che possono essere rimossi attraverso gli spurghi.

Il primo condizionante di tipo precipitante che sia stato usato è senz'altro il fosfato trisodico, con il quale gli ioni calcio e magnesio vengono precipitati sotto forma di fanghi relativamente non aderenti. L'impiego del fosfato tuttavia presenta tutta una serie di conseguenze negative che ne hanno man mano limitato l'impiego. Anzitutto i sali di calcio e magnesio precipitati a seguito del trattamento con fosfato trisodico, pur presentandosi in forma fangosa, sono piuttosto pesanti e quindi, accumulandosi in particolari zone del generatore, possono dare origine a depositi molto simili alle incrostazioni che si volevano evitare.

Ma il fenomeno indubbiamente più pericoloso che si verifica con l'impiego di fosfato trisodico nei moderni generatori ad elevato carico termico, è quello noto con il nome di "hide out". Questa è la particolare conseguenza di un fenomeno molto diffuso, cioè della concentrazione di sostanze presenti nell'acqua di esercizio sulla superficie vaporizzante di tubi. Le bolle di vapore si formano su tali superfici, dove si sviluppano fino a raggiungere certe dimensioni per poi staccarsi ed essere asportate dal flusso idrodinamico. Durante l'accrescimento della bolla si ha un notevole consumo di acqua nello strato limite di vaporizzazione, su cui si determina un flusso radiale di acqua che trasporta e concentra su detta superficie tutte le sostanze in essa contenute. È quindi possibile che in detto stato limite si formino depositi minerali, malgrado la concentrazione dei rispettivi sali nell'acqua di esercizio sia ben lontana dal loro limite di solubilità.

Il fosfato trisodico è particolarmente soggetto a questo fenomeno in quanto la sua solubilità, che presenta un massimo di 120°C, diminuisce gradualmente fino a 200°C per poi diventare molto piccola per temperature superiori ai 300°C. Il fenomeno viene rilevato analiticamente in quanto i fosfati nel generatore scompaiono (depositandosi sulle pareti) per "ricomparire" in caso di fermata, per il fatto che si sciolgono nuovamente non appena viene a cessare il riscaldamento dei tubi. È chiaro che queste disposizioni possono influire fortemente sui processi di corrosione in quanto rendono più critico lo scambio termico e determinano un aumento della temperatura dei tubi bollitori che può addirittura provocare il surriscaldamento degli stessi nelle zone di maggior sollecitazione termica. Occorre considerare infine che il fosfato è un sale altamente schiumogeno e può quindi originare pericolosi trascinalamenti di acqua di esercizio nel vapore.

Attualmente vengono usati prodotti polimeri sintetici, con proprietà spiccatamente complessanti e disperdenti nei confronti delle sostanze incrostanti. Tali prodotti determinano la precipitazione dei sali incrostanti sotto forma di fanghi finemente dispersi non aderibili alle superfici e quindi facilmente eliminabili con le estrazioni anche quando queste siano attuate dal corpo cilindrico superiore del generatore. L'azione precipitante e disperdente, oltre che ai sali di calcio e magnesio, si estende anche alla silice che viene complessata in forma

stabile impedendone sia la precipitazione in forma incrostante sia il passaggio in forma solubile nel vapore. Con tali prodotti si può anche ottenere una lenta solubilizzazione, di depositi preesistenti, legata al fatto che possono essere impiegati, a differenza del fosfato, anche in concentrazioni molto elevate senza produrre alcun effetto secondario nocivo. Oltretutto nella loro formulazione sono anche previste sostanze in grado di bloccare i fenomeni di schiumeggiamento dovuti ad eccessiva salinità dell'acqua di esercizio o a rientrate nella stessa di inquinanti organici.

CONDIZIONAMENTO ANTICORROSIVO

Consideriamo ora l'altro grave problema la corrosione, fenomeno che si estende sia al generatore sia alla parte del circuito a contatto con vapore e condensato. Per limitare la corrosione occorre anzitutto deossigenare l'acqua di alimento dei generatori e neutralizzare l'anidride carbonica che da essi si libera. Per tale scopo, fino a qualche tempo fa sono stati usati prima solfito sodico e successivamente idrazina: prodotti però che, insieme agli indubbi vantaggi che la deossigenazione comporta, presentano anche svantaggi da non sottovalutare.

