



# DISTILLAZIONE: PRINCIPI, FENOMENOLOGIA e APPLICAZIONI

---

CDS VITICOLTURA ed ENOLOGIA – UNIVERSITÀ DI TERAMO  
OPERAZIONI UNITARIE CON APPLICAZIONI

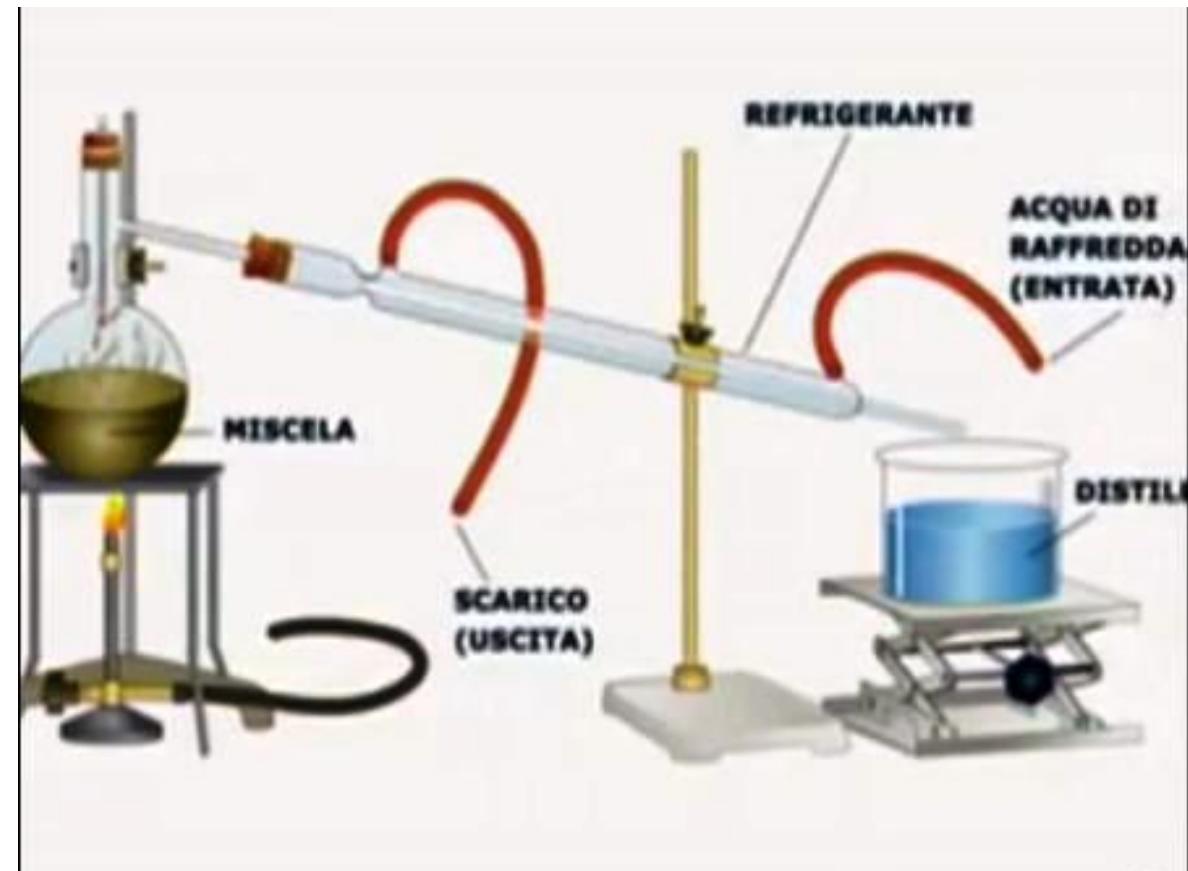
# Definizione

**DISTILLAZIONE** ---> operazione unitaria che separa i componenti di una miscela liquida sfruttando la diversa volatilità e l'equilibrio liquido-vapore.

