

Diagrammi P&I

V 2.0

Prof. Alessandro Pisano

`apisano@unica.it`

Riferimenti bibliografici

G.A. MAGNANI, G. FERRETTI, P. ROCCO

Tecnologie dei sistemi di controllo – seconda edizione

McGraw-Hill, Milano

ANSI/ISA – S5.-1 – 2009

Instrumentation Symbols and Identification

Diagrammi P&I

Che cosa è un diagramma P&I? («Piping & Instrumentation»)

Fa parte della documentazione tecnica che descrive l'impianto comprensivo del suo sistema di controllo

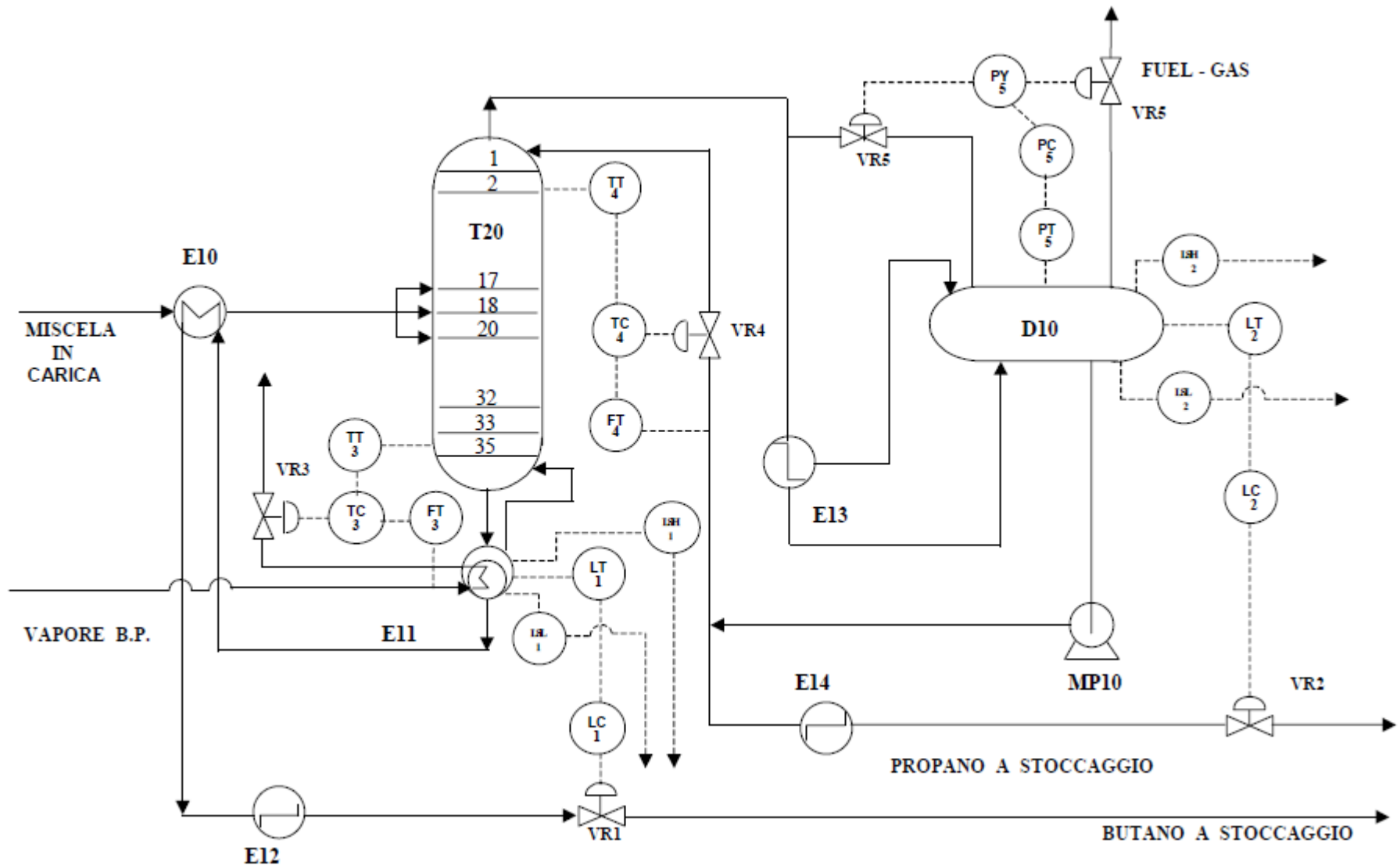
- descrive i componenti principali dell'impianto e le loro connessioni
- riporta le componenti del sistema di controllo e ne specifica le funzioni
- si presenta come uno schema a blocchi

Disegnati secondo una simbologia standard definita nel documento ANSI/ISA S5.1 (2009) «*Instrumentation Symbols and Identification*»
Il documento è reperibile in Internet.

A che cosa serve un diagramma P&I?

- Un diagramma P&I deve contenere informazioni relative al processo, alla strumentazione ed ai dispositivi di controllo.
- È una rappresentazione accurata sia del processo fisico sia delle relazioni esistenti tra i vari dispositivi dell'impianto connessi tra loro
- Deve essere possibile, per una persona che abbia una ragionevole conoscenza del processo, comprendere quali grandezze fisiche vengono misurate, in quale modo viene eseguita la misura, e attraverso quale architettura opera il sistema di controllo.

Esempio – colonna di distillazione per la separazione delle componenti principali di una miscela di idrocarburi



Che cosa contiene un diagramma P&I?

- i dispositivi, le tubazioni, i serbatoi, etc., e le connessioni tra le varie componenti d'impianto
- gli elementi di misura, gli analizzatori ed i trasduttori installati sul campo
- attuatori del sistema di controllo
- pannelli e quadri di controllo
- segnali di I/O per i controllori digitali
- rappresentazione schematica delle interconnessioni tra i vari dispositivi di controllo

Diagrammi P&I

I disegni più significativi e di frequente uso nelle fasi di concezione, specifica e documentazione del progetto di un sistema di misura e controllo di processo sono i diagrammi *Piping and Instrumentation* (P&I). I diagrammi P&I descrivono i componenti principali dell'impianto e le loro connessioni e, insieme, riportano i componenti del sistema di controllo specificandone le funzioni, mentre altre informazioni vanno introdotte nella documentazione addizionale (secondo moduli o formulari prestampati). Il grado di dettaglio dei P&I aumenta via via nei successivi stadi di sviluppo del progetto, partendo da schemi molto semplificati, nella fase iniziale di definizione preliminare, fino ad arrivare a schemi dettagliati e completi, che riportano ogni singolo pezzo di dispositivo, tubazione, anello di controllo necessario per il funzionamento del processo, nella fase di specifica finale e di emissione di ordini di acquisto e realizzazione.

I diagrammi P&I sono disegnati utilizzando simboli e modalità di identificazione funzionale degli strumenti definiti da enti internazionali. Si fa riferimento qui alla simbologia standard definita da ANSI e ISA nel documento ANSI/ISA 55.1-1984 *Standards and Recommended Practices for Instrumentation and Control*, adatta a descrivere strumentazione e sistemi di controllo nell'industria chimica, petrolifera, del condizionamento dell'aria, della generazione d'energia, siderurgica, cartaria e in numerose altre industrie di processo.

Vengono introdotti i simboli e le modalità di identificazione degli strumenti di uso più comune e frequente, rimandando agli standard citati per la documentazione completa.

Dalla lettura di un diagramma P&I si evincono:

- i sensori e gli attuatori installati
- i loop di controllo realizzati (in versioni di dettaglio)
- la struttura/tipologia di ciascun loop di controllo
- le modalità di collegamento della strumentazione

Non è possibile rilevare:

- la legge di controllo

Etichette di identificazione (Tag Number)

Ogni strumento è etichettato da un codice alfanumerico (tag number) ad es.

PIC-201

Pressure Indicator and Controller. Device number (or control loop): 201

La prima lettera denota la variabile misurata (o regolata).

La seguente Tabella riporta le lettere maggiormente diffuse.

A composizione chimica (%)

E tensione

F portata (*flow rate*)

I corrente

J potenza

L livello

P pressione

T temperatura

Z posizione

C'è poi una lettera che identifica la funzione dello strumento:

R registratore

I indicatore (locale)

V valvola

E elemento primario di un sensore di misura

C regolatore o controllore

A generatore di allarme

S commutatore o interruttore (*switch*)

Y elaborazione specificata da un blocco funzione

T trasmettitore

Si ha, per esempio:

FR registratore di portata

LI indicatore di livello

LV valvola che (manipolando la portata) consente di regolare un livello.

