

A. CACCIATORE - E. STOCCHI

IMPIANTI CHIMICI INDUSTRIALI

Volume Primo



edisco

ALFONSO CACCIATORE

EUGENIO STOCCHI

IMPIANTI CHIMICI INDUSTRIALI

TEORIA E PRATICA

VOLUME PRIMO



edisco

PRESENTAZIONE

Oltre vent'anni fa veniva edito il primo saggio di libri di testo italiani d'insegnamento degli Impianti Chimici Industriali a cura dei docenti della materia ingg. A. Cacciatore ed M. Fraccon e con il coordinamento operato, oltretutto interdisciplinarmente, dal prof. Eugenio Stocchi.

Sarebbe stato auspicabile che una tale iniziativa editoriale fosse stata all'inizio adeguatamente coltivata e soprattutto che successivamente essa avesse conosciuto gli aggiornamenti ed approfondimenti resi necessari dal ritmo sostenuto d'innovazione che il «boom della chimica» verificatosi in Italia negli anni sessanta-settanta comportò nella teoria e nella normativa di rappresentazione delle regolazioni e dei controlli in questo campo. Per svariati motivi invece si dovette assistere al progressivo scadere del valore relativo dei contenuti di quelle opere che, costituendo la prima razionale trattazione dei principi teorico-pratici dell'impiantistica chimica, rappresentarono un chiaro rifiuto della soltanto episodica descrizione fino ad allora in uso in Italia, ad ogni livello d'insegnamento, del macchinario adoperato in questo campo della tecnologia industriale. Inoltre sulla scia di tali opere furono realizzate nel frattempo varie pubblicazioni che, forti delle esperienze e degli aggiornamenti che si andavano man mano sviluppando, contribuirono a rendere desueti i pionieristici libri di testo della Casa Editrice LA PRORA di Milano. Oggi peraltro anche i risultati delle epigone iniziative editoriali ora dette non rispondono più ai loro assunti, perché da un lato talune opere con cui si identificano non sono aggiornate alle ultime normative di controllo, regolazione e rappresentazione dell'impiantistica chimica ed altre mancano dell'incisiva capacità di servire da libro di testo scolastico, data l'estraneità dei loro autori al peculiare mondo dell'insegnamento.

Preso atto della situazione esistente, questa Casa Editrice si è assunta l'onere, oltretutto con il prospettico impegno di un diuturno incentivo

all'iniziativa, di servire degnamente il campo dell'insegnare teoricamente e praticamente l'impiantistica chimica. Concretando un tale proposito, l'Editrice, dopo aver dato vita ad un manuale di Disegno d'Impianti Chimici, presenta qui il primo volume d'Impianti Chimici Industriali.

Frutto della collaborazione di due docenti di questa materia e di discipline affini e di supporto ad essa, già Autori, con l'affatto immaturamente scomparso dr. ing. Mario Fraccon, del primo saggio italiano di razionale insegnamento dell'impiantistica chimica di cui si è detto in apertura di questa presentazione, quest'opera a giudizio di chi, da referee, l'ha patrocinata è originale, logicamente impostata e singolarmente aggiornata nei suoi contenuti.

Proprio perciò nel presentare questo primo importante specimen della nostra iniziativa editoriale a sostegno dell'insegnamento della Chimica Industriale, ci rivolgiamo ai Docenti italiani del campo: invitandoli a voler concorrere con il loro incoraggiante assenso ai nostri sforzi di ben servire un fondamentale dominio della Scienza e della Tecnica.

Da parte nostra e degli Autori che ci onorano offriamo la disponibilità a rispondere sempre più e meglio alle richieste che dovessero pervenirci dai signori Docenti: per garantire il soddisfacimento d'ogni loro aspirazione finalizzata a migliorare contenuti e prospettive d'efficacia di quel che essi vanno costruendo nelle menti e nelle coscienze di coloro che li hanno per Maestri.

Casa Editrice «EDISCO»

INDICE SISTEMATICO

PRESENTAZIONE	Pag.	5
INDICE DEI CAPITOLI	»	7

1 | MATERIALI PER IMPIANTISTICA CHIMICA Pag. 9

1.1 Le molte applicazioni della tecnologia chimica	»	9
2.1 Condizioni di lavoro e proprietà dei materiali	»	10
3.1 Classificazione di base dei materiali	»	10

PARTE PRIMA

MATERIALI METALLICI PER IMPIANTISTICA CHIMICA

4.1 Generalità sui materiali metallici	Pag.	11
5.1 Proprietà tecnologiche dei materiali metallici usati nell'impiantistica	»	12
6.1 Proprietà meccaniche dei materiali metallici da impiantistica chimica	»	13
Durezza		
Resistenza a trazione (o «a tensione»)		
Resistenza allo scorrimento viscoso		
Resistenza a fatica		
Tenacità e resilienza		
7.1 Classificazione e qualificazione impiantistica dei prodotti siderurgici	»	20
8.1 Ghise da impiantistica chimica	»	22
Ghise sferoidali		
Ghise aciculari		
Ghise all'alluminio		
Ghise al cromo		
Ghise al molibdeno		
Ghise al nichel		
Ghise al rame		

