

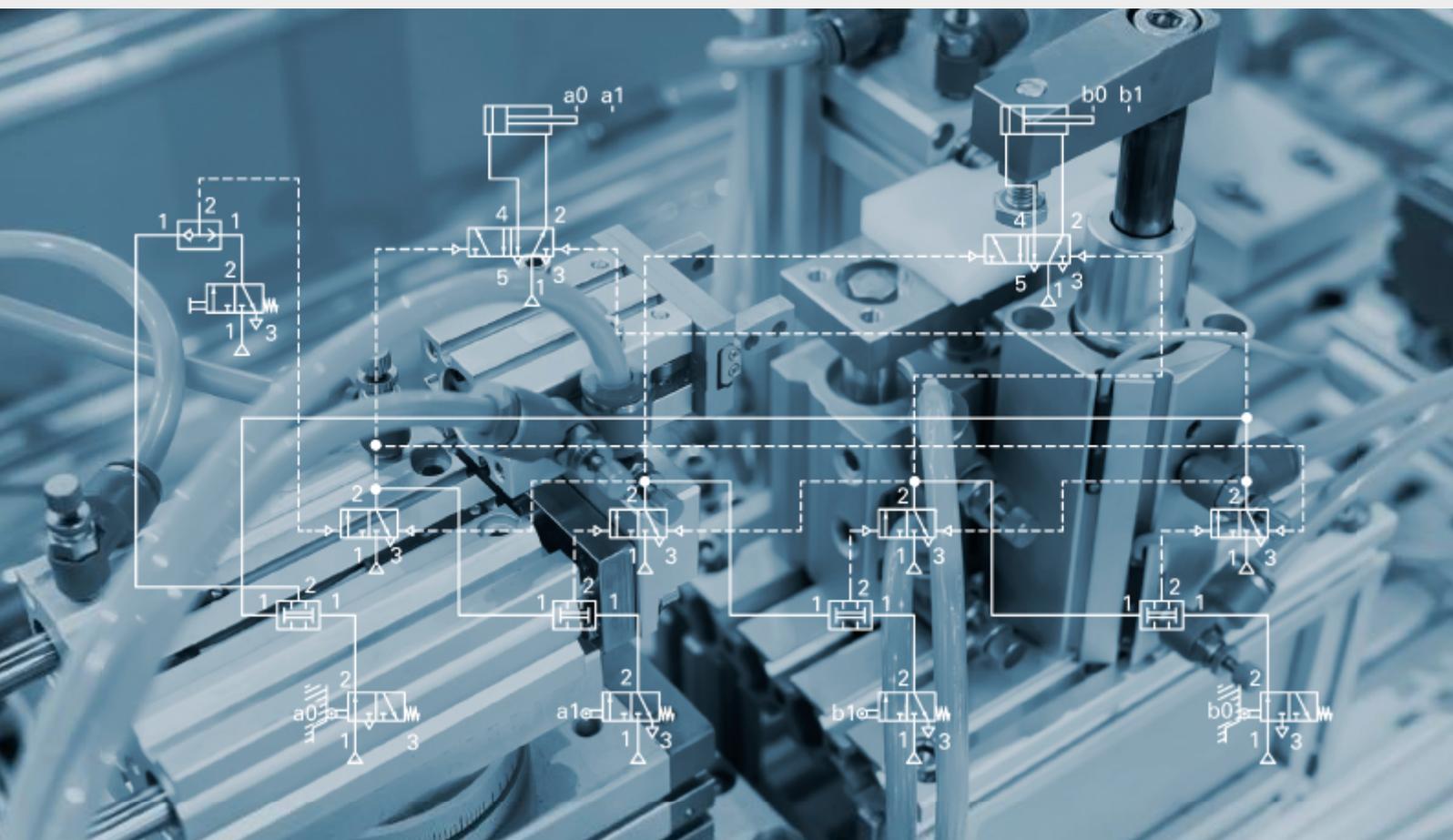
TECNOLOGIE PNEUMATICHE

Fabrizio Cerri

PERCORSI DIDATTICI
E LABORATORIO

Testo validato e consigliato
da  **assofluid**
per la Certificazione  **cetop**
The Value of the European
Fluid Power Industry

LIVELLO P2



Edizione **OPENSCHOOL**

- | | |
|---|----------------------|
| 1 | LIBRODITESTO |
| 2 | E-BOOK+ |
| 3 | RISORSEONLINE |
| 4 | PIATTAFORMA |

HOEPLI

Fabrizio Cerri

Tecnologie pneumatiche

Percorsi didattici e laboratorio

Testo validato e consigliato da  **assofluid**

per la Certificazione



Livello P2



EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

Copyright © Ulrico Hoepli Editore S.p.A. 2019

Via Hoepli 5, 20121 Milano (Italy)

tel. +39 02 864871 – fax +39 02 8052886

e-mail hoepli@hoepli.it

www.hoepli.it



Tutti i diritti sono riservati a norma di legge
e a norma delle convenzioni internazionali

INDICE

| | |
|---|----|
| Presentazione | VI |
| Prefazione | IX |
| CAPITOLO 1 | |
| PRINCIPI SCIENTIFICI FONDAMENTALI – P2.5.1 | |
| a ELENCARE I COMPONENTI DI BASE E DESCRIVERNE LA FUNZIONE | 1 |
| Motori primari, compressori, refrigeratori, collettori, deumidificatori e tubazioni | 2 |
| b CONOSCERE LE QUANTITÀ E LE UNITÀ DI MISURA DELLE GRANDEZZE | 4 |
| Pressione, forza, superficie | 4 |
| Consumo d'aria, portata, velocità | 7 |
| Coppia e potenza | 8 |
| c CONOSCERE E UTILIZZARE LE FORMULE DELLE GRANDEZZE | 12 |
| Pressione, forza, superficie | 12 |
| Consumo d'aria, portata, velocità | 14 |
| Coppia e potenza | 15 |
| d ENUNCIARE E USARE LA RELAZIONE TRA PRESSIONE, FORZA E SUPERFICIE | 16 |
| e ELENCARE I VANTAGGI E GLI SVANTAGGI DEI SISTEMI PNEUMATICI | 17 |
| Vantaggi e svantaggi rispetto a sistemi meccanici, sistemi elettrici, sistemi oleoidraulici | 17 |
| VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 19 |
| SCHEDE PROPEDEUTICHE | 20 |
| CAPITOLO 2 | |
| APPLICAZIONE DEI PRINCIPI FONDAMENTALI – P2.5.2 | |
| a RELAZIONE TRA PORTATA, CADUTA DI PRESSIONE, DIMENSIONE DEI TUBI E LORO LUNGHEZZA | 29 |
| b CONTROLLO DELLA PRESSIONE | 32 |
| Distinguere tra pressione relativa (di manometro) e pressione assoluta | 32 |
| Rapporto di compressione | 32 |
| Scarico della pressione | 33 |
| Riduzione della pressione | 33 |
| c CONTROLLO DELLA PORTATA | 34 |
| Direzionale | 34 |
| Avviamento progressivo/scarico | 35 |
| Controllo della portata bidirezionale | 36 |
| Controllo della portata unidirezionale | 37 |
| Non ritorno | 38 |
| d CONTROLLO DEL MOVIMENTO | 38 |
| Velocità | 38 |
| Fermare o impedire il movimento | 39 |
| Cambio di direzione | 39 |
| VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 40 |
| SCHEDE PROPEDEUTICHE | 41 |
| CAPITOLO 3 | |
| IMPIANTI AD ARIA COMPRESSA – P2.5.3 | |
| a DISEGNARE UNO SCHEMA A BLOCCHI DI UN TIPOICO IMPIANTO AD ARIA COMPRESSA, MOSTRANDO LA RELATIVA POSIZIONE DEI SUOI COMPONENTI | 45 |
| b STABILIRE LA FUNZIONALITÀ DEI COMPONENTI DI UN TIPOICO IMPIANTO AD ARIA COMPRESSA | 47 |
| Sistema di produzione dell'aria | 47 |
| Sistema di consumo dell'aria | 49 |
| c DESCRIVERE I DIFFERENTI TIPI DI COMPRESSORI | 49 |
| Elencare i tipi di compressori d'aria di uso comune: alternativi, rotativi, e assiali – singoli e multistadio | 49 |
| Elencare i fattori che influenzano la scelta del tipo di compressore per un tipo particolare di installazione ad aria compressa | 52 |
| d DESCRIVERE LA NECESSITÀ DI ESSICCARE L'ARIA COMPRESSA | 54 |
| Scopo dell'essiccazione | 54 |
| Differenze di principio fra i metodi di essiccazione ad adsorbimento, a sali deliquescenti e metodi di raffreddamento a bassa temperatura | 55 |
| e DESCRIVERE IL LAYOUT E L'INSTALLAZIONE DEI SISTEMI DI DISTRIBUZIONE DELL'ARIA COMPRESSA | 55 |
| Stabilire i requisiti di pendenza delle tubazioni e i metodi di supporto e ancoraggio | 56 |
| Distinguere fra sistemi a pettine e ad anello ed enunciare i vantaggi di ciascun sistema | 56 |
| Disegnare i metodi tipici di collegamento delle linee aeree alle alimentazioni e agli scarichi | 57 |
| f ESPORRE IL FUNZIONAMENTO DEI COMPONENTI DI UNA LINEA DI ARIA COMPRESSA | 57 |
| Filtro | 58 |
| Regolatore di pressione | 59 |
| Lubrificatore | 60 |
| Manometro | 61 |
| Valvola di sezionamento | 61 |
| Valvola di avviamento progressivo/scarico | 61 |
| Assemblaggio del FRL | 61 |
| VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 63 |
| SCHEDE PROPEDEUTICHE | 64 |
| CAPITOLO 4 | |
| DISPOSIZIONI DI LEGGE (LEGGI SULLA SICUREZZA DEI SISTEMI PRESSURIZZATI) – P2.5.4 | |
| a DIRETTIVA MACCHINE E NORME ARMONIZZATE | 70 |
| b NORMA ISO 4414 – REGOLE E REQUISITI DI SICUREZZA | 70 |
| Regole generali e requisiti di sicurezza | 71 |
| Requisiti di base per la progettazione e specifiche dei sistemi pneumatici ISO 4414 | 71 |
| Requisiti specifici per componenti e controlli ISO 4414 | 73 |
| c NORMA ISO 13849 – PRINCIPI DI PROGETTAZIONE DI FUNZIONI DI SICUREZZA | 76 |
| Analisi del rischio | 76 |
| Valutazione del rischio | 78 |
| Riduzione del rischio | 79 |
| VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 80 |
| SCHEDE PROPEDEUTICHE | 81 |

CAPITOLO 5

COMPONENTI DEL CIRCUITO PNEUMATICO – P2.5.5 87

a CILINDRI, MOTORI E ATTUATORI ROTATIVI 88

Enunciare la conversione dell'energia fluida in lavoro nei cilindri e nei motori 88

Calcolare la forza statica sviluppata in un cilindro, enunciare l'effetto dello stelo del pistone sulla forza sviluppata 90

Esporre la necessità di incrementare la forza teorica statica di un minimo del 30% per le applicazioni dinamiche 91

Elencare i fattori che influenzano la velocità del pistone 92

Enunciare le difficoltà associate con un lento controllo di velocità del cilindro 93