La numerazione degli anelli può essere *parallela* o *seriale*:

<i>parallela</i>	TIC-100, FRC-100, LIC-100	(cambiano le lettere fino ad arrivare a una ripetizione)
<i>seriale</i>	TIC-100, FRC-101, LIC-103	(i numeri sono in sequenza)

Struttura del tag identificativo

	Prima lettera		Lettere successive		
	<i>Variabile misurata</i>	<i>modificatore</i>	<i>Funzione aggiuntiva</i>	<i>Funzione d'uscita</i>	<i>modificatore</i>
C	uso utente			controllo	
D	uso utente	differenza			
F	portata	rapporto			
H	manuale				alto
I	corrente elettrica		indicazione		
J	potenza	scan			
L	livello		luce		basso
P	pressione, vuoto				
R	radiazione		registrazione		
S	velocità, frequenza	sicurezza		interruttore	
T	temperatura			trasmettitore	
W	peso, forza				
Z	posizione, dimensione	asse z		attuatore	

Uno strumento che esegue due o più funzioni può essere denotato da codici corrispondenti a tutte le funzioni. Per esempio, **FR-2/PR-4** è uno strumento che registra la portata e la pressione.

Combinazioni tipiche delle lettere

- | | | | |
|---|---|---|---|
| – | <i>Regolatore</i>
di pressione
se in più registra
o è dotato di indicatore | PC
PRC
PIC | |
| – | <i>Regolatore auto-attuato di pressione
con valvola di regolazione</i> | PCV | |
| – | <i>Dispositivi di lettura di pressione</i>
registratore | PR | (è tale se permette, sotto qualsiasi forma, di rivedere i dati) |
| | indicatore | PI | (qualsiasi: analogico o digitale) |
| – | <i>Interruttori (per comando)</i>
per un segnale alto
per un segnale basso
per un segnale alto o basso | PSH
PSL
PSHL | |

Combinazioni tipiche delle lettere (cont.)

- *Dispositivi di allarme*
 - per un segnale alto **PAH**
 - per un segnale basso **PAL**
 - per un segnale alto o basso **PAHL**

- *Trasmettitori*
 - di pressione **PT**
 - con indicatore **PIT**
 - con registratore **PTR**

Rif. Tabella estratta dalla normativa ANSI/ISA-5.1.1984 (R1992)

Table 2 — Typical Letter Combinations

First-Letters	Initiating or Measured Variable	Controllers				Readout Devices		Switches and Alarm Devices*			Transmitters			Solenoids, Relays, Computing Devices	Primary Element	Test Point	Well or Probe	Viewing Device, Glass	Safety Device	Final Element
		Recording	Indicating	Blind	Self-Actuated Control Valves	Recording	Indicating	High**	Low	Comb	Recording	Indicating	Blind							
A	Analysis	ARC	AIC	AC		AR	AI	ASH	ASL	ASHL	ART	AIT	AT	AY	AE	AP	AW		AV	
B	Burner/Combustion	BRC	BIC	BC		BR	BI	BSH	BSL	BSHL	BRT	BIT	BT	BY	BE		BW	BG	BZ	
C	User's Choice																			
D	User's Choice																			
E	Voltage	ERC	EIC	EC		ER	EI	ESH	ESL	ESHL	ERT	EIT	ET	EY	EE				EZ	
F	Flow Rate	FRC	FIC	FC	FCV, FICV	FR	FI	FSH	FSL	FSHL	FRT	FIT	FT	FY	FE	FP		FG	FV	
FQ	Flow Quantity	FQRC	FQIC			FQR	FQI	FQSH	FQSL			FQIT	FQT	FQY	FQE				FQV	
FF	Flow Ratio	FFRC	FFIC	FFC		FFR	FFI	FFSH	FFSL						FE				FFV	
G	User's Choice																			
H	Hand		HIC	HC						HS									HV	
I	Current	IRC	IIC			IR	II	ISH	ISL	ISHL	IRT	IIT	IT	IY	IE				IZ	
J	Power	JRC	JIC			JR	JI	JSH	JSL	JSHL	JRT	JIT	JT	JY	JE				JV	
K	Time	KRC	KIC	KC	KCV	KR	KI	KSH	KSL	KSHL	KRT	KIT	KT	KY	KE				KV	
L	Level	LRC	LIC	LC	LCV	LR	LI	LSH	LSL	LSHL	LRT	LIT	LT	LY	LE		LW	LG	LV	
M	User's Choice																			
N	User's Choice																			
O	User's Choice																			
P	Pressure/ Vacuum	PRC	PIC	PC	PCV	PR	PI	PSH	PSL	PSHL	PRT	PIT	PT	PY	PE	PP		PSV, PSE	PV	
PD	Pressure, Differential	PDRC	PDIC	PDC	PDCV	PDR	PDI	PDSH	PDSL		PDRT	PDIT	PDT	PDY	PE	PP			PDV	
Q	Quantity	QRC	QIC			QR	QI	QSH	QSL	QSHL	QRT	QIT	QT	QY	QE				QZ	
R	Radiation	RRC	RIC	RC		RR	RI	RSH	RSL	RSHL	RRT	RIT	RT	RY	RE		RW		RZ	
S	Speed/Frequency	SRC	SIC	SC	SCV	SR	SI	SSH	SSL	SSHL	SRT	SIT	ST	SY	SE				SV	
T	Temperature	TRC	TIC	TC	TCV	TR	TI	TSH	TSL	TSHL	TRT	TIT	TT	TY	TE	TP	TW		TV	
TD	Temperature, Differential	TDRC	TDIC	TDC	TDCV	TDR	TDI	TDSH	TDSL		TDRT	TDIT	TDT	TDY	TE	TP	TW		TDV	
U	Multivariable					UR	UI							UY					UV	
V	Vibration/Machinery Analysis					VR	VI	VSH	VSL	VSHL	VRT	VIT	VT	VY	VE				VZ	
W	Weight/Force	WRC	WIC	WC	WCV	WR	WI	WSH	WSL	WSHL	WRT	WIT	WT	WY	WE				WZ	
WD	Weight/Force, Differential	WDRC	WDIC	WDC	WDCV	WDR	WDI	WDSH	WDSL		WDRT	WDIT	WDT	WDY	WE				WDZ	
X	Unclassified																			
Y	Event/State/Presence		YIC	YC		YR	YI	YSH	YSL				YT	YY	YE				YZ	
Z	Position/Dimension	ZRC	ZIC	ZC	ZCV	ZR	ZI	ZSH	ZSL	ZSHL	ZRT	ZIT	ZT	ZY	ZE				ZV	
ZD	Gauging/Deviation	ZDRC	ZDIC	ZDC	ZDCV	ZDR	ZDI	ZDSH	ZDSL		ZDRT	ZDIT	ZDT	ZDY	ZDE				ZDV	

Simboli grafici

Blocchi funzione Le operazioni matematiche sono indicate sugli schemi P&I mediante appositi blocchi funzione. Quelli principali sono riportati di seguito.

K Moltiplicazione per una costante

\int Integrale

d/dt Derivata

Σ Sommatoria

Σ/n Media

Δ Differenza







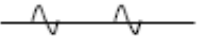

\times Moltiplicatore

$>$ Selettore di massimo

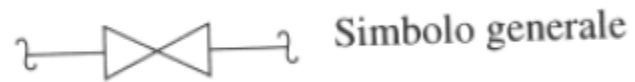
$<$ Selettore di minimo

\div Divisione

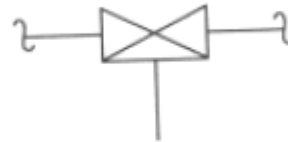
Linee

	Connessione al processo o alimentazione dello strumento
	Segnale di tipo non definito
	Segnale pneumatico
	Segnale elettrico. Anche 
	Segnale idraulico
	Segnale elettromagnetico o sonoro in guida d'onda
	Segnale elettromagnetico o sonoro non guidato (in spazio aperto)

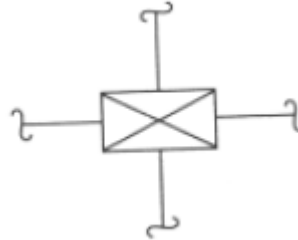
Valvole (corpo)



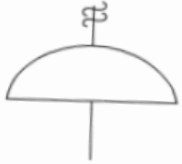
Con varianti per valvola a 3 vie



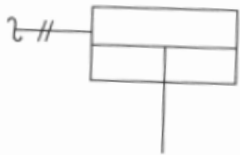
o 4 vie



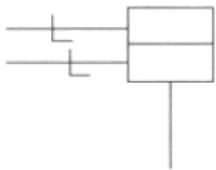
Valvole (attuatori)



A diaframma (pneumatico)



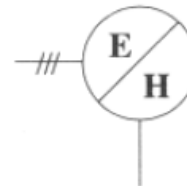
A cilindro (con molla di ritorno)