Il solfito sodico reagisce con l'ossigeno dando solfato sodico. Stechiometricamente occorrono 8 ppm di solfito per eliminare 1 ppm di ossigeno e quindi con il suo impiego si vengono a concentrare nell'acqua di esercizio quantità non trascurabili di solfato sodico, che comportano aumenti di salinità totale non più accettabili per buona parte dei moderni generatori a tubi di acqua. Il solfito, inoltre, reagisce molto lentamente con l'ossigeno a temperature inferiori ai 100°C, ma questo inconveniente può essere eliminato con l'aggiunta di appositi catalizzatori che assicurano una rapida e completa eliminazione dell'ossigeno anche a temperature molto basse. Naturalmente con l'uso del solfito sodico non si ottiene la neutralizzazione di eventuale anidride carbonica che si libera nel generatore per presenza di bicarbonati o carbonati nell'acqua di alimento e quindi rimangono irrisolti i relativi problemi di corrosione acida nelle linee di condensa.

L'idrazina, anch'essa generalmente catalizzata per aumentarne la reattività alle basse temperature, offre nei confronti del solfito il vantaggio di non aumentare la salinità dell'acqua di esercizio. Dosata necessariamente in eccesso rispetto all'ossigeno presente, per degradazione termica produce ammoniaca, consentendo così l'alcalinizzazione del vapore e la neutralizzazione dell'anidride carbonica eventualmente presente. Tuttavia ciò non comporta la soluzione globale del problema. L'ammoniaca infatti ha un'elevata tensione di vapore per cui, quando inizia la condensazione del vapore, tende a rimanere prevalentemente in quest'ultimo, mentre l'anidride carbonica passa nelle prime gocce di condensa come acido carbonico. Finché le due fasi acqua-vapore coesistono, non si riesce ad ottenere quindi una sufficiente protezione delle superfici a contatto con la fase acqua. L'ammoniaca può poi risultare addirittura dannosa nel caso siano presenti nel circuito vapore-condensa superfici di rame e sue

leghe, in quanto su queste ultime si possono avere fenomeni corrosivi dovuti alla formazione di complessi cuproammoniacali.

È ben vero che tali complessi si formano quando insieme all'ammoniaca è presente ossigeno, ma è altrettanto vero che, purtroppo, non si può mai escludere che dell'ossigeno possa rientrare nei circuiti vapore-condense, anche se totalmente eliminato dall'acqua di alimento del generatore. Recentemente è emerso un nuovo motivo che si oppone all'impiego della idrazina come condizionante, e cioè il fatto che detto prodotto sia stato classificato tra le sostanze industriali sospette di una attività carcinogena potenziale per l'uomo. Le limitazioni suddette hanno ovviamente orientato la ricerca verso prodotti condizionanti più adeguati e ciò ha portato all'impiego di ammine volatili alcalinizzanti e deossigenanti scelte ed impiegate in rapporti ben definiti a seconda delle necessità. I vantaggi sono stati molteplici anzitutto per le notevolissime possibilità che tali prodotti indubbiamente presentano. L'unione, in rapporti ben definiti di diverse ammine volatili, avente ognuna specifica volatilità, consente di disporre di condizionanti che, per qualsiasi arco di pressioni e temperature, abbiano coefficienti di ripartizioni acqua-vapore molto vicini all'unità. Ciò significa che in fase di condensazione del vapore, quando le due fasi acqua-vapore coesistono, il condizionante si ripartirà in egual misura nelle stesse, garantendo un uguale protezione delle superfici a contatto con le due fasi. L'anidride carbonica eventualmente presente nel vapore potrà quindi essere immediatamente neutralizzata nel momento stesso in cui si trasformerà in acido carbonico.

Altra particolarità dei condizionanti amminici è la loro stabilità termica. Attualmente si dispone di condizionanti stabili anche a temperature di 530-535°C, quali sono quelle dei vapori surriscaldati delle centrali termoelettriche. Il condizionante quindi, dosato in caldaia, passa inalterato nel vapore e nel condensato, dove continua ad esplicare le sue proprietà specifiche riducenti ed alcalizzanti.