Identificare le principali caratteristiche ed enunciare le tipiche applicazioni dei tipi di cilindri 93

Motivare alcuni speciali accorgimenti nei cilindri 100

Identificare le principali caratteristiche ed enunciare le applicazioni tipiche dei motori rotativi e degli attuatori rotativi 105

b COMPONENTI PER IL VUOTO 106

Generatori di vuoto 106

Ventose 108

Valvole 109

c VALVOLE DI CONTROLLO 110

Identificare la necessità in un circuito di valvole di controllo direzionale, di avviamento progressivo/scarico, di regolatori di flusso, di non ritorno, ausiliarie e di fine corsa 110

Identificare le principali caratteristiche delle valvole a cassetto e a otturatore 2/2, 3/2, 4/2, 5/2, 3/3, 4/3, 5/3 112

Valvole a cassetto e a otturatore 116

Identificare i diversi metodi di azionamento delle valvole Distinguere fra le condizioni centrali di valvole a tre posizioni 125

Identificare i regolatori di flusso unidirezionali e bidirezionali 126

Delineare come le funzioni logiche NOT, AND e OR possano essere ottenute utilizzando le valvole convenzionali 127

Delineare come le funzioni logiche NOT, AND e OR possano essere ottenute utilizzando le valvole logiche 128

Enunciare il principio e lo scopo dei silenziatori e dei separatori finali d'olio 129

Enunciare le funzioni di un serbatoio nel circuito 130

Enunciare la funzione delle valvole di blocco 131

VERIFICA DELLE CONOSCENZE 132

SCHEDE PROPEDEUTICHE 133

CAPITOLO 6

PRINCIPI ELETTRICI FONDAMENTALI – P2.5.6 151

a ENUNCIARE E USARE LA RELAZIONE FRA TENSIONE, CORRENTE, RESISTENZA E POTENZA 152

b ENUNCIARE LA RELAZIONE FRA MAGNETISMO, CORRENTE E MOVIMENTO DI UN NUCLEO MAGNETICO 153

c SIGNIFICATO DEL TERMINE INDUTTANZA E SUO EFFETTO SUI CIRCUITI A CORRENTE CONTINUA 155

d SIGNIFICATO DEL TERMINE CAPACITÀ E SUO EFFETTO SUI CIRCUITI A CORRENTE CONTINUA 156

e SIGNIFICATO DEI TERMINI AMPIEZZA, FREQUENZA, PERIODO E VALORE QUADRATICO MEDIO (RMS) 157

f DEFINIRE I TERMINI DIGITALE E ANALOGICO ASSOCIATI AI SISTEMI DI CONTROLLO 160

g DESCRIVERE I PRINCIPI FONDAMENTALI DEL CONTROLLO AD ANELLO APERTO E CHIUSO 162

VERIFICA DELLE CONOSCENZE 164

SCHEDE PROPEDEUTICHE 165

CAPITOLO 7

COMPONENTI DEL CIRCUITO ELETTROPNEUMATICO – P2.5.7 173

a ENUNCIARE LA FUNZIONE DEI COMPONENTI ELENCATI 173

Solenoidi 173

Interruttori reed 175

Interruttori elettronici a effetto Hall 175

Sensori di prossimità 175

Microinterruttori 176

Pressostati 176

Dispositivi ottici 176

Relè 177

Relè a passo 177

VERIFICA DELLE CONOSCENZE 178

SCHEDE PROPEDEUTICHE 179

CAPITOLO 8

COMPONENTI OLEOPNEUMATICI – P2.5.8 185

a ELENCARE GLI USI DEI COMPONENTI 185

OLEOPNEUMATICI 185

Cilindri ad aria/olio 186

Moltiplicatori di pressione 188

Freni oleoidraulici 190

b ENUNCIARE I VANTAGGI DEI SISTEMI OLEOPNEUMATICI 194

VERIFICA DELLE CONOSCENZE 196

SCHEDE PROPEDEUTICHE 197

CAPITOLO 9

TUBAZIONI E RACCORDI – P2.5.9

a DISTINGUERE FRA TIPOLOGIE DI TUBI RIGIDI E TUBI FLESSIBILI 205

Tubi rigidi e tubi flessibili 205

b IDENTIFICARE I RACCORDI E LE CONNESSIONI PER I COMPONENTI ELENCATI NEL PARAGRAFO a 207

c ENUNCIARE I MATERIALI PER LA COSTRUZIONE DEI TUBI RIGIDI E DEI TUBI FLESSIBILI E FORNIRE ESEMPLI DELLA LORO APPLICAZIONE 211

Tubi rigidi 211

Tubi flessibili 212

| | | | |
|---|-----|---|-----|
| VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 214 | CAPITOLO 12 | |
| SCHEDE PROPEDEUTICHE | 215 | SISTEMI DI EMERGENZA A PROVA DI MALFUNZIONAMENTO E DI SICUREZZA – P2.5.12 | 315 |
| CAPITOLO 10 | | a DISTINGUERE FRA “EMERGENZA” E “A PROVA DI MALFUNZIONAMENTO” | 315 |
| GUARNIZIONI – P2.5.10 | 219 | b DELINEARE PROCEDURE DI ARRESTO DI EMERGENZA | 317 |
| a IDENTIFICARE LE PROCEDURE DI INSTALLAZIONE DELLE GUARNIZIONI STATICHE E DINAMICHE | 219 | Funzioni di sicurezza | 317 |
| b ENUNCIARE I MATERIALI PER LA COSTRUZIONE E FORNIRE ESEMPI DELLA LORO APPLICAZIONE | 222 | Sistemi a prova di malfunzionamento | 317 |
| VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 225 | VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 319 |
| SCHEDE PROPEDEUTICHE | 226 | SCHEDE PROPEDEUTICHE | 320 |
| CAPITOLO 11 | | CAPITOLO 13 | |
| CARATTERISTICHE DEI CIRCUITI E DEI COMANDI, SIMBOLOGIA PNEUMATICA ED ELETTRICA – P2.5.11 | 231 | PROCEDURE DI INSTALLAZIONE E MESSA IN FUNZIONE – P2.5.13 | 329 |
| a RICONOSCERE E UTILIZZARE I SIMBOLI GRAFICI ISO E IEC | 232 | a INSTALLAZIONE | 329 |
| b DISEGNARE SCHEMI DI CIRCUITI MONOCILINDRO PER CONTROLLARE I MOVIMENTI DELLO STELO | 239 | b MESSA IN SERVIZIO | 330 |
| Azione a ciclo singolo e continuo usando valvole di fine corsa e valvole a comando pneumatico | 239 | c FASE DI ESERCIZIO | 330 |
| Controllo del tempo di ritardo attraverso resistenze capacità e temporizzatore | 243 | Verifica di integrità | 330 |
| Controllo della velocità mediante regolatori di flusso | 244 | Verifica di funzionamento | 330 |
| c RICONOSCERE IL SISTEMA NUMERICO ISO PER L’IDENTIFICAZIONE DELLE BOCHE DELLE VALVOLE | 245 | d OBBLIGHI DELL’UTILIZZATORE | 330 |
| d ENUNCIARE ALTRI METODI NON NORMATI DI IDENTIFICAZIONE DELLE BOCHE (ALFABETICI) | 245 | Descrizione delle procedure per installazione e messa in funzione | 331 |
| e ENUNCIARE UN METODO PER SPECIFICARE IL MOVIMENTO DEI CILINDRI | 245 | VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 333 |
| Metodo alfabetico | 245 | SCHEDE PROPEDEUTICHE | 334 |
| f DESCRIVERE CIRCUITI PNEUMATICI MULTICILINDRO | 247 | CAPITOLO 14 | |
| Disegnare gli schemi circuitali usando valvole di fine corsa come comando | 248 | PROCEDURE DI MANUTENZIONE, MONITORAGGIO E DIAGNOSI GUASTI – P2.5.14 | 343 |
| Definire i termini “segnale impulsivo”, “segnale continuo”, “segnale bloccante” | 250 | a DELINEARE UNO SCHEMA DA SEGUIRE NELLA MANUTENZIONE, CHE INCLUDA IL MONITORAGGIO DELLE PRESTAZIONI E DELLA SALUTE | 343 |
| Illustrare metodi per evitare i segnali bloccanti | 252 | b ELENCARE I GUASTI COMUNI INCONTRATI NEI SISTEMI ELETTROPNEUMATICI E NEI COMPONENTI ASSOCIATI E CITARE POSSIBILI CAUSE ED EFFETTI SULLE PRESTAZIONI DEL SISTEMA | 347 |
| g DESCRIVERE CIRCUITI ELETTROPNEUMATICI MULTICILINDRO | 259 | c DESCRIVERE LE PROCEDURE DA SEGUIRE QUANDO SI FORMULA LA DIAGNOSI DI UN GUASTO | 348 |
| Disegnare gli schemi circuitali usando elettrovalvole e interruttori reed/ sensori di prossimità | 259 | VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 351 |
| Circuiti elettropneumatici multicilindro usando la logica di controllo a relè | 262 | SCHEDE PROPEDEUTICHE | 352 |
| h DISEGNARE SCHEMI CIRCUITALI CON VALVOLE SELETTRICI, A COMANDO PNEUMATICO DIFFERENZIALE E DI SCARICO RAPIDO | 265 | | |
| i DESCRIVERE CIRCUITI OLEOPNEUMATICI | 267 | | |
| Controllo di movimento di precisione | 267 | | |
| Moltiplicazione di pressione | 274 | | |
| Blocco idraulico | 276 | | |
| VERIFICA DELLE CONOSCENZE | 278 | | |
| SCHEDE PROPEDEUTICHE | 279 | | |

PRESENTAZIONE

La certificazione **CETOP** costituisce il marchio distintivo della formazione nel settore della potenza fluida (oleoidraulica e pneumatica) in tutta Europa.

Possedere una certificazione CETOP attesta ufficialmente un livello di qualifica per accedere e distinguersi in settori industriali stimolanti ed estremamente ricettivi in termini occupazionali. La potenza fluida infatti viene utilizzata per la trasmissione e il controllo della potenza e del movimento in molteplici applicazioni e i produttori di componenti e sistemi pneumatici sono i principali fornitori delle industrie del settore meccatronico e dell'automazione, oggi in vertiginosa espansione.

Questo testo costituisce uno strumento prezioso e completo a disposizione degli **enti di formazione** e dei **candidati agli esami CETOP** che aspirano a consolidare e sviluppare la propria posizione professionale.

In conformità al nuovo programma formativo Europeo del CETOP, il testo mira all'obiettivo di promuovere le qualifiche basate sulle **competenze**, per avvicinare l'offerta formativa alle esigenze aziendali e qualificare il personale formato sia in ambito **nazionale** che **internazionale**.

Il progetto, grazie alla collaborazione con **ASSOFLUID**, l'Associazione Italiana dei Costruttori ed Operatori del Settore Oleoidraulico e Pneumatico, che aderisce al CETOP assieme ad altre 17 associazioni europee, presenta in termini tecnologici lo stato dell'arte più aggiornato, **potendo contare sul contributo delle più importanti aziende del settore**.