Con comandi idraulici per chiudere e aprire



Normale o a volantino



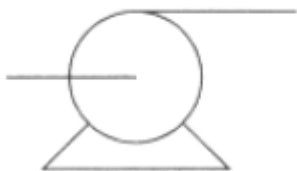
Elettroidraulico



Electric Motor Operated

Pompe e compressori

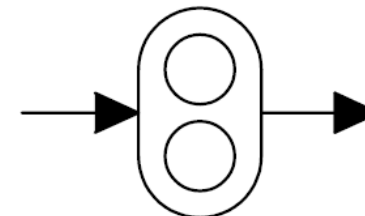
Pompa centrifuga



Pompa volumetrica



Compressore volumetrico



Scambiatori di calore

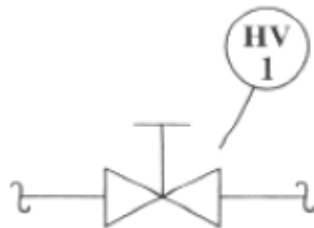


Senza miscelamento dei flussi



Con miscelamento dei flussi

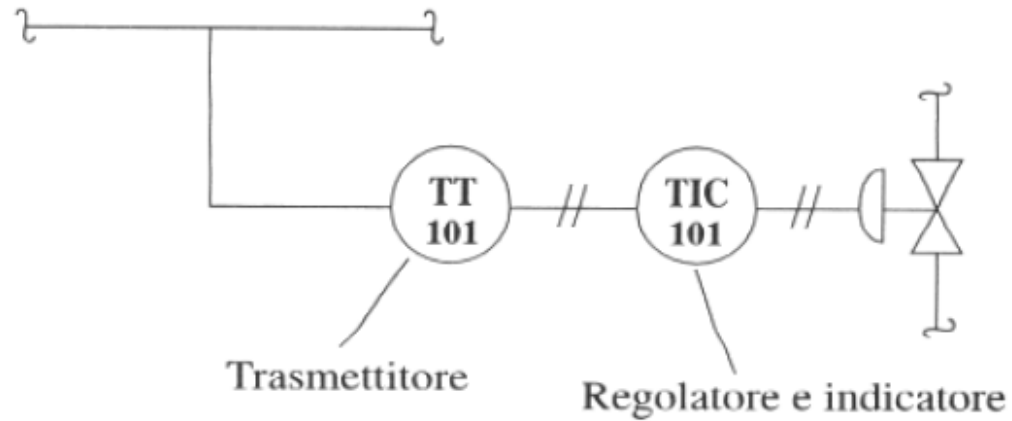
Valvola a comando manuale



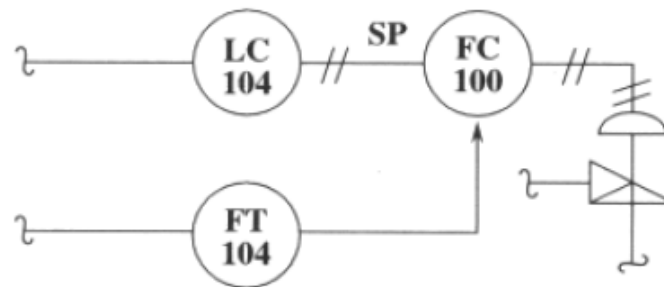
Valvola a comando manuale in linea

Esempi

Controllo di temperatura

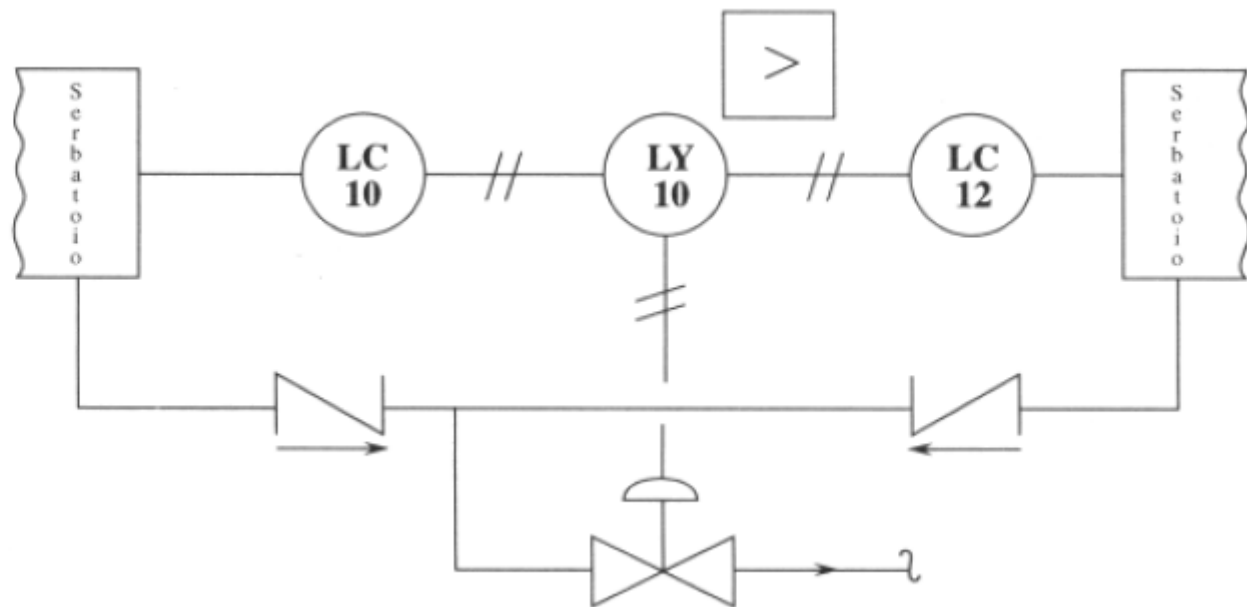


Controllo di livello (controllo in cascata,

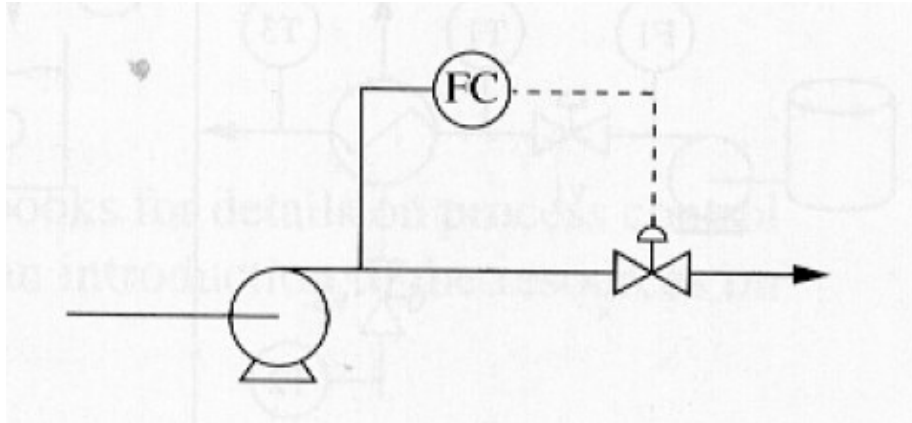


Valvola a 2 vie a comando pneumatico

**Controllo
di livello**
(comanda la
valvola il
regolatore che ha
l'uscita maggiore)



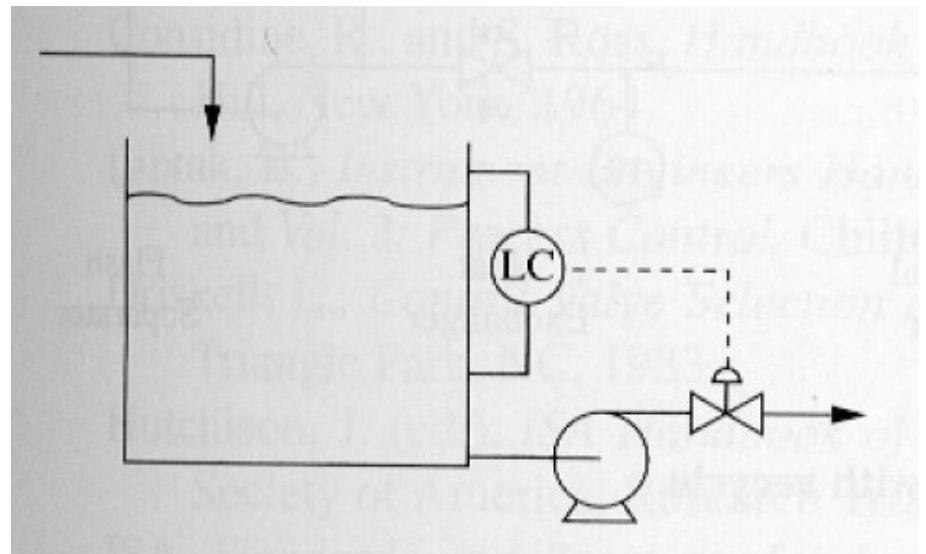
(a)



