

# Fondamenti dell'ingegneria di processo

anno accademico 2021-2022

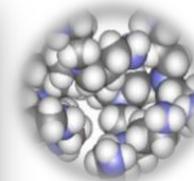
# Process Design



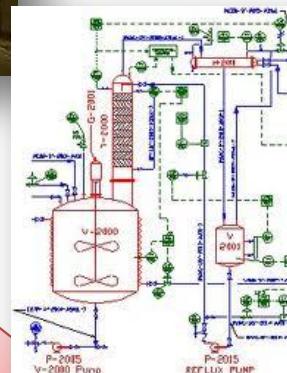
LABORATORIO



IMPIANTO PILOTA



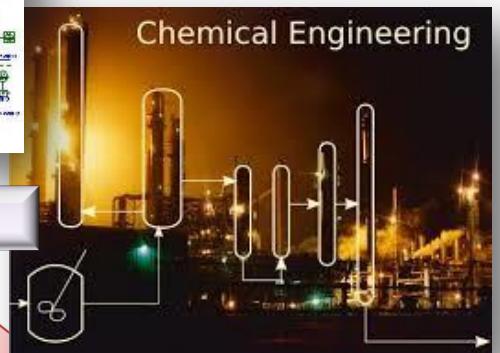
Lo sviluppo di  
un processo di  
trasformazione  
della materia:



SCALE-UP



SIMULAZIONE



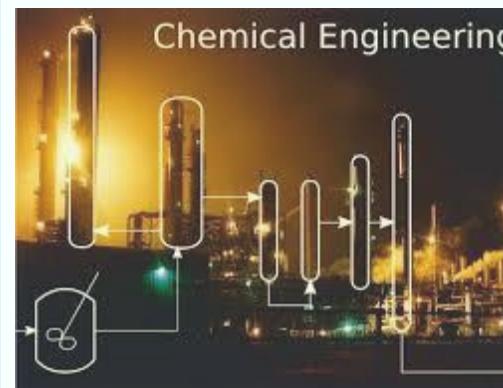
IMPIANTO  
«FULL SCALE»

# Process Design

*Materie prime*



*Processi e Impianti*



*Prodotti*



- ✓ Bulk chemicals
- ✓ Polymers
- ✓ Fine Chemicals and Specialty Chemicals
- ✓ Consumer chemicals



# Process Design

- ✓ Bulk chemicals
- ✓ Polymers
- ✓ Fine Chemicals and Specialty Chemicals
- ✓ Consumer chemicals

I prodotti chimici di base e intermedi vengono a loro volta distinti tra Inorganici (*Basic Inorganics*) e Organici (*Petrochemicals*):

- principali bulk chemicals inorganici di base e intermedi: gas di sintesi (miscele CO/H<sub>2</sub>), ammoniaca, fertilizzanti;
- principali bulk chemicals organici di base e intermedi: alcheni inferiori, aromatici inferiori e i prodotti iniziali delle complesse filiere di trasformazione che si originano dai prodotti di base quali ad esempio: metanolo, acid o acetico, formaldeide, acetalede, etanolo, dicloroetilene, etilbenzene, acrilonitrile, cumene, ossido di etile ne e propilene.

Nella categoria *Polymers* sono compresi:

- materie plastiche (*Plastics*);
- gomme sintetiche (*Synthetic rubbers*);
- fibre artificiali (*Man-made fibers*).

I *Fine chemicals* sono classificati in base alla loro funzione (che cosa sono) e sono generalmente sostanze pure (prodotti a specifica completamente descritti dalle loro caratteristiche chimico-fisiche): ad esempio aromi ed essenze, principi attivi farmaceutici, sostanze attive per pesticidi, cosmesi e detergenza.

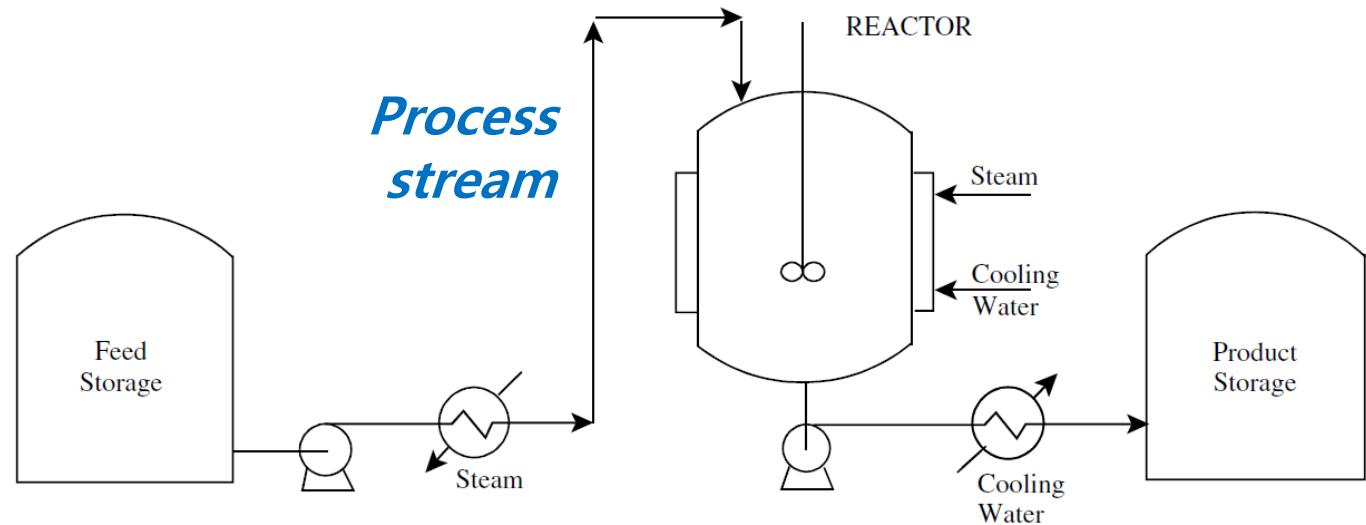
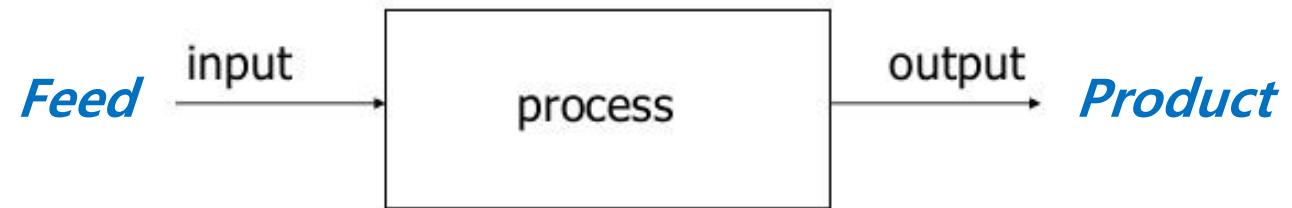
Gli *Specialty chemicals* sono classificati in base alle loro prestazioni (che cosa possono fare) e sono generalmente miscele di più composti, identificabili univocamente attraverso le loro “performances” e non attraverso il loro contenuto chimico o la loro origine: ad esempio adesivi, lubrificanti, inchiostri e vernici, tensioattivi.

I *Consumer chemicals* sono prodotti venduti direttamente al consumatore: principalmente saponi, detergenti e cosmetici.

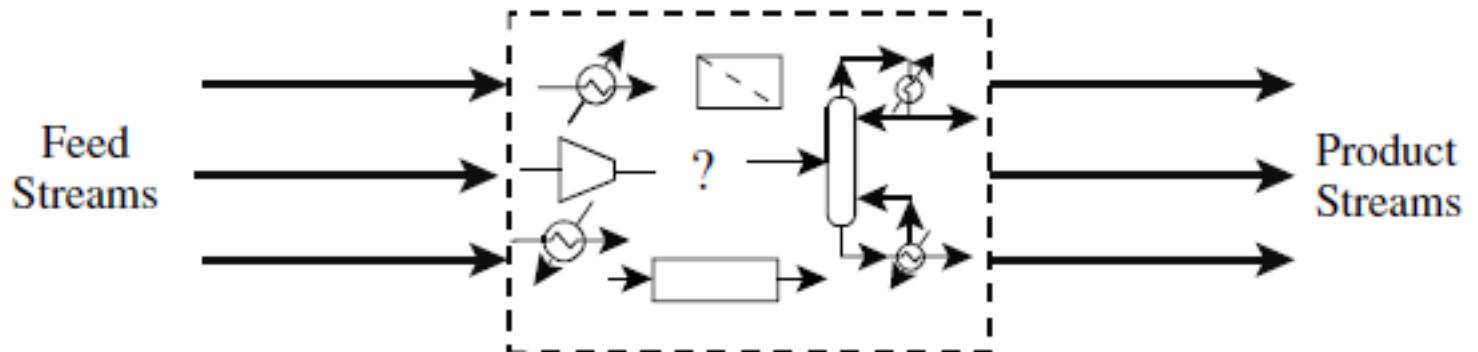


# Process Design

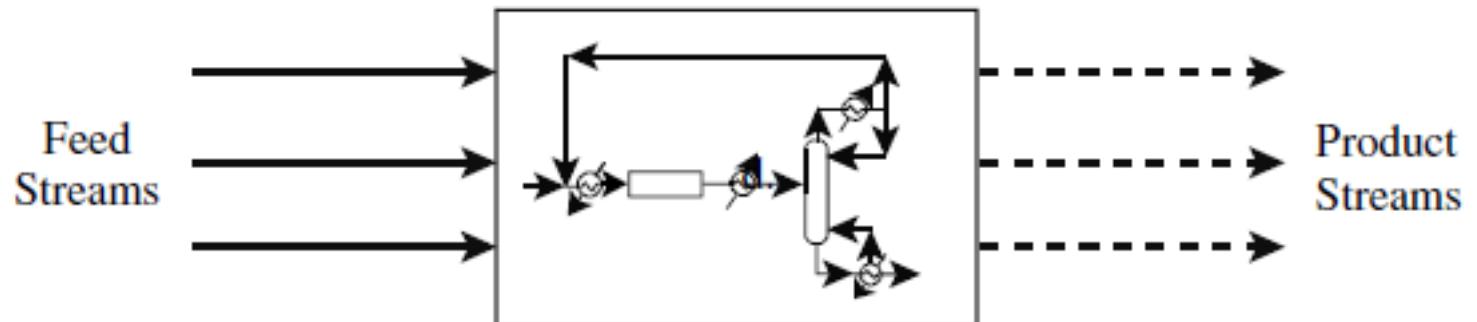
## *Unit process & Chemical process*



# Process Design



- (a) Process design starts with the synthesis of a process to convert raw materials into desired products.



# Process Design

*...development of a new chemical process*



*The research and development group at ABC Chemicals Company worked out a way to produce alpha-beta souptol (ABS). Process engineers assigned to work with the development group have pieced together a continuous process for making ABS in commercial quantities and have tested key parts of it. This work involved hundreds of **block flow diagrams**, some more complex than others. Based on information derived from these block flow diagrams, a decision was made to proceed with this process.*

*A process engineering team from ABC's central office carries out the detailed process calculations, material and energy balances, equipment sizing, etc. Working with their drafting department, they produced a series of **PFDs (Process Flow Diagrams)** for the process. As problems arise and are solved, the team may revise and redraw the PFDs. Often the work requires several rounds of drawing, checking, and revising.*

*Specialists in distillation, process control, kinetics, and heat transfer are brought in to help the process team in key areas. Some are company employees and others are consultants.*

*Kauffman, D., "Flow Sheets and Diagrams," AIChE Modular Instruction, Series G: Design of Equipment, series editor J. Beckman, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1986, vol. 1, Chapter G.1.5. Reproduced by permission of the American Institute of Chemical Engineers, AIChE copyright © 1986*

# Process Design

*...development of a new chemical process*

*Since ABC is only a moderate-sized company, it does not have sufficient staff to prepare the 120 P&IDs (**Piping and Instrumentation Diagrams**) needed for the new ABS plant. ABC hires a well-known engineering and construction firm (**E&C Company**), DEFCo, to do this work for them. The company assigns two of the ABC process teams to work at DEFCo to coordinate the job. DEFCo's process engineers, specialists, and drafting department prepare the P&IDs. They do much of the detailed engineering (pipe sizes, valve specifications, etc.) as well as the actual drawing. The job may take two to six months. Every drawing is reviewed by DEFCo's project team and by ABC's team. If there are disagreements, the engineers and specialists from the companies must resolve them.*

*Finally, all the PFDs and the P&IDs are completed and approved. ABC can now go ahead with the construction. They may extend their contract with DEFCo to include this phase, or they may go out for construction bids from a number of sources.*

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

Il modo più chiaro ed efficiente per comunicare delle informazioni relative ad un *processo chimico* è quello di utilizzare dei *diagrammi di flusso* (*flow diagrams*)

L'informazione visiva rappresenta la via migliore e più trasparente per presentare i dati provenienti dalla progettazione e per evitare incomprensioni e ambiguità.