Che cos'è la certificazione CETOP

CETOP è l'abbreviazione di Comité Européen des Transmissions Oléohydrauliques et Pneumatiques ovvero Comitato Europeo delle Trasmissioni Oleoidrauliche e Pneumatiche. Quasi tutte le principali aziende europee attive nel settore della potenza fluida fanno parte delle associazioni aderenti al CETOP.

Le raccomandazioni CETOP definiscono gli standard che descrivono le conoscenze e le competenze tecnico-professionali dei **profili** tipici del settore delle trasmissioni oleoidrauliche e pneumatiche.

I corsi strutturati secondo le raccomandazioni CETOP forniscono una **formazione qualificata riconosciuta in tutta Europa**; pertanto nella ricerca di personale i livelli di competenza, capacità e conoscenza raggiunti da una persona in possesso di una certificazione CETOP costituiscono immediata e assoluta garanzia di qualità.

Specifiche raccomandazioni identificano per ciascun livello di certificazione il dettaglio dell'articolazione del programma didattico e delle opportune esercitazioni, nonché le modalità d'esame (sia per la parte teorica che per quella pratica).

La certificazione CETOP per la Pneumatica prevede i seguenti tre livelli di competenza:

- Livello P1 certifica le competenze di Pneumatica.
- Livello P2 certifica le competenze di Elettropneumatica.
- Livello P3 certifica le competenze di Elettropneumatica e Controlli.

La certificazione raggiunta per un certo livello comprende anche quella del livello inferiore, pertanto il presente testo, con le opportune valutazioni sugli argomenti da "studiare", è utile anche per raggiungere in un primo step la certificazione di livello P1.

Definite le linee guida, diventa fondamentale la qualificazione degli enti formativi con apposita certificazione di

ASSOFLUID, che consentirà ai centri stessi di poter certificare, di concerto con ASSOFLUID, la formazione raggiunta da ogni singolo candidato.

Gli istituti che volessero verificare la possibilità di essere certificati come centri CETOP dovrebbero in prima istanza valutare la congruità dei propri programmi formativi con gli standard proposti e successivamente procedere ad una autovalutazione preliminare della propria struttura e delle fondamentali attrezzature di laboratorio. Una guida pratica in tal senso è fornita da specifiche raccomandazioni e procedure operative, che permettono di valutare organizzativamente il centro e la strumentazione di laboratorio.

L'obiettivo è quello di promuovere aziende, enti e istituti di formazione e candidati che comprendano l'importanza di aspirare all'eccellenza basata sulla competenza in ogni campo, per consolidare e/o sviluppare la propria posizione professionale.

Maggiori informazioni sulla certificazione CETOP si possono reperire direttamente sul sito di ASSOFLUID (www.assofluid.it) all'interno della sezione dedicata.

Contenuti del testo

Il testo, in volume unico, costituisce un manuale chiaro e completo per preparare i candidati a sostenere l'esame di certificazione di livello Pneumatica P2, che è quello più spendibile a livello professionale.

Il volume è suddiviso in **quattordici capitoli** secondo le **linee guida CETOP - Programma di pneumatica P2**.

Il principale elemento qualificante del testo è l'**assoluta fedeltà alle linee guida CETOP**. Infatti, non soltanto la suddivisione dei capitoli è la medesima, ma all'interno di ciascun capitolo anche i paragrafi seguono la stessa declinazione delle linee guida.

Esiste dunque una corrispondenza precisa tra l'indice dettagliato delle linee guida CETOP e l'indice del testo; questa peculiarità rende il testo estremamente utile e facilissimo da impiegare, sia per il formatore sia per il discente, in quanto ogni voce dell'indice CETOP è direttamente reperibile, senza alcuna necessità di adattamento da parte del formatore e dell'ente di formazione.

L'indice di ogni capitolo è riportato in testa al capitolo stesso, sia nella versione della lingua del paese, sia in inglese.

Ogni paragrafo presenta al suo interno una suddivisione in sottoparagrafi, che consente al lettore di orientarsi facilmente nei contenuti. I sottoparagrafi contrassegnati da lettere e/o numeri sono riportati nell'indice e corrispondono ad altrettante voci delle raccomandazioni CETOP.

La suddivisione dei capitoli è la seguente:

P2.5.1 Principi scientifici fondamentali

P2.5.2 Applicazione dei principi fondamentali

P2.5.3 Impianti ad aria compressa

P2.5.4 Disposizioni di legge

P2.5.5 Componenti del circuito pneumatico

P2.5.6 Principi elettrici fondamentali

P2.5.7 Componenti del circuito elettropneumatico

P2.5.8 Componenti oleopneumatici

P2.5.9 Tubazioni e raccordi

P2.5.10 Guarnizioni

P2.5.11 Caratteristiche dei circuiti e dei comandi, simbologia pneumatica ed elettrica

P2.5.12 Sistemi di emergenza a prova di malfunzionamento e di sicurezza

P2.5.13 Procedure di installazione e messa in funzione

P2.5.14 Procedure di manutenzione, monitoraggio e diagnosi dei guasti

Struttura del testo

Ogni capitolo è costituito da tre sezioni.

- **Sezione teorica** – Richiami sintetici ma esaurienti dei concetti. La suddivisione dei paragrafi e sottoparagrafi rispecchia fedelmente le raccomandazioni CETOP. Sono presenti numerosi disegni esplicativi ed esempi.
- **Verifica delle conoscenze** – Una sola pagina con quiz a risposta chiusa; i quiz sono interattivi nel libro digitale, nel quale opportune finestre di pop-up consentono di spuntare le risposte e ricevere la segnalazione del numero di risposte corrette. A disposizione del formatore sul sito hoeplicuola.it sono fornite le soluzioni.
- **Schede applicative** – Schede laboratoriali su singola o doppia pagina con attività pratiche, mediante simulatore oppure banchi per training.

Le **schede applicative laboratoriali** sono uno spiccato elemento qualificante del testo, che lo differenzia da tutti i testi del settore. Sono qui raccolte delle schede su singola pagina o al massimo su doppia pagina, contenenti proposte di attività pratiche guidate. Il discente viene guidato passo passo, come da un tutor virtuale, nello svolgimento dell'attività pratica.

Nelle schede applicative sono spesso presenti dei quesiti a risposta chiusa, che mirano a stimolare la riflessione del discente, aiutandolo a confrontare gli esiti dell'esperienza e i concetti teorici sottesi.

Le relative soluzioni sono presenti sul sito hoeplicuola.it in area riservata.

La scheda laboratoriale non contiene necessariamente solo esperienze applicative, ma in generale può fare riferimento ad attività di calcolo, dimostrazione, analisi di specifiche, data sheet, figure, discussione su animazioni fornite a corredo del testo. Opportuni link al sito hoeplicuola.it a bordo pagina richiamano i video delle animazioni.

RISORSE ONLINE



Sul sito www.hoeplicuola.it sono forniti a uso esclusivo del docente:

- le soluzioni degli esercizi a risposta chiusa;
- le soluzioni delle schede applicative;
- le animazioni impiegate nel testo;
- modelli di temi d'esame per la certificazione.

EBOOK+

Apposite icone segnalano nell'eBook+ le risorse digitali integrative:

-  verifiche interattive di fine capitolo: apposite finestre consentono di selezionare le risposte e forniscono a conclusione dell'esercizio il punteggio conseguito.

PREFAZIONE

Questo testo nasce dalla convinzione che lo sviluppo di ogni settore industriale sia legato indissolubilmente all'incremento costante delle competenze delle persone che in esso operano. Creare una cultura diffusa su temi relativi alle tecnologie pneumatiche per l'automazione è uno degli obiettivi che ASSOFLUID si pone fin dalla nascita dell'associazione stessa nel 1968.

L'idea che sia fondamentale investire sulla formazione è uno dei fattori che accomunano tutte le aziende associate e che ci ha portato a creare un gruppo di lavoro trasversale che potesse codificare le competenze necessarie per operare nel nostro comparto, in accordo con le raccomandazioni e le linee guida definite da CETOP, la federazione europea di riferimento per il settore della potenza fluida.

Un sentito ringraziamento va dunque al Consiglio Direttivo e alla Segreteria di ASSOFLUID, alle aziende associate che hanno messo a disposizione i propri materiali didattici, a tutti coloro che hanno partecipato alla realizzazione di questo manuale, in particolare al professor Cerri che si è occupato della stesura dei testi, al sig. Zaghis che ha fornito un prezioso contributo in fase di revisione e, non ultimo, alla Casa Editrice Hoepli che da subito ha sposato il progetto e collaborato alla diffusione della pubblicazione attraverso tutti i canali, in primis le scuole. Infine un pensiero agli studenti e a tutti coloro che utilizzeranno questo testo, perché possano stimolare costantemente la propria curiosità, il vero motore della conoscenza e dello sviluppo.

Domenico Di Monte
Presidente ASSOFLUID

ASSOFLUID è l'Associazione Italiana dei Costruttori ed Operatori del Settore Oleidraulico e Pneumatico. Negli anni '50 alcune aziende del settore avviarono un rapporto di collaborazione, partecipando poi nel 1962 alla costituzione del CETOP – Comitato Europeo delle Trasmissioni Oleidrauliche e Pneumatiche.

Circa sei anni dopo, nel febbraio 1968, queste aziende decisero di unirsi in associazione fondando ASSOFLUID. In oltre cinquant'anni di vita l'associazione è cresciuta moltissimo, passando dai 13 soci fondatori alle oltre 180 aziende associate attuali, che rappresentano più del 70% della produzione italiana stimata in circa 3,8 miliardi di euro (con una percentuale di export del 66%), con un numero di addetti complessivo superiore alle 23.000 unità.

ASSOFLUID aderisce a Confindustria, la principale organizzazione rappresentativa delle imprese manifatturiere e di servizi in Italia, ed è membro di Federmacchine – Federazione Nazionale delle Associazioni dei Produttori di Beni Strumentali destinati allo svolgimento di processi manifatturieri dell'industria e dell'artigianato – che racchiude le principali associazioni italiane di costruttori di macchine.

ASSOFLUID è responsabile dell'attuazione del progetto formativo e della certificazione CETOP in Italia e collabora costantemente con gli enti formativi che decidono di intraprendere questa strada per lo sviluppo e la certificazione delle competenze nel settore della potenza fluida.

Per maggiori informazioni: www.assofluid.it

CETOP – Comitato Europeo delle Trasmissioni Oleoidrauliche e Pneumatiche – è la federazione europea nata nel 1962 che raggruppa oggi al proprio interno 18 associazioni nazionali del comparto del Fluid Power, che rappresentano nel complesso più di 1.000 aziende, principalmente produttori, ma anche distributori, con quasi 70.000 dipendenti e un valore di mercato di circa 13 miliardi di euro.

Tra le attività della federazione, oltre alla promozione delle tecnologie legate al comparto, all'elaborazione dei dati di settore e alla stesura di documenti tecnici riguardanti le principali direttive europee, vi è la definizione di raccomandazioni e linee guida operative per la formazione degli addetti del settore, con la successiva certificazione delle competenze acquisite.