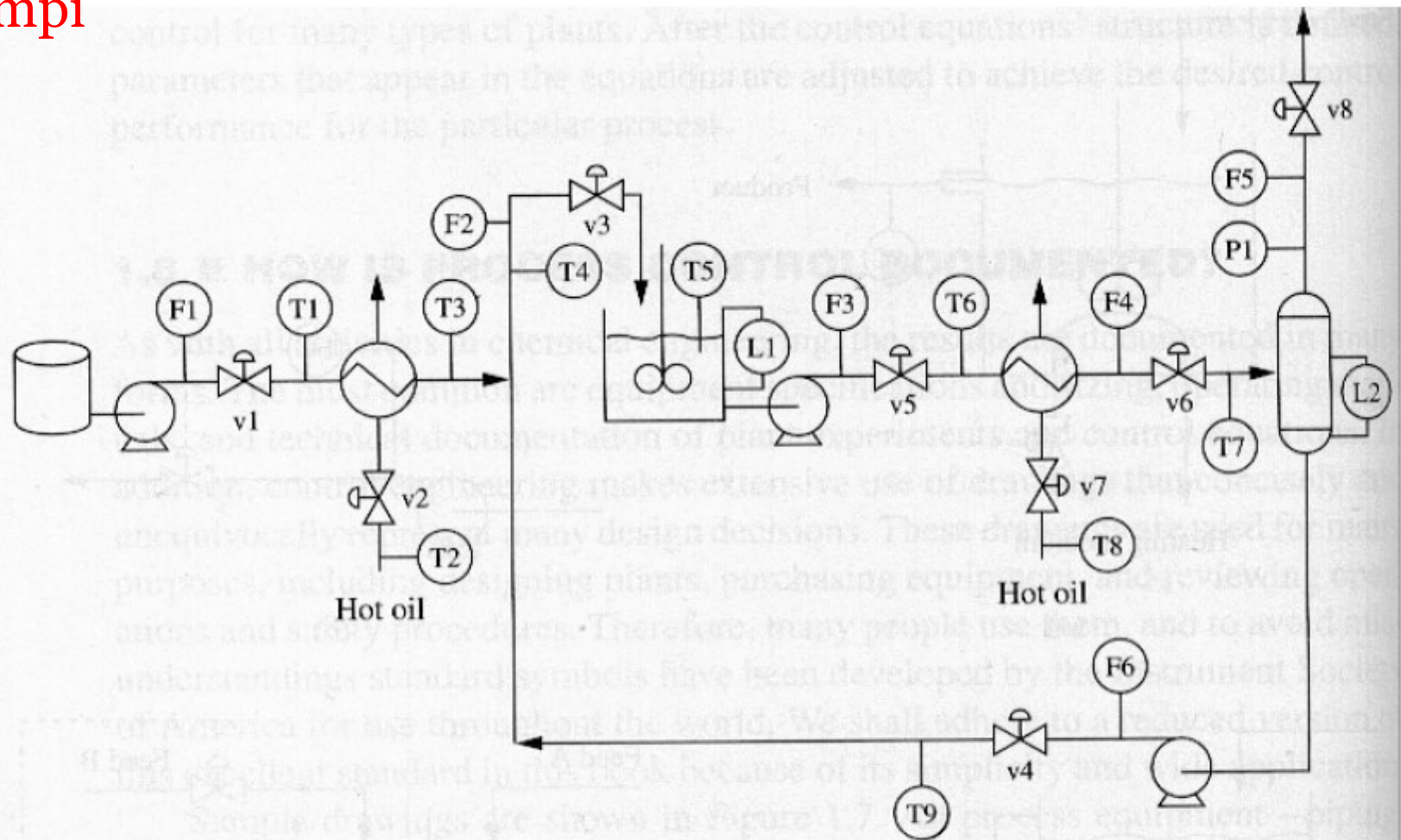
Regolazione di portata di una pompa centrifuga a velocità fissa mediante valvola sulla line di mandata

(b)

Regolazione di livello ad anello singolo



Esempi



Feed
Tank

Heat
Exchanger

Chemical
Reactor

Heat
Exchanger

Flash
Separator

Integrated feed tank, reactor, and separator with recycle.

Esempio

Regolazione di livello “a tre elementi” nel corpo cilindrico dei generatori di vapore

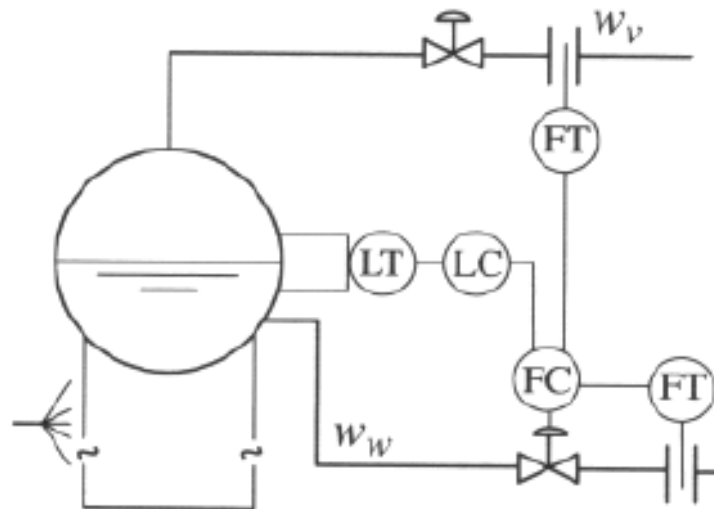
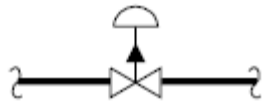


Diagramma P&I della regolazione a 3 elementi del livello.

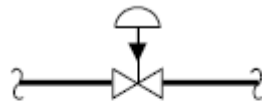
w_w portata acqua di alimento

w_v portata vapore

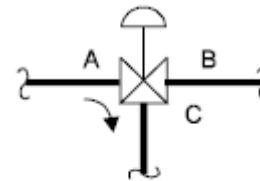
Symbols for actuator action in event of actuator power failure