È noto come condizioni stabilmente riducenti del mezzo e la stabilità dei valori di pH siano condizioni essenziali per la formazione ottimale del film protettivo, di magnetite uniforme, compatto, non poroso e ben ancorato alla matrice metallica. In alcuni casi, per la esclusiva protezione dei circuiti vapore-condensa, possono essere impiegate ammine ad elevato peso molecolare aventi carattere filmante. Lo scopo dell'utilizzazione di tali prodotti è quello di ottenere una pellicola protettiva che non consenta il contatto dell'acqua con il metallo. In linea di principio la loro efficacia non è influenzata dalle caratteristiche del vapore e delle condense, ma risente molto dello stato delle superfici da filmare. Se dette superfici sono ossidate, si può avere un rapido distacco degli ossidi che possono poi intasare valvole, tubazioni di piccolo diametro, scaricatori di condensa, ecc. Inoltre il film protettivo certe volte può presentare forti disomogeneità di spessore e in alcuni punti può risultare totalmente assente.

Questo ovviamente provoca difettosi scambi termici dove il film è troppo spesso, e violente corrosioni localizzate nei punti in cui il film è assente. Il loro

impiego deve essere poi limitato a caldaie funzionanti a bassa pressione in quanto, altrimenti, le ammine filmanti vengono degradate termicamente ed i prodotti di degradazione possono poi accumularsi in caldaia, provocando inconvenienti anche gravi. Nell'ultimo decennio si è portato a termine lo studio di prodotti filmanti a base poliamminica, che presentano una forte affinità per i metalli e che quindi possono dare origine a film polimerici omogenei e compatti, con particolari proprietà idrorepellenti. L'azione filmante rimane comunque ostacolata da particolari condizioni quali velocità di flusso troppo elevate, la presenza di eccessiva salinità, di sostanze in sospensione, di olii e grassi o di sostanze acidificanti in generale.

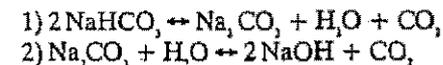
CONSIDERAZIONE SUI TRATTAMENTI PER ACQUE DI ALIMENTO DEI GENERATORI

L'acqua di alimento dei generatori di vapore deve, di norma, essere trattata per consentire il rispetto dei valori di alcuni parametri che condizionano in maniera diretta il buon funzionamento dei generatori stessi. Tra tutti i trattamenti possibili, attualmente una prima scelta può essere ristretta ai seguenti:

- 1) addolcimento
- 2) demineralizzazione su resine scambiatrici
- 3) dissalazione ad osmosi inversa

Utilizzando un addolcimento mediante scambio ionico, tutti i sali disciolti nell'acqua vengono trasformati nei corrispondenti sali di sodio, con la conseguente eliminazione del pericolo di incrostazioni. La conseguenza negativa di questo processo è la trasformazione di tutti i bicarbonati presenti nell'acqua in bicarbonati di sodio.

Alle condizioni di lavoro dei generatori di vapore (in condizioni cioè di elevata pressione e temperatura), i bicarbonati di sodio, essendo alquanto instabili, in seguito a reazioni di decomposizione di idrolisi danno origine di anidride carbonica ed a idrati di sodio:



L'anidride carbonica, in seguito alle reazioni 1) e 2), si libera nelle zone più calde del generatore e, come primo inconveniente, dà origine a tubercoli e/o a cavità di corrosione sui tubi del generatore stesso (corrosioni localizzate, non uniformi e quindi molto pericolose). Una volta liberata sotto forma di gas, l'anidride carbonica passa nel vapore. Quando il vapore si trasforma in condensa, diviene in pratica una soluzione piuttosto concentrata di acido carbonico e manifesta la sua notevole azione aggressiva nei confronti del circuito delle condense, con evidenti danni economici.

La soda caustica che si libera dalla reazione 2), va sempre più concentrandosi

nel generatore creando i presupposti ad un fenomeno di fragilità caustica. In seguito a questo fenomeno si ha un indebolimento della struttura cristallina delle parti metalliche a contatto con l'acqua stessa sino ad arrivare, in casi estremi, allo scoppio o quanto meno alla rottura delle parti metalliche stesse. L'elevata concentrazione di alcali comporta inoltre una eccessiva schiumosità dell'acqua di esercizio provocando trascinalenti caustici nel vapore. È evidente perciò che impiegando acqua addolcita in caldaia per la produzione di vapore, si evitano pericolosissimi fenomeni di incrostazioni calcaree, ma si creano i presupposti per altri e ben più gravi inconvenienti. Le ragioni precedentemente esposte si traducono, in pratica, in tre dati economicamente negativi:

1) necessità di praticare elevati spurghi per contenere i valori di alcalinità e di conducibilità sotto i limiti di sicurezza. Questo spurgo comporta:

- a) perdite di calorie con conseguente spreco di combustibile;
- b) perdita di potenzialità (produzione oraria di vapore) del generatore in quanto l'acqua riscaldata viene in notevole quantità dirottata allo scarico.