Per maggiori informazioni: www.cetop.org

Si ringraziano le aziende che hanno partecipato al gruppo di lavoro per la presente edizione di *Tecnologie pneumatiche*

A.P.I. Srl
Aventics Srl
Bonesi Pneumatik Srl
C.Matic Spa
Camozi Automation Spa
Elettrotec Srl
Festo Spa
Matrix Spa
Metal Work Spa
Parker Hannifin Italy Srl
Pneumax Spa
SMC Italia Spa
Teseo Srl
Waircom MBS Spa

PRINCIPI SCIENTIFICI FONDAMENTALI

PRINCIPI SCIENTIFICI FONDAMENTALI – P2.5.1

Descrivere i principi fondamentali della trasmissione di potenza per mezzo della pneumatica e i principi scientifici associati evidenziandone l'uso.

- a** **ELENCARE I COMPONENTI DI BASE E DESCRIVERNE LA FUNZIONE**
 - Motori primari, compressori, refrigeratori, collettori, deumidificatori e tubazioni
- b** **CONOSCERE LE QUANTITÀ E LE UNITÀ DI MISURA DELLE GRANDEZZE**
 - Pressione, forza, superficie
 - Consumo d'aria, portata, velocità
 - Coppia e potenza
- c** **CONOSCERE E UTILIZZARE LE FORMULE DELLE GRANDEZZE**
 - Pressione, forza, superficie
 - Consumo d'aria, portata, velocità
 - Coppia e potenza
- d** **ENUNCIARE E USARE LA RELAZIONE TRA PRESSIONE, FORZA E SUPERFICIE**
- e** **ELENCARE I VANTAGGI E GLI SVANTAGGI DEI SISTEMI PNEUMATICI**
 - Vantaggi e svantaggi rispetto a sistemi meccanici, sistemi elettrici, sistemi oleoidraulici

FUNDAMENTAL AND SCIENTIFIC PRINCIPLES – P2.5.1

Describe the fundamental principles of power transmission by pneumatics and associated scientific principles underlying their use.

- a** **LIST THE BASIC COMPONENTS AND DESCRIBE THEIR FUNCTION**
 - Prime movers, compressor, coolers, air receiver, dryers and pipe-work
- b** **KNOW THE QUANTITIES AND UNITS**
 - Pressure, force, area
 - Air consumption, flow rate, speed/velocity
 - Torque and power
- c** **KNOW THE FORMULAE RELATING TO PHYSICAL MAGNITUDE**
 - Pressure, force, area
 - Air consumption, flow rate, speed/velocity
 - Torque and power
- d** **STATE AND USE THE RELATIONSHIP BETWEEN PRESSURE, FORCE AND AREA**
- e** **LIST THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF PNEUMATIC SYSTEMS**
 - Advantages and disadvantages compared to mechanical, electrical, hydraulic systems

a ELENCARE I COMPONENTI DI BASE E DESCRIVERNE LA FUNZIONE

S'intende per pneumatica quel tipo di trasmissione di potenza che impiega l'aria compressa come mezzo di trasporto dell'energia. Come per gli altri tipi, lo scopo ultimo della pneumatica è di mettere a disposizione energia meccanica dove, quando e quanta ne serve, attingendola da un generatore che la produce dove, quando e nella quantità che è più facile ed economico produrre.

La diffusione massiccia dell'automazione, l'applicazione dell'informatica, la rivoluzione della robotica non hanno minimamente intaccato il ruolo applicativo della pneumatica.

La rapidità degli azionamenti, la leggerezza dei componenti, l'affidabilità e la lunga durata sono fattori difficilmente ottenibili nella stessa misura con altre tecnologie. Il connubio con l'elettronica, oggi in atto, consente all'automazione pneumatica di ottenere risultati che solo pochi anni fa erano impensabili.

Ovunque sia necessario eseguire automaticamente un movimento è facile trovare la pneumatica. Altre ragioni del crescente impiego delle automazioni pneumatiche sono dovute al limitato costo dell'investimento, all'elevata affidabilità, al fatto che con esse si possono ottenere notevoli risparmi di tempo e quindi maggiore produzione, minore costo e migliore qualità del prodotto.

Non si deve pensare che il minore costo di produzione sia dovuto al basso costo dell'aria compressa. In realtà comprimere l'aria è un'operazione costosa, ma con essa si possono effettuare lavori che se fossero espletati in altri modi (per esempio con manodopera) risulterebbero molto più costosi.

Motori primari, compressori, refrigeratori, collettori, deumidificatori e tubazioni

La tecnologia pneumatica, oggigiorno, non è più rappresentata solo dal cilindro e dalla relativa valvola di comando, ma è qualcosa di più complesso che dispone degli attuatori più versatili, di sensori precisi e affidabili, di unità di governo periferiche e centrali, di sofisticati sistemi di interfacciamento.

Di fatto, l'automazione pneumatica è in grado di soddisfare gran parte delle necessità che si presentano, in alcuni casi è addirittura insostituibile, basti pensare alle lavorazioni in ambienti anti-deflagranti.



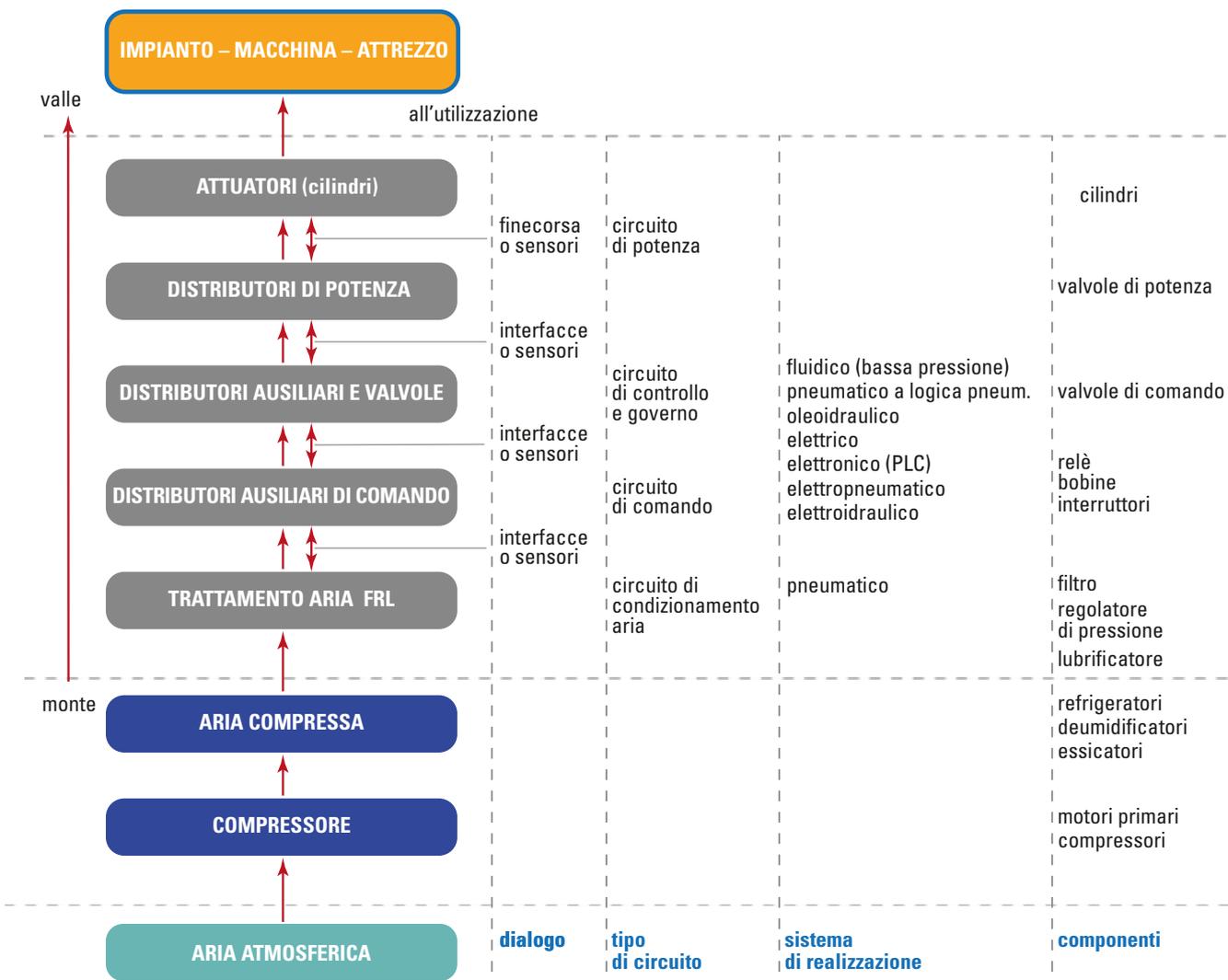
Se si considera la struttura di una moderna apparecchiatura automatica, è facile constatare come co-
esistano elementi e componenti di natura diversa: elettrica, meccanica, pneumatica, oleodinamica.

È in questo contesto che la pneumatica trova una sua collocazione e un suo motivo di sviluppo, per-
ché ognuna delle varie tecnologie offre determinati vantaggi che la rendono idonea per certe appli-
cazioni e certi servizi più di altre.

Questo spiega perché, pur potendo in linea di principio ognuna delle tecnologie citate realizzare
da sola un intero impianto, in pratica i sistemi sono per lo più ibridi, per poter utilizzare al meglio
i vantaggi offerti da ogni tipo di elemento.

Lo schema riportato nella seguente figura rappresenta la struttura circuitale di un impianto di au-
tomazione pneumatica da monte a valle, cioè: dalla presa dell'aria atmosferica, alla generazione
dell'aria compressa (fonte energetica), alle interconnessioni funzionali dei vari componenti e cir-
cuiti e ai rispettivi dialoghi con elementi di interfaccia (in grado di essere azionati da un tipo di
segnale e di dare in uscita un altro tipo di segnale). In questo schema di struttura circuitale si può
notare tutto il percorso del fluido per movimentare e azionare un impianto, una macchina, un di-
spositivo, un attrezzo.