**MECCANISMO OPERATIVO** ---> evaporazione selettiva del componente più volatile e successiva condensazione del vapore.

**OBIETTIVO** ---> ottenere un distillato arricchito nel componente più volatile.

**TIPOLOGIE PRINCIPALI** ---> semplice; frazionata; sotto vuoto; in corrente di vapore.

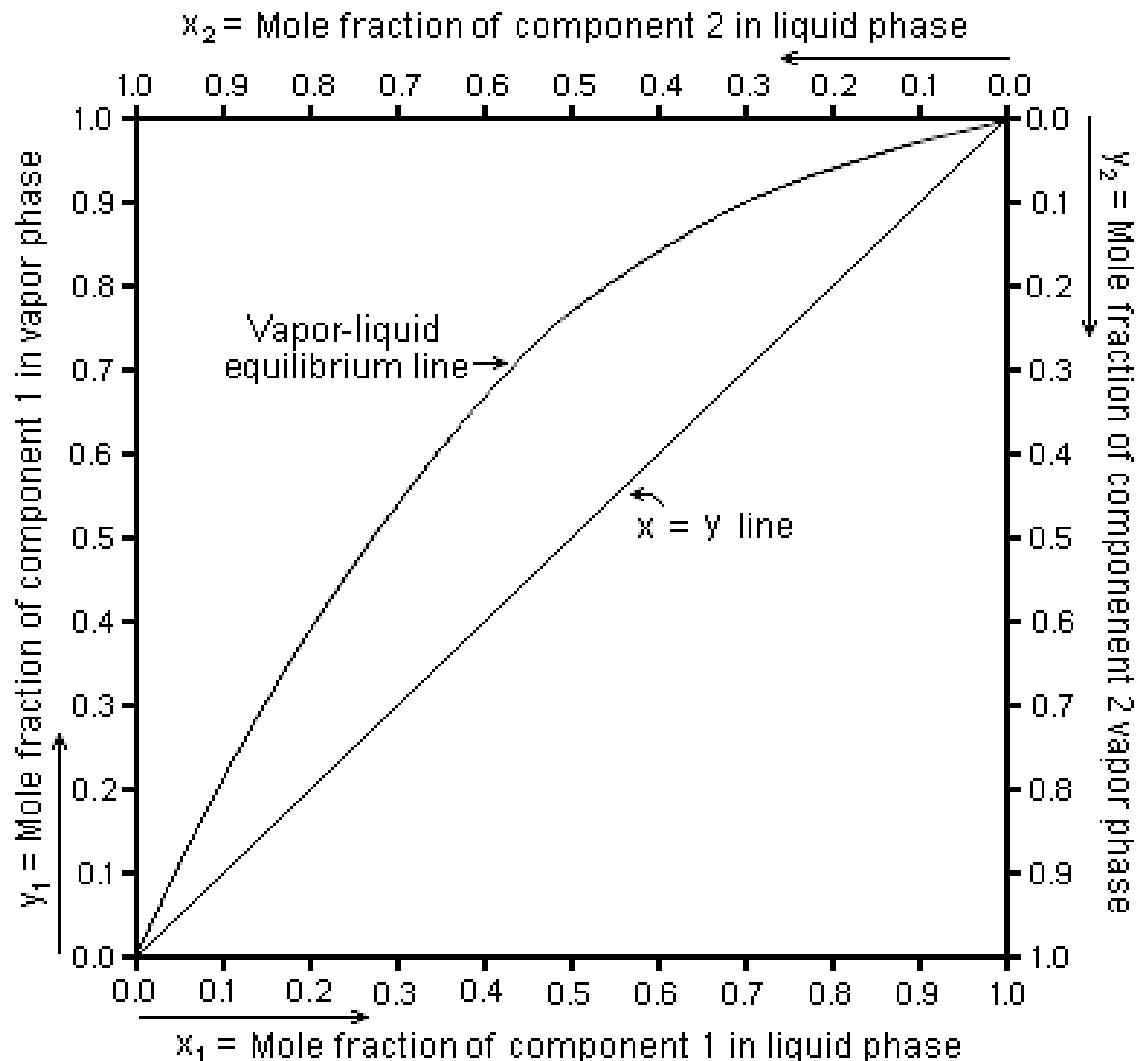


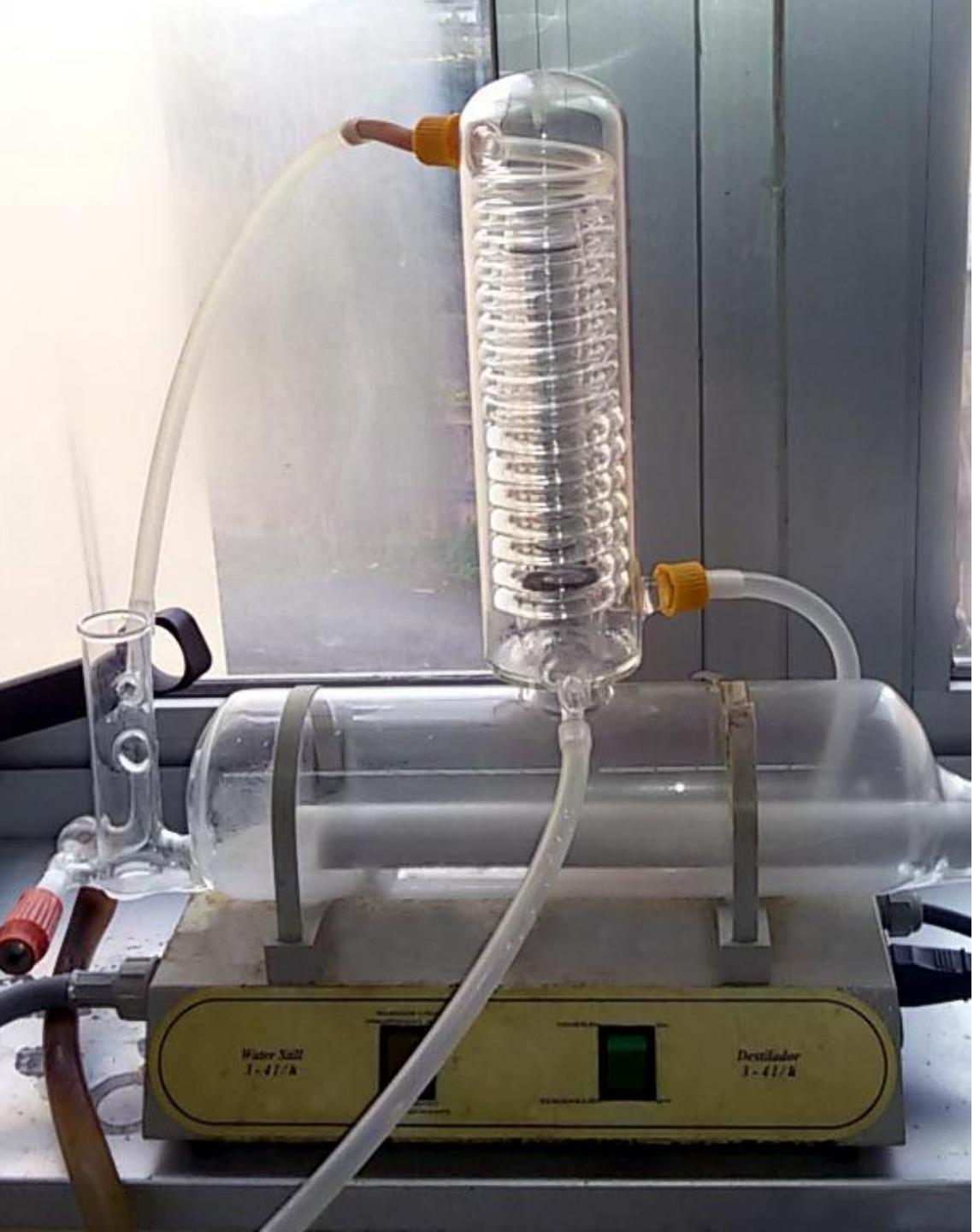
# Fenomenologia

**EQUILIBRIO LIQUIDO-VAPORE** ---> IN EQUILIBRIO LA COMPOSIZIONE QUALITATIVA DELLE SPECIE VOLATILI È LA STESSA NELLE DUE FASI, MA LA DISTRIBUZIONE QUANTITATIVA DIFFERISCE.

**DIAGRAMMA Y-X** ---> RELAZIONE  $y=F(x)$   $y=F(x)$ ; LA DISTANZA DALLA DIAGONALE  $45^\circ$  INDICA LA FACILITÀ DI SEPARAZIONE.

**ISOTERME E DIPENDENZA DALLA TEMPERATURA** ---> OGNI PUNTO DEL DIAGRAMMA CORRISPONDE A UNA TEMPERATURA DI EBOLLIZIONE DEL SISTEMA.





# Leggi DI EQUILIBRIO e BILANCI FONDAMENTALI

Legge DI RAOULT (MISCELE IDEALI) --->  $P_A = P_A^* \cdot X_A$

**Spiegazione:**  $P_A$  è la pressione parziale di A nella miscela;  $P_A^*$  è la pressione di vapore del componente puro;  $X_A$  è la frazione molare di A nel liquido. Valida per miscele ideali.

Legge DI Henry (regime DILUITO) --->  $P_A = H_A \cdot X_A$

**Spiegazione:**  $H_A$  è la costante di Henry; utile per componenti a bassa concentrazione.

# PROGETTAZIONE

## PARAMETRI DI PROGETTO:

- **PRESSIONE OPERATIVA** (p<sub>ATM</sub>, SOTTO VUOTO, corrente di vapore)