2) necessità di ricorrere, ove sia consentito, ad elevati dosaggi di prodotti condizionanti per contenere la schiumosità dell'acqua, per limitare l'ossigeno e l'anidride carbonica nel vapore e per tamponare la grande aggressività degli idrati e dei sali in genere nel generatore.

3) impossibilità pratica di garantire, anche con l'adozione di tutti gli accorgimenti possibili, la mancanza di corrosioni con un trattamento di addolcimento.

Tracciato a questo punto un confronto tra i due principali trattamenti acque per l'alimentazione dei generatori sintetizziamo i vantaggi e gli inconvenienti di ognuno:

DEMINERALIZZAZIONE TOTALE A SCAMBIO IONICO

Principali caratteristiche:

- elevatissima qualità chimica dell'acqua prodotta;
- semplicità di conduzione dell'impianto;
- manutenzione limitata;
- ingombro ridotto.

Questo trattamento comporta però la necessità di:

- rigenerare le resine scambiatrici con prodotti chimici pericolosi, corrosivi, tossici come Acido Cloridrico e Soda Caustica. Questo significa creare alcuni problemi per il personale addetto che deve servirsi di maschere, guanti, ecc...;
- introdurre opportuni accorgimenti nel locale impianti per prevenire la corrosione delle apparecchiature;
- realizzare un impianto in grado di neutralizzare le acque di scarico, per proteggere la rete fognaria dall'aggressione chimica delle acque effluenti in fase di rigenerazione;
- installare opportune strumentazioni di controllo con allarme sull'acqua trattata per la segnalazione immediata di anomalie nel funzionamento;
- superdimensionamento degli impianti per far fronte a possibili aumenti di

salinità dell'acqua greggia (tendenza generale). È noto che in questo caso la diminuzione del ciclo del demineralizzatore è proporzionale all'aumento della salinità.

Bisogna inoltre sottolineare che, per ottenere i migliori risultati, un demineralizzatore con resine a scambio ionico deve essere alimentato con acqua avente una salinità totale massima pari a circa 600-700 ppm CaCO_3 , e ciò crea un grosso limite a questo tipo di impianto. Qualora la salinità dell'acqua greggia fosse sensibilmente superiore a quella indicata, bisogna passare ad un impianto ad osmosi inversa, che può anche fungere da pre-trattamento ad una demineralizzazione con resine qualora le caratteristiche operative del generatore (pressione) richiedessero una qualità di acqua di reintegro particolarmente elevata.

DISSALAZIONE MEDIANTE OSMOSI INVERSA

Principali caratteristiche:

- elevata qualità chimica e biologica dell'acqua prodotta: questo trattamento, oltre a fornire acqua di elevata purezza chimica, permette l'eliminazione pressoché completa di batteri e di sostanze organiche con peso molecolare superiore a 200. È bene ricordare che in quest'ultima categoria rientrano le sostanze a più alto tasso di inquinamento come i detersivi sintetici non biodegradabili, i pesticidi, i coloranti, ecc...;
- elevatissima autonomia di esercizio;
- funzionamento completamente automatico in quanto le apparecchiature del pretrattamento si rigenerano a tempo ed il dissalatore (che non richiede rigenerazioni) viene inserito o disinserito tramite apposito interruttore o galleggiante elettrico;
- invariabilità della portata oraria d'acqua prodotta anche con aumenti sensibili della salinità dell'acqua greggia.

Per acqua ad uso alimentazione generatore si ha che, con un trattamento ad osmosi inversa, è necessario praticare spurghi un po' più elevati rispetto a quelli necessari con l'uso di acqua demineralizzata; va comunque sottolineato che la differenza degli spurghi resta contenuto in qualche unità percento in più. Un impianto di dissalazione ad osmosi inversa può quindi essere proposto, tal quale, come trattamento idoneo a produrre acqua di alimentazione per generatori vapore; oppure può, come detto, essere proposto come pretrattamento ad un impianto di demineralizzazione con resine a scambio ionico, che in tal modo può erogare acqua di migliore qualità e con cicli fino a 10 volte quelli che si avrebbero facendo funzionare lo stesso demineralizzatore con acqua greggia.