Le singole parti funzionali sono oggetto del corso e saranno sviscerate nei successivi capitoli.



b CONOSCERE LE QUANTITÀ E LE UNITÀ DI MISURA DELLE GRANDEZZE

Pressione, forza, superficie

L'aria

Ogni entità in possesso di massa e dimensioni spaziali viene definita **materia** ed è costituita da particelle dette *molecole*. È possibile trovare la materia nelle seguenti forme:

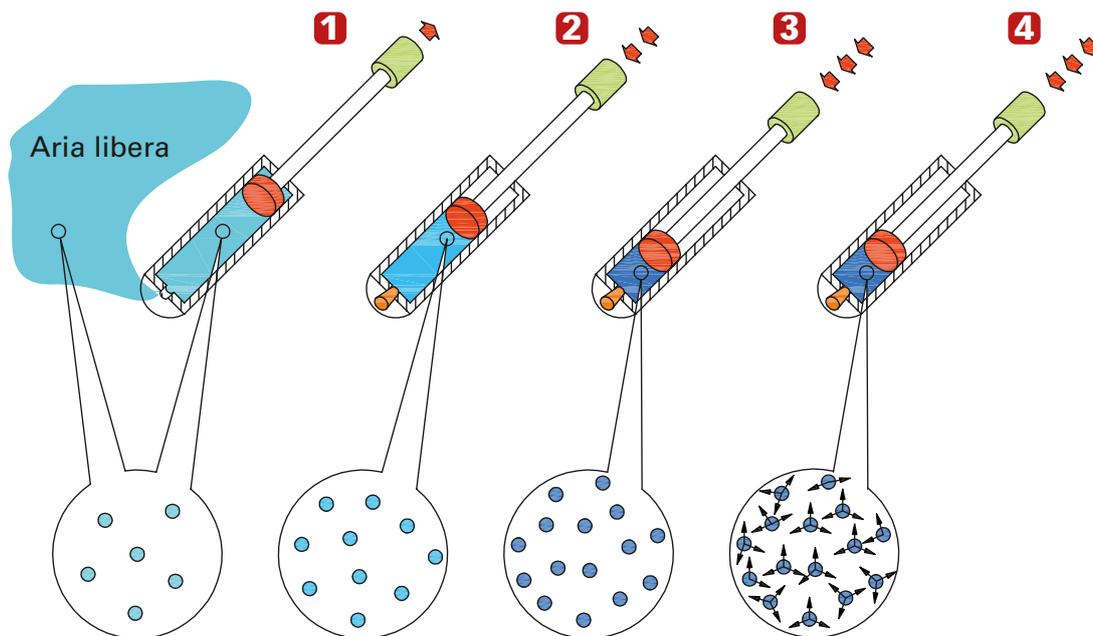
- ▼ **solida**: ha volume e forma propria e le molecole sono strettamente legate le une alle altre;
- ▼ **liquida**: ha un proprio volume ma non una forma e le molecole assumono la forma del recipiente che le contiene;
- ▼ **gassosa**: la materia non ha una forma e un volume proprio e le molecole sono libere di muoversi al punto che la loro distanza e la loro posizione variano in continuazione.

In questa sezione ci si sofferma sulla caratteristica propria dei gas detta **compressione**, come guida alla compressione si utilizza come esempio la pompa della bicicletta.

1. Attraverso il foro posto all'estremità della pompa, l'aria esterna viene **aspirata** nel cilindro (o camera) mediante il pistone; di conseguenza, il suo volume e la sua forma coincidono con le dimensioni del contenitore, ossia della camera.
2. Chiudendo il foro della pompa ed esercitando una pressione sul pistone, l'aria si **comprime** diminuendo il volume occupato.
3. Aumentando ulteriormente la pressione sul pistone, il volume occupato dall'aria diminuisce.
4. È possibile osservare che le molecole, se soggette a un'azione di compressione, sono costrette a posizionarsi in uno spazio sempre inferiore.

L'aumento di pressione è dovuto al fatto che, riducendosi il volume e lasciando invariato il numero di molecole totali, aumenta il numero di molecole per centimetro cubo.

La compressione ha la proprietà di influenzare anche la temperatura del gas. Infatti le molecole gassose sono sempre in movimento secondo traiettorie rettilinee e si urtano vicendevolmente tra loro e con le pareti del contenitore. Diminuendo il volume, le molecole si avvicinano, aumentano la velocità dei loro movimenti e il numero degli urti causando l'aumento della temperatura.



Nelle leggi dei gas si considera sempre la temperatura assoluta, che si esprime in gradi kelvin (K). Il kelvin è stato definito con una scala che assume il valore 273,16 K alla temperatura di fusione del ghiaccio, mentre, in corrispondenza di quella dell'acqua in ebollizione assume il valore di 373,16 K. Ne consegue che l'intervallo di 1 K è uguale a quello di 1 °C, quindi le unità coincidono, differenziandosi solo nella posizione dello 0. La relazione tra le due grandezze è espressa da:

$$T = 273,16 \text{ °C} + (K) t \text{ °C}$$

dove:

T = temperatura assoluta

(K) t = temperatura relativa (°C)

Umidità assoluta e relativa dell'aria

L'aria è formata da una miscela di singoli gas e la sua composizione resta relativamente costante dal livello del mare fino a un'altezza di almeno 2000 metri.

Mediamente la composizione dell'aria secca è data dai seguenti elementi.

| Elemento | In volume | In peso |
|------------------|-----------|---------|
| Azoto | 78% | 75,5% |
| Ossigeno | 21% | 23,2% |
| Gas rari e altri | 1% | 1,3% |

L'aria dell'atmosfera, in ogni caso, non contiene soltanto gas, ma anche particelle solide come polvere, sabbia, fuliggine, cristalli, sali e vapore acqueo (in misura variabile a seconda delle condizioni ambientali).

Il contenuto di vapore acqueo, che determina il livello di umidità, è un fattore molto importante, poiché il vapore si presenta sotto forma di **condensa**, diventando uno dei problemi principali del trattamento dell'aria compressa.

L'eliminazione della condensa è un processo fondamentale, giacché quest'ultima può dar luogo a fenomeni di corrosione, con inevitabili malfunzionamenti e, nei punti d'espansione (aria che si decomprime), alla formazione di ghiaccio con conseguente possibilità di blocco dei movimenti, soprattutto quando i volumi d'aria in gioco sono di una certa consistenza.

La capacità di contenere vapore acqueo da parte dell'aria che ci circonda è variabile in funzione della temperatura: aumentando la temperatura aumenta la quantità di vapore acqueo che l'aria può contenere, abbassando la temperatura, al contrario, si riduce questa capacità fino ad arrivare alla formazione di deposito.

La condensazione avviene non appena si raggiunge la condizione di saturazione, vale a dire quando l'aria contiene la massima quantità di vapore possibile a quella determinata temperatura.

Si definisce **umidità assoluta** la quantità di vapore contenuta in un metro cubo di aria alla pressione atmosferica e a una data temperatura; viene espressa in g/m^3 .

Più significativo è il valore dell'**umidità relativa** che indica, a una data temperatura, la quantità di vapore contenuto nell'aria, in funzione della quantità massima che può contenere e precisamente è data dal rapporto fra quantità di vapore contenuto (umidità assoluta) e quantità di vapore in condizioni di saturazione e quindi potenzialmente contenibile.

Da quanto sopra esposto appare chiaro che, se l'umidità relativa è del 100% (condizione di saturazione), anche un minimo abbassamento di temperatura provoca la separazione di condensa; se invece l'umidità relativa è più bassa, la temperatura dovrà scendere a un valore più basso prima di arrivare alla condensazione: questa temperatura si chiama **punto di rugiada**.

Il fenomeno è chiaramente visibile al mattino guardando l'erba dopo che la temperatura dell'aria, durante la notte, ha subito un notevole abbassamento: minuscole goccioline d'acqua (la rugiada appunto) la ricoprono poiché, abbassandosi la temperatura, è diminuita la capacità dell'aria di contenere vapore acqueo e di conseguenza l'eccedenza si condensa in acqua.

Nelle normali condizioni degli ambienti di lavoro, il punto di rugiada dell'aria compressa in una rete di distribuzione oscilla tra i 5 e 10 °C, valori tranquillamente accettabili.

Finora si è sempre fatto riferimento all'aria allo stato naturale (pressione atmosferica), ma in un impianto di distribuzione l'aria utilizzata è in forma compressa. È importante considerare che, durante la fase di compressione, viene ridotto il volume dell'aria ma non quello delle goccioline d'acqua in essa contenute, con il risultato di avere nello stesso volume d'aria (compressa) una quantità maggiore di vapore acqueo rispetto allo stesso volume a pressione atmosferica.

Pressione atmosferica e forza peso

L'aria è attratta dalla forza di gravità della Terra e per questo ha un peso. Se non lo avesse, sarebbe soggetta a espandersi e fuggirebbe dalla Terra dirigendosi verso lo spazio. A causa del suo peso, l'atmosfera esercita una pressione su tutti gli oggetti in essa contenuti, la pressione atmosferica.

Il peso dell'aria è equivalente al peso di 1 m³ di aria secca alla temperatura di 20 °C e alla pressione di 760 mmHg (760 mm di colonna di mercurio) ed equivale a 1,03 kg.

Una caratteristica della pressione atmosferica è quella di variare a seconda dell'altitudine del luogo dove è misurata. Ciò è dovuto al peso minore dell'aria sugli strati elevati dell'atmosfera rispetto a quello che grava sugli strati più profondi. Al livello del mare la pressione atmosferica è in media di 760 mmHg e diminuisce di circa 1 cm di colonna di mercurio per ogni 100 m di innalzamento. All'altezza di 1000 m sul livello del mare la colonna ha in media l'altezza di 66 cm. Per grandi altitudini la pressione diminuisce in modo meno rapido.

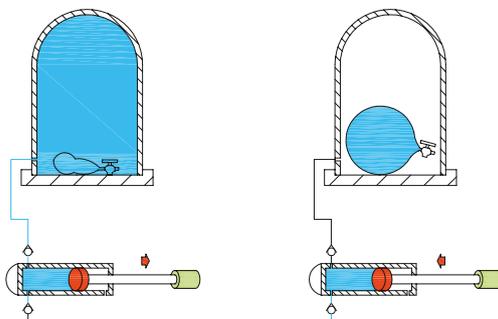
Per rendere tangibile la nozione di pressione atmosferica si propongono i seguenti due esperimenti, che descrivono rispettivamente la tendenza a espandersi che hanno i gas e l'influenza che esercita la pressione atmosferica su un involucro pieno d'acqua.

ESEMPIO

Espansione

Un palloncino vuoto e chiuso da un rubinetto è posizionato all'interno di una campana di vetro. A pressione atmosferica, il palloncino si presenta floscio, anche se al suo interno è presente una certa quantità di aria. Estraendo l'aria contenuta nella campana si nota che il palloncino si gonfia gradatamente perché, non essendoci più aria al suo esterno, è venuta meno la resistenza che si opponeva alla sua espansione. L'aria all'interno del palloncino ha un valore di pressione maggiore di quello all'interno della campana.

Questa proprietà è evidente con i palloncini che volano verso l'alto: aumentando l'altitudine la pressione esterna diminuisce e il gas interno al palloncino si espande fino a romperlo.

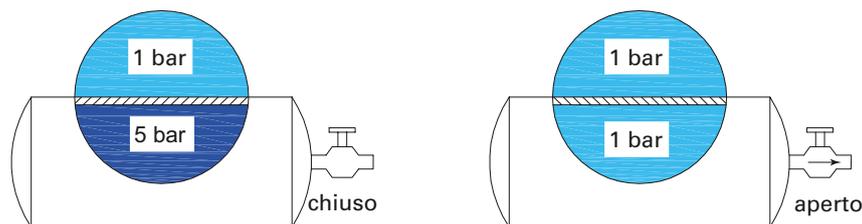


ESEMPIO

Equilibrio di pressione

Con il rubinetto chiuso il serbatoio è in pressione, per esempio con una $p = 5$ bar. Aprendo il rubinetto l'aria contenuta all'interno del serbatoio esce e si disperde nell'atmosfera finché le due pressioni non raggiungono l'equilibrio.

Per raggiungere l'equilibrio, l'aria contenuta all'interno del serbatoio ha dovuto cedere all'esterno parte delle sue molecole.



Consumo d'aria, portata, velocità

Consumo d'aria

L'aria libera prelevata dall'atmosfera per acquistare energia deve essere compressa e accumulata. Questo passaggio avviene grazie all'energia elettrica che, avendo un costo di produzione, influenza anche il conseguente prezzo dell'energia pneumatica.

Il costo dell'energia pneumatica è relativo a un determinato volume di aria libera, e non a un determinato volume di aria compressa.