Si adotta ovunque possibile la *terminologia* e la *simbologia inglese* dato che nella maggior parte dei casi la documentazione prodotta da una ditta di ingegneria è per commesse estere.



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## BFD - Block Flow Diagram

Partendo da un diagramma input-output del processo lo si suddivide nei suoi blocchi funzionali principali quali: la sezione di reazione, quella di separazione, ecc. Si aggiungono poi le correnti di riciclo e di bilanci materiali preliminari.

## PFD - Process Flow Diagram

Il passo successivo è quello di valutare e quantificare in modo esaustivo i bilanci materiali ed energetici per tutte le correnti del processo. Si aggiungono poi le specifiche dimensionali preliminari delle apparecchiature.

## P&ID - Piping and Instrumentation Diagram

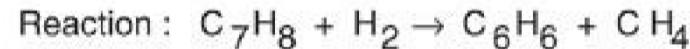
Si introducono le specifiche descriventi i dettagli meccanici e della strumentazione di processo



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## BFD: Block Flow Diagram

*...often an initial step was to convert a word problem into a simple block diagram*



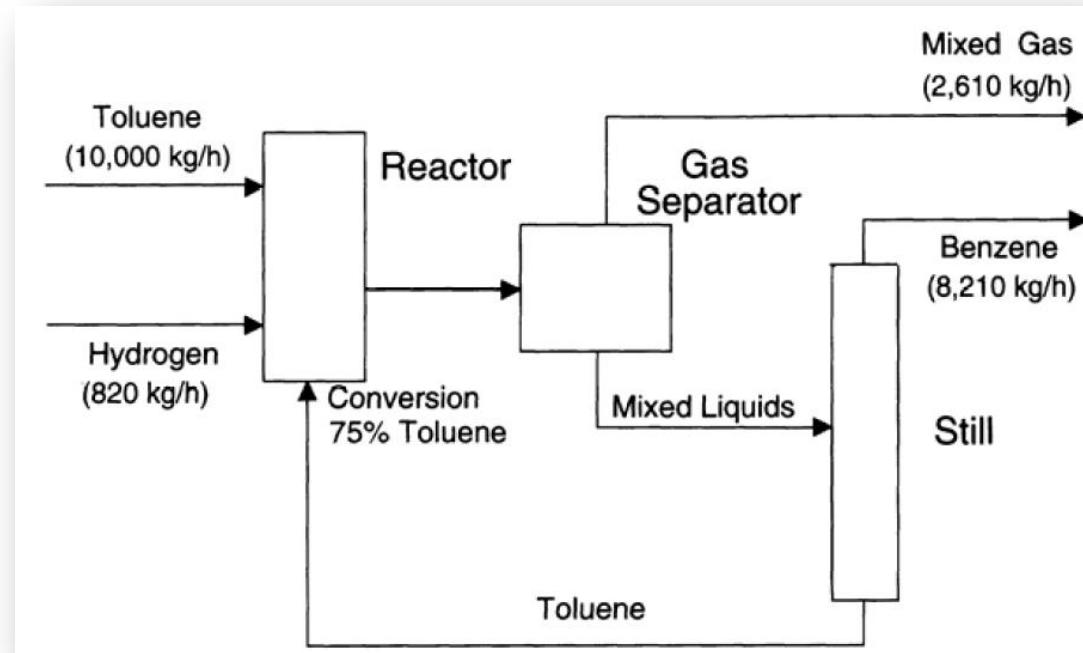
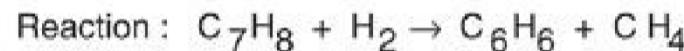
Toluene and hydrogen are converted in a reactor to produce benzene and methane. The reaction does not go to completion, and excess toluene is required. The noncondensable gases are separated and discharged. The benzene product and the unreacted toluene are then separated by distillation. The toluene is then recycled back to the reactor and the benzene removed in the product stream.



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## BFD: Block Flow Diagram

**Block Flow Process Diagram for the Production of Benzene via the Hydrodealkylation of Toluene (HDA process)**

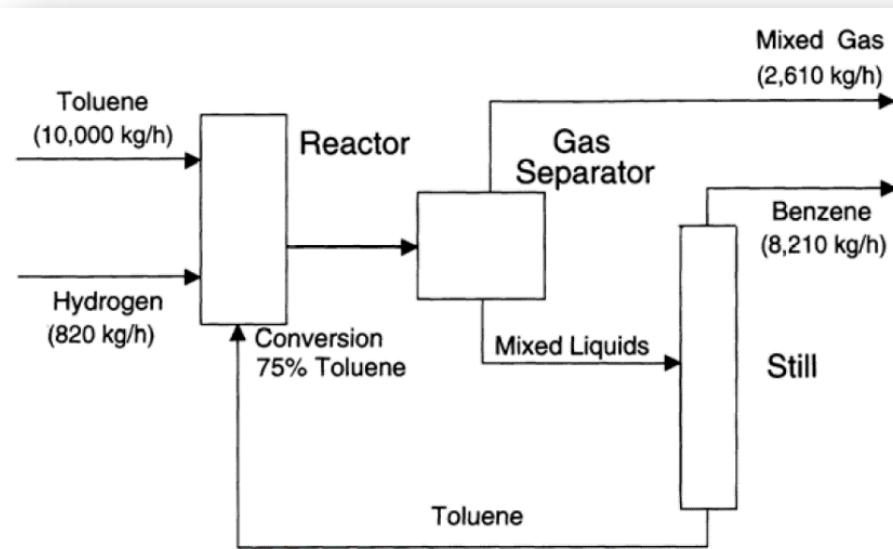


# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## BFD: Block Flow Diagram

### Conventions and Format Recommended for Laying Out a Block Flow Process Diagram

1. Operations shown by blocks
2. Major flow lines shown with arrows giving direction of flow
3. Flow goes from left to right whenever possible

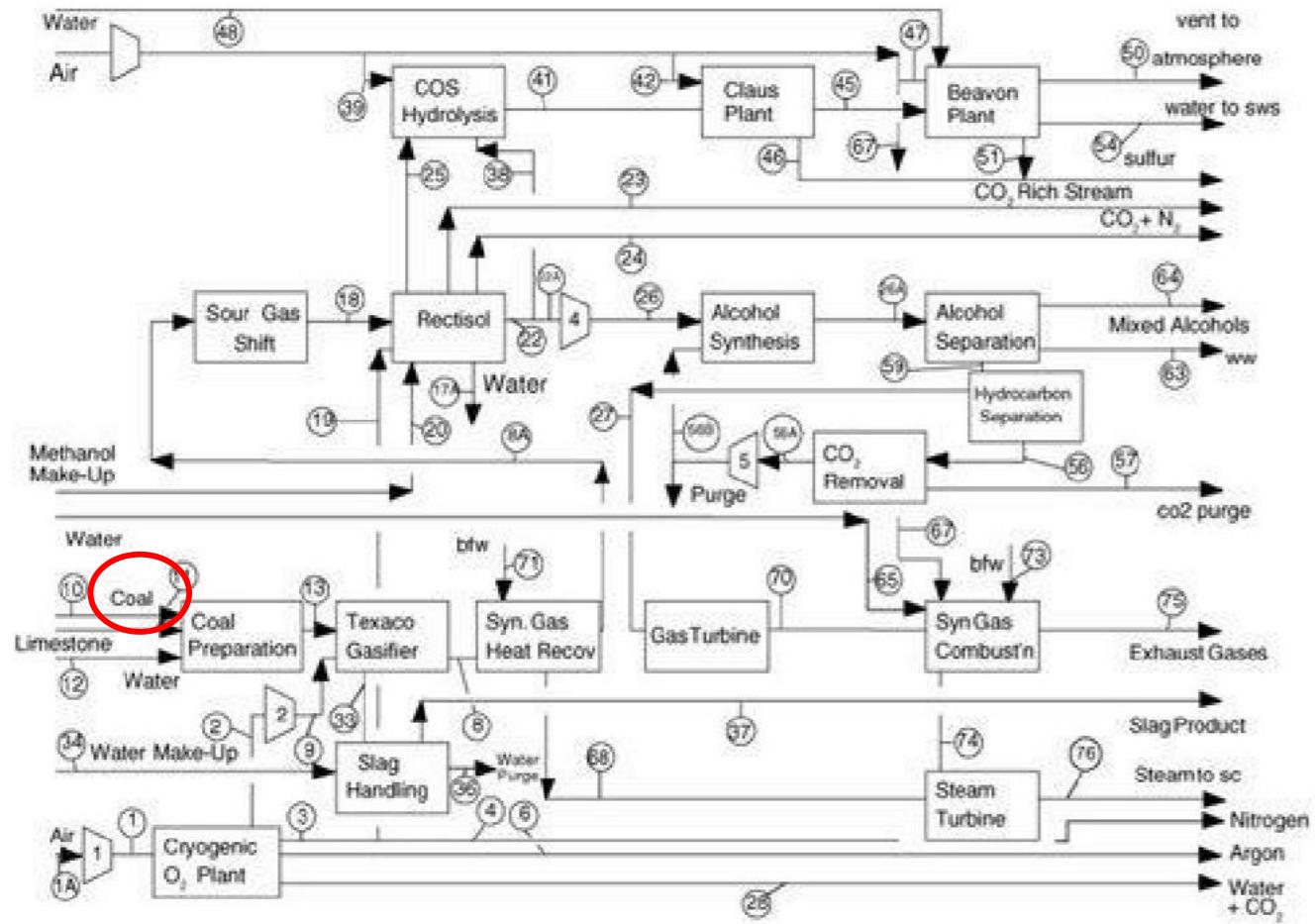


4. Light stream (gases) toward top with heavy stream (liquids and solids) toward bottom
5. Critical information unique to process supplied
6. If lines cross, then the horizontal line is continuous and the vertical line is broken
7. Simplified material balance provided

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## BFD: Block Flow Plant Diagram

### Block Flow Plant Diagram of a Coal to Higher Alcohol Fuels Process

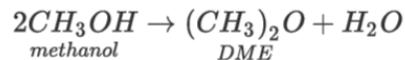


# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## BFD: Block Flow Diagram

DME is used primarily as an aerosol propellant. It is miscible with most organic solvents, has a high solubility in water, and is completely miscible in water and 6% ethanol. Recently, the use of DME as a fuel additive for diesel engines has been investigated due to its high volatility (desirable for cold starting) and high cetane number.

The production of DME is via the catalytic dehydration of methanol over an acid zeolite catalyst. The main reaction is



### Process description

Fresh methanol is combined with recycled reactant, and vaporized prior to being sent to a fixed bed reactor operating between 250°C and 370°C. The singlepass conversion of methanol in the reactor is 80%.