CONCLUSIONI

Per un corretto dimensionamento di un impianto di trattamento acqua occorre sempre, in modo particolare quando si parla di generatori di vapore, poter disporre delle seguenti informazioni:

- analisi accurata dell'acqua greggia comprendente, tra l'altro, le seguenti

determinazioni: Alcalinità, Cloruri, Solfati, Nitrati, Silice, Ferro + Manganese, Calcio, Magnesio, Ossidabilità, pH;

- pressione operativa del generatore;
- ore di funzionamento al giorno;
- portata acqua di alimentazione generatore;
- percentuale di ritorno condense;
- specifiche per l'acqua di alimentazione fornite dal costruttore del generatore (se possibile).

Soltanto conoscendo quanto sopra, è possibile installare l'impianto ideale, caso per caso.

Ciò permesso, si può affermare che la scelta tra un impianto di dissalazione ad osmosi inversa ed un impianto di demineralizzazione a scambio ionico dipende, di volta in volta, dalle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua da trattare e dalle caratteristiche operative del generatore di vapore che utilizzerà l'acqua trattata; con tali dati a disposizione, infatti, è possibile impostare la scelta fissando per i parametri principali — qualità acqua prodotta; percentuale di spurghi necessari; costo per m³ di acqua trattata; costo di acquisto; costi di esercizio, ecc... — quei valori accettabili che costituiscono l'essenza di un progetto centrato tecnicamente ed economicamente.

APPLICAZIONE DI BILANCI TERMICI

ESERCIZIO N° 1

Si abbia un olio combustibile con composizione chimica in massa:

- carbonio = 86%
- idrogeno = 9%
- zolfo = 3%
- acqua = 2%

Calcolare:

- il potere calorifico superiore
- il potere calorifico inferiore
- la quantità di aria teorica in massa necessaria per la combustione di un chilogrammo dell'olio combustibile analizzato

$$a) P.C.S. = \%H \times P.C.S. \text{ dell'H} + \%C \times P.C.S. \text{ del C} + \%S \times P.C.S. \text{ del S}$$

$$= \frac{9}{100} \times 34.500 + \frac{86}{100} \times 8.130 + \frac{3}{100} \times 2.600$$

$$= 10.174,8 \text{ Kcal/Kg}$$

$$b) P.C.I. = P.C.S. - (\%H \times 9 \text{KgH}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O come umidità}) \times 600 \text{ Kcal/Kg}$$

$$= 10.174,8 - \left(\frac{9}{100} \times 9 + 0,02 \right) \times 600$$

$$= 9.666,8 \text{ Kcal/Kg}$$

$$c) \text{ATM} = 11,59 \times \frac{C}{100} + 34,78 \times \frac{H}{100} + 4,34 \times \frac{S}{100}$$

$$= 11,59 \times \frac{86}{100} + 34,78 \times \frac{9}{100} + 4,34 \times \frac{3}{100}$$

$$= 13,23 \text{ Kg/Kg}$$

ESERCIZIO N° 2

In un generatore di vapore a tubi di fumo a combustione pressurizzata a fondo bagnato noti i dati:

- combustibile = olio combustibile P.C.I. 9.600 Kcal/Kg
- superficie camera di combustione = 12,6 m²

- volume camera di combustione = 3,14 m³
- consumo combustibile = 490 Kg/h
- temperatura preriscaldamento olio combustibile = 110°C.

Calcolare:

- 1) il carico termico totale della camera di combustione
- 2) il carico termico volumetrico della camera di combustione
- 3) il carico termico superficiale della camera di combustione.

Soluzione:

1) Sapendo che il carico termico totale della camera di combustione (C.T.T.) considera tutto il calore sviluppato nell'unità di tempo.

$$\begin{aligned} \text{C.T.T.} &= \text{P.C.I.} \times \text{Q.comb.} + \text{Q.comb.} \times t \times \text{c.s.} \\ &= 9.600 \times 490 + 490 \times 110 \times 0,5 \\ &= 4.730.950 \text{ Kcal/h} \end{aligned}$$

Dove:

- P.C.I. = potere calorifico inferiore del combustibile;
- Q.comb. = consumo combustibile orario;
- t = temperatura di preriscaldamento olio combustibile;
- c.s. = calore specifico dell'olio combustibile.