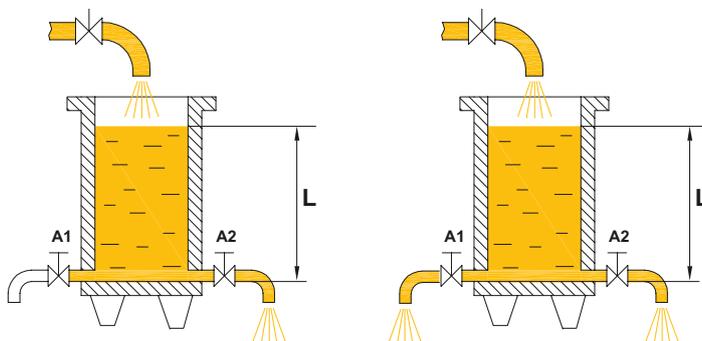
L'unità di misura della quantità di aria libera che un compressore deve aspirare e comprimere alla pressione desiderata è definita come nm^3 (normal metro cubo). Il nm^3 fa riferimento all'aria in condizioni ben definite: pressione atmosferica e temperatura a 0°C .

Portata

Per identificare l'entità del passaggio di un fluido non è sufficiente fare riferimento al concetto di volume, ma è necessario fare riferimento alla **portata**.

Per comprendere il concetto di portata si considerino i seguenti due serbatoi. Si ipotizzi che il livello del fluido in entrambi sia mantenuto costante all'altezza L , grazie all'immissione di fluido in alto. In entrambi i serbatoi è presente lo stesso volume di liquido ma l'entità del flusso in uscita è diverso:

- ▼ serbatoio a sinistra: è aperto solo lo scarico $A2$ dal quale fuoriesce una quantità di liquido Q al secondo;
- ▼ serbatoio a destra: sono aperti entrambi gli scarichi $A1$ e $A2$ pertanto complessivamente esce una quantità di liquido $2Q$, doppia.



In conclusione la portata di uscita è doppia nel serbatoio a destra in quanto nello stesso tempo esce una quantità doppia di fluido.

Il concetto di portata è dunque legato non solo alla nozione di volume, ma anche alla nozione di tempo.

In particolare la portata è:

- ▼ direttamente proporzionale al volume;
- ▼ inversamente proporzionale al tempo.

Velocità

Si consideri la tubazione nella figura, formata da due tratti di diversa sezione $S_1 < S_2$.

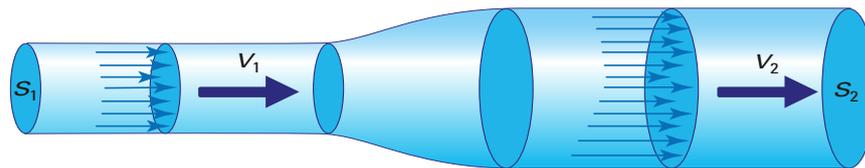
Si supponga che la quantità di liquido che passa nelle due sezioni sia costante.

È intuitivo che, a parità di volume spostato, la velocità del fluido nel tratto a minore sezione deve essere maggiore di quella nel tratto a maggiore sezione.

Per esempio se $S_2 = 2 \cdot S_1$ deve essere $V_1 = 2 \cdot V_2$ (principio di Venturi).

È possibile pertanto affermare che la velocità del fluido è:

- ▼ direttamente proporzionale alla portata;
- ▼ inversamente proporzionale alla superficie.



Coppia e potenza

La forza

Lo studio della meccanica è da considerarsi suddiviso in tre rami fondamentali:

- 1. statica:** si occupa dell'equilibrio dei corpi soggetti a un sistema di forze a essi applicate;
- 2. cinematica:** è lo studio del moto dei corpi indipendentemente dalle cause che lo hanno generato;
- 3. dinamica:** è lo studio del moto dei corpi in relazione alle cause che lo hanno generato.

Un corpo può assumere diversi “stati”:

- ▼ **stato di quiete:** quando al trascorrere del tempo tutti i punti che lo costituiscono mantengono la medesima posizione rispetto a un sistema di riferimento fisso;
- ▼ **stato di moto:** quando almeno una parte dei punti che lo costituiscono occupano, al trascorrere del tempo, posizioni diverse rispetto a un sistema di riferimento fisso.

Con riferimento alle seguenti figure si individuano le definizioni fondamentali.

- 1. Forza:** è una qualsiasi causa capace di modificare lo stato di quiete o di moto di un corpo.

Se un'automobile è ferma, occorre una forza motrice per muoverla, viceversa, se vogliamo fermarla, occorre una forza frenante contraria al senso di moto.

La forza F applicata a un corpo produce un'**accelerazione** attraverso il coefficiente di proporzionalità della massa:

$$F = m \cdot a$$

L'unità di misura della forza nel Sistema Internazionale è il newton (N), quella della massa è il kg massa e l'accelerazione si misura in m/s^2 .

Il prodotto dell'intensità della forza, nella direzione dello spostamento, per lo spostamento subito dal corpo è definito **lavoro** di una forza. L'unità di misura del lavoro è il joule (J).

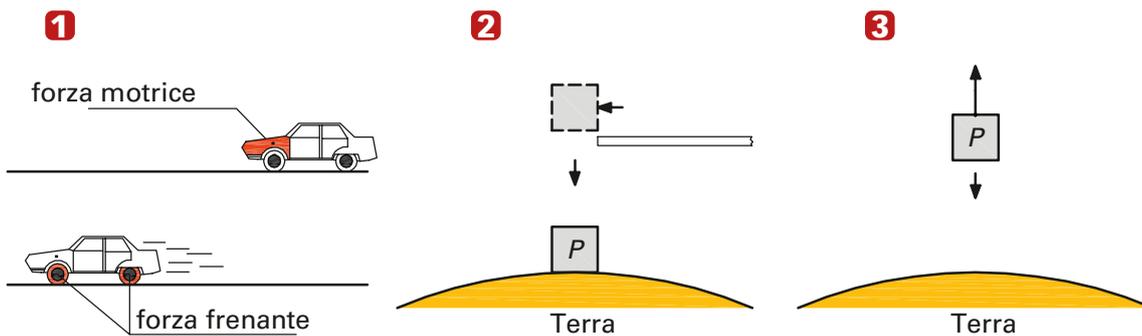
$$L = F \cdot s$$

2. Forza di gravità: è l'attrazione che la Terra esercita su tutti i corpi e per effetto di questa attrazione tutti i corpi cadono al suolo.

Il peso P di un corpo è legato alla sua massa e all'accelerazione di gravità $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ secondo la formula:

$$P = m \cdot g$$

3. Equilibrio delle forze: due o più forze applicate a un corpo in stato di quiete o di moto rettilineo uniforme sono in equilibrio quando, agendo simultaneamente, non ne influenzano lo stato, ovvero la loro risultante è pari a zero. La forza esercitata per tenere in sospeso un corpo è pari e contraria al suo peso.



Spazio, accelerazione, velocità

La **velocità** è data dal rapporto tra lo spazio Δx percorso e il tempo Δt richiesto per percorrerlo.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ [m/s]}$$

L'**accelerazione** è data dal rapporto tra la variazione di velocità Δv e il tempo Δt nel corso della variazione.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Un corpo in movimento possiede un'attitudine a compiere **lavoro**, infatti possiede un'**energia cinetica** legata alla sua velocità.

$$E = \frac{1}{2} mv^2 \text{ [J]}$$

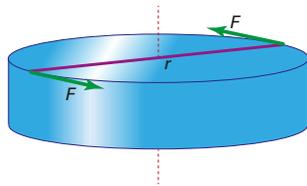
La **potenza** è l'energia espressa nell'unità di tempo e si misura in watt ovvero joule/secondo.

$$P = \frac{E}{t} \text{ [W]}$$

Coppia e potenza

Una coppia di forze applicate lungo un diametro r produce una forza torcente che si definisce **momento della forza**.

Se le forze, come nella figura, sono applicate trasversalmente, il momento della coppia motrice vale:



$$C_M = F \cdot r \text{ [Nm]}$$

In conseguenza dell'applicazione del momento il corpo compie una rotazione angolare ϑ .

La rotazione angolare ϑ può avvenire in un tempo più o meno grande. A parità di ϑ :

- ▼ se il tempo Δt impiegato è elevato la velocità rotazionale è bassa;
- ▼ se il tempo Δt impiegato è basso la velocità rotazionale è elevata;

È possibile affermare che la **velocità angolare** ω è:

- ▼ direttamente proporzionale alla rotazione angolare $\Delta\vartheta$;
- ▼ inversamente proporzionale al tempo Δt impiegato per percorrere l'angolo.

In formula:

$$\omega = \frac{\Delta\vartheta}{\Delta t}$$

Si può dimostrare infine che la **potenza** espressa a una data velocità angolare è:

$$P = C_M \omega$$

Unità fondamentali del Sistema Internazionale

Il Sistema Internazionale (SI) è il sistema che valuta per mezzo di unità di misura, tecnicamente stabilite e accettate internazionalmente, tutte le grandezze fisiche.

Esso si basa su sette unità fondamentali (si veda la tabella) da cui vengono derivate le unità di tutte le altre grandezze.

| Grandezze | Unità SI | | Unità ammesse | | Relazioni |
|---------------------------------|------------|---------|-------------------------|---------------|--|
| | Nome | Simbolo | Nome | Simbolo | |
| Lunghezza | metro | m | | | |
| Massa | kilogrammo | kg | grammo tonnellata | g t | 1 g = 0,001 kg 1 t = 1000 kg |
| Tempo | secondo | s | minuto ora giorno | min h d | 1 min = 60 s 1 h = 3600 s 1 d = 86.440 s |
| Intensità di corrente elettrica | ampere | A | | | |
| Temperatura | kelvin | K | grado celsius | °C | 0 °C = 273,15 K |
| Intensità luminosa | candela | cd | | | |
| Quantità di materia | mole | mol | | | |

Unità derivate del Sistema Internazionale

Le unità derivate che interessano il settore della pneumatica sono riportate nella tabella che segue.

| Grandezze | Unità SI | | Unità Ammesse | | Relazioni |
|-------------------------|------------|----------------------------|-----------------|-------------|--|
| | Nome | Simbolo | Nome | Simbolo | |
| Forza | newton | N [kgm/s ²] | | | |
| Pressione | pascal | Pa [N/m ²] | bar millibar | bar mbar | 1 bar = 100.000 Pa 1 mbar = 100 Pa |
| Lavoro, energia, calore | joule | J [Nm] | kilowattora | kwh | 1 kwh = 3,6 MJ |
| Potenza | watt | W [J/s] | | | 1 W = 1 J/s |
| Frequenza | herz | Hz [1/s] | | | |
| Volume | metro cubo | m ³ | litro | L | 1 L = 1 dm ³ 1 m ³ = 1000 L |