The reactor effluent is then cooled prior to being sent to the first of two distillation columns. DME product is taken overhead from the first column. The second column separates the water from the unused methanol. The methanol is recycled back to the front end of the process, and the water is sent to wastewater treatment to remove trace amounts of organic compounds.

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

Non esiste una nomenclatura definita ed universalmente accettata. In generale comunque, un PFD contiene le seguenti informazioni:

- a. Tutte le apparecchiature più importanti vengono mostrate insieme con un a breve descrizione; ogni apparecchiatura è individuata da un codice.
- b. Tutte le correnti di processo vengono mostrate ed identificate con un numero; ogni corrente riporta le condizioni di processo e la composizione. Questi dati possono essere riportati direttamente sul PFD oppure in una tabella riassuntiva allegata (*flow summary table o stream table*).
- c. Vengono riportate e descritte tutte le utility alle apparecchiature dell'impianto
- d. Sono infine indicati i loop di controllo principali

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

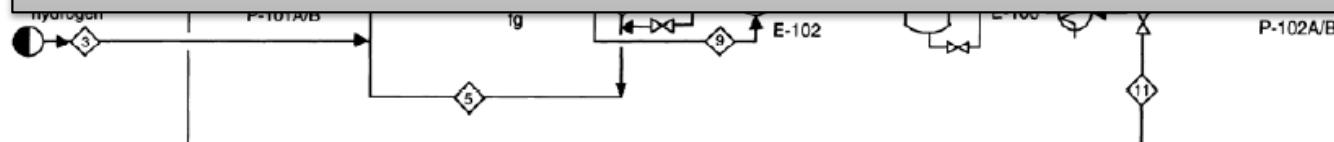
## PFD: Process Flow Diagram

### Production of Benzene via the Hydrodealkylation of Toluene (HDA)

TK-101	P - 101 A/B	E - 101	H - 101	R - 101	C - 101 A/B	E - 102	V - 101	V - 103	E - 103	E - 106	T - 101	E - 104	V - 102	P - 102 A/B	E - 105
Toluene Storage Tank	Toluene Pump	Feed Preheat.	Feed Heater	Reactor	Recycle Gas Compssor	Reactor H.P. Effluent Cooler	L.P. Phase Separotor	Phase Separotor	Tower Feed Heater	Benz. Reboiler	Benz. Tower	Benz. Condens.	Reflux Drum	Reflux Pumps	Product Cooler

Le informazioni riportate da un PFD possono essere così riassunte:

- Topologia del processo
- Informazioni relative alle correnti (identificate con un numero)
- Informazioni relative alle apparecchiature rappresentate tramite icone (identificate con un codice)



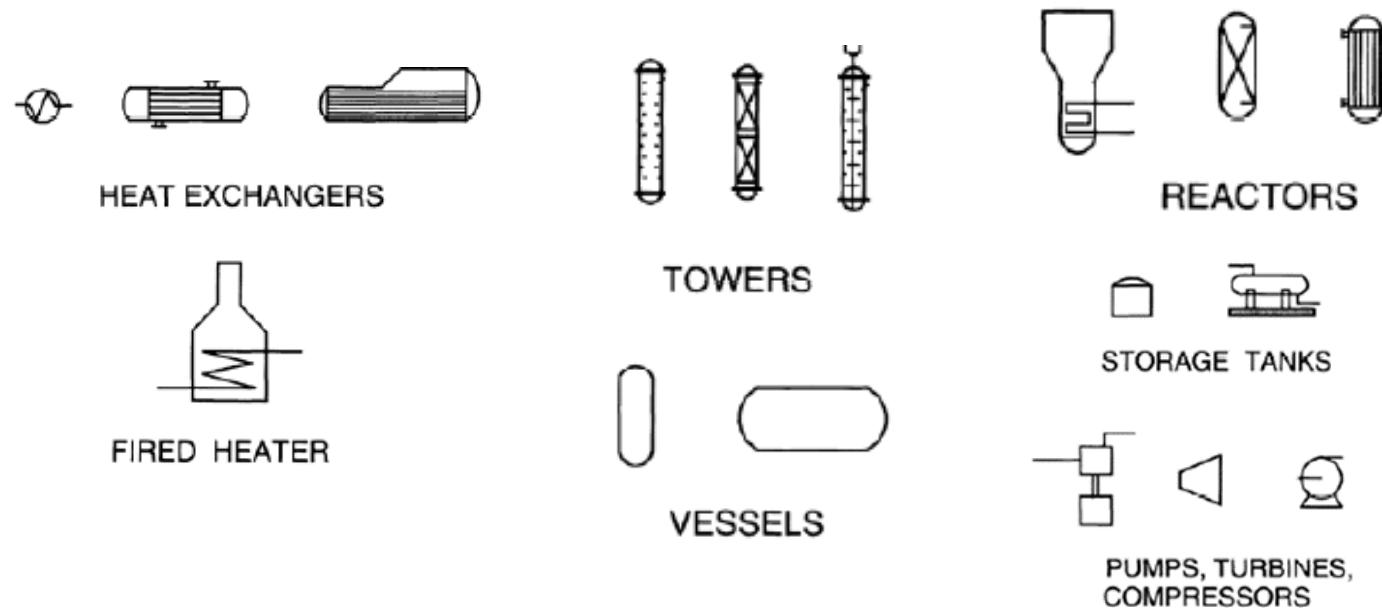
# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

### PFD: tipologia del processo

**Topologia del Processo:** posizione e interazione tra le apparecchiature (*equipment*) e le correnti (*process streams*)

- ✓ Le apparecchiature sono rappresentate tramite *icone*. L'ASME (American Society of Mechanical Engineers) pubblica periodicamente una lista di simboli da utilizzare nella produzione dei PFD.



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

### PFD: tipologia del processo

- ✓ Ogni apparecchiatura è identificata da un numero sul PFD

Convenzioni utilizzate per identificare le apparecchiature del processo

- ❑ Formato generale: **XX-YZZ A/B**
- ❑ **XX** sono le lettere di identificazione per la classificazione delle apparecchiature
  - C – Compressor, turbine
  - E – Heat Exchanger
  - H – Fired Heater
  - P – Pump
  - R – Reactor
  - T – Tower
  - TK – Storage Tank
  - V – Vessel
- ❑ **Y** individua l'area dell'impianto dove viene posizionata l'apparecchiatura
- ❑ **ZZ** indica il numero sequenziale dell'apparecchiatura specifica
- ❑ **A/B** indica apparecchiature in parallelo o di back-up



# Diagrammi nell’Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

### PFD: tipologia del processo

- ✓ Ogni apparecchiatura è identificata da un numero sul PFD

Ad esempio la pompa del toluene **P-101A/B** fornisce le seguenti indicazioni:

- **P-101A/B** identifica l’apparecchiatura come una pompa
- **P-101A/B** indica che la pompa è posizionata nell’area 100 dell’impianto
- **P-101A/B** indica che quella pompa specifica è la numero 01 dell’area 100
- **P-101A/B** indica che sono installate in realtà due pompe: P-101A e P-101. La seconda è di back-up. Normalmente non lavora ma entra in funzione quando la prima si rompe o deve essere manutenuta.
- Il termine “Toluene feed pump” è il nome che identifica in modo colloquiale la P101 e viene utilizzato nelle discussioni sul processo.



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

### PFD: informazioni correnti di processo

- ✓ Ogni corrente è identificata da un numero sul PFD

Convenzioni utilizzate per identificare le correnti di processo

- ❑ Ogni corrente di processo è identificata da un numero contenuto in un rombo a cavallo della stessa. La direzione della corrente è definita da una o più frecce.
- ❑ Le utility possono essere: elettricità, aria compressa, acqua di raffreddamento, acqua refrigerata, vapore, condensato, gas inertii, fogna chimica, trattamento acque e torce. Si adotta la seguente simbologia:

- **lps** low pressure steam 3-5 barg (sat)
- **mps** medium pressure steam 10-15 barg (sat)
- **hps** high pressure steam 40-50 barg (sat)
- **htm** heat transfer medium (organic): to 400°C
- **cw** cooling water: from cooling tower 30°C returned at less than 45°C
- **wr** river water: from river 25°C returned at less than 35°C
- **rw** refrigerated water: in at 5°C returned at less than 15°C
- **rb** refrigerated brine: in at -45°C returned at less than 0°C
- **cs** chemical waste water with high COD
- **ss** sanitary waste water with high BOD
- **el** electric energy (specify 220, 380, 440, 660V service)
- **ng** natural gas
- **fg** fuel gas
- **fo** fuel oil
- **fw** fire water



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

- ✓ Ogni corrente è identificata da un numero sul PFD

Una tabella riassuntiva riporta i dati relativi alle correnti di processo

### Informazioni essenziali

- Stream number
- Temperature [°C]
- Pressure [bar]
- Vapor Fraction —> Indica se la corrente e` liquida o vapore
- Total Mass Flow Rate [kg/h]
- Total Mole Flow Rate [kmol/h]
- Individual Component Flow Rates [kmol/h]

Variabili di processo

### Informazioni opzionali

- Component Mole Fractions } Sono in realtà informazioni essenziali
- Component Mass Fractions }
- Individual Component Flow Rates [kg/h]
- Volumetric Flow Rates [m<sup>3</sup>/h]
- Significant Physical Properties: Density, Viscosity, ...
- Thermodynamic Data: Heat Capacity, Enthalpy, K-values,...
- Stream name



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

- ✓ Ogni corrente è identificata da un numero sul PFD

Una tabella riassuntiva (*stream table*) riporta i dati relativi alle correnti di processo

Table 1.5 Flow Summary Table for the Benzene Process Shown in Figure 1.3 (and Figure 1.5)

Stream Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Temperature (°C)	25	59	25	225	41	600	41	38	654	90	147	112	112	112	38	38
Pressure (bar)	1.90	25.8	25.5	25.2	25.5	25.0	25.5	23.9	24.0	2.6	2.8	3.3	2.5	3.3	2.3	2.5
Vapor Fraction	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
Mass Flow (tonne/h)	10.0	13.3	0.82	20.5	6.41	20.5	0.36	9.2	20.9	11.6	3.27	14.0	22.7	22.7	8.21	2.61
Mole Flow (kmol/h)	108.7	144.2	301.0	1204.4	758.8	1204.4	42.6	1100.8	1247.0	142.2	35.7	185.2	290.7	290.7	105.6	304.6
Component Mole Flow (kmol/h)	→ Non dà la composizione, ma la portata dei singoli componenti															
Hydrogen	0.0	0.0	286.0	735.4	449.4	735.4	25.2	651.9	652.6	0.02	0.0	0.0	0.02	0.0	0.0	178.0
Methane	0.0	0.0	15.0	317.3	302.2	317.3	16.95	438.3	442.3	0.88	0.0	0.0	0.88	0.0	0.0	123.2
Benzene	0.0	1.0	0.0	7.6	6.6	7.6	0.37	9.55	116.0	106.3	1.1	184.3	289.46	289.46	105.2	2.85
Toluene	108.7	143.2	0.0	144.0	0.7	144.0	0.04	1.05	36.0	35.0	34.6	0.88	1.22	1.22	0.4	0.31

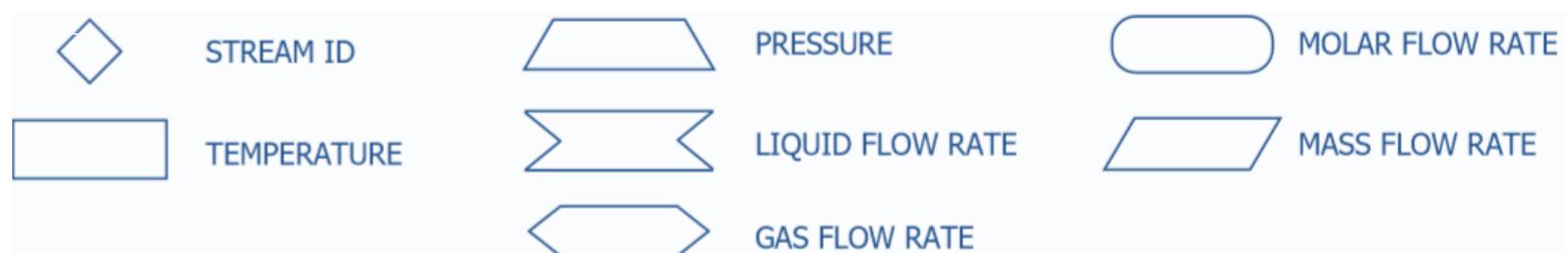
# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