- NUMERO DI STADI DI EVAPORAZIONE-CONDENSAZIONE
- **REFLUSSO** (RAPPORTO TRA DISTILLATO e LIQUIDO RICICLATO)

**OBIETTIVO** ---> MASSIMIZZARE LA PUREZZA DEL DISTILLATO e MINIMIZZARE LE PERDITE.



# IL REFLUSSO

IL **REFLUSSO** NELLA DISTILLAZIONE È UN CONCETTO CHIAVE CHE RIGUARDA IL RITORNO DI UNA PARTE DEL CONDENSATO NELLA COLONNA DI DISTILLAZIONE. ESSO È COME UN "RICICLO" INTERNO CHE RENDE LA DISTILLAZIONE PIÙ EFFICACE, SOPRATTUTTO NELLE COLONNE FRAZIONATRICI.

## MECCANISMO:

- DURANTE LA DISTILLAZIONE, I VAPORI SALGONO NELLA COLONNA E VENGONO PARZIALMENTE CONDENSATI IN UN CONDENSATORE.
- UNA PARTE DEL LIQUIDO CONDENSATO VIENE **RIMANDATA NELLA COLONNA** (QUESTO È IL REFLUSSO), MENTRE IL RESTO VIENE RACCOLTO COME DISTILLATO.
- IL LIQUIDO CHE Torna indietro SCENDE LUNGO LA COLONNA, INCONTRANDO VAPORI ASCENDENTI: QUESTO SCAMBIO TERMICO E DI MASSA AUMENTA L'EFFICIENZA DELLA SEPARAZIONE.

## OBIETTIVI:

- MIGLIORA LA **PUREZZA DEL PRODOTTO**: PIÙ REFLUSSO SIGNIFICA PIÙ CONTATTI TRA FASE LIQUIDA E VAPORE, QUINDI SEPARAZIONE PIÙ NETTA.
- PERMETTE DI OTTENERE FRAZIONI CON COMPOSIZIONE PIÙ PRECISA.
- È REGOLATO DAL **RAPPORTO DI REFLUSSO** (QUANTITÀ DI LIQUIDO CHE Torna RISPETTO A QUELLA RACCOLTA).