Multipli e sottomultipli

| Fattore di moltiplicazione | Prefisso | Simbolo | Esempi (riferiti al metro) |
|--|----------|---------|--------------------------------|
| $10^{12} = 1.000.000.000.000$ | tera | T | Tm = terometro = 10^{12} m |
| $10^9 = 1.000.000.000$ | giga | G | Gm = gigometro = 10^9 m |
| $10^6 = 1.000.000$ | mega | M | Mm = megometro = 10^6 m |
| $10^3 = 1000$ | kilo | k | km = kilometro = 10^3 m |
| $10^2 = 100$ | etto | h | hm = ettometro = 10^2 m |
| $10^1 = 10$ | deca | da | dam = decometro = 10^1 m |
| $10^0 = 1$ | | | m = metro |
| $10^{-1} = 0,1$ | deci | d | dm = decimetro = 10^{-1} m |
| $10^{-2} = 0,01$ | centi | c | cm = centimetro = 10^{-2} m |
| $10^{-3} = 0,001$ | milli | m | mm = millimetro = 10^{-3} m |
| $10^{-6} = 0,000.001$ | micro | μ | μm = micrometro = 10^{-6} m |
| $10^{-9} = 0,000.000.001$ | nano | n | nm = nanometro = 10^{-9} m |
| $10^{-12} = 0,000.000.000.001$ | pico | p | pm = picometro = 10^{-12} m |
| $10^{-15} = 0,000.000.000.000.001$ | femto | f | fm = femtometro = 10^{-15} m |
| $10^{-18} = 0,000.000.000.000.000.001$ | atto | a | am = attometro = 10^{-18} m |

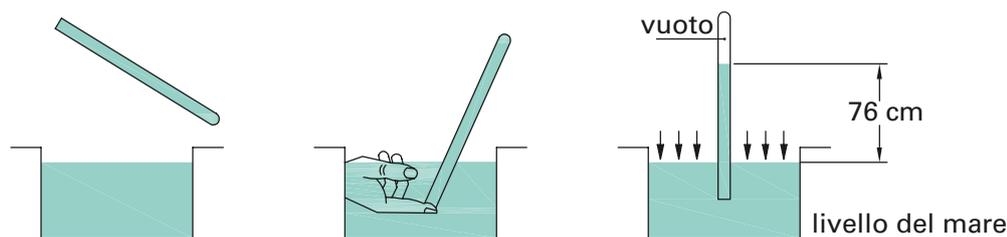
C CONOSCERE E UTILIZZARE LE FORMULE DELLE GRANDEZZE

Pressione, forza, superficie

Calcolo della pressione atmosferica

Si consideri un tubo di vetro chiuso a un'estremità con lunghezza 1 m e diametro interno di circa 12 mm (circa 1 cm^2) completamente riempito di mercurio. Tenendo chiusa l'estremità aperta e capovolgendo il tubo in modo da immergerlo in una bacinella contenente anch'essa mercurio, rimuovendo la chiusura, si può notare che il tubo non si svuota completamente. Il mercurio contenuto nel tubo scende nella bacinella fino a quando il dislivello è di 76 cm.

Il mercurio contenuto nel tubo non fuoriesce completamente perché la pressione atmosferica, agendo sulla superficie del mercurio nella bacinella, sostiene il mercurio rimasto nel tubo. Si può in conclusione affermare che la pressione atmosferica equivale alla pressione esercitata da una colonna di mercurio alta 76 cm. Con queste informazioni si può calcolare il peso dell'aria.



1. Calcolo del volume della colonna

$$V_{\text{COLONNA}} = \text{area di base} \cdot \text{altezza} = 1 \cdot 76 = 76 \text{ cm}^3$$

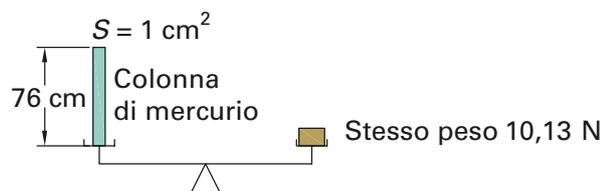
2. Calcolo della massa della colonna

A partire dal peso specifico $\rho_s = 0,01359 \text{ kg/cm}^3$ del mercurio si può risalire alla massa.

$$m_{\text{COLONNA}} = V_{\text{COLONNA}} \cdot \rho_s = 76 \cdot 0,01359 = 1,033 \text{ kg}$$

3. Calcolo del peso della colonna

Per mettere in equilibrio la colonna di mercurio si deve opporre una forza, per esempio tramite un peso.



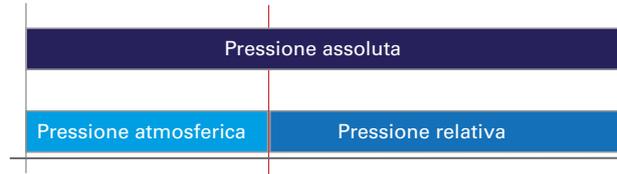
Tale forza peso F_p corrisponde a:

$$F_p = m \cdot g = 1,033 \cdot 9,81 = 10,13 \text{ N}$$

Pressione relativa e assoluta

Nella potenza fluida, salvo diversa precisazione, ci si riferisce sempre alla pressione relativa, vale a dire la pressione dell'aria rispetto all'ambiente che ci circonda, ma occorre tenere presente che anche l'aria esercita una pressione e precisamente la pressione atmosferica; la somma della pressione relativa e della pressione atmosferica viene identificata come **pressione assoluta**, ovvero, matematicamente:

$$p_{\text{ASSOLUTA}} = p_{\text{RELATIVA}} + p_{\text{ATMOSFERICA}}$$



Per esempio, la pressione degli pneumatici misurata dal manometro è la pressione relativa. Se nella colonnina del distributore si legge che la pressione è 2 atm, in realtà la pressione assoluta dello pneumatico è:

$$p_{\text{ASSOLUTA}} = 2 \text{ atm} + 1 \text{ atm} = 3 \text{ atm}$$

La pressione può assumere anche segno negativo: in questo caso si parla di **depressione** o **vuoto**.

La legge di Boyle-Mariotte

Le grandezze fondamentali che caratterizzano un gas sono: il volume, la temperatura e la pressione. La legge di Boyle-Mariotte statuisce che **a temperatura costante il volume e la pressione assoluta di un gas perfetto sono inversamente proporzionali**. Questo significa che, per un determinato quantitativo di gas, se il volume a disposizione si dimezza, la pressione assoluta raddoppia; il prodotto del volume per la pressione assoluta è pertanto costante.

$$p_{A1} \cdot V_1 = p_{A2} \cdot V_2 = \dots = p_{AN} \cdot V_N = \text{costante}$$

Le leggi di Gay-Lussac

▼ **Prima legge:** mantenendo la pressione costante, il volume del gas varia in modo diretto con la temperatura assoluta. In formula:

$$V_1 : V_2 = T_1 : T_2$$

▼ **Seconda legge:** mantenendo il volume costante, la pressione del gas varia in modo proporzionale al variare della temperatura assoluta. In formula:

$$p_{A1} : p_{A2} = T_1 : T_2$$

Da ciò si deduce che un aumento di pressione comporta un aumento di temperatura e, viceversa, una diminuzione di pressione determina un abbassamento della temperatura.

Le leggi di Boyle-Mariotte e Gay-Lussac sono valide in modo esatto solamente nel caso di gas perfetti; i gas reali puri come l'idrogeno, l'ossigeno, l'azoto o miscele di gas come l'aria, seguono comunque con buona approssimazione le suddette leggi specialmente quando le pressioni sono modeste e le temperature non troppo basse.

Nella pneumatica le variazioni di temperatura sono minime, mentre sono notevoli quelle di pressione e volume. La legge di Boyle-Mariotte è quindi fondamentale per il dimensionamento della maggior parte dei componenti delle trasmissioni pneumatiche, dai serbatoi agli attuatori.

Consumo d'aria, portata, velocità

Consumo d'aria

Un compressore, per elevare la pressione in un serbatoio, deve aspirare e comprimere una quantità di aria libera maggiore del volume del serbatoio; più alto è il valore di pressione da ottenere più lungo sarà il tempo di funzionamento e di conseguenza il costo.

Ipotizzando che un compressore con una potenza di 11 kW fornisca una quantità d'aria pari a 84 nm³/h, che il costo di 1 kW di energia elettrica sia 0,10 € e che il compressore resti attivo per un'ora, la spesa per la produzione dell'aria compressa è:

$$\text{Costo} = 11 \cdot 0,10 = 1,1 \text{ €/h}$$

Ipotizzando che le apparecchiature pneumatiche sull'impianto abbiano un consumo di 36 nm³/h significa che il compressore rimane in funzione per il

$$36/84 = 0,43 \cdot 100 = 43\%$$

Il costo giornaliero di energia elettrica per produrre questa quantità di aria è:

$$\text{Costo} = 1,1 \cdot 0,43 = 0,473 \text{ €}$$

per 220 giorni lavorativi:

$$220 \cdot 8 = 1760 \text{ ore}$$

$$1760 \cdot 0,473 = 832,48 \text{ €}$$

Portata

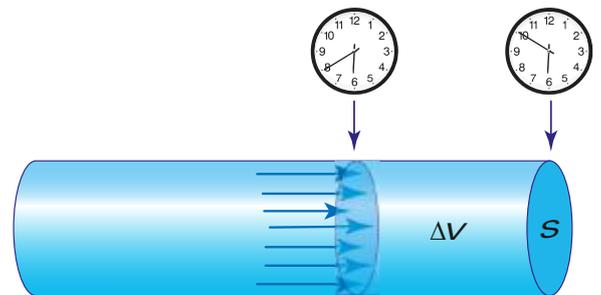
Il volume di aria non è sufficiente a fornire una valutazione del consumo di aria, è necessario riportare questo dato al tempo.

Si consideri una condotta interessata dal passaggio di aria.

Il flusso di aria nell'intervallo di tempo Δt attraversando la superficie S riempie un volume ΔV .

La **portata** (Q), identificando l'intensità del passaggio del fluido è data dal rapporto tra il volume e il tempo.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$



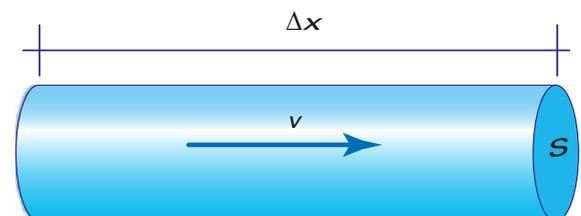
Velocità

La velocità del flusso dipende sia dalla portata sia dalla superficie di transito.

A parità di portata, minore è la superficie di transito, maggiore deve essere la velocità.

Il fluido percorre un tratto Δx uguale al rapporto tra il volume ΔV e la superficie S .

$$\Delta x = \frac{\Delta V}{S}$$



La **velocità del fluido** è il rapporto tra lo spazio percorso e il tempo impiegato a percorrerlo.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Sostituendo la prima nella seconda si ricava:

$$v = \frac{1}{S} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Sostituendo la formula della portata si ha infine:

$$v = \frac{Q}{S}$$

Coppia e potenza

Si consideri un corpo messo in rotazione di un angolo ϑ alla velocità angolare ω da una coppia C_M .

Nel caso di traslazione lineare il lavoro compiuto è dato dal prodotto della forza per lo spostamento, mentre nel caso dei movimenti rotatori il *lavoro* è il prodotto del **momento** per la **rotazione angolare**:

$$L = C_M \cdot \vartheta = F \cdot r \cdot \vartheta$$

La *potenza* è per definizione il lavoro compiuto nell'unità di tempo, pertanto:

$$P = C_M \cdot \frac{\vartheta}{t} = C_M \cdot \omega$$

Ovvero: la potenza espressa da una coppia di forze è data dal prodotto della coppia C_M per la velocità angolare ω .