- ✓ Ogni corrente è identificata da un numero sul PFD

Una tabella riassuntiva riporta i dati relativi alle correnti di processo

È possibile inserire nel PFD delle informazioni, esplicite relative alle correnti di processo, facendo uso di speciali “flag”: Contengono un’etichetta della variabile. Tali “flag” sono attaccati alle correnti cui fanno riferimento tramite un richiamo e delle caselle di testo di forma differente per indicare il valore di grandezze quali:



= Pressione di 25,5 bar  
nel flusso indicato (in rosso  
nel diagramma)

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

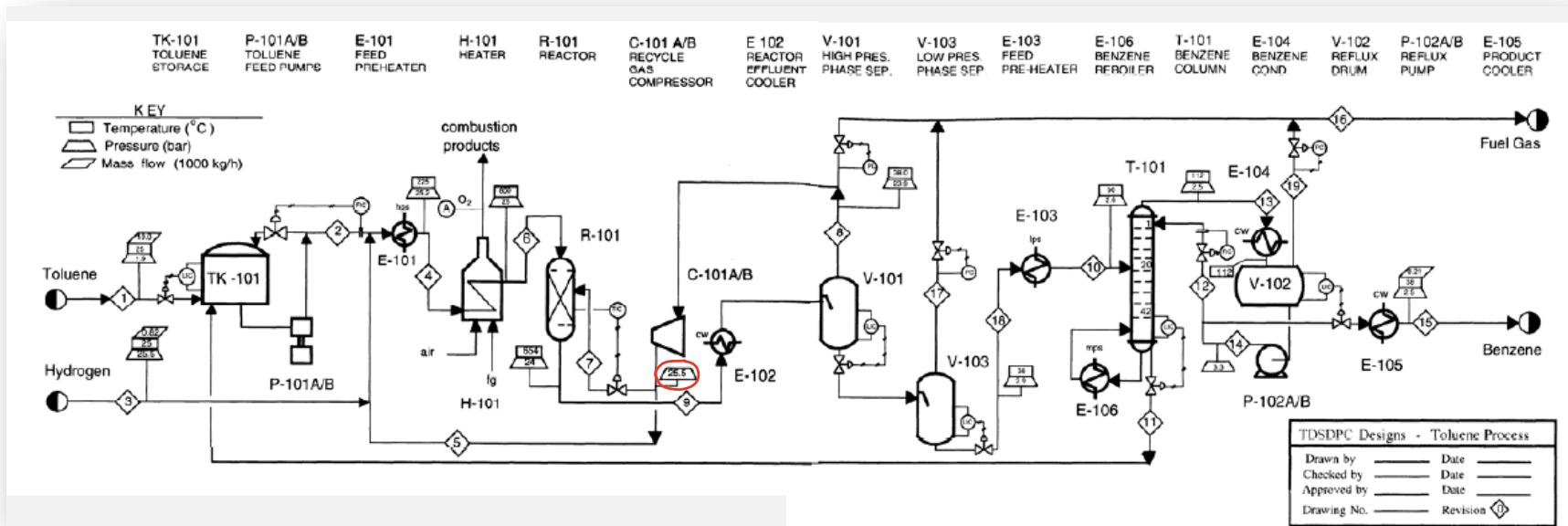
## PFD: Process Flow Diagram

✓ Ogni corrente è identificata da un numero sul PFD

Una tabella riassuntiva riporta i dati relativi alle correnti di processo

È possibile inserire nel PFD delle informazioni, esplicite relative alle correnti di processo, facendo uso di speciali “flag”.

Tali “flag” sono attaccati alle correnti cui fanno riferimento tramite un richiamo e delle caselle di testo di forma differente per indicare il valore di grandezze quali temperatura o pressione.



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

### PFD: informazioni sulle apparecchiature

Equipment type	Description of the equipment
<b>Towers</b>	Size (height and diameter), Pressure, Temperature, Number and type of trays, Height and type of packing, Materials of construction
<b>Heat Exchangers</b>	Type: gas-gas, gas-liquid, liquid-liquid, Condenser, Vaporizer Process: Duty, Area, Temperature and Pressure for both streams Number of shell and tube passes Materials of construction: shell and tubes
<b>Tanks, Vessels</b>	Height, Diameter, Orientation, Pressure, Temperature, Materials of construction
<b>Pumps</b>	Flow, Discharge, Pressure, Temperature, $\Delta P$ , Driver type, Shaft power, Materials of construction
<b>Compressors</b>	Actual inlet flow rate, Pressure, Temperature, Driver type, Shaft power, Materials of construction
<b>Heaters (fired)</b>	Type, Tube pressure, Tube temperature, Duty, Fuel, Materials of construction
<b>Others</b>	Provide critical information

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

DA UNA STIMA  
o Di Castro

## PFD: Process Flow Diagram

Table 1.7 Equipment Summary for Toluene Hydrodealkylation PFD

Heat Exchangers	E-101	E-102	E-103	E-104	E-105	E-106
Type	Fl.H.	Fl.H.	MDP	Fl.H.	MDP	Fl.H.
Area (m <sup>2</sup> )	36	763	11	35	12	80
Duty (MJ/h)	15,190	46,660	1055	8335	1085	9045
<b>Shell</b>						
Temp. (°C)	225	654	160	112	112	185
Pres. (bar)	26	24	6	3	3	11
Phase	Vap.	Par. Cond.	Cond.	Cond.	I	Cond.
MOC	316SS	316SS	CS	CS	CS	CS
<b>Tube</b>						
Temp. (°C)	258	40	90	40	40	147
Pres. (bar)	42	3	3	3	3	3
Phase	Cond.	I	I	I	I	Vap.
MOC	316SS	316SS	CS	CS	CS	CS
<b>Vessels/Tower/Reactors</b>						
	V-101	V-102	V-103	V-104	T-101	R-101
Temperature (°C)	55	38	38	112	147	660
Pressure (bar)	2.0	24	3.0	2.5	3.0	25
Orientation	Horizontal	Vertical	Vertical	Horizontal	Vertical	Vertical
MOC	CS	CS	CS	CS	CS	316SS
<b>Size</b>						
Height/Length (m)	5.9	3.5	3.5	3.9	29	14.2
Diameter (m)	1.9	1.1	1.1	1.3	1.5	2.3
Internals		s.p.	s.p.		42 sieve trays 316SS	Catalyst packed bed-10m

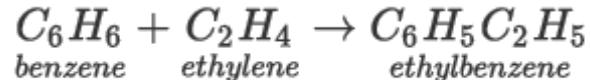


# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

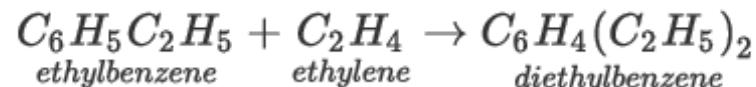
## PFD: Process Flow Diagram

### Example: Ethylbenzene production

The production of EB takes place via the direct addition reaction between ethylene and benzene:



The reaction between EB and ethylene to produce DEB also takes place:



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

### Example: Ethylbenzene production

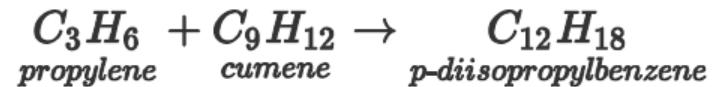
A refinery cut of benzene is mixed with the recycled benzene and sent to a fired heater (H-301) to bring it to reaction temperature (approximately 400°C). The preheated benzene is mixed with feed ethylene just prior to entering the first stage of a reactor system consisting of three adiabatic packed-bed reactors (R-301 to R-303), with interstage feed addition and cooling. Reaction occurs in the gas phase and is exothermic. The hot, partially converted reactor effluent leaves the first packed bed, is mixed with more feed ethylene, and is fed to E-301, where the stream is cooled to 380°C prior to passing to the second reactor (R-302), where further reaction takes place. High-pressure steam is produced in E-301, and this steam is subsequently used in the styrene unit. The effluent stream from R-302 is similarly mixed with feed ethylene and is cooled in E-302 (with generation of high-pressure steam) prior to entering the third and final packed-bed reactor, R-303. The effluent stream leaving the reactor contains products, byproducts, unreacted benzene, and small amounts of unreacted ethylene and other noncondensable gases. The reactor effluent is cooled in two waste-heat boilers (E-303 and E-304), in which high-pressure and low-pressure steam, respectively, is generated. This steam is also consumed in the styrene unit. The mixture leaving E-304 is sent to a cooler (E305), where the stream is cooled to 80°C, and then to a twophase separator (V-302), where the light gases are separated and, because of the high ethylene conversion, are sent overhead as fuel gas. The condensed liquid is then sent to the benzene tower, T-301, where the unreacted benzene is separated as the overhead product and returned to the front end of the process. The bottoms product from the first column is sent to T-302, where product EB (at 99.8 mol% and containing less than 2 ppm diethylbenzene [DEB]) is taken as the top product and is sent directly to the styrene unit.

The bottoms product from T-302 contains all the DEB and trace amounts of higher ethylbenzenes. This stream is mixed with recycle benzene and passes through a second heater (H-302) prior to being sent to a fourth packed-bed reactor (R304), in which the excess benzene is reacted with the DEB to produce EB and unreacted benzene. The effluent from this reactor is mixed with the liquid stream leaving the third reactor (R-303).

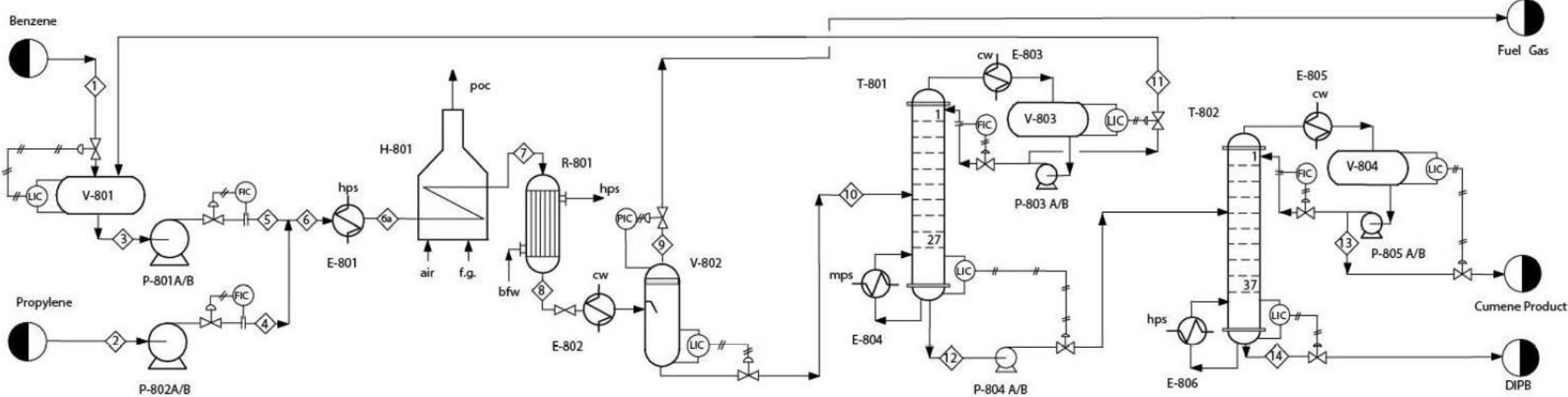
# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## PFD: Process Flow Diagram

### Example: Cumene production



V-801	P-801A/B	P-802A/B	E-801	H-801	R-801	E-802	V-802	T-801	E-803	V-803	P-803A/B	E-804	P-804A/B	T-802	E-805	E-806	V-804	P-305A/B
Benzene Feed Drum	Benzene Feed Pumps	Propylene Feed Pumps	Feed Vaporizer	Reactor Feed Heater	Reactor	Effluent Cooler	Phase Separator	Benzene Column	Benzene Condenser	Benzene Reflux Drum	Benzene Reflux Pumps	Benzene Reboiler	Cumene Pumps	Cumene Column	Cumene Condenser	Cumene Reboiler	Cumene Reflux Drum	Cumene Reflux Pumps



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## P&ID: Piping & Instrumentation Diagram

Altro sinonimo di P&ID è MFD cioè Mechanical Flow Diagram. Contiene i dati necessari per iniziare a pianificare la costruzione dell'impianto.