9.1	Acciai al carbonio nell'impiantistica chimica	Pag.	24
	Acciai comuni		
	Acciai di qualità		
	Acciai speciali		
	Modi usuali di siglare gli acciai al carbonio		
	Criteri e modalità d'uso degli acciai al carbonio nell'impiantistica		
10.1	Gli acciai debolmente legati nell'impiantistica chimica	»	28
	Effetti prodotti dagli elementi aggiunti agli acciai		
	Applicazioni degli acciai debolmente legati all'impiantistica chimica		
11.1	Gli acciai legati nell'impiantistica chimica	»	32
	Acciai legati austenitici. Acciai inossidabili		
	Acciai legati martensitici. Acciai maraging		
	Acciai legati ferritici		
	Acciai legati semiferritici		
12.1	Materiali metallici non ferrosi in impiantistica chimica	»	35
	Rame e leghe di rame		
	Alluminio e sue leghe		
	Nichel e sue leghe		
	Il titanio nell'impiantistica chimica		
	I minori metalli usati nell'impiantistica chimica		

PARTE SECONDA

MATERIALI NON METALLICI PER IMPIANTISTICA CHIMICA

13.1	L'uso del vetro nell'impiantistica chimica	Pag.	44
	Vetri inorganici		
	Vetri organici		
14.1	Il quarzo e le ceramiche usati in impianti chimici	»	46
	Usi in impianti delle porcellane		
	Usi in impianti dei grès		
15.1	Le materie plastiche nell'impiantistica chimica	»	49
	Generalità sulle materie plastiche per impianti chimici		
	Criteri d'uso delle materie plastiche negli impianti chimici		
	Il PVC negli impianti chimici		
	Il PTFE nell'impiantistica chimica		
	I polietileni nell'impiantistica chimica		
	Il polipropilene in impiantistica chimica		
	Polistireni e polimeri acrilici nell'impiantistica chimica		
	Resine ABS nell'impiantistica chimica		
	Le resine fenoliche nell'impiantistica chimica		
	L'uso delle resine poliesteri nell'impiantistica chimica		
	Resine epossidiche ed impiantistica chimica		
16.1	Importanza degli accoppiamenti di materiali nell'impiantistica chimica	»	57

**2 | CORROSIONE DEI MATERIALI IMPIANTISTICI
E COME PREVENIRLA Pag. 59**

1.2	Natura della corrosione dei materiali metallici	»	59
2.2	Meccanismi di corrosione	»	60
3.2	Corrosione da ossigeno	»	62
4.2	Corrosione da aerazione differenziale	»	65
5.2	Corrosione elettrolitica	»	66
6.2	Tipi particolari di corrosione	»	67
	Corrosione non chimica		
	Corrosione da impurezze e da occlusioni		
	Corrosioni per inomogeneità di struttura sia chimico-fisica e sia fisico-meccanica		
	Corrosione intergranulare		
7.2	Necessità d'opporsi ai fenomeni di corrosione.....	»	69
8.2	I modi di contrastare la corrosione	»	70
9.2	Come si devono selezionare ed accoppiare i materiali nel costruire gli impianti	»	71
10.2	Protezione per formazione di composti chimici superficiali	»	72
11.2	Metodi di bonifica d'ambienti favorevoli alla corrosione	»	73
	Bonifica di condizioni ambientali potenzialmente corrosive		
	Bonifica di strutture metalliche predisposte a corrodarsi		
12.2	Rivestimenti protettivi anticorrosivi	»	75
	Protezione con metalli		
	Protezioni con vernici e con smalti		
	Protezioni con materie plastiche		
13.2	Difese dalla corrosione di carattere elettrico ed elettrochimico ..	»	79
14.2	Figura e compiti del corrosionista	»	84
	Certi criteri orientativi che può fornire il corrosionista sono già rimedi contro conseguenze della corrosione		
	Conoscenze di base del corrosionista		
	I compiti del corrosionista		
	Interventi del corrosionista in rapporto al tipo di corrosione		

**3 | CONTENITORI DI PRODOTTI CHIMICI
E APPARECCHI SOTTO PRESSIONE Pag. 87**

PARTE PRIMA
CONTENITORI

1.3	Introduzione e classificazioni	Pag.	87
2.3	Contenitori di solidi	»	88

3.3	Generalità sui contenitori di liquidi	Pag.	89
4.3	Serbatoi di approvvigionamento e stoccaggio	»	89
5.3	Serbatoi polmone o di lavorazione	»	93
6.3	Calcolo dello spessore di un contenitore di liquidi	»	93
7.3	Contenitori di gas	»	96
	Gasometro a campana semplice		
	Gasometro a campana con intercapedine		
	Gasometri a telescopio		
8.3	Esercizi e complementi	»	99