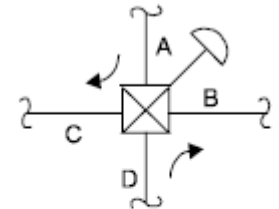
TWO-WAY VALVE,
FAIL OPEN



TWO-WAY VALVE,
FAIL CLOSED

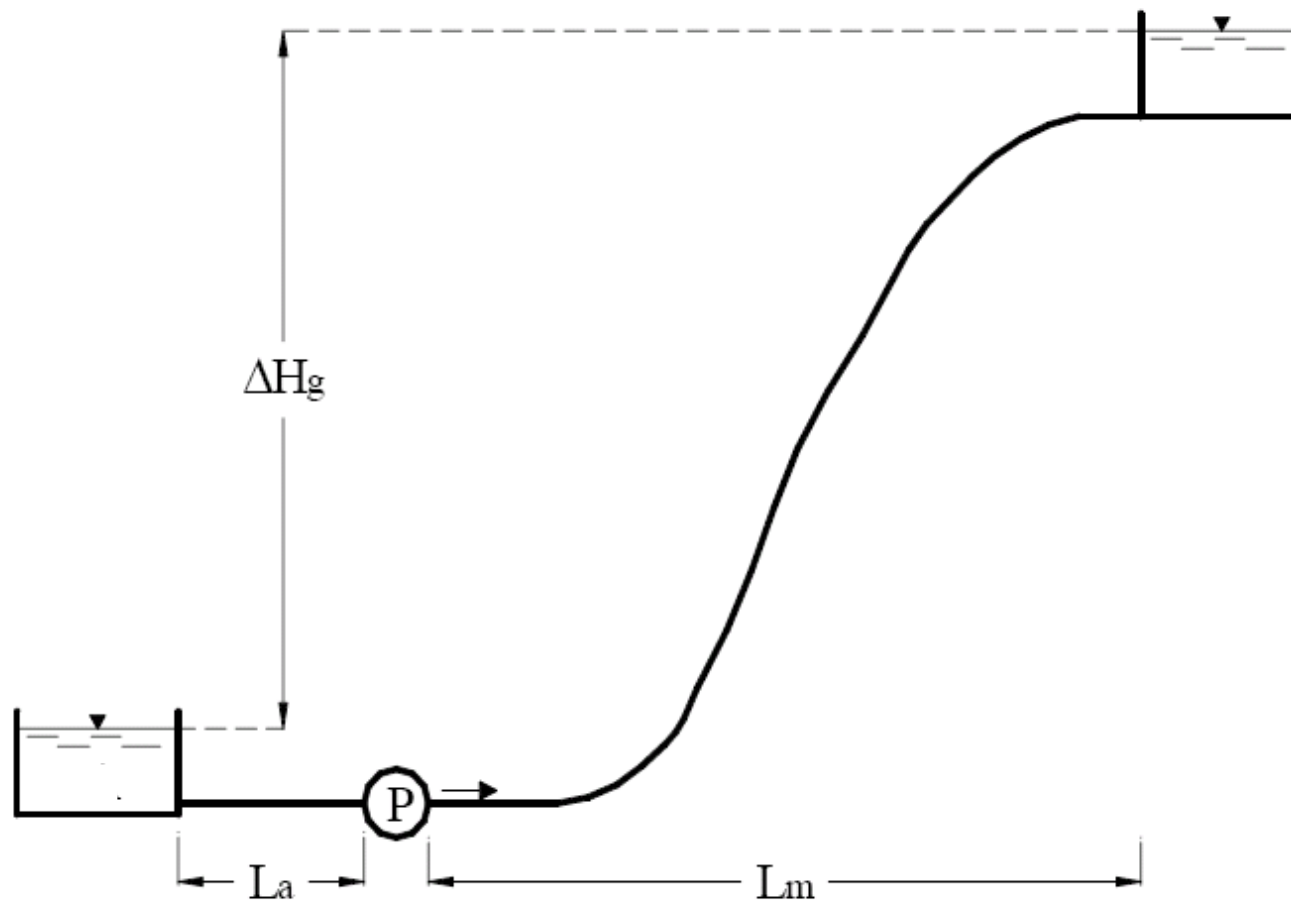


THREE-WAY VALVE,
FAIL OPEN TO PATH A-C



FOUR-WAY VALVE,
FAIL OPEN TO PATHS
A-C AND D-B

Impianto di sollevamento



- **L'utilizzo delle pompe deve tener conto dei livelli nei serbatoi e dei consumi nei vari periodi dell'anno e nelle varie fasce orarie**
- **Le procedure di avviamento delle pompe devono tener conto dello stato dell'impianto**
- **Le pompe devono avere, in media, lo stesso numero di ore di marcia**
- **La stazione di pompaggio deve poter essere comandata a distanza e la sua modalità di funzionamento monitorata**

Diagramma P&I semplificato

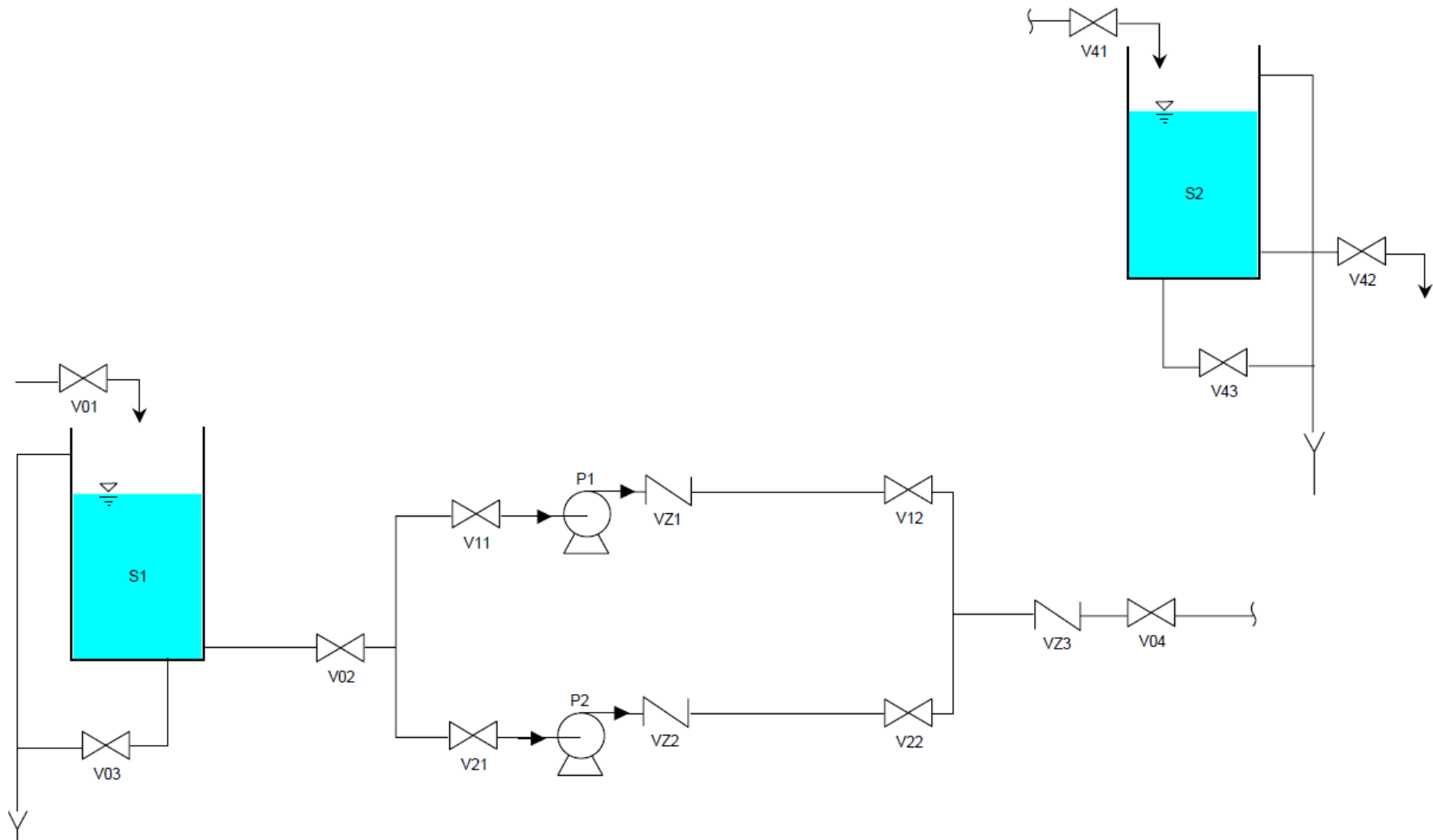
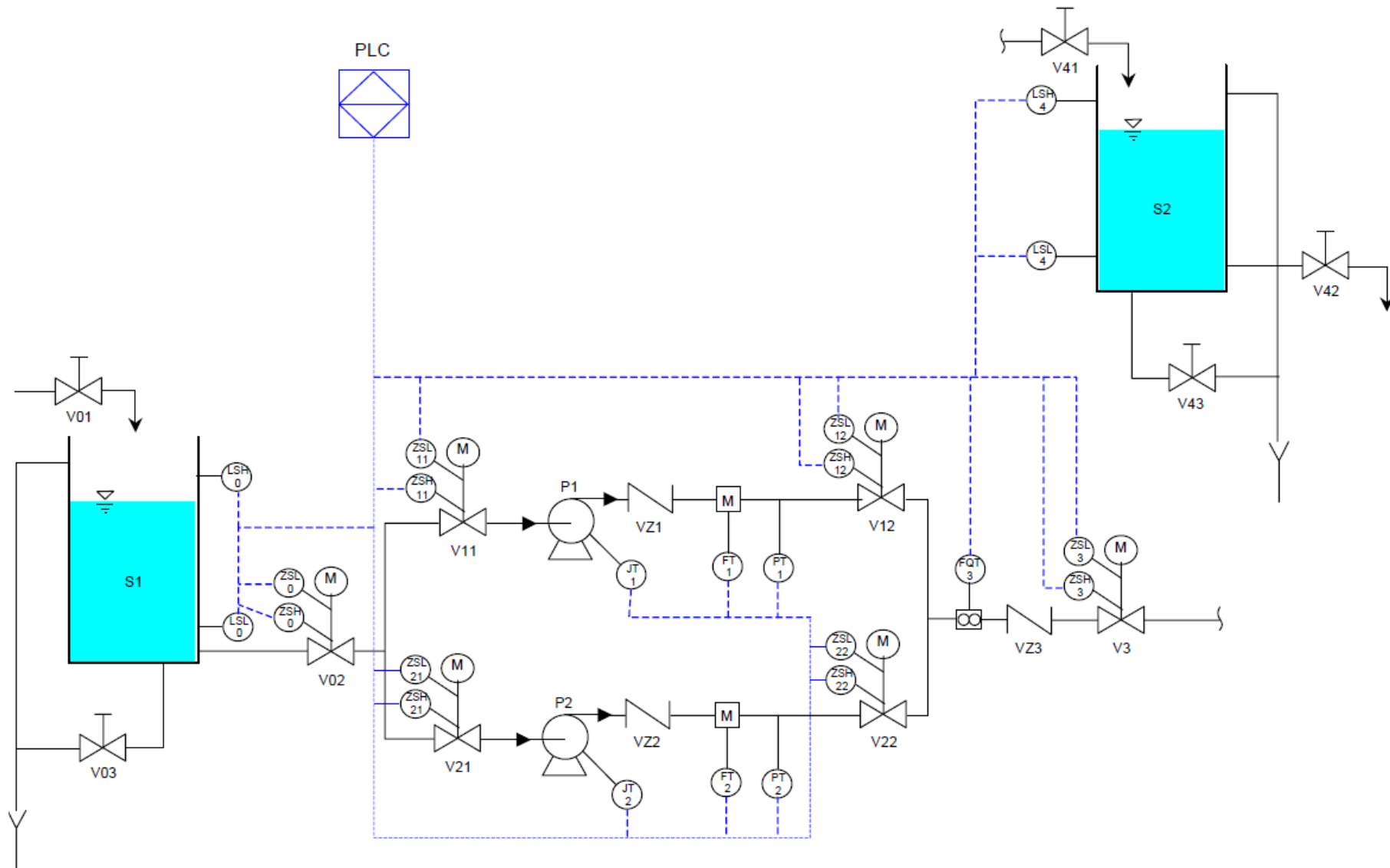
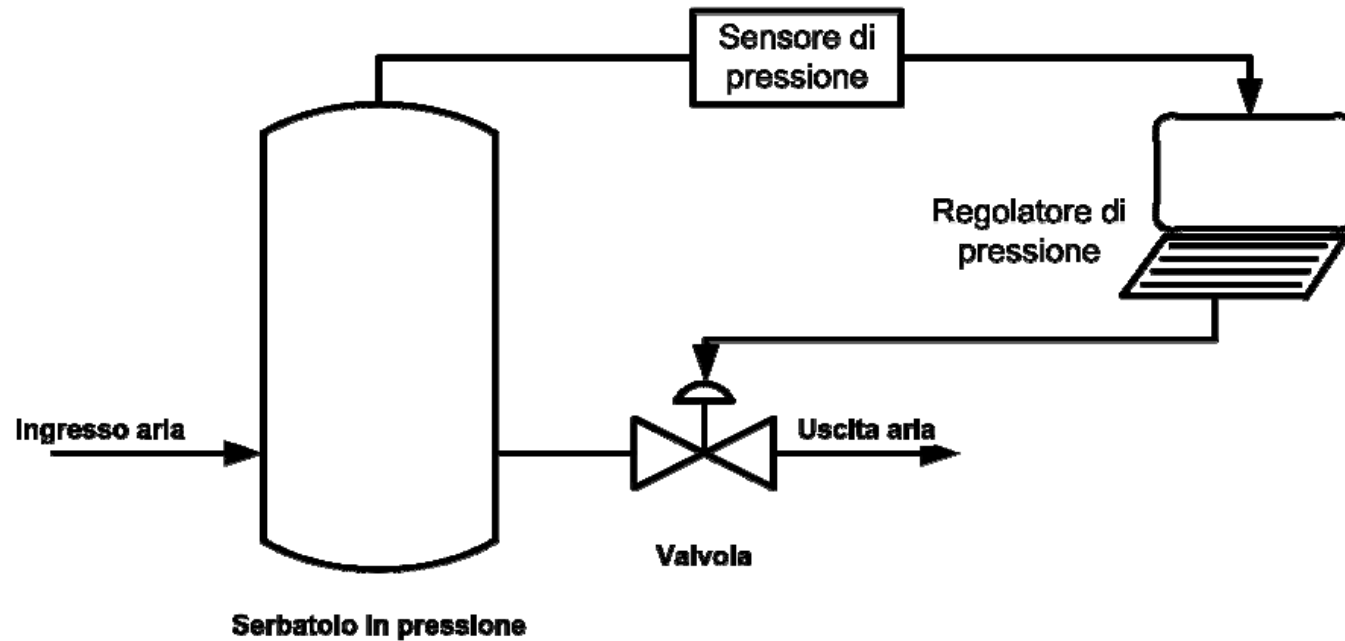