*Permette effettivamente la costruzione dell'impianto*

Per ogni apparecchiatura sono riportati i dati meccanici e funzionali, eccetto:

- Condizioni operative: T e P
- Valori delle correnti
- Posizionamento delle apparecchiature
- Tubature: lunghezze e riempimenti
- Supporti, Strutture e Fondamenta

▽ E` il diagramma consegnato agli operatori che costruiscono l'impianto

- **STRUMENTI PER IL CONTROLLO DI PROCESSO** (ossia le variabili) e di intervento in caso di perturbazione delle variabili di processo (agisce sulle VALVOLE)

For Equipment – show every piece including:	Spare units, Parallel units, Summary detail on each unit
For piping – Include all lines including Drains, and specify:	Size (standard), Thickness, Materials of construction, Insulation (thickness and type)
For instruments – Identify:	Indicators, Recorders, Controllers, Show instrument lines
For utilities – Identify:	Entrance utilities, Exit utilities, Exit to waste treatment facilities

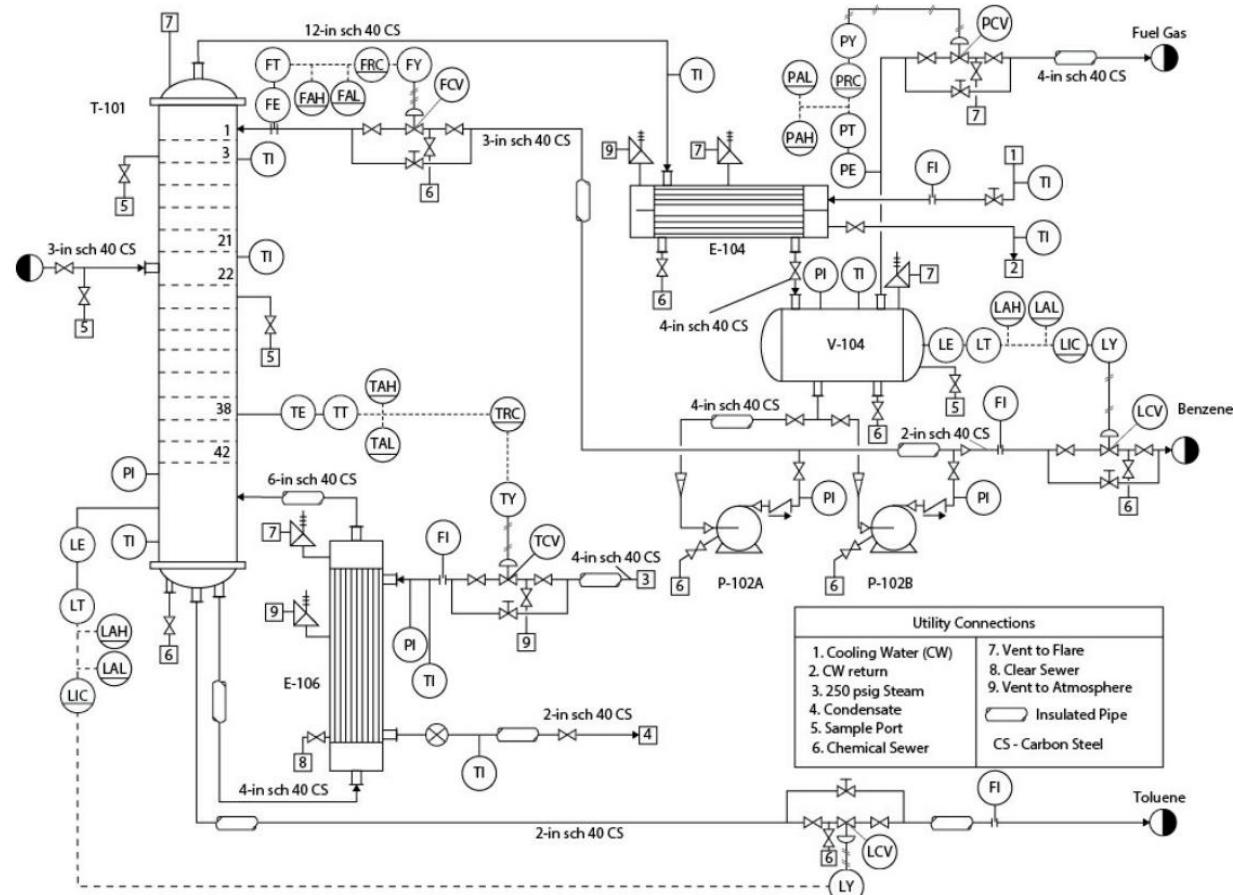


# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## P&ID: Piping & Instrumentation Diagram

### Piping and Instrumentation Diagram for Benzene Distillation

⚠   
 VALVOLE  
(Elementi di controllo)



- ✓ Utility connections are identified by a numbered box in the P&ID
- ✓ Circular flags: process control loops

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## P&ID: Piping & Instrumentation Diagram

### Conventions used for identifying Instrumentation on P&IDs

Significato delle lettere identificative



Strumentazione in campo = Lo leggo  
Sullo strumento

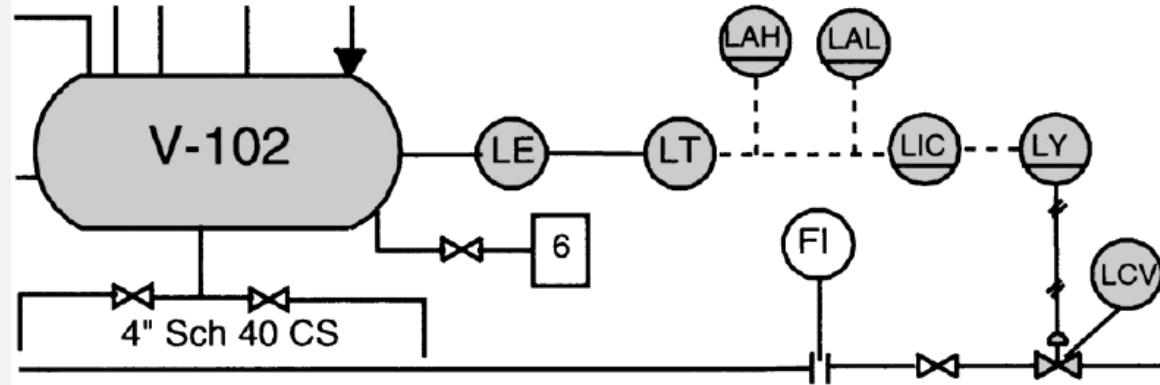
Strumentazione sul fronte del pannello di controllo in sala quadri (ossia mandato in sala controllo)

Strumentazione sul retro del pannello di controllo in sala quadri

Prima lettera: X		Seconda e terza lettera Y	
A	Analysis	A	Alarm
B	Burner flame	B	
C	Conductivity	C	Control
D	Density or specific gravity	D	
E	Voltage	E	Element
F	Flowrate	F	
H	Hand (manually initiated)	H	High
I	Current	I	Indicate
J	Power	J	
K	Time or time schedule	K	Control station
L	Level	L	Light or low
M	Moisture or humidity	M	Middle or intermediate
O		O	Orifice

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## P&ID: Piping & Instrumentation Diagram



Struttura del loop di controllo di livello per il serbatoio V-102

- **LE** sensore di livello posizionato sul serbatoio **V-102**
- **LT** trasmettitore di livello posizionato sul serbatoio **V-102**
- Invio del segnale tramite segnale elettrico - - - - - alla sala quadri
- **LIC** indicatore e controllore di livello in sala quadri
- Invio di un segnale elettrico - - - - - allo strumento **LY**
- **LY** strumento in grado di calcolare l'esatta apertura della valvola
- Invio di un segnale pneumatico (linea continua) alla valvola di controllo **LCV**
- **LAH** allarme di livello troppo alto in sala quadri (pannello frontale)
- **LAL** allarme di livello troppo basso in sala quadri (pannello frontale)

# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

P&ID: Piping & Instrumentation Diagram



The final control element in nearly all chemical process control loops is a valve

# Diagrammi nell’Ingegneria di Processo

## P&ID: Piping & Instrumentation Diagram

The P&ID is the last stage of process design and serves as a guide for those who will be responsible for the final design and construction.

Based on this diagram,

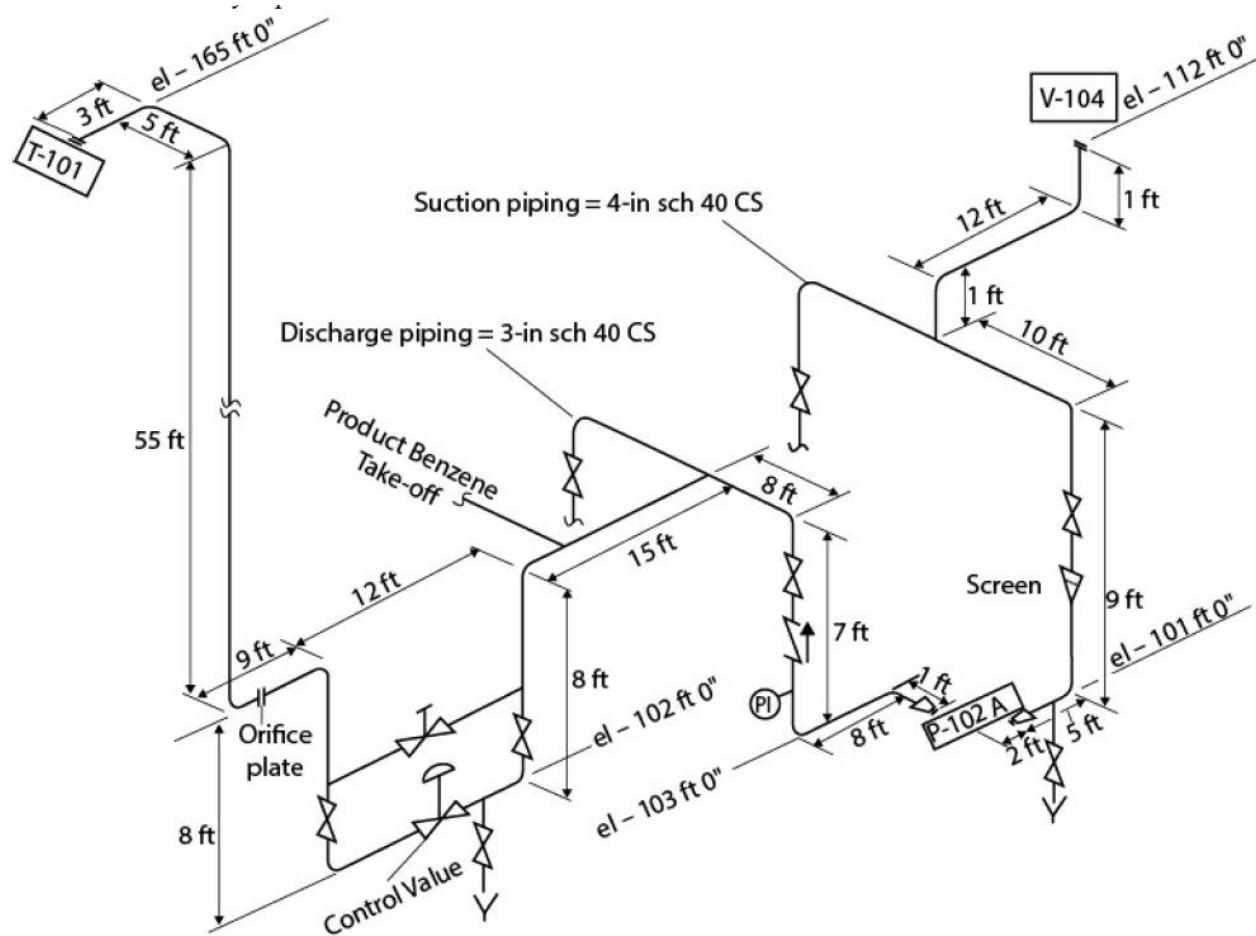
- ✓ Mechanical engineers and civil engineers will design and install pieces of equipment.
- ✓ Instrument engineers will specify, install, and check control systems.
- ✓ Piping engineers will develop plant layout and elevation drawings.
- ✓ Project engineers will develop plant and construction schedules.