PARTE SECONDA

APPARECCHI FUNZIONANTI A PRESSIONE

9.3	Calcolo degli apparecchi che devono sopportare alte pressioni ..	Pag.	101
	Determinazione dello spessore delle pareti		
	Spessore dei fondi d'un apparecchio		
10.3	Verifica della resistenza dello spessore di un apparecchio per condizioni di lavoro diverse da quelle normali	»	105
11.3	Controlli e prove ai quali vengono sottoposti gli apparecchi che devono funzionare sotto pressione	»	106
	Prova idraulica ANCC		
	Verifica dello spessore per la parte cilindrica dell'apparecchio		
	Verifica dello spessore dei fondi dell'apparecchio		

4 | MEZZI DI TRASPORTO PER I SOLIDI

Pag. 109

1.4	Generalità e classificazione degli apparecchi	»	109
2.4	Apparecchi per il trasporto orizzontale in continuo	»	110
3.4	Apparecchi continui per il trasporto verticale	»	117
4.4	Trasporto dei solidi mediante fluidi	»	119
	Trasporto idraulico		
	Trasporto pneumatico		
5.4	Esercizi e complementi	»	121
	Esempio di calcolo di nastro trasportatore		
	Esempio di calcolo relativo al trasporto in serie di materiali solidi		
6.4	Sulla preparazione dei più comuni apparecchi trasportatori di solidi	»	123
	Materie prime e impregnanti che possono formare un nastro		
	Preparazione dei nastri trasportatori		

5 | PRINCIPI DI STATICA E DI DINAMICA DEI FLUIDI ED ACCESSORI PER TUBAZIONI Pag. 127

1.5	Generalità	»	127
2.5	Introduzione all'idrostatica: pressione e sua misura	»	127
3.5	Legge della pressione idrostatica	»	128
4.5	Idrodinamica - Viscosità e sua misura	»	129
5.5	Moto dei liquidi e numero di Reynolds	»	131
6.5	Portata di una corrente fluida e principio di continuità	»	133
7.5	Principio di conservazione dell'energia	»	135
8.5	Determinazione delle perdite di carico	»	139
	Perdite di carico continue		
	Perdite di carico localizzate		
9.5	Organi di intercettazione e di regolazione	»	141
	Valvole d'intercettazione		
	Valvole di regolazione		
	Valvole particolari		
10.5	Azionamento delle valvole	»	147
11.5	Organi di giunzione	»	148
12.5	Guarnizioni	»	150

6 | MEZZI DI TRASPORTO DEI FLUIDI Pag. 153

1.6	Introduzione	»	153
-----	--------------------	---	-----

PARTE PRIMA

MACCHINE PER IL TRASPORTO DEI LIQUIDI

2.6	Generalità e classificazione	<i>Pag.</i>	153
3.6	Concetti di prevalenza e di potenza delle pompe	»	154
	Prevalenza manometrica di una pompa		
	Potenza utile ed assorbita da una pompa		
4.6	Rendimento e perdite delle pompe	»	156
5.6	Pompe volumetriche: generalità	»	157
6.6	Descrizione, funzionamento e calcolo delle pompe alternative a stantuffo	»	158
7.6	Azionamento, regolazione, costruzione ed usi delle pompe a stantuffo	»	161
8.6	Pompe a membrana e a cuscinetto d'olio	»	162
9.6	Pompe rotative	»	164

10.6	Pompe cinetiche. Caratteristiche e suddivisioni	»	165
11.6	Pompe centrifughe	»	165
	Descrizione e funzionamento		
	Particolarità costruttive. Numero di giri e curve caratteristici		
	Azionamento, regolazione, costruzione ed usi delle pompe centrifughe		
12.6	Pompe speciali	»	171
13.6	Esercizi e complementi sulle pompe	»	174

PARTE SECONDA

APPARECCHI PER IL TRASPORTO DEGLI AERIFORMI E POMPE DA VUOTO

14.6	Generalità e classificazione	<i>Pag.</i>	176
15.6	I ventilatori	»	177
16.6	Compressori rotativi	»	178
17.6	Turbocompressori	»	180
18.6	Compressori a stantuffo	»	181
	Motivazioni e discussione delle modalità di refrigerazione nei compressori a stantuffo		
19.6	Pompe a vuoto	»	185
	Generalità e suddivisione		
	Pompe meccaniche a vuoto		
	Pompe ad iniettore e ad eiettore		
	Pompe a fissaggio d'aeriformi		
	Misura delle basse pressioni		

7 | SEPARAZIONE SOLIDO-LIQUIDO E DI LIQUIDI IMMISCIBILI .. *Pag.* 191

1.7	Introduzione	»	191
2.7	Considerazioni teoriche sulla DECANTAZIONE	»	192
3.7	I decantatori	»	194
4.7	Decantazione di liquidi reciprocamente non miscibili e di differente peso specifico	»	196
5.7	Considerazioni generali sulla FILTRAZIONE	»	200
6.7	Teoria della filtrazione	»	200
7.7	Considerazioni teorico-pratiche sull'uso dell'equazione fondamentale della filtrazione	»	202
	Integrazione della (12 ₇) per studiare la filtrazione a velocità costante		
	Integrazione della (12 ₇) per studiare la filtrazione a pressione costante		