2)

$$\begin{aligned} \text{C.T.V.} &= \frac{\text{C.T.T.}}{\text{V.C.C.}} \\ &= \frac{4.730.950}{3,14} \\ &= 1.506.672 \text{ Kcal/h m}^3 \end{aligned}$$

- C.T.V. = carico termico volumetrico
- V.C.C. = volume camera di combustione

3)

$$\begin{aligned} \text{C.T.S.} &= \frac{\text{C.T.T.}}{\text{S.C.C.}} \\ &= \frac{4.730.950}{12,6} \\ &= 373.329 \text{ Kcal/h m}^2 \end{aligned}$$

- C.T.S. = carico termico superficiale
- S.C.C. = superficie camera di combustione.

ESERCIZIO N° 3

Noti i dati:

- combustibile = olio combustibile
- temperatura fumi = 250°C
- temperatura aria carburante = 25°C

Analizzando i fumi durante la regolazione del bruciatore in sei momenti diversi si ha:

I)	CO ₂ = 16%	CO = 0,5%	O ₂ = 2%
II)	CO ₂ = 12%	CO = 0%	O ₂ = 5,4%
III)	CO ₂ = 13,5%	CO = 0%	O ₂ = 2,4%
IV)	CO ₂ = 10%	CO = 2	O ₂ = 6%
V)	CO ₂ = 14%	CO = 0,5%	O ₂ = 2,2%
VI)	CO ₂ = 13	CO = 0%	O ₂ = 3,9%

Calcolare:

- 1) i dati di analisi mancanti;
- 2) quale delle sei verifiche può considerarsi ottimale;
- 3) il rendimento di combustione nella condizione ottimale (perdite varie 1,5%);
- 4) il coefficiente di eccesso d'aria;
- 5) l'eccesso d'aria ottimale

1) I dati mancanti secondo il triangolo di Ostwald sono:

II [^] analisi	O ₂ = 5,4%
IV [^] analisi	CO = 2%
VI [^] analisi	CO ₁ = 13%

2) La combustione ottimale si verifica nell'analisi VI[^]

3) Rendimento in modo indiretto nella VI analisi è:

$$\text{Pcs} = K \cdot \frac{T - t}{\text{CO}_2 \%} = 0,603 \cdot \frac{250 - 25}{13} = 10,44\%$$

$$\begin{aligned} \eta &= 100 - (\text{Pcs} + \text{Pci} + \text{Pv}) \\ &= 100 - (10,44 + 0 + 1,5) = 88,06\% \end{aligned}$$

4) secondo il triangolo di Ostwald il numero d'aria è N = 0,82

$$c = \frac{1}{N} = \frac{1}{0,82} = 1,22 \text{ coefficiente eccesso aria}$$

5)

$$e = 1 + \frac{E}{100} \text{ da cui } \frac{E}{100} = e - 1 = 1,22 - 1 = 22\%$$

la combustione avviene con un eccesso d'aria del 22%.

ESERCIZIO N° 4

Durante una prova di rendimento di un generatore di vapore si rilevano i seguenti dati:

- produzione di vapore 14.000 Kg/h
- temperatura vapore 400°C
- pressione vapore 40 Kg/cm² *bar*
- temperatura acqua alimento 120°C
- consumo olio combustibile 1.000 Kg/h
- P.C.I. = 9730 Kcal/Kg
- K_s = 0,605
- temperatura fumi ingresso economizzatore 360°C
- temperatura fumi uscita economizzatore 160°C
- temperatura ambiente 20°C
- CO₂ 13,5%

- perdita calore per irraggiamento nell'economizzatore 1%
- calore specifico acqua 1 Kcal/Kg °C

Calcolare:

- a) il rendimento termico
- b) le perdite per calore sensibile
- c) le perdite di calore varie
- d) la temperatura dell'acqua all'uscita dell'economizzatore.

a)

$$CS = Q_{comb} \times P.C.I.$$

$$= 1.000 \times 9.700$$

$$= 9.700.000 \text{ Kcal}$$

CU

$$= Q_{vapore} \times (h_{vap.} - h_{H_2O \text{ alim.}})$$

$$= 14.000 \times (766,8 - 120)$$

$$= 9.055.200 \text{ KCal/h}$$

η

$$= \frac{CU}{CS} = \frac{9.055.200}{9.700.000} = 0,928 = 92,8\%$$

b)

$$Pcs\% = K_s \times \frac{T - t}{CO_2\%}$$

$$= 0,605 \times \frac{160 - 20}{13,5}$$

$$= 6,27\%$$

c).