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## THREE-DIMENSIONAL REPRESENTATION OF A PROCESS

Diagramma addizionale che fa vedere la tubazione in tre dimensioni  
*Piping isometric for the liquid line from overhead reflux drum (V-104) to the distillation tower (T-101)*

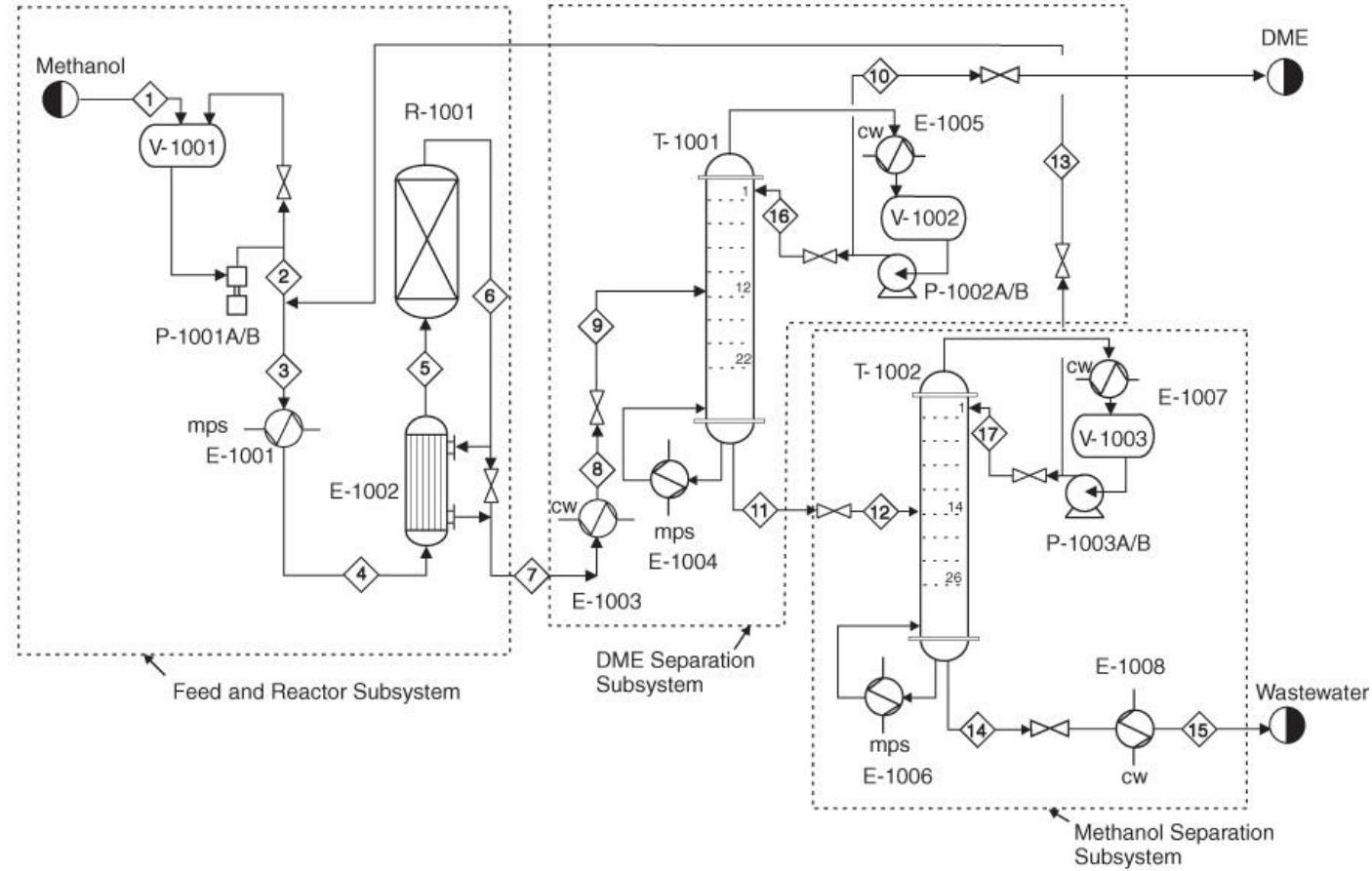


# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## THREE-DIMENSIONAL REPRESENTATION OF A PROCESS

### Subsystems for Preliminary Plan Layout for DME (dimethyl ether) Process

P-1001A/B V-1001 E-1001 R-1001 E-1002 E-1003 T-1001 E-1004 E-1005 V-1002 P-1002A/B E-1006 T-1002 E-1007 V-1003 P-1003A/B E-1008  
Feed Pump Feed Methanol Reactor Reactor DME DME DME DME DME DME Reflux Methanol Methanol Methanol Methanol Methanol Reflux Pumps  
Vessel Preheater Cooler Cooler Tower Reboiler Condenser Reflux Drum Reboiler Tower Condenser Reflux Drum Pumps Wastewater Cooler



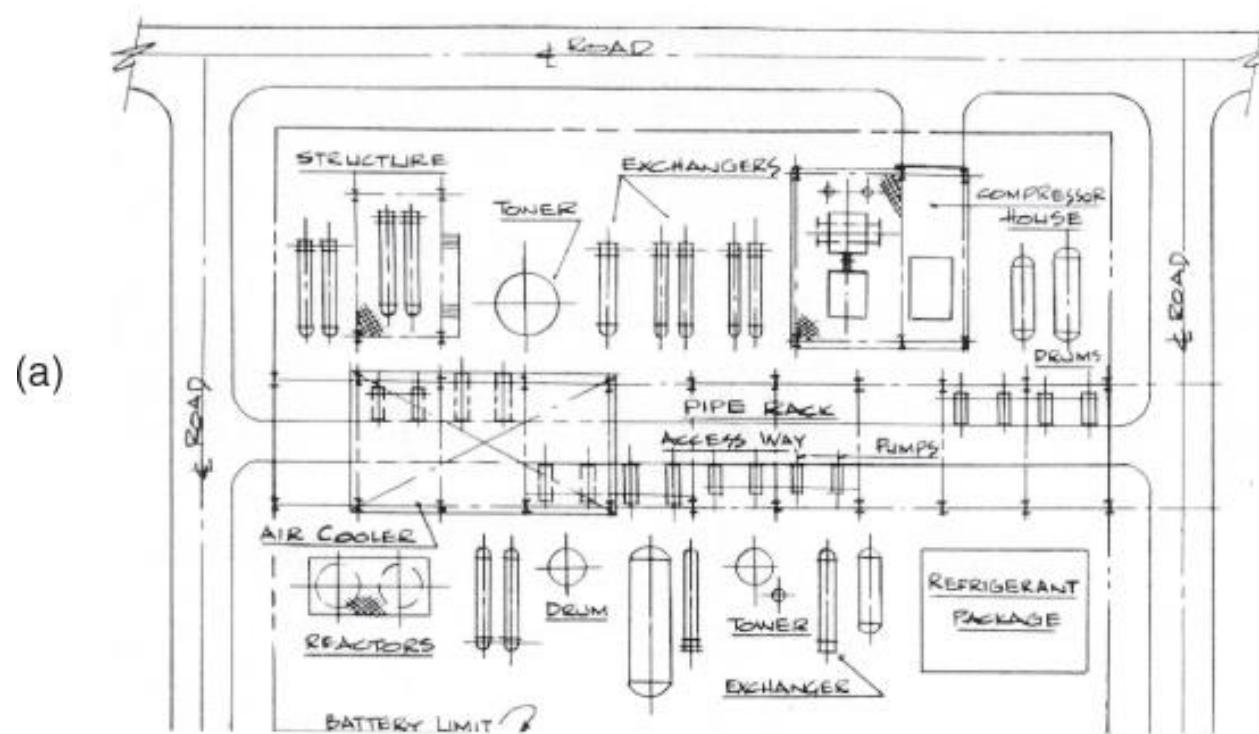
# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## THREE-DIMENSIONAL REPRESENTATION OF A PROCESS

### Subsystems for Preliminary Plan Layout for DME (dimethyl ether) Process

Different Types of Plant Layout:

- (a) Grade-Mounted, Horizontal, In-line Arrangement
- (b) Structure-Mounted Vertical Arrangement



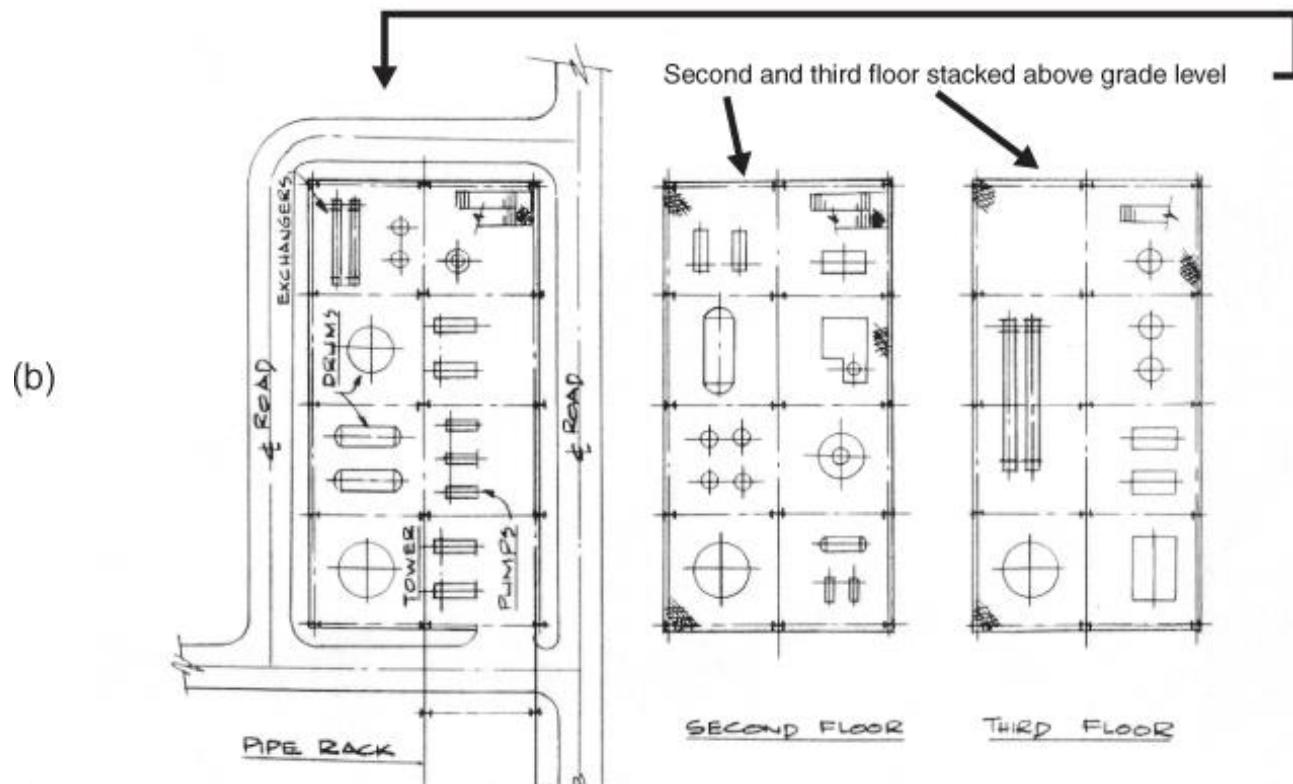
# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## THREE-DIMENSIONAL REPRESENTATION OF A PROCESS