# DISTILLAZIONE CONTINUA

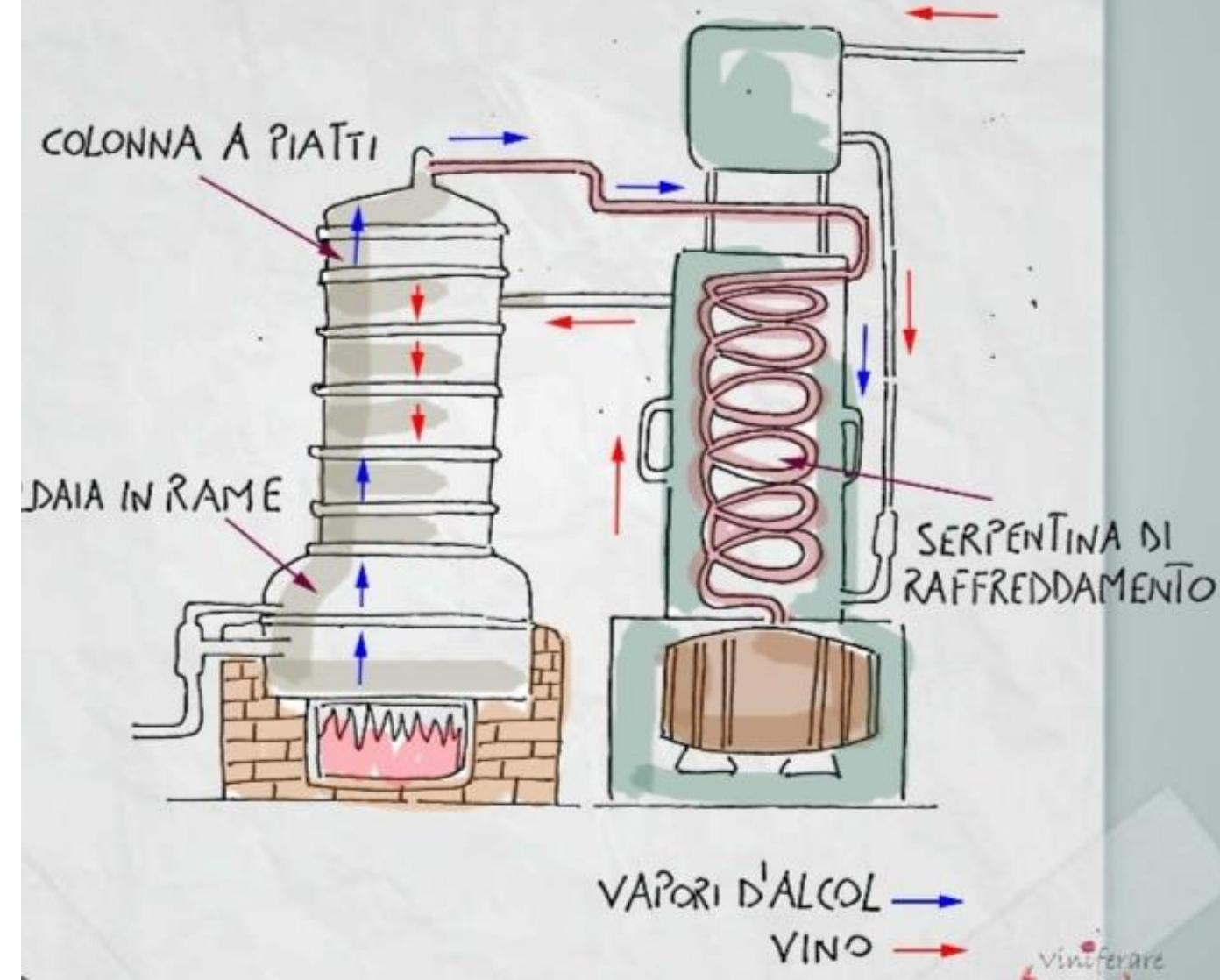
## Macchine e IMPLANTI

### APPARECCHIATURE PRINCIPALI:

- DISTILLATORE CONVENZIONALE (LABORATORIO Beuta+condensatore)
- COLONNE A PIATTI (FORATI, a CAMPANELLE, a VALVOLE)
- COLONNE A RIEMPIMENTO (PACKING)

### IMPLANTI INDUSTRIALI:

- DISTILLAZIONE SEMPLICE (raffinerie, ALCOL, COGNAC)
- DISTILLAZIONE FRAZIONATA (COLONNE ALTE CON REFLUSSO)



# DIFFERENZE DISTILLAZIONE SEMPLICE e FRAZIONATA



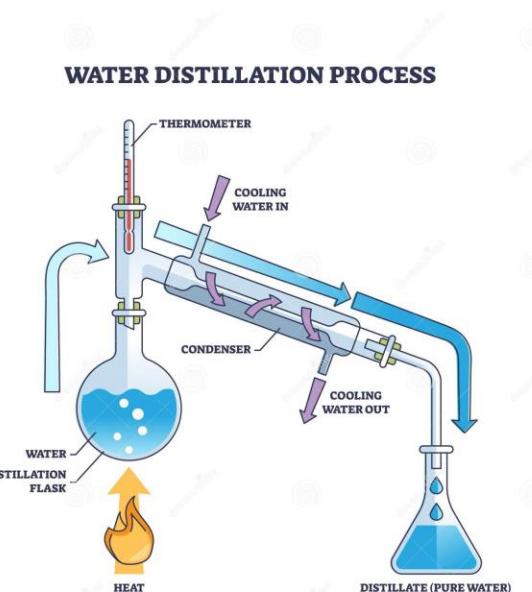
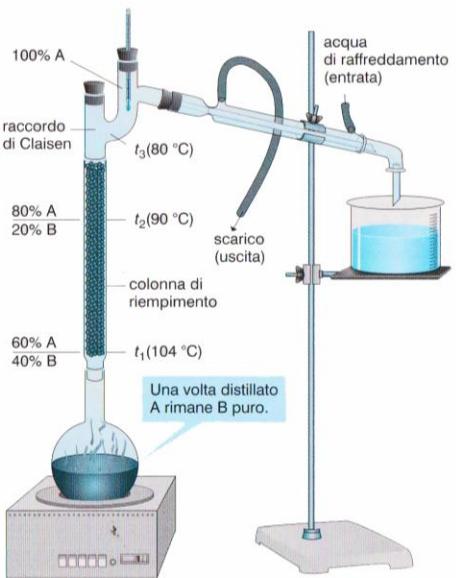
- **SEMPLICE:** SI OTTIENE UNA MISCELA DEI VARI COMPONENTI PRESENTI NEL LIQUIDO MA SECONDO UNA DIVERSA DISTRIBUZIONE
- **FRAZIONATA:** UNA SERIE DI SUCCESSIVE EVAPORAZIONI SEGUITE DA CONDENSAZIONE PORTANO AD UN CONTINUO ARRICCHIMENTO DEL DISTILLATO RISPETTO AD UN DETERMINATO COMPONENTE