$$P_v\% = 100 - (\eta + Pcs)$$

$$= 100 - (92,8 + 6,27)$$

$$= 0,93\%$$

d)

$$\text{Calore \% scamb. economizz.} = K_s \times \frac{T_{fumi \text{ ingr.}} - T_{fumi \text{ uscita}}}{CO_2\%}$$

$$= 0,605 \times \frac{360 - 160}{13,5}$$

$$= 8,96\%$$

Calore scamb. nell'econom.

$$= \text{Calore speso} \times \text{calore \% scamb. econ.}$$

$$= 9.700.000 \times \frac{8,96}{100}$$

$$= 869.120 \text{ Kcal.}$$

Calore utile ceduto, all'acqua nell'econ.

$$= \text{Calore scamb. nell'econ.} - \text{perdite per irragg. \% nell'econ.}$$

$$= 869.120 - (1\% \times 869.120)$$

$$= 860.429 \text{ Kcal}$$

Temp. H₂O uscita econ.

$$= \frac{\text{Cal utile ceduto H}_2\text{O econ.}}{Q_{vapore}} + \text{Temp. H}_2\text{O ing.}$$

$$= \frac{860.429}{14.000} + 120$$

$$= 181,49^\circ\text{C}$$

ESERCIZIO N° 5

Durante una prova di rendimento con metodo indiretto di un generatore di vapore si rilevano i seguenti dati:

- rendimento percentuale : 88%
- combustibile utilizzato : olio combustibile fluido 3 ÷ 5°E
- consumo orario di combustibile : 10.000 Kg/h
- potere calorifico inferiore : 9.760 Kcal/Kg
- percentuale di CO₂ nei fumi alla base del camino : 13%
- percentuale di CO nei fumi alla base del camino : 0,5%
- perdite varie (stimate) : 2%
- temperatura ambiente : 20°C

Calcolare nell'ordine in % ed in Kcal/h le:

- 1) perdite totali
- 2) perdite per calore latente
- 3) perdite per calore sensibile
- 4) la temperatura dei fumi alla base del camino supponendo che la presenza di incombusti non alteri la validità delle usuali formule
- 5) il valore del coefficiente di eccesso d'aria.

$$\begin{aligned}
 1) \\
 \text{Perdite totali } \% &= 100 - \eta \\
 &= 100 - 88 \\
 &= 12\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perdite totali in Kcal} &= (Q.\text{comb.} \times \text{P.C.I.}) \times \text{perdite totali } \% \\
 &= (10.000 \times 9.760) \times \frac{12}{100} \\
 &= 11.712.000 \text{ Kcal/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \\
 \text{Pcl} \% &= K_s \times \frac{\text{CO} \%}{\text{CO} \% + \text{CO}_2 \%} \\
 &= 50,5 \times \frac{0,5}{0,5 + 13} \\
 &= 1,87\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pcl in Kcal} &= (Q.\text{comb.} \times \text{P.C.I.}) \times \text{Pcl} \% \\
 &= (10.000 \times 9.760) \times \frac{1,87}{100} \\
 &= 1.825.120 \text{ Kcal/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) \\
 \text{Pcs} \% &= \text{P. totali} - (\text{Pcl} + \text{Pv}) \\
 &= 12 - (1,87 + 2) \\
 &= 8,13\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pcs in Kcal} &= (Q.\text{comb.} \times \text{P.C.I.}) \times \text{Pcs} \% \\
 &= (10.000 \times 9.760) \times \frac{8,13}{100} \\
 &= 7.934.880 \text{ Kcal/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) \\
 \text{Sapendo che} \\
 \text{Pcs} \% &= K_s \times \frac{T - t}{\text{CO}_2 \%} \text{ si ha}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T - t &= \frac{\text{Pcs} \% \times \text{CO}_2 \%}{K_s} \\
 &= \frac{8,13 \times 13}{0,605} \\
 &= 174,69^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Temperat. fumi} &= (T - t) \\
 &= 174,69 + 20 \\
 &= 194,69^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5) \\
 \text{Dal triangolo di Ostwald } N &= 0,85
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{1}{N} \\
 &= \frac{1}{0,85} \\
 &= 1,17
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CO}_2 \text{ Pcs} &= \frac{K_s (t - t_0)}{\text{CO}_2} \frac{402}{K_s} \\
 \text{CO}_2 \text{ Pcs} &= \frac{K_s}{K_s}
 \end{aligned}$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100