### Subsystems for Preliminary Plan Layout for DME (dimethyl ether) Process

Different Types of Plant Layout:

- (a) Grade-Mounted, **Horizontal**, In-line Arrangement
- (b) Structure-Mounted **Vertical** Arrangement



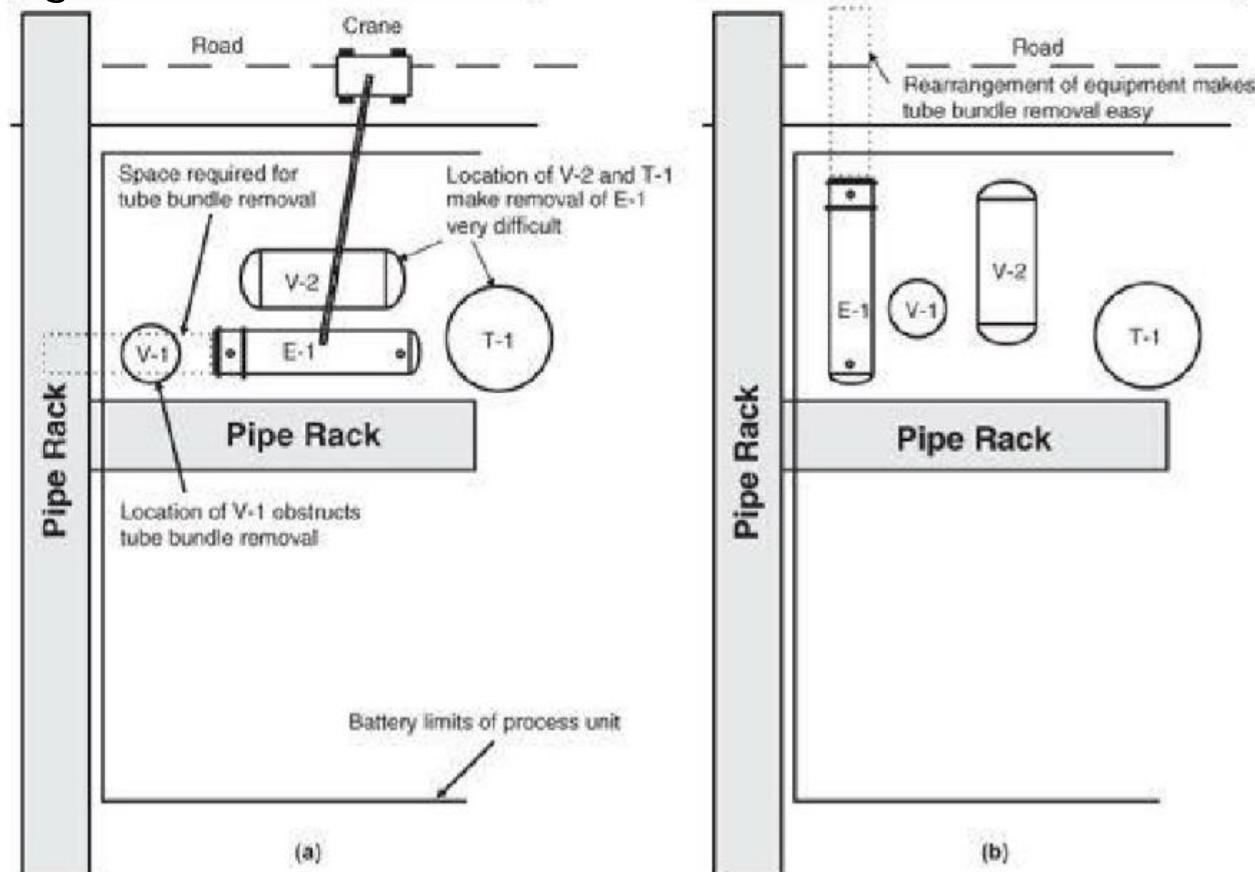
# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## THREE-DIMENSIONAL REPRESENTATION OF A PROCESS

### Subsystems for Preliminary Plan Layout for DME (dimethyl ether) Process

For each subsystem, a Plot Plant is created

Y Yanno programmati anche per facilitare la manutenzione in modo da avere spazio per operar

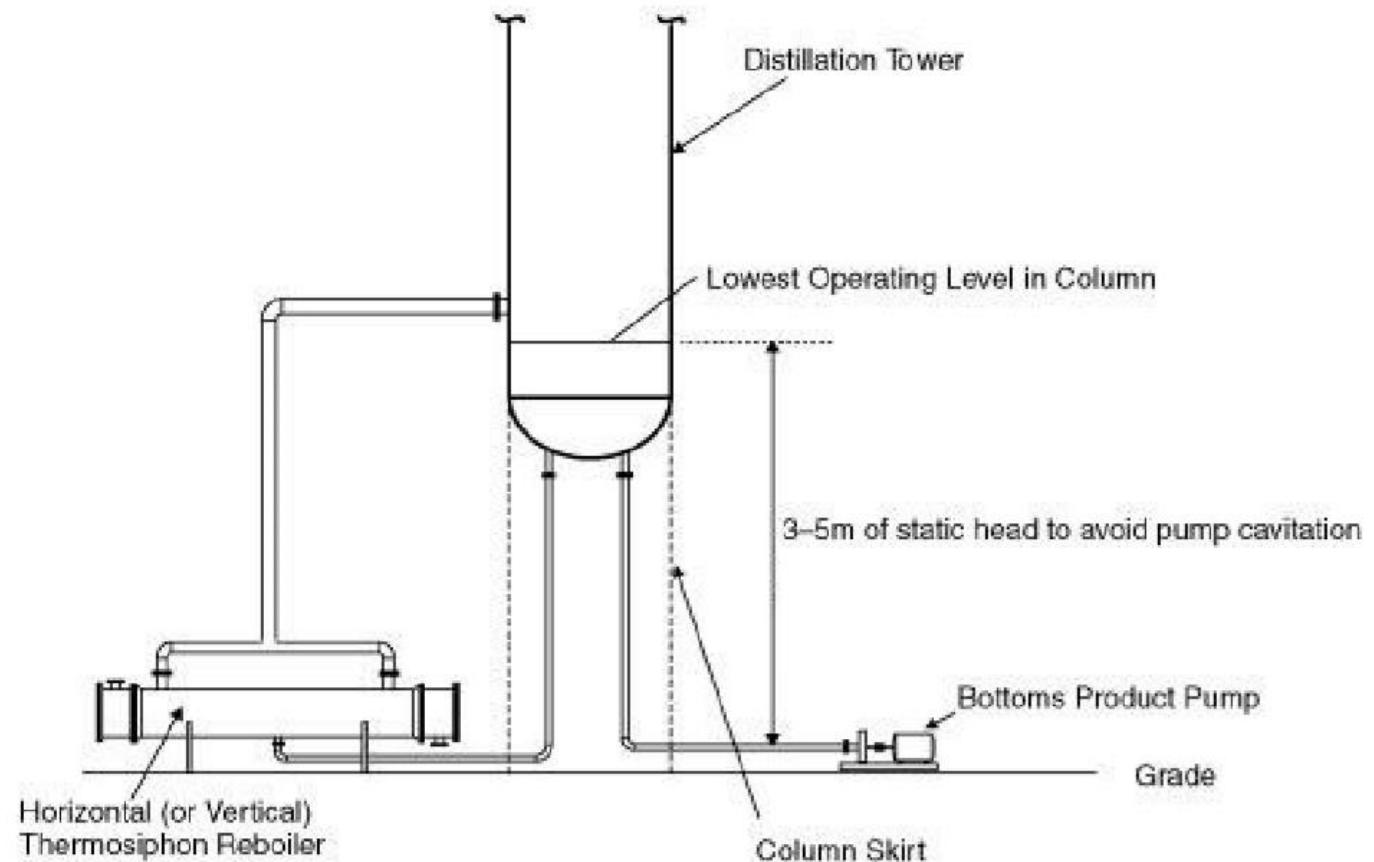


# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## THREE-DIMENSIONAL REPRESENTATION OF A PROCESS

### Subsystems for Preliminary Plan Layout for DME (dimethyl ether) Process

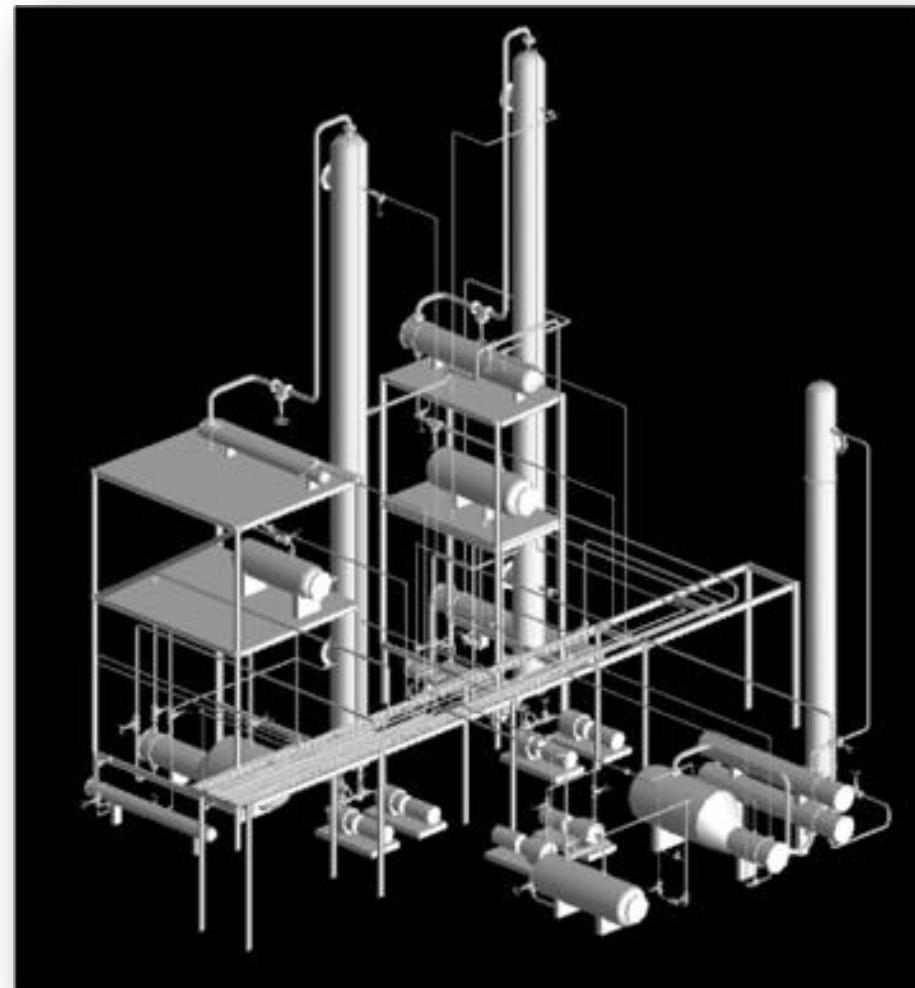
*Elevation of equipment*



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## THE 3-D PLANT MODEL

View of Preliminary 3-D Plant Layout Model for DME Process



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## 3-D IMMERSIVE TRAINING SIMULATORS (ITS)