Diagramma P&I con dettaglio della strumentazione di controllo



Esempi

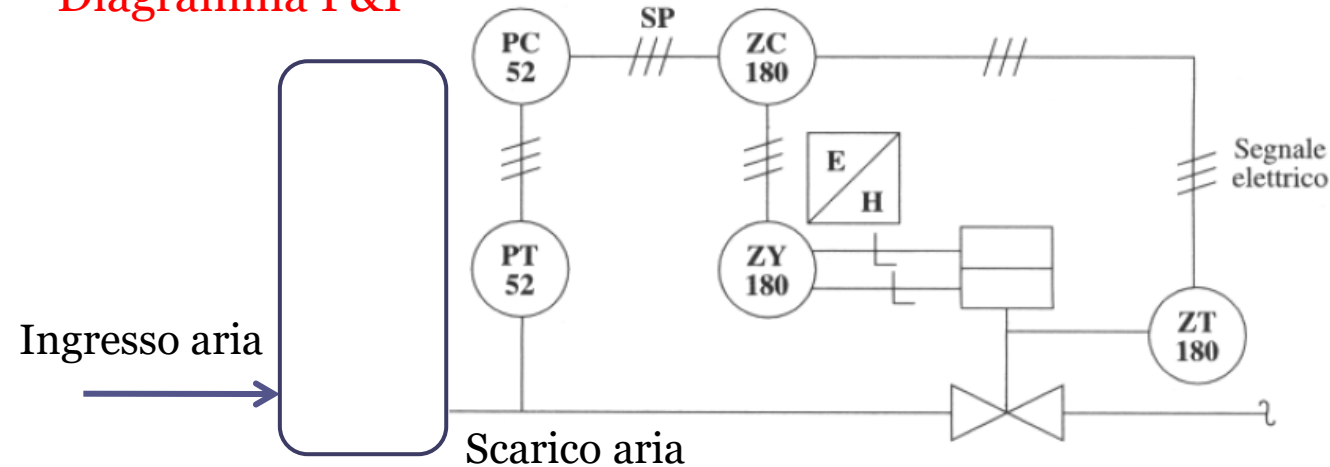
Controllo di pressione di un serbatoio mediante servovalvola elettroidraulica



È uno schema dell'anello di controllo in cui appare la strumentazione

- ▶ il *sensore* di pressione che genera la misura y
- ▶ l'*attuatore* (valvola) che regola la portata d'aria in uscita dal serbatoio
- ▶ il *sistema elettronico* che implementa la legge di controllo

Diagramma P&I



PT 52 Trasduttore di pressione con uscita sotto forma di segnale elettrico (es 4-20 mA)

PC 52 Regolatore di pressione con uscita sotto forma di segnale elettrico (es 4-20 mA)

L'uscita del regolatore PC52 rappresenta il set-point per il regolatore di posizione ZC 180

Valvola con attuazione mediante cassette idraulici per chiudere o aprire

ZT 180 Trasduttore di posizione per lo stelo della valvola (apertura della valvola)

ZC 180 Regolatore della posizione dello stelo della valvola, con uscita di tipo elettrico

E/H Convertitore elettroidraulico ZY 180 Deviatore del flusso idraulico (Y = relay)

Esempio Processo di purificazione del propilene

Il diagramma P&I di Fig. 1.2 rappresenta una piccola parte di un impianto di produzione di polipropilene, relativa alla purificazione del propilene.