## DUe AZIONI CONSECUTIVE:

1. SI INDUCE L'EVAPORAZIONE DI UNA FRAZIONE DELLA MISCELA
2. SI PROVOCÀ LA CONDENSAZIONE DELLA STESSA FRAZIONE

RIPETENDO LE DUE AZIONI SUL LIQUIDO CONDENSAZATO SI OTTERRÀ UN LIQUIDO RICCO DI COMPONENTE BASSOBOLLENTE.

- **APPARECCHIATURE:** CONVENZIONALE O DEFLOMMA TORE



# IL DEFLEMMATORE



- UN **DEFLEMMATORE** (o condensatore parziale) È UN COMPONENTE UTILIZZATO NEGLI IMPIANTI DI DISTILLAZIONE
- **FUNZIONE:** raffreddare parzialmente i vapori che provengono dalla caldaia, in modo da condensare le frazioni più pesanti (cioè quelle con punto di ebollizione più alto) e lasciare passare le frazioni più leggere
- **MECCANISMO:**
- I vapori caldi entrano nel deflammatore.
- All'interno, il vapore incontra una superficie raffreddata.
- Le sostanze con temperatura di condensazione più alta si liquefano e vengono separate.
- Le frazioni più volatili continuano il percorso verso il condensatore principale.
- **OBIETTIVI:**
- PERMETTE DI **MIGLIORARE LA PUREZZA DEL DISTILLATO**, ELIMINANDO IMPURITÀ PESANTI.
- AIUTA A **CONTROLLARE LA GRADAZIONE ALCOLICA**.
- RIDUCE IL RISCHIO DI TRASCINAMENTO DI **SOSTANZE INDESIDERATE**.