8.7	Classificazione dei filtri	Pag. 205
9.7	Filtri a sabbia	» 206
10.7	I filtri pressa	» 207
	Descrizione e funzionamento	
	Caratteristiche dei filtri pressa	
	Considerazioni sul lavaggio	
11.7	Filtri in serie.....	» 211
	Filtro a foglie Moore	
	Filtro Kelly	
	Filtri a candela	
12.7	Filtri rotativi.....	» 214
	Filtri rotativi Oliver	
	Filtri rotativi a dischi	
	Filtri rotativi Dorr	
13.7	Criteri per la scelta dei filtri	» 218
14.7	La scelta delle pompe per i filtri	» 219
15.7	Calcoli di progetto dei filtri	» 219
	Progettazione di un filtro pressa	
	Calcoli relativi a un filtro rotativo	
16.7	Considerazioni teoriche sulla CENTRIFUGAZIONE	» 222
	Forza centrifuga e caratteristiche costruttive e di funzionamento delle centrifughe	
	Forza di gravità e disposizione del liquido nelle centrifughe	
17.7	Calcolo del numero di giri ammissibili per una centrifuga	» 224
18.7	Caratteristiche generali e suddivisione delle centrifughe	» 227
19.7	Separatori di una sostanza solida da una liquida	» 228
20.7	Separatori di due liquidi di diverso peso specifico	» 230
21.7	Supercentrifughe	» 232

8 | LA MACINAZIONE

Pag. 235

1.8	Introduzione	» 235
2.8	Classificazione degli apparecchi.....	» 236
3.8	Prerompitori o frantoi	» 236
4.8	Granulatori o granitori	» 239
5.8	Macinatori e finitori	» 244
6.8	Complementi alla macinazione ed esercizio	» 249
	Teoremi sulla macinazione	
	Equazioni del lavoro di macinazione e della potenza assorbita	
	Problema di applicazione	

**9 | LA CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI SOLIDI
E LA SEPARAZIONE DELLE POLVERI Pag. 253**

1.9 Importanza, scopi e compiti delle due operazioni » 253

PARTE PRIMA

LA CLASSIFICA DEI MATERIALI SOLIDI

2.9	Suddivisione degli apparecchi classificatori	Pag. 254
3.9	Classificazione a secco	» 255
	Crivello a cilindro semplice	
	Crivello a cilindro semplice e con fori di diametro crescente	
	Crivello a cilindri concentrici	
	Vaglio a scosse	
	Vibrovaglio a cascata	
4.9	Considerazioni teoriche sulla classifica idraulica	» 259
5.9	Apparecchi con cui si realizza la classifica idraulica	» 260
6.9	Considerazioni teoriche sulla flottazione	» 263
7.9	Agenti impiegati nella flottazione	» 266
	Promotori	
	Collettori	
	Schiumogeni	
	Modificatori superficiali	
8.9	Apparecchi con i quali si realizza la flottazione	» 267
9.9	Separazione magnetica	» 270

PARTE SECONDA

SEPARAZIONE DELLE POLVERI

10.9	Generalità e suddivisione dei separatori di polveri	Pag. 271
11.9	Filtri a secco	» 273
	Camere a polveri	
	Filtri «a manica» e a sacchi	
	Filtri a ciclone	
	Classificatore Gayco	
	Separatore elettrostatico Cottrell	
12.9	Filtri a umido	» 278
13.9	Come vanno progettati i cicloni	» 279

10 | LA MESCOLATURA Pag. 281

1.10	Natura, scopi e tecnologie di mescolatura	»	281
2.10	Miscelazione di solidi con solidi	»	282
3.10	Miscelazione di solidi con liquidi	»	284
4.10	Miscelazione di liquidi con liquidi	»	285
5.10	Il processo d'emulsione	»	288
6.10	Casi particolari di miscelazione	»	289
7.10	Calcolo della potenza necessaria per miscelare	»	289

11 | UNIFICAZIONE RAPPRESENTATIVA E STRUMENTALE NEI PROCESSI INDUSTRIALI Pag. 291

1.11	Generalità sull'unificazione industriale	»	291
2.11	Scopi dell'unificazione negli impianti chimici	»	292
3.11	La rappresentazione grafica dei processi chimici	»	293
	Diagramma a blocchi		
	Schema semplificato o di principio		
	Schema di processo		
	Schema di marcia		
4.11	La strumentazione nei processi chimici	»	295
5.11	I componenti di un ciclo di controllo funzionante con regolazione pneumatica	»	296
6.11	Impiego dei componenti di un ciclo di controllo	»	298
	Strumenti di misura		
	Controllori e regolatori		
	Organi di regolazione		
7.11	Simboli ed esempi di strumentazione	»	301
8.11	Esempi di strumentazione manuale o automatica applicata a parti di processi chimici	»	302
	Controllo della portata di una pompa centrifuga		
	Controllo della portata di una pompa a stantuffo		
	Controllo della temperatura applicata ad uno scambiatore		
	Controllo della pressione applicata ad un serbatoio e ad un compressore		
	Controllo del livello applicato ad un serbatoio		
9.11	Esempi di rappresentazione grafica di operazioni d'impianti chimici	»	307
	Schema di processo di trasporto pneumatico ad aria compressa		
	Schema di processo di trasporto pneumatico funzionante ad aria aspirata		
	Schema di processo di un impianto di macinazione		