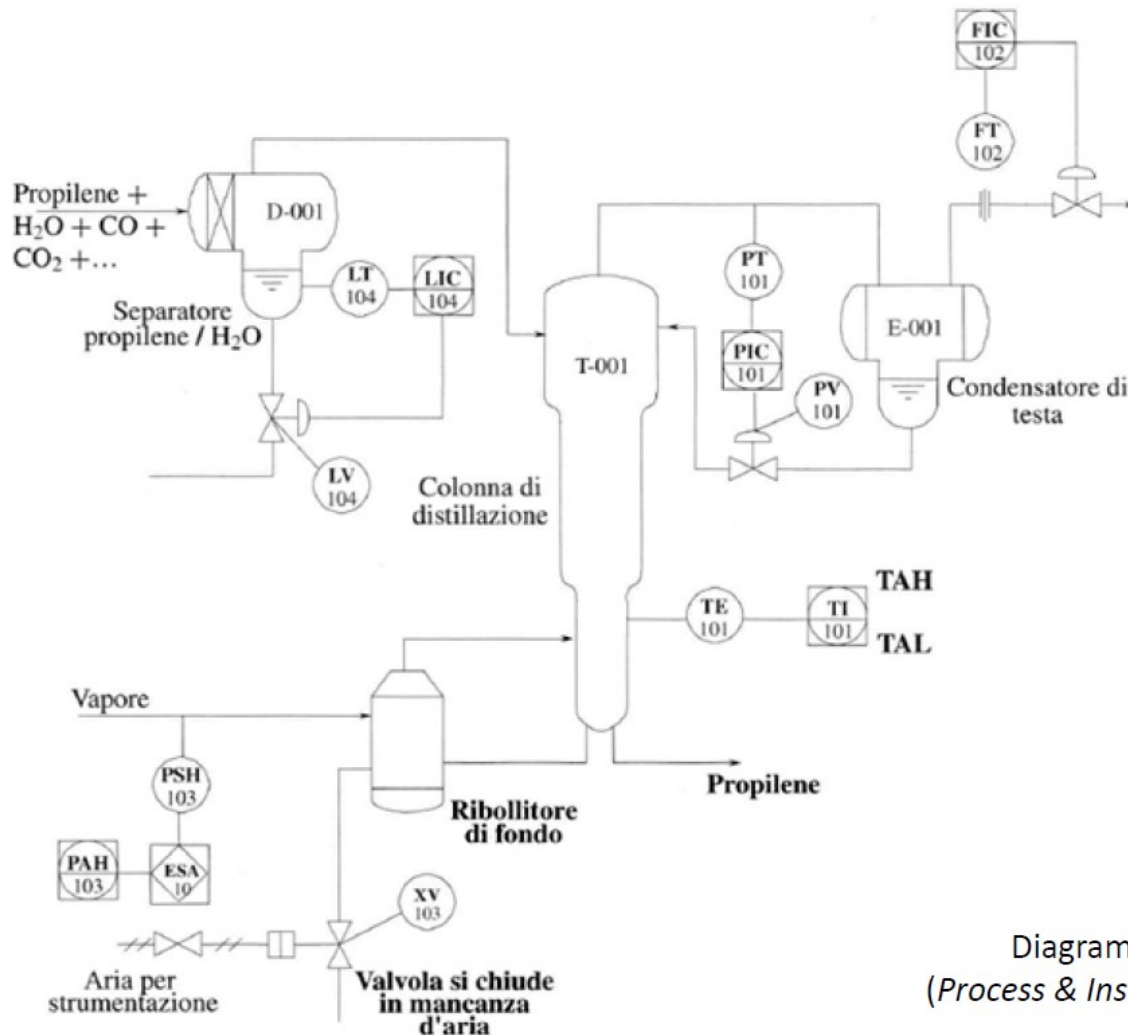
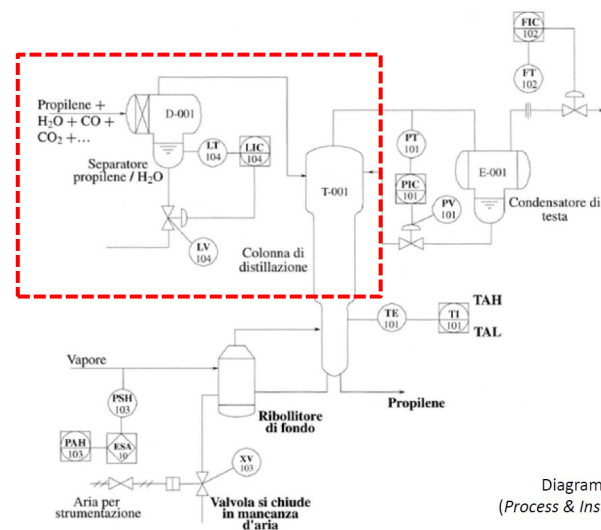
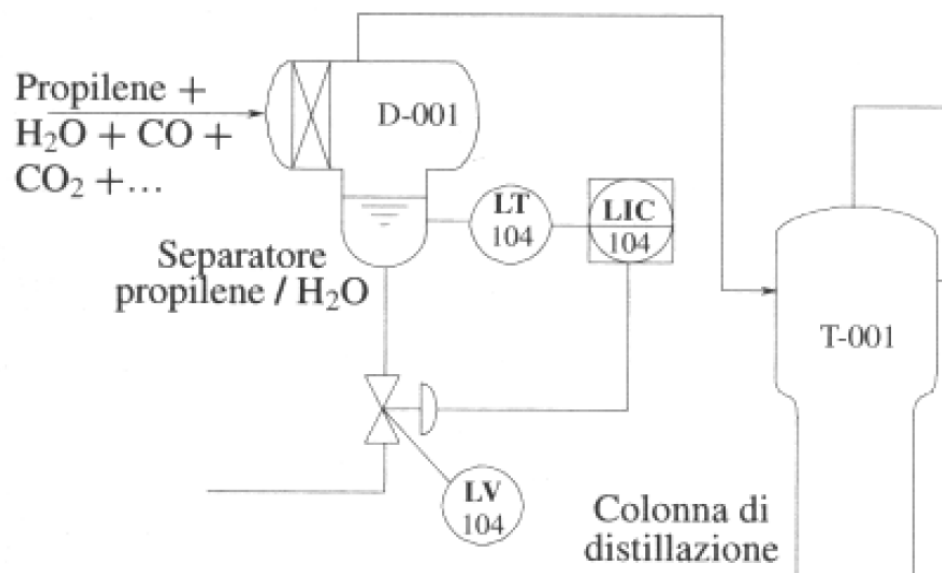
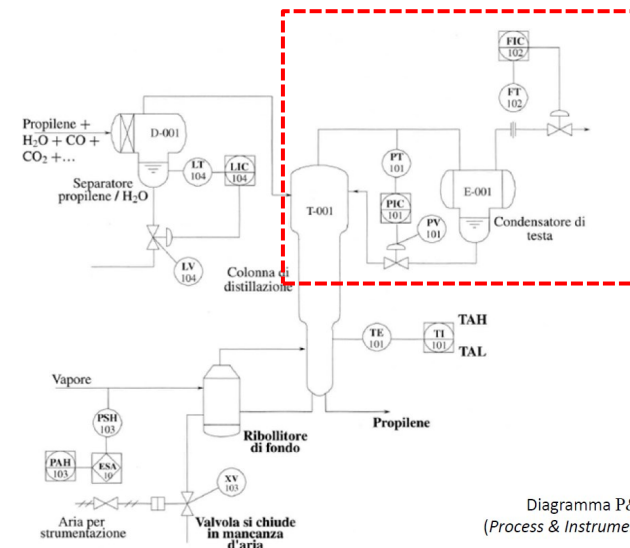
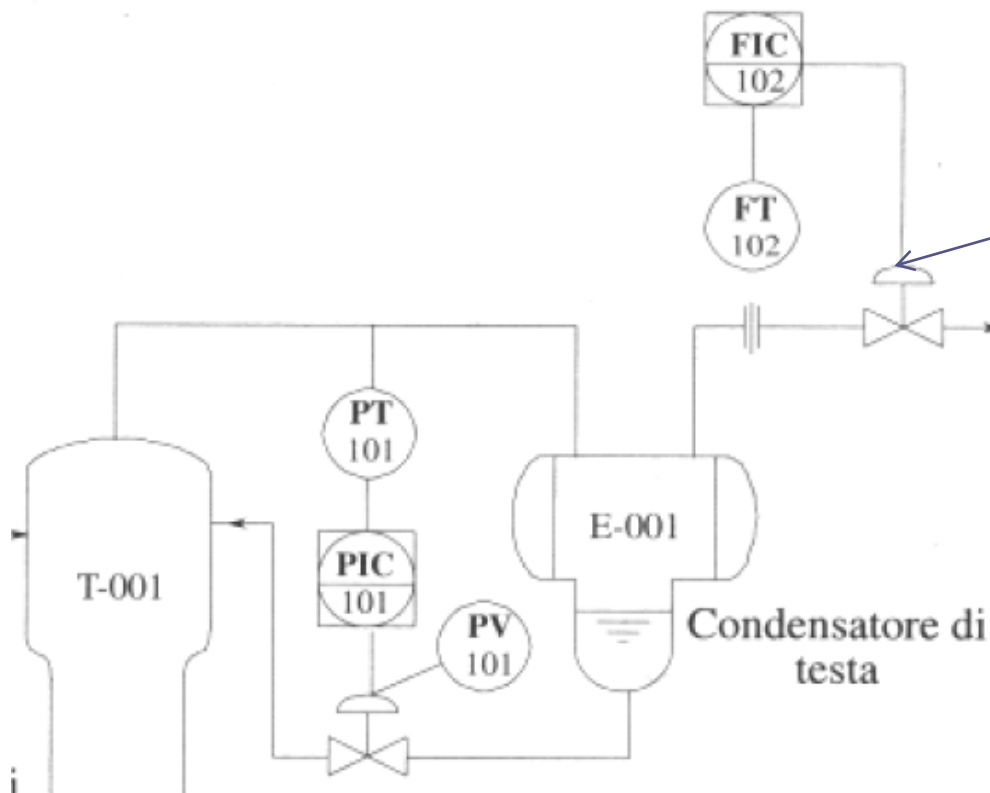


Diagramma P&I
(Process & Instrumentation)