*I bilanci materiali, i bilanci energetici e i calcoli di progettazione per le varie operazioni unitarie sono necessari per le specifiche di progettazione*

**Simulazione di processo**  
UniSim, Aspen Plus, ..

Al fine di aiutare gli operatori e gli ingegneri a capire come avviare e arrestare il processo, gestire le emergenze o operare in condizioni non progettuali, è possibile creare un **simulatore di addestramento dell'operatore (OTS – Operating Training Simulator)**

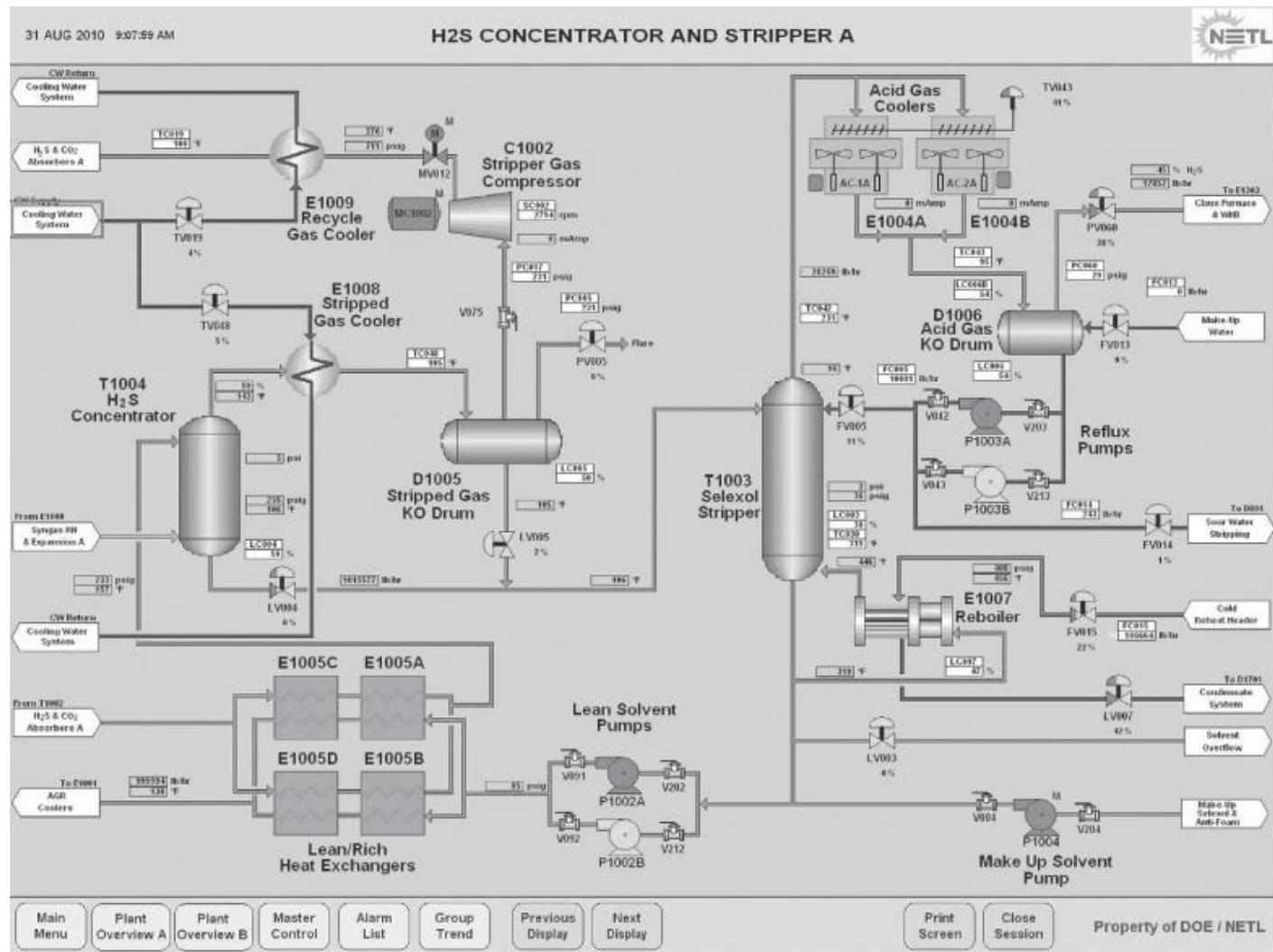
La base di un OTS è una simulazione dinamica (modello) del processo a cui è connessa un'**interfaccia uomo-macchina (HMI – Human Machine Interface)**.



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## 3-D IMMERSIVE TRAINING SIMULATORS (ITS)

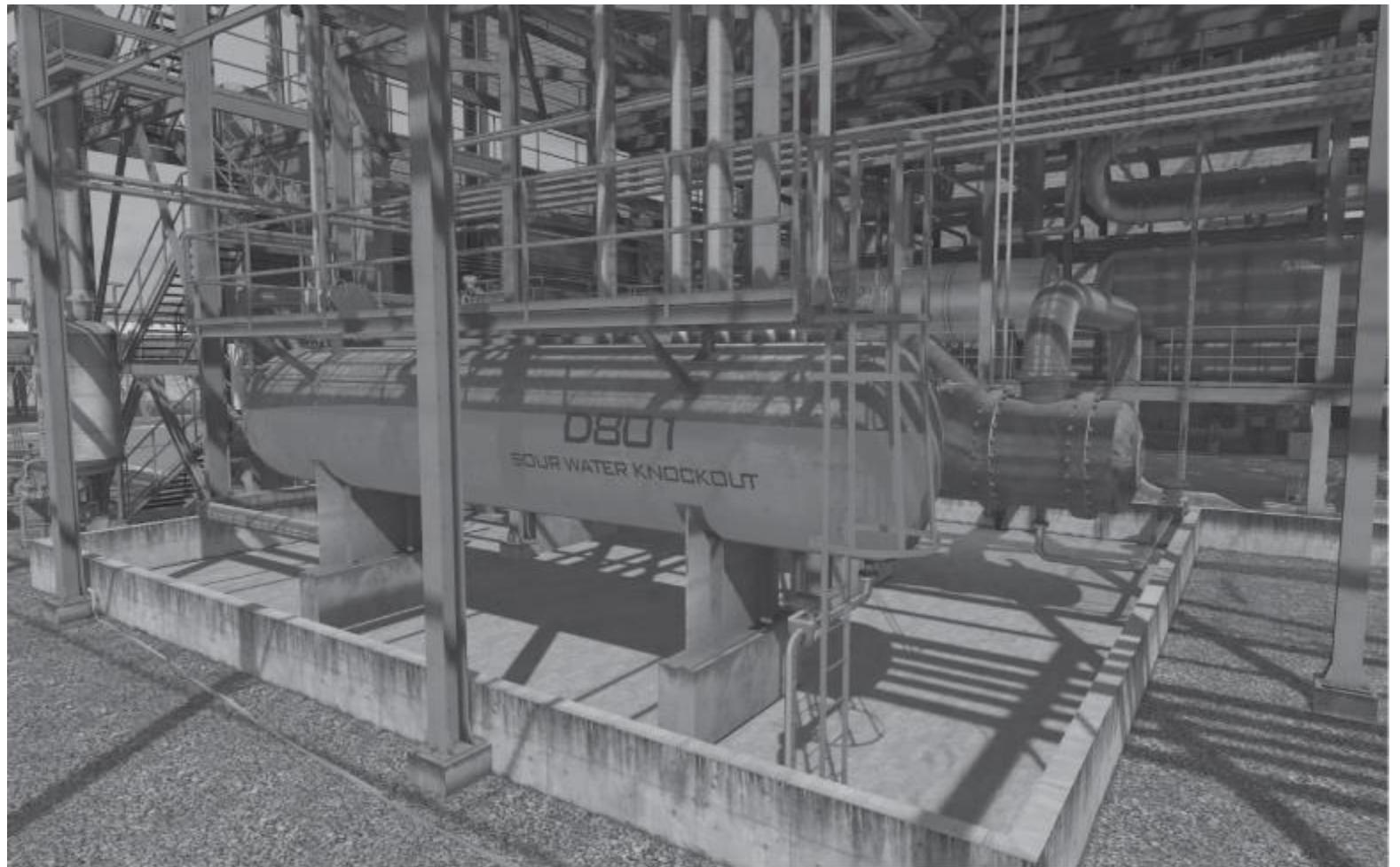
### Example of an HMI Interface for an OTS



# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## 3-D IMMERSIVE TRAINING SIMULATORS (ITS)

Simulatore di addestramento 3-D immersivo (ITS)



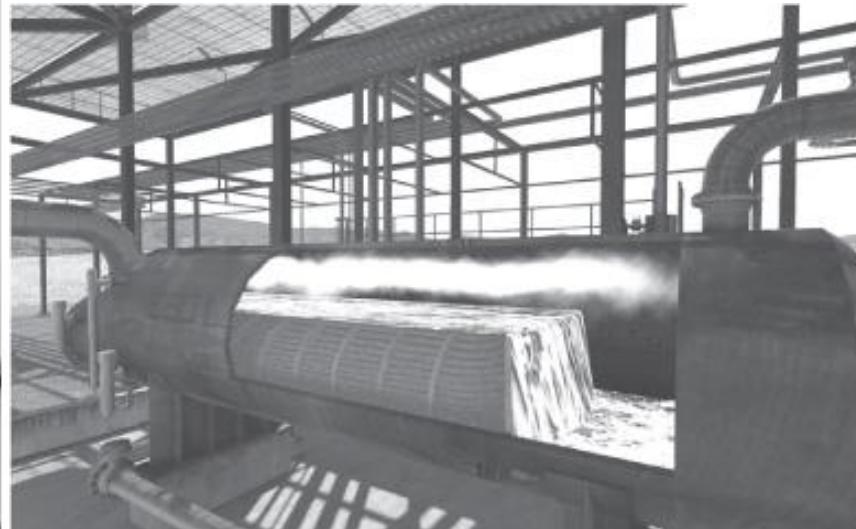
# Diagrammi nell'Ingegneria di Processo

## 3-D IMMERSIVE TRAINING SIMULATORS (ITS)

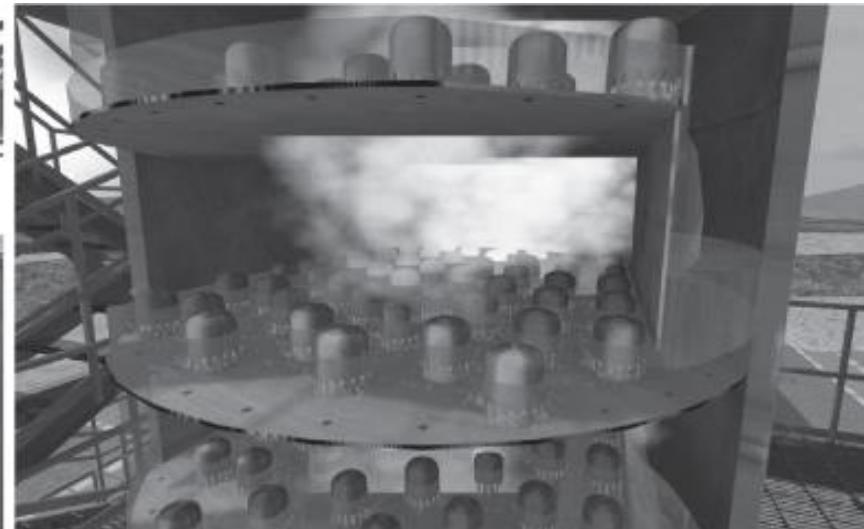
Simulatore di addestramento 3-D immersivo (ITS)

Augmented Reality

(a) Reboiler (b) Distillation Column



(a)



(b)

<https://www.youtube.com/watch?v=Hr8pKqfiCbY>