Impianto di separazione per flottazione
 Schema di processo di un impianto di filtrazione operante sotto-
 vuoto
 Impianto per la produzione dell'ammoniaca sintetica

APPENDICE E INDICI	Pag. 321
<i>APPENDICE 1</i>	
Simboli per elementi di linea	» 323
<i>APPENDICE 2</i>	
Simboli e sigle per serbatoi, gasometri, tramogge	» 324
<i>APPENDICE 3</i>	
Simboli e sigle per trasportatori e dosatori	» 325
<i>APPENDICE 4</i>	
Simboli e sigle per pompe, compressori, eiettori	» 326
<i>APPENDICE 5</i>	
Simboli per serranda, rubinetti e valvole	» 327
<i>APPENDICE 6</i>	
Simboli per valvole	» 328
<i>APPENDICE 7</i>	
Simboli e sigle per filtri, centrifughe, mulini, frantoi	» 329
<i>APPENDICE 8</i>	
Simboli e sigle per separatori, vagli, motore, turbina	» 330
<i>APPENDICE 9</i>	
Simboli e sigle per scambiatori	» 331
<i>APPENDICE 10</i>	
Simboli e sigle per forni, essiccatoi, colonne	» 332
<i>APPENDICE 11</i>	
Simboli e sigle per accessori d'elementi di linea	» 333
<i>APPENDICE 12</i>	
Simboli per elementi di linea e strumentazione	» 334
<i>APPENDICE 13</i>	
Simboli per elementi di linea e installazioni tipiche	» 335
<i>APPENDICE 14</i>	
Simboli per collegamenti e caratteristiche del processo	» 336
<i>APPENDICE 15</i>	
Sigle per identificazione di linee	» 337
<i>APPENDICE 16</i>	
Simboli vari	» 338
<i>APPENDICE 17</i>	
Carichi di sicurezza	» 339

<i>APPENDICE 18</i>	
Pendenze di nastri trasportatori	Pag. 339
<i>APPENDICE 19</i>	
Caratteristiche di moto di materiali su piani inclinati	» 339
<i>APPENDICE 20</i>	
Viscosità e densità di liquidi	» 340
<i>APPENDICE 21</i>	
Grafico per il calcolo della viscosità di liquidi	» 341
<i>APPENDICE 22</i>	
Risultati delle prove di corrosione della ghisa sferoidale in determinati ambienti corrosivi	» 342
<i>APPENDICE 23</i>	
Tabella di comportamento alla corrosione del rame e delle principali sue leghe usate nell'impiantistica chimica	» 347
<i>APPENDICE 24</i>	
Comparazione dei valori della resistenza chimica del <i>PVC</i> e del <i>Poli-propilene</i> a molti reagenti chimici	» 351
<i>APPENDICE 25</i>	
Tabelle di logaritmi	» 361
<i>APPENDICE 26</i>	
Tabelle di antilogaritmi	» 363
<i>APPENDICE 27</i>	
Relazione tra densità e gradi Baumé	» 365
INDICE ANALITICO	» 367
INDICE SISTEMATICO	» 373

6 | MEZZI DI TRASPORTO DEI FLUIDI

1.6 Introduzione

Dopo aver sviluppato nel capitolo precedente le considerazioni generali sui fluidi ed aver esaminato i principi che ne regolano il trasporto, ci si deve ora interessare di come è possibile trasferire ai fluidi l'energia necessaria ad aumentarne l'altezza geodetica o piezometrica o cinetica.

I fluidi in moto entro gli impianti chimici si comportano fisicamente come dei pesi spostati; sicché il loro trasferimento è un processo che implica compimento di lavoro con spesa di energia.

Le macchine usate per compiere questo lavoro possono essere divise in due grandi categorie, a seconda che si tratti di spostare un liquido o un aeriforme.

Ci proponiamo di descriverne i tipi più importanti tra quelli usati nell'industria chimica, suddividendo il capitolo in due parti, relativamente alle categorie sopra dette. Nella seconda parte accenneremo anche alle pompe da vuoto.

PARTE PRIMA

MACCHINE PER IL TRASPORTO DEI LIQUIDI

2.6 Generalità e classificazione

Si dicono *macchine idrofore* («idrovore») o, più generalmente, *macchine idrauliche operatrici* le macchine destinate a sollevare e a spostare un liquido o a convogliarlo sotto pressione od anche a imprimere un notevole incremento di velocità a un liquido.

Tutte queste azioni possono essere provocate separatamente o contemporaneamente sul liquido stesso.

Le macchine idrauliche operatrici ricevono lavoro meccanico, ossia sono comandate da un motore e trasformano energia meccanica in energia idraulica.