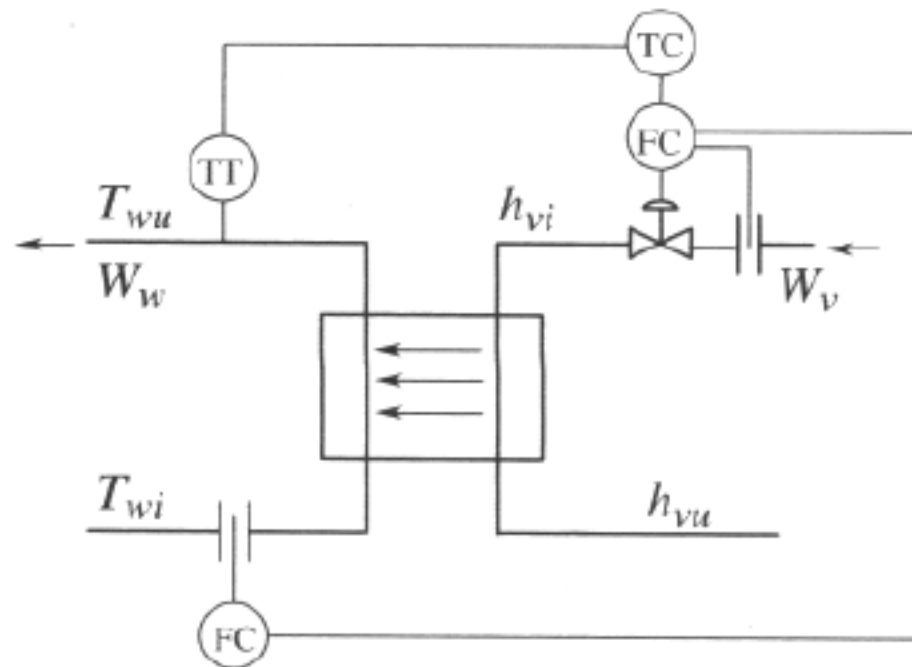
La miscela liquida contenente il propilene da purificare è immessa nel serbatoio separatore D-001, che serve per eliminare la cosiddetta “acqua libera”, sempre presente in essa. L’acqua, più pesante del propilene, si deposita sul fondo del serbatoio D-001 e può essere eliminata attraverso una tubazione di scarico. Il sensore LT-104 (Capitolo 3), la valvola LV-104 e il regolatore LIC-104 regolano il livello dell’acqua, per assicurare che sia effettivamente eliminata acqua e non propilene.



La miscela prelevata dal serbatoio D-001 fluisce nella colonna di distillazione T-001 che consente di separare il propilene dal “taglio dei gas leggeri” (CO, CO₂, propano, metano, ecc). La miscela gassosa prelevata dalla testa della colonna è fatta condensare nello scambiatore di calore E-001 (condensatore di testa), in modo che condensino soltanto il propilene. Quest’ultimo è rinviato nella colonna di distillazione come “riflusso”, mentre i componenti più volatili (“gas leggeri”) sono eliminati attraverso la valvola FV-102. Tale valvola è governata dal regolatore FIC-102, in funzione della misura di portata proveniente dal trasmettitore FT-102.



Un secondo esempio è schematizzato in Figura 8.10 e concerne uno scambiatore di calore, in cui un liquido di portata w_w è riscaldato mediante vapore, di portata w_v in controcorrente. La temperatura T_{wu} del liquido in uscita è regolata con uno schema di controllo in cascata con anello interno di portata di vapore.



LEGENDA



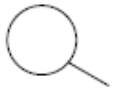
Strumentazione da campo con singola funzione



Strumentazione da campo multifunzione



Strumentazione in remoto (sala controllo)



Identificativo Strumentazione da campo



Valvola manuale



Pozzetto termometrico



Inserzione a contatto superficiale per misura di temperatura



Valvola automatica per il controllo di pressione a taratura manuale



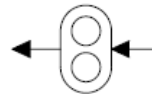
Valvola motorizzata normalmente aperta



Valvola di sovrappressione di sicurezza



Dispositivo a strozzamento per la misura di portata (discocalibro)



Compressore volumetrico

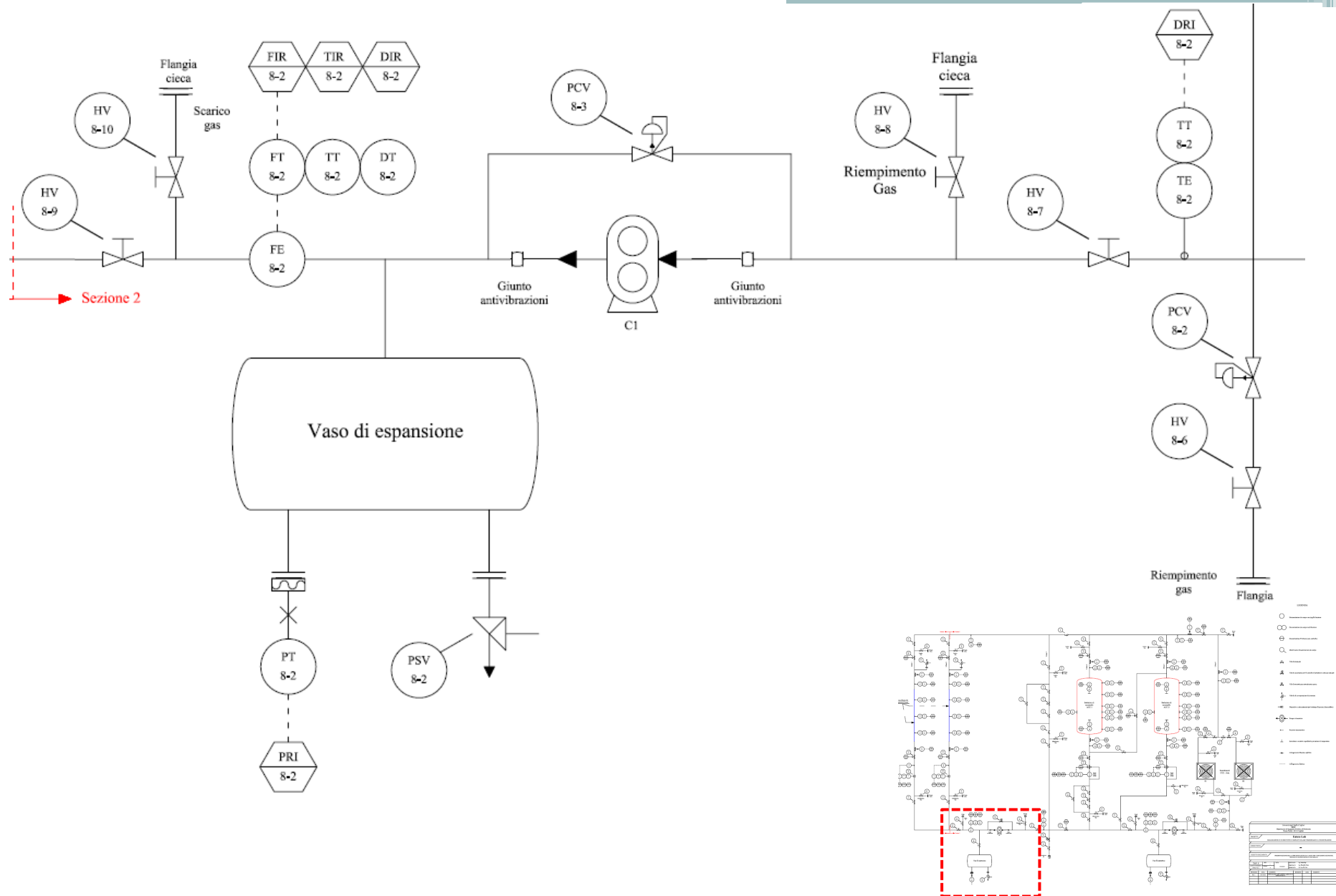


Collegamento idraulico capillare



Collegamento elettrico

Stazione di pompaggio n. 1



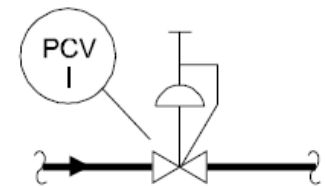
TE 8-2 TT 8.2: Sensore e trasmettitore di temperatura a monte della stazione di pompaggio (C1)..

TRI 8-2 Registratore e indicatore di temperatura accessibile nella stazione di controllo

HV 8-7 e HV 8-9: Valvole manuali per isolare la stazione di pompaggio (C1).

HV 8-8: Valvola manuale per l'immissione del gas di processo

PCV 8.3: Valvola automatica di regolazione della pressione con set-point regolabile manualmente posta sulla linea di bypass del compressore C1.



PRESSURE-REDUCING
REGULATOR, SELF-
CONTAINED, WITH
HANDWHEEL ADJUSTABLE
SET POINT

FE 8-2: Sensore di portata massica ad effetto Coriolis per la misura della portata massica del gas in ingresso al campo solare. La misura effettuata con questo sensore viene utilizzata dal sistema di controllo per chiudere l'anello interno di portata per la regolazione in cascata della temperatura del fluido di processo in uscita dal campo solare.

FT 8-2, TT 8.2, DT8.2: Trasmettitori di portata, temperatura e densità

HV 8-10: Valvola manuale per lo scarico del gas di processo

PT 8-2: Sensore per la misura della pressione del gas nei vasi di espansione.

I sensori di pressione sono collegati al piping tramite **flangia con separatore a membrana** affacciata per alte temperature..