ESEMPIO

Coppia e potenza

Un motore elettrico è collegato a una puleggia per la generazione di aria compressa. Nota la potenza del motore $P = 300 \text{ W}$ e il suo numero di giri $n = 2000 \text{ rpm}$ trovare la coppia motrice.

La velocità angolare deve essere valutata in radianti/secondo mentre è fornita in giri al minuto.

Per convertirla si applica la formula:

$$\omega = n \cdot \frac{2\pi}{60} = 2000 \cdot \frac{2\pi}{60} = 209 \text{ rad/s}$$

Si ricava la coppia motrice:

$$C_M = \frac{P}{\omega} = \frac{300}{209} = 1,435 \text{ Nm}$$

d ENUNCIARE E USARE LA RELAZIONE TRA PRESSIONE, FORZA E SUPERFICIE

Pressione e forza

Quando l'aria viene compressa le molecole in moto libero urtano contro le pareti del contenitore. Le conseguenti forze esercitate sulle pareti del contenitore, rapportate alla superficie, prendono il nome di **pressione**; maggiore è la compressione (riduzione di volume) maggiore sarà la pressione. Si definisce pressione *il rapporto tra una forza e una superficie*:

$$p = \frac{F}{S}$$

Nel SI l'unità di misura della pressione è il **pascal (Pa)**, definito come la **pressione esercitata dalla forza di 1 newton (N) sulla superficie di 1 m²**.

Il pascal è un'unità di misura molto piccola rispetto ai valori normalmente utilizzati nelle trasmissioni pneumatiche, che variano all'incirca tra i 100.000 e i 700.000 Pa su superfici di alcuni centimetri quadrati, salvo alcune particolari applicazioni per sensori a bassa pressione dove si utilizzano pressioni inferiori.

Per ragioni pratiche è quindi preferibile il suo multiplo, il **kPa** (kilopascal).

Nella pratica viene utilizzato il **bar**, definito come la **pressione esercitata da una forza di 1 daN (decanewton) sulla superficie di 1 cm²**:

$$1 \text{ bar} = \frac{1 \text{ daN}}{1 \text{ cm}^2}$$

▼ **Equivalenza bar-pascal.** È possibile ora dimostrare che 1 bar equivale a 100.000 Pa.

$$1 \text{ bar} = \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} = \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot 10 = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 100.000 = \text{Pa} \cdot 100.000$$

▼ **Valore della pressione atmosferica.** Sapendo che:

$$1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N}$$

$$1 \text{ N} = 0,102 \text{ kgf}$$

(dove kgf = kilogrammo forza)

si ricava:

$$1 \text{ bar} = \frac{1 \text{ daN}}{1 \text{ cm}^2} = \frac{1,02 \text{ kgf}}{1 \text{ cm}^2}$$

La pressione atmosferica equivale al peso di 1,033 kg.

Confrontando con il risultato precedente, si può concludere che la pressione atmosferica è molto vicina alla pressione di 1 bar e, dal momento che non è mai costante, per le applicazioni pratiche si considera equivalente a 1 bar.

e ELENCARE I VANTAGGI E GLI SVANTAGGI DEI SISTEMI PNEUMATICI

Vantaggi e svantaggi rispetto a sistemi meccanici, sistemi elettrici, sistemi oleoidraulici

Si riporta di seguito una tabella di confronto tra i settori pneumatico, oleodinamico ed elettrico. Il settore meccanico si considera trasversale, poiché gli organi meccanici sono la sede di applicazione della trasformazione dell'energia pneumatica, oleodinamica o elettrica in energia meccanica.

| | Caratteristiche | Oleoidraulica | Pneumatica | Elettrica |
|-------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|---|-------------------------------|
| Energia | Trasmissione | Limitata e molto lenta | Limitata e lenta | Veloce e su lunghe distanze |
| | Distanza economica | Fino a 100 m ca. | Fino a 1000 m ca. | Praticamente senza limiti |
| | Velocità di trasmissione | 2-6 m/s ca. | 10-50 m/s ca. | 300.000 km/s ca. |
| | Accumulazione | Limitata | Semplice | Difficile |
| | Costi d'energia | Medi | Elevati | Bassi |
| Azionamento | Realizzazione di movimenti rettilinei | Molto semplice | Molto semplice | Complicata e costosa |
| | Velocità di lavoro | Fino a 0,5 m/s ca. | Fino a 4 m/s | |
| | Concentrazione di potenza | Molto elevata | Bassa | Bassa |
| | Forze ottenibili | Molto elevate | Limitata a 20.000 N ca. | Elevate con alti investimenti |
| | Corse raggiungibili | Elevate, fino a 10 m e più | Limitata 2 m max ca. | |
| | Variazione delle forze | Semplice e precisa | Semplice | Onerosa |
| | Variazione di velocità | Semplice e precisa | Semplice | Onerosa |
| | Rendimento | Buono | Mediocre | Mediocre |
| | Realizzazione di movimenti rotatori | Semplice | Semplice | Semplice |
| | Velocità angolare | Limitata | Elevata fino a 500.00 min ⁻¹ | Elevata |
| | Coppia ottenibile | Molto elevata | Bassa | Elevata |
| | Variazione del regime di giri | Semplice e precisa | Molto semplice | Onerosa |
| | Variazione della coppia | Semplice e precisa | Semplice | Onerosa |
| | Rendimento | Buono | Mediocre | Buono |
| | Collegamenti | Onerosi | Molto semplice | Semplici |
| Sicurezza contro sovraccarico | Completa | Completa | Normalmente non esiste | |
| Antideflagrazione intrinseca | Parziale | Sì | No | |

Si riportano di seguito i vantaggi e gli svantaggi generalizzati della pneumatica.

Vantaggi della pneumatica

- ▼ Basso rapporto tra peso/potenza e alte velocità.
- ▼ Protezione antideflagrante intrinseca.
- ▼ Possibilità di sovraccarico degli organi motori fino all'arresto.
- ▼ Non occorrono tubazioni di ritorno.
- ▼ Semplice conversione dell'energia sia in movimenti rotatori sia in quelli rettilinei.
- ▼ Velocità e forze possono essere variate in modo semplice e continuo in un campo molto ampio.
- ▼ La trasmissione di energia è possibile su lunghe distanze.
- ▼ Facile manutenzione degli apparecchi grazie alla loro semplice costruzione.
- ▼ Elevata affidabilità, sicurezza d'esercizio e lunga durata degli attuatori e degli elementi di comando.
- ▼ Sicurezza di funzionamento anche in condizioni d'esercizio gravose.
- ▼ Economicità dei comandi e degli azionamenti pneumatici.

Svantaggi relativi della pneumatica

- ▼ Si rende necessario il trattamento preventivo dell'aria.
- ▼ Data la comprimibilità dell'aria, non è possibile realizzare con mezzi semplici un'accurata regolazione della velocità.
- ▼ Elevato costo dell'energia pneumatica.
- ▼ Le perdite per trafilamento riducono l'economicità di esercizio.

Impieghi dell'aria compressa

L'aria compressa si può ormai trovare in quasi tutti i settori della tecnica. Si riportano di seguito alcuni esempi.

Ambito

- ▼ Industria-artigianato
- ▼ Trasporto su rotaia
- ▼ Trasporto aereo
- ▼ Trasporto su strada
- ▼ Industria mineraria
- ▼ Navigazione
- ▼ Medicina
- ▼ Macchine edili
- ▼ Difesa

Realizzazione di movimenti rettili

- ▼ Attrezzi di fissaggio
- ▼ Unità di avanzamento
- ▼ Sollevamento e abbassamento
- ▼ Apertura e chiusura
- ▼ Inclinazione
- ▼ Presse pneumatiche
- ▼ Azionamenti per porte
- ▼ Tavole rotanti
- ▼ Alimentazione pezzi
- ▼ Stazioni di rotazione
- ▼ Robot industriali
- ▼ Saldatrici a punti
- ▼ Schiodatrici
- ▼ Espulsori

- ▼ Vibratori
- ▼ Trasporto-spinta
- ▼ Frenatura

Realizzazione di movimenti angolari

- ▼ Avvitatori
- ▼ Molatrici
- ▼ Filettatrici
- ▼ Trapani
- ▼ Cesoie per lamiera
- ▼ Roditrici

Impiego come mezzo di controllo

- ▼ Controllo di cicli
- ▼ Controllo di posizione
- ▼ Protezione
- ▼ Bloccaggio
- ▼ Conteggio
- ▼ Decelerazione
- ▼ Accumulazione
- ▼ Rilevamento

Impieghi vari

- ▼ Aria per usi d'officina
- ▼ Verniciatura
- ▼ Posta pneumatica
- ▼ Soffiatura
- ▼ Unità di controllo



Vero/Falso

1. Il compressore si trova a valle degli attuatori V F
2. Il grado kelvin (K) è un'unità fondamentale del SI V F
3. La trasmissione elettrica dell'energia è veloce e su lunghe distanze V F

Scelta singola

4. La legge di Boyle-Mariotte stabilisce che volume e pressione in un gas a temperatura costante sono
 - a) direttamente proporzionali
 - b) indipendenti
 - c) inversamente proporzionali
5. La massa di una colonna di mercurio è uguale al prodotto del suo volume per
 - a) la base della colonna
 - b) l'altezza della colonna
 - c) il peso specifico
6. La velocità è data dal rapporto
 - a) $\Delta v / \Delta t$
 - b) $\Delta t / \Delta x$
 - c) $\Delta x / \Delta t$

Scelta multipla

7. Gradi kelvin e gradi centigradi
 - a) coincidono in assoluto
 - b) si differenziano per la posizione dello zero
 - c) coincidono in termini di intervallo
8. Detti x lo spazio, Q la portata, S la superficie, la velocità del flusso pneumatico vale
 - a) $v = \Delta x / \Delta t$
 - b) $v = \Delta x / S$
 - c) $v = Q / S$
9. Alla condizione di saturazione corrisponde
 - a) umidità assoluta del 100%
 - b) umidità relativa del 100%
 - c) punto di rugiada

Associazione

10. Associare la grandezza alla sua unità di misura
 - 1 Velocità angolare
 - 2 Volume d'aria
 - 3 Pressione
 - a bar
 - b nm^3
 - c rad/s

soluzione 1..... 2..... 3.....

11. Associare il prefisso al fattore di moltiplicazione
 - 1 Nano
 - 2 Pico
 - 3 Micro
 - a 10^{-12}
 - b 10^{-9}
 - c 10^{-6}

soluzione 1..... 2..... 3.....

12. Stabilire l'equivalenza dimensionale
 - 1 1 bar
 - 2 1 W
 - 3 0°C
 - a 100.000 Pa
 - b 1 J/s
 - c 273,15 K

soluzione 1..... 2..... 3.....

Completamento

13. La portata di un condotto che riceve 10 m^3 di aria in 5 s vale $Q = \dots\dots / \dots\dots = \dots\dots \text{ m}^3/\text{s}$.
14. Nel caso di traslazione lineare il lavoro compiuto è dato dal prodotto della per lo
15. Nel caso dei movimenti rotatori il lavoro è il prodotto del per la rotazione