Nome generico di queste macchine è quello di *pompe*; ed esse possono essere classificate con diversi criteri:

- a seconda della sostanza su cui operano (per acidi, per alcali, ecc.);
- a seconda dell'applicazione che trovano (si hanno ad esempio pompe per irrigazione, per alimentar caldaie e per industrie chimiche);
- a seconda della pressione che provocano (si tratta infatti di pompe per vuoto, per basse, per medie e per alte pressioni);
- a seconda del tipo di moto dei loro organi meccanici: che può essere alternato o rotativo; avendosi così *pompe volumetriche* e *pompe cinetiche*.

Quest'ultima classificazione è la più diffusa; ad essa quindi qui, nel descrivere le macchine idrauliche operatrici che interessano l'industria chimica, ci atterremo: trattando prima delle pompe prettamente volumetriche e poi di quelle cinetiche.

Infine tratteremo di alcune pompe particolari (o «speciali»), cioè di macchine per il trasporto dei fluidi appositamente studiate per servire particolari situazioni in cui non si possono adoperare le pompe usuali.

3.6 Concetti di prevalenza e di potenza delle pompe

Prima di passare alla descrizione delle pompe, esponiamo i concetti fondamentali che qualificano questi apparecchi.

Prevalenza manometrica d'una pompa

Il termine H che appare nella (10₅), già definito energia apportata da un organo esterno ad una condotta di fluido per ogni kg di questo, viene anche detto *prevalenza manometrica* della pompa ed indicato più propriamente con H_m .

Ricavando H dalla (10₅) si ha dunque:

$$H = H_m = (h_2 - h_1) + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (y + \Sigma y) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (16)$$

La (1₆) indica che la prevalenza manometrica d'una pompa ha lo scopo di:

- variare il livello del liquido del valore h_1 al valore h_2 ;
- variare la pressione del liquido da p_1 a p_2 ;
- vincere le perdite di carico;
- variare la velocità da v_1 a v_2 .

In generale l'ultimo termine della (1₆) viene trascurato perché risulta piccolo rispetto agli altri.

Il termine $(h_2 - h_1)$ viene indicato con H_g e costituisce la *prevalenza geodetica* della pompa e rappresenta la distanza verticale dei peli liberi del liquido prima e dopo il trasporto effettuato dalla pompa.

Pertanto la (1₆) diventa:

$$H_m = H_g + \frac{p_2 - p_1}{\gamma} + y + \Sigma y \quad (16)$$

ed è espressa in metri d'altezza.

Notiamo anche che la prevalenza geodetica H_g risulta somma di due termini:

— H_{ga} , detta prevalenza geodetica di aspirazione, che rappresenta la distanza verticale tra il pelo del liquido iniziale e il punto più alto della camera di aspirazione;

— H_{gm} , detta prevalenza geodetica di mandata, che rappresenta la distanza verticale tra tale punto e il pelo liquido finale.

Il valore di H_{ga} dipende dal tipo di pompa e dal tipo di liquido principalmente.

Per l'acqua, H_{ga} assume il valore teorico 10,33 m, se il serbatoio di aspirazione è sottoposto alla pressione atmosferica e se il vuoto nella camera di aspirazione della pompa è assoluto; praticamente non supera i 7-8 m, a causa anche delle varie resistenze. Inoltre tale altezza diminuisce con l'aumentare della tensione di vapore del liquido, cioè della temperatura, e diventa nulla per acqua bollente.

Il valore di H_{gm} dipende dal tipo di pompa, cioè dall'energia fornita al liquido.

Potenza utile ed assorbita da una pompa

Abbiamo già detto che H_m rappresenta l'energia apportata dalla pompa ad un kg di liquido. Indicando con Q la portata effettiva, cioè la quantità di liquido trasportato nell'unità di tempo e con γ il peso specifico del liquido stesso, la *potenza utile o teorica* N_u è espressa da:

$$N_u = Q \cdot H_m \cdot \gamma \quad (26)$$

In questa formula, misurando Q in m^3/s , γ in kg/m^3 , H_m in metri, si ha N_u in kgm/s .

Ovviamente, se si vuole esprimere la potenza in CV o in KW, basta dividere il valore della precedente relazione, rispettivamente, per 75 o per 102: cioè per i valori numerici corrispondenti ai Kgm/s equivalenti ad 1 CV o ad 1 KW, rispettivamente.

In realtà occorre una potenza maggiore della calcolata per azionare la pompa, poiché si hanno diverse perdite di energia durante il funzionamento; quindi la *potenza assorbita o effettiva* N_a è così formulabile:

$$N_a = \frac{N_u}{\eta_t} \quad (36)$$

η_t rappresenta il rendimento totale della pompa che, ovviamente, è un numero minore di uno.

Come ordine di grandezza dei valori di η_t la sperimentazione tecnica dà $0,65 \div 0,75$.