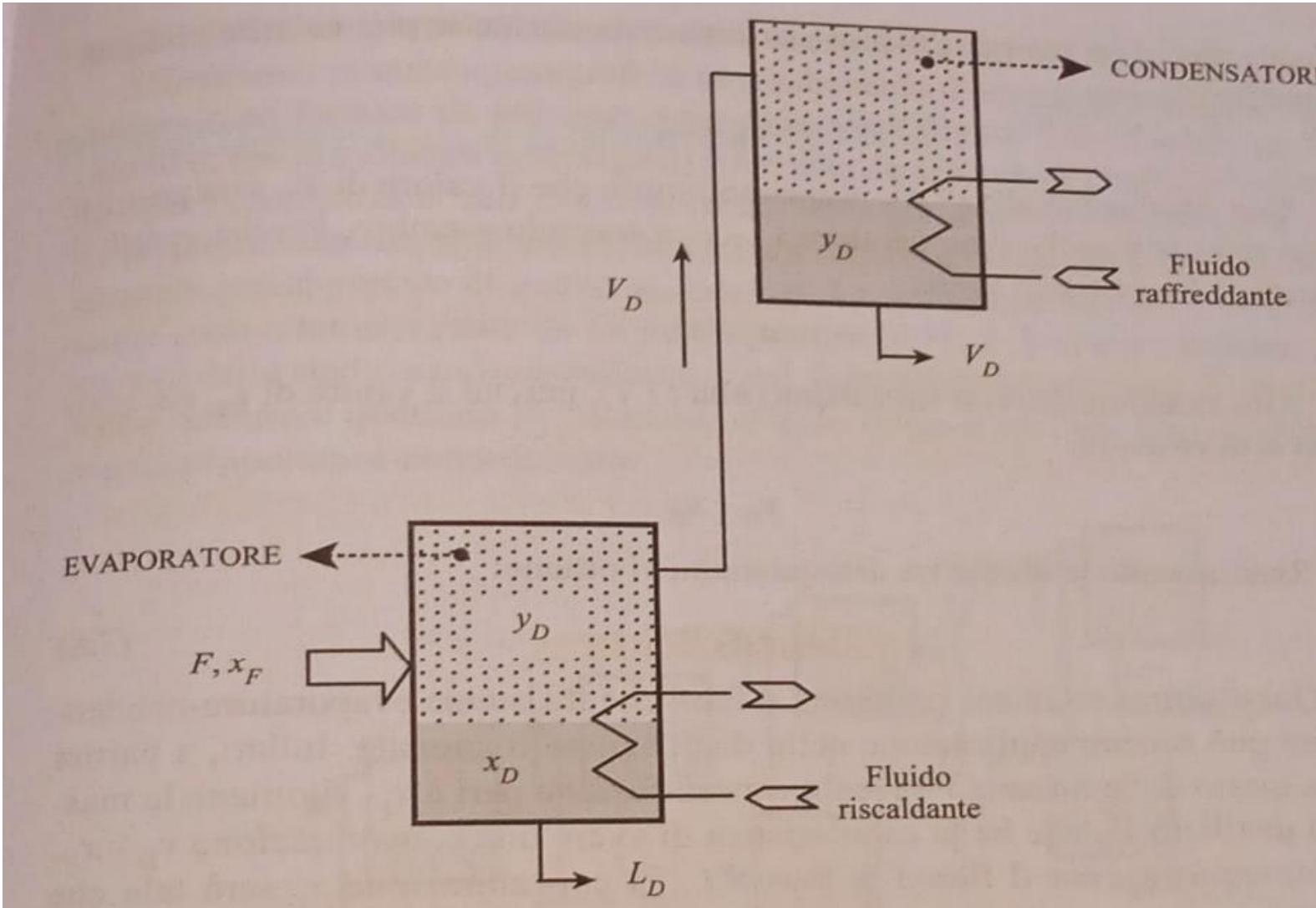
# ALTRÉ TIPOLOGIE DI DISTILLAZIONE

- **DISTILLAZIONE A PRESSIONE ORDINARIA:**  $P = P_{ATM}$  SI UTILIZZA QUANDO LA T DI LAVORO NON DETERMINA LA DECOMPOSIZIONE DELLE SOSTANZE PRESENTI NELLA MISCELA
- **DISTILLAZIONE SOTTO VUOTO:**  $P < P_{ATM}$  COSÌ DA ABBASSARE I PUNTI DI EBOLLIZIONE DELLE SOSTANZE VOLATILI E NON LE DECOMPONE.
- **DISTILLAZIONE IN CORRENTE DI VAPORE:**  $P < P_{ATM}$ ; SI ABBASSA LA T DI EBOLLIZIONE DELLE SOSTANZE VOLATILI grazie all'aggiunta di un vapore inerte(vapore d'acqua) con la funzione di contribuire alla tensione di vapore del sistema, in modo da bilanciare più facilmente la pressione esterna.