4.6 Rendimento e perdite delle pompe

Come si può dedurre dalla (36), il rendimento totale di una pompa è il rapporto tra la potenza utile e la potenza assorbita, cioè:

$$\eta_t = \frac{N_u}{N_a} \quad (46)$$

Tale rendimento, come vedremo, viene calcolato come prodotto di tre singoli rendimenti; esso tiene conto delle perdite di energia della pompa, perdite che sono di tre specie: volumetriche, idrauliche e meccaniche.

Le **perdite volumetriche** sono dovute in parte ad un ritorno di liquido attraverso il tubo di aspirazione (in conseguenza della non perfetta tenuta delle valvole o dei giochi esistenti tra parti fisse e parti mobili della macchina stessa) e in parte ad eventuali bolle d'aria o a formazione di gas e vapori all'interno della macchina di aspirazione. Tali perdite danno luogo al *rendimento volumetrico della pompa*:

$$\eta_v = \frac{Q}{Q_t} \quad (56)$$

In questa, Q è la portata effettiva della pompa e Q_t è la portata teorica.

Le **perdite idrauliche** sono dovute alle resistenze che incontra il liquido,

all'ingresso, all'interno e all'uscita dalla pompa in seguito ad attriti e ad urti. Tali resistenze danno luogo ad una ulteriore perdita di carico, che indichiamo con y' . Si ha così il *rendimento idraulico* della pompa:

$$\eta_i = \frac{H_m}{H_m + y'} \quad (6_6)$$

ove H_m è la prevalenza manometrica della pompa già definita.

Per ridurre tali perdite ed aumentare così il rendimento idraulico, occorre realizzare le due condizioni seguenti, dette «*aforismi idraulici*», cioè:

- *ingresso del liquido senza urti;*
- *uscita del liquido con la minima velocità possibile.*

Le **perdite meccaniche** sono dovute agli attriti e alle resistenze meccaniche. Se N_p è la potenza corrispondente a tali perdite ed N_a quella assorbita, il *rendimento meccanico* si esprime:

$$\eta_m = \frac{N_a - N_p}{N_a} \quad (7_6)$$

Il prodotto dei tre rendimenti formulati in (5₆), (6₆) e (7₆) costituisce il *rendimento totale* η_t ; cioè:

$$\eta_t = \eta_v \cdot \eta_i \cdot \eta_m \quad (8_6)$$

Praticamente la relazione per calcolare η_t è la (8₆). Una volta calcolato il valore di η_t e determinato quello della potenza utile con la (2₆), si risale alla potenza assorbita, applicando la relazione (3₆).

5.6 Pompe volumetriche: generalità

Le pompe volumetriche sono macchine che svolgono il loro compito attraverso l'alternativo riempimento e svuotamento di un volume chiuso, realizzato nel corpo stesso della pompa.

Esistono diversi tipi di pompe volumetriche, in relazione alle caratteristiche del liquido da pompare. Prendendo in esame solamente le principali, si possono distinguere in *alternative* ed in *rotative*.

Le pompe alternative comprendono le *pompe a stantuffo* («a semplice effetto» e «a doppio effetto»), le *pompe a membrana* e le *pompe a cuscinetto d'olio*. Tra i vari tipi delle pompe rotative la più comune è la *pompa ad ingranaggi*.

Nei paragrafi che seguono verranno esaminati i diversi tipi di pompe volumetriche e, in particolare, quelle a stantuffo di più largo campo di impiego.

6.6 Descrizione, funzionamento e calcolo delle pompe alternative a stantuffo

Le pompe alternative a stantuffo sono essenzialmente costituite da un cilindro (o da più cilindri) entro cui scorre uno stantuffo animato da moto alternativo. Lo stantuffo è «tuffante» se ha forma cilindrica allungata ed è «a disco» se ha forma appiattita (Fig. 1/6).

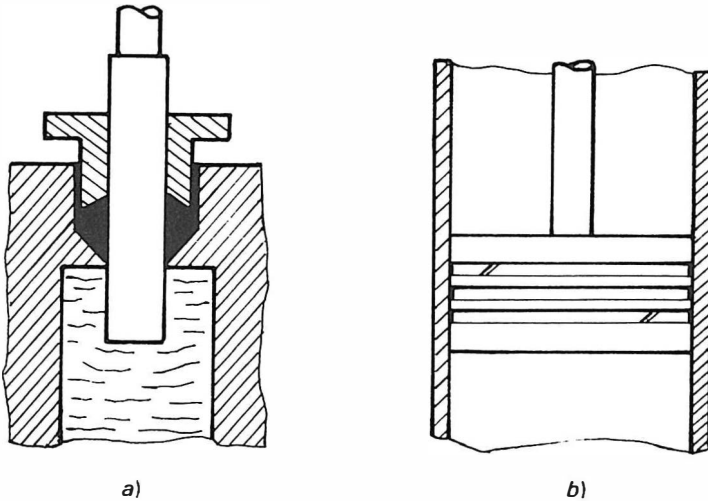


Fig. 1/6

Nel primo caso un'asta metallica costituisce lo stantuffo, che è completamente tuffato nel liquido; si ha una sola tenuta all'uscita dell'asta dal corpo cilindrico (particolare *a*).

Nel secondo caso si ha una prima tenuta, realizzata per mezzo di anelli di fasce elastiche, tra lo stantuffo e il corpo cilindrico e una seconda tenuta all'uscita dal corpo della pompa, tra questo e l'asta che comanda lo stantuffo (particolare *b*).

Delle valvole permettono che il condotto d'aspirazione comunichi col cilindro durante la fase di aspirazione e valvole di scarico mettono in comunicazione il cilindro con il condotto d'uscita, durante la fase di scarico; entrambe le valvole sono di ritegno, cioè unidirezionali.

Esaminiamo ora in modo più specifico i due tipi di pompe sopra indicate.

La *pompa a semplice effetto* è costituita, come si vede in Fig. 2/6, dal cilindro *C*, nel quale si muove alternativamente lo stantuffo tuffante *S*. I

due condotti, d'aspirazione T e di mandata T' , portano alle estremità le valvole V e V' unidirezionali e a sede conica, la cui alzata è limitata da un arresto superiore, contro il quale viene a battere la valvola stessa. Queste

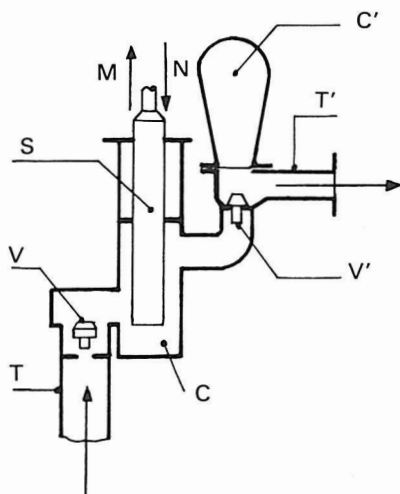


Fig. 2/6

valvole hanno, come si può notare, funzionamento simile alle valvole studiate nel paragrafo 8.5.

Durante la salita dello stantuffo, o «corsa d'aspirazione M », la valvola V si solleva ed il liquido entra nel cilindro; quando lo stantuffo scende («corsa di mandata N ») il liquido preme sulle due valvole: la V non può abbassarsi, mentre la V' si solleva ed il liquido viene spinto in alto, attraverso la tubazione T' .

La portata della pompa a semplice effetto è discontinua, come si rileva dal grafico 3/6 in cui è mostrata la portata erogata in funzione del tempo. Occorre dunque regolare il moto del liquido.

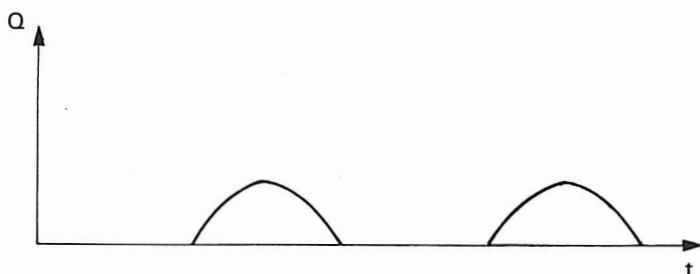


Fig. 3/6

A tale scopo, sul condotto di mandata T' si pone una *camera d'aria*, cioè un recipiente C' che contiene nella parte superiore aria; il liquido, spinto dallo stantuffo, comprime tale aria, invadendo la camera. In tal modo, quando cessa la mandata, l'aria si dilata e continua a spingere il liquido e la portata assume così un funzionamento più continuo e regolare.

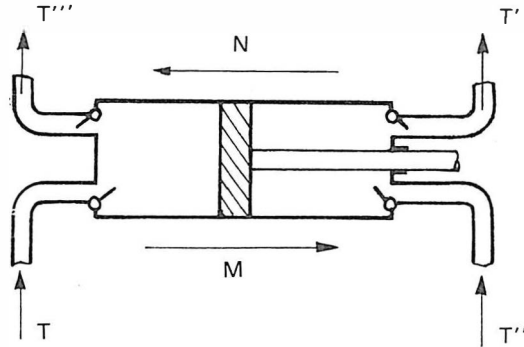


Fig. 4/6

Per avere una portata continua, si costruiscono pompe a doppio effetto; di cui in Fig. 4/6 riportiamo uno schema di funzionamento e in Fig. 5/6 il grafico della portata.

In condizioni di regime, durante la corsa M , si ha l'aspirazione da T e la mandata da T' ; durante la corsa N , si ha l'aspirazione da T'' e la mandata da T''' .

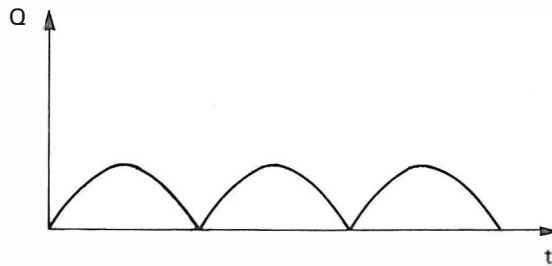


Fig. 5/6

Per avere una mandata più uniforme, si costruiscono pompe a due, a quattro, a sei ed anche a nove cilindri.