# METODI DI DISTILLAZIONE

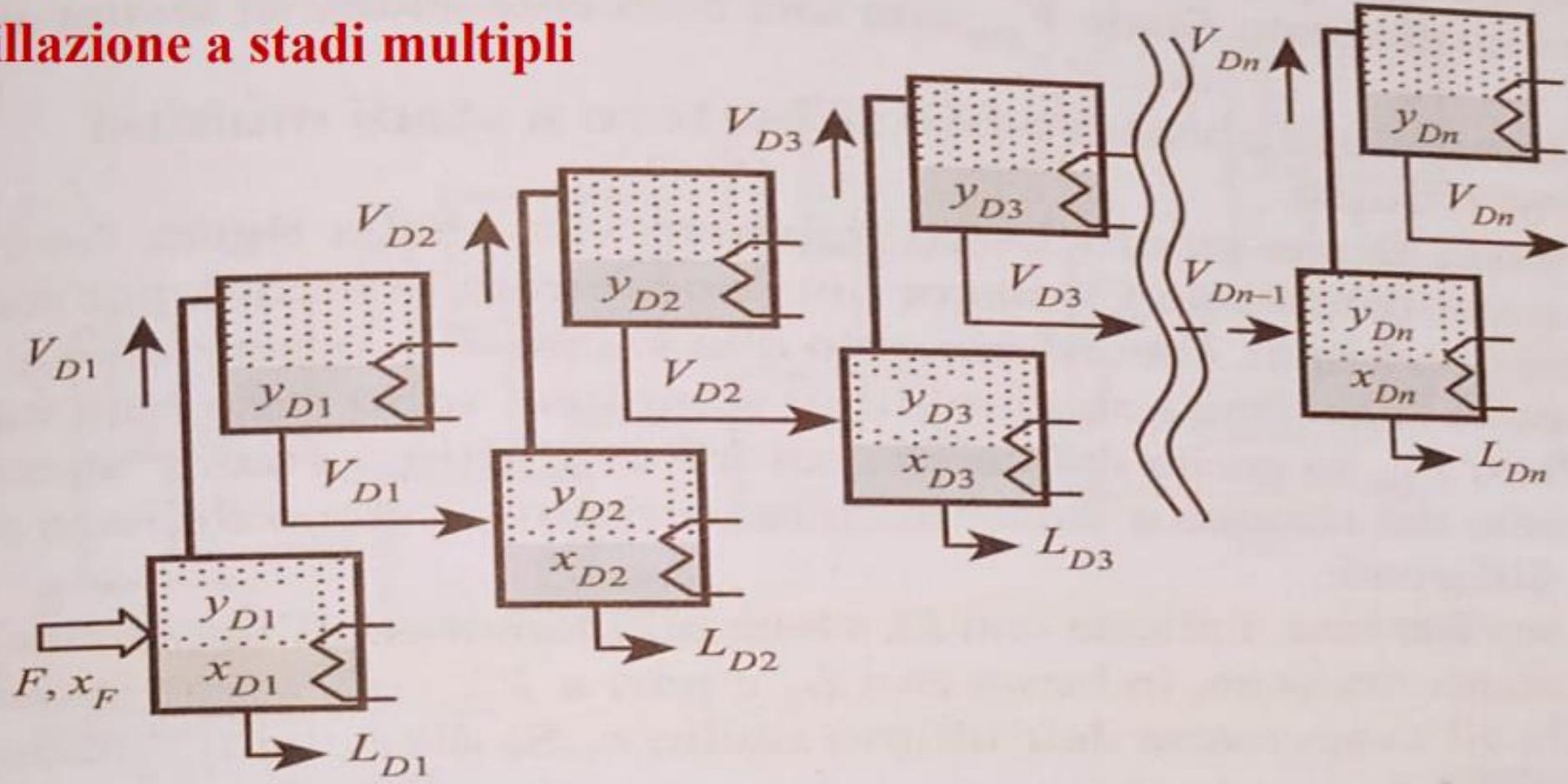
1. STADIO SINGOLO
2. STADI MULTIPLI
3. STADI MULTIPLI CON REFLUSSO

# 1. STADIO SINGOLO



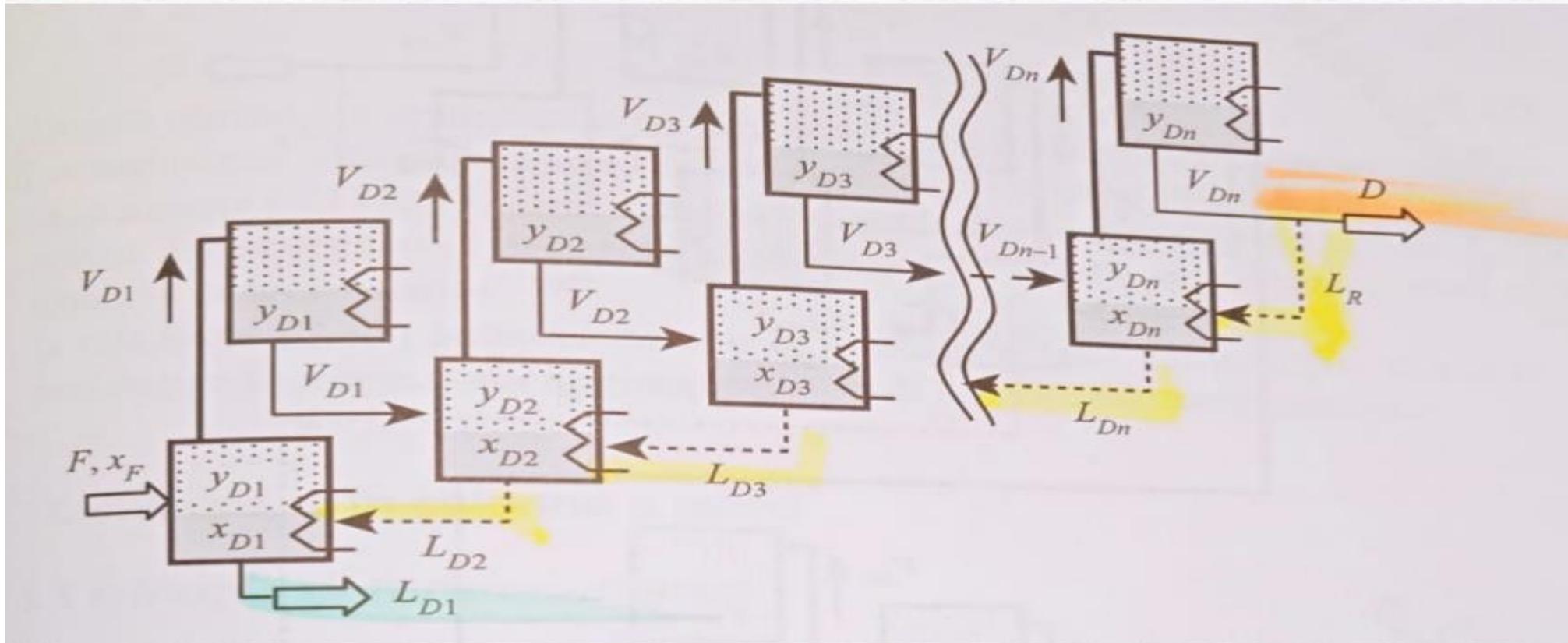
## 2. STADI MULTIPLI

## Distillazione a stadi multipli



# 3. STADI MULTIPLI CON REFLUSSO

## Distillazione a stadi multipli con reflusso



**OBETTIVO:** MASSIMIZZARE LA CONCENTRAZIONE DEL DISTILLATO E MINIMIZZARE LE PERDITE NELLO SCARTO DI LAVORAZIONE. AD ESEMPIO: MASSIMO ALCOL NEI DISTILLATI E MINIMO ALCOL NEI RESIDUI

# CONTROLLO e STRUMENTAZIONE

---

**VARIABILI CRITICHE:** TEMPERATURA LUNGO LA COLONNA, PRESSIONE, PORTATA DI REFLUSSO, COMPOSIZIONE DEL DISTILLATO.

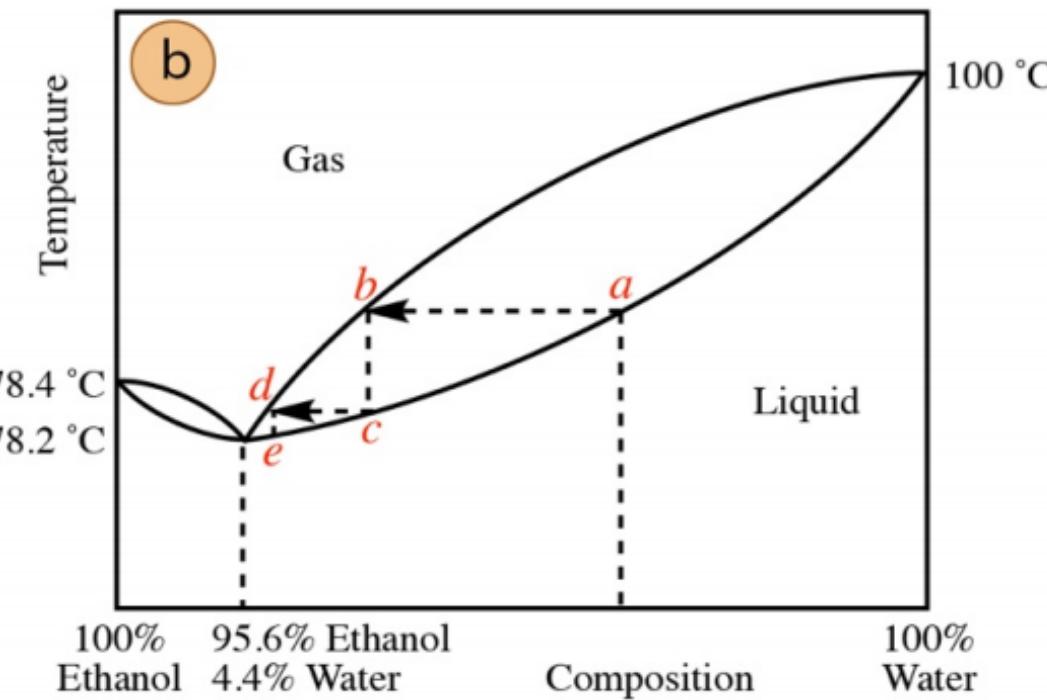
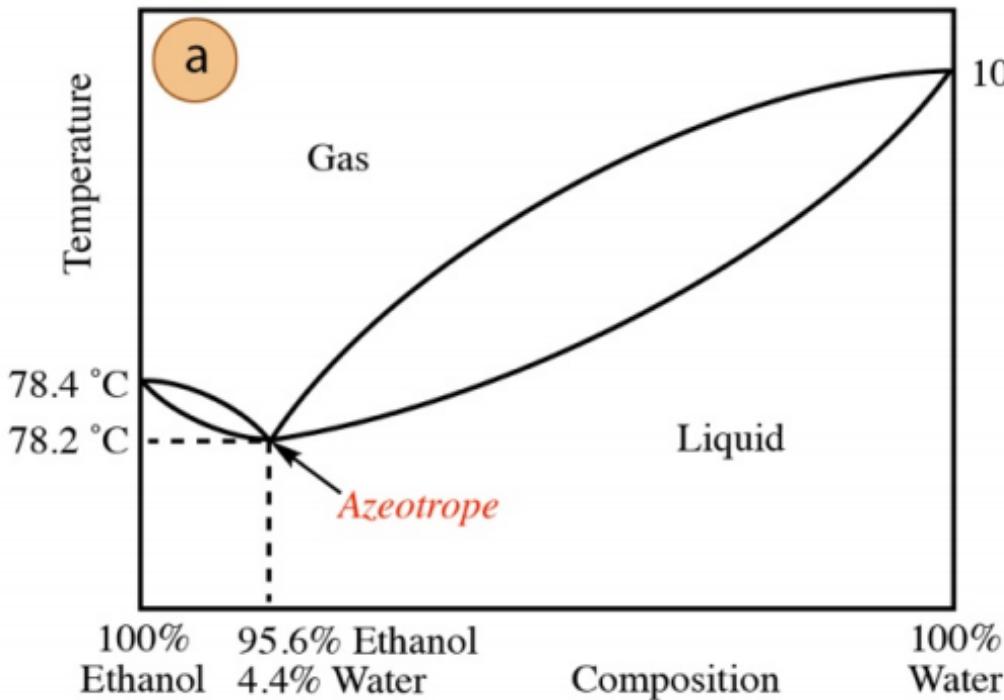
**STRUMENTAZIONE:** TERMOCOPPIE/RTD, MANOMETRI, FLUSSIMETRI, ANALIZZATORI IN LINEA (SPETTROSCOPIA IR, GC PER LABORATORIO).

**STRATEGIE DI CONTROLLO:** CONTROLLO DELLA POTENZA AL REBOILER; CONTROLLO DEL REFLUSSO IN RETROAZIONE PER MANTENERE PUREZZA; CONTROLLO DELLA PRESSIONE PER DISTILLAZIONE SOTTO VUOTO.

**INDICATORI DI PERFORMANCE:** PUREZZA DEL DISTILLATO, RESA, CONSUMO ENERGETICO, STABILITÀ DEL PROFILO DI TEMPERATURA.



# MISCELE AZEOTROPICHE



**AZEOTROPO:** COMPOSIZIONE DEL VAPORE UGUALE A QUELLA DEL LIQUIDO PER UNA DATA CONCENTRAZIONE; LA MISCELA SI COMPORTA COME UN SINGOLO COMPONENTE e non è separabile per DISTILLAZIONE SEMPLICE.

**ESEMPI PRATICI:** ACQUA-ETANOL (azeotropo a ~95% V/V a 1 ATM), CLOROFORMIO-ACETONE.

**SOLUZIONI TECNICHE:** DISTILLAZIONE AZEOTROPICA CON AGENTE TERZO,

DISTILLAZIONE ESTRATTIVA, DISTILLAZIONE SOTTO VUOTO, USO DI AGENTI

# APPPLICAZIONI IN ENOLOGIA

**ENOLOGIA:** PRODUZIONE DI DISTILLATI  
(grappa, brandy, cognac),  
recupero di aromi e solventi,  
concentrazione di componenti  
VOLATILI.





# IMPIANTO DISTILLAZIONE COGNAC



# CONCLUSIONI

- La DISTILLAZIONE è una TECNICA FONDAMENTALE basata su EQUILIBRI TERMODINAMICI LIQUIDO-Vapore.
- PROGETTAZIONE RICHIENDE BILANCI DI MASSA, DIAGRAMMI DI EQUILIBRIO e SCELTA DI NUMERO DI STADI/reflusso.
- MACCHINE e CONTROLLO SONO ESSENZIALI per EFFICIENZA, QUALITÀ e SICUREZZA.

