

# OPERAZIONI UNITARIE

- *Per Operazione Unitaria s'intende un intervento, atto a modificare lo stato reale o potenziale di un dato sistema, che sia possibile descrivere indipendentemente dalla natura del sistema cui si applica e dai prodotti che dall'applicazione di tale intervento possono derivare.*

Esempio nel settore alimentare:

<u>ALIMENTO</u>	<u>OPERAZIONE</u>	<u>PRODOTTO</u>
ALIMENTO	SEPARAZIONE	FRAZIONI
ALIMENTO	STABILIZZAZIONE	ALIM. CONSERVABILE
INGREDIENTI	FORMULAZIONE	FORMULATO
ALIMENTO CRUDO	RISCALDAMENTO	PRODOTTO COTTO

# PROCESSI DI SEPARAZIONE

- RIMOZIONE PARTI ESTRANEE e/o NON EDULI:  
MONDATURA / LAVAGGIO
- RIMOZIONE "PEZZI" NON IDONEI: SELEZIONE
- FRAZIONAMENTO SECONDO DIMENSIONI:  
SETACCIATURA
- ISOLAMENTO O RIMOZIONE DI UN SINGOLO COSTITUENTE o DI UNA FRAZIONE:  
(Vari interventi, diverse operazioni)

# PROCESSI DI SEPARAZIONE

➤ RIMOZIONE PARTI ESTRANEE e/o NON EDULI:  
MONDATURA / LAVAGGIO

➤ RIMOZIONE "PEZZI" NON IDONEI: SELEZIONE

➤ FRAZIONAMENTO SECONDO DIMENSIONI:  
SETACCIATURA

➤ ISOLAMENTO O RIMOZIONE DI UN SINGOLO  
COSTITUENTE o DI UNA FRAZIONE:  
(Vari interventi, diverse operazioni)

# RIMOZIONE PARTI O MATERIALI ESTRANEI

## ORIGINE:

- MINERALE (terra, sabbia, pietre, frammenti metallici, grassi dalle macchine, ecc.)
- VEGETALE (foglie, arbusti, radici)
- ANIMALE (frammenti di insetti, uova, peli, escrementi, piccoli animali superiori, ecc.)
- MICROBICA (microrganismi e loro metaboliti)
- CHIMICA (residui, contaminanti)

## INTERVENTI:

### *RIMOZIONE A SECCO:*

- setacciatura
- spazzolatura
- abrasione
- aspirazione ( leggeri; pesanti)
- separazione magnetica

### *RIMOZIONE AD UMIDO:*

- lavaggio (immersione/irrorazione)

# MONDATURA

- RIMOZIONE PARTI NON EDULI :
- - Pelatura; detorsolatura; denocciolatura
- - Apertura nocciole
- - Disossatura
- - Eviscerazione
- - caso dei mitili

## ISOLAMENTO PARTI EDULI :

- Spremitura

## INTERVENTI:

PER VIA FISICA (coltelli; abrasione; vuoto; vapore)

PER VIA CHIMICA (dipping in soda,.....)

# PROCESSI DI SEPARAZIONE

➤ RIMOZIONE PARTI ESTRANEE e/o NON EDULI:  
MONDATURA / LAVAGGIO

➤ RIMOZIONE "PEZZI" NON IDONEI: SELEZIONE

➤ FRAZIONAMENTO SECONDO DIMENSIONI:  
SETACCIATURA

➤ ISOLAMENTO O RIMOZIONE DI UN SINGOLO  
COSTITUENTE o DI UNA FRAZIONE:  
(Vari interventi, diverse operazioni)

# SELEZIONE

- IN BASE AI CARATTERI FISICI (dimensioni; forma; ecc):  
CALIBRATURA
- IN BASE ALLA QUALITA'(grado maturazione, stato sanitario; difetti): CERNITA

## INTERVENTI:

- SEPARAZIONE MECCANICA
- SEPARAZIONE MANUALE
- IMPIEGO DI SENSORI OTTICI/ AUTOMATISMI

# RIDUZIONE DELLE DIMENSIONI

- TAGLIO (cubettatura, affettatura, )
- MACINAZIONE
- GRANULAZIONE
- LAMINAZIONE
- POLVERIZZAZIONE (+ EVENTUALE AGGLOMERAZIONE)

## MOTIVAZIONI:

- AUMENTO DELLA SUPERFICIE SPECIFICA (favorisce i processi "superficie dipendenti")
- UNIFORMITA' DI PEZZATURA
- SEPARAZIONE SOLIDO/SOLIDO

INTERVENTI: APPLICAZIONE DI FORZE DI COMPRESSIONE, ATTRITO, IMPATTO

ENERGIA SPESA: E' UNA FUNZIONE DI:

- *durezza e friabilità del materiale*
- *durata del processo*

**Legge di Kick :  $dE / dL = K L^n$**   
K e n = costanti del materiale

"PER PRODURRE UNA RIDUZIONE  $dL$  IN UNA PARTICELLA DI DIMENSIONE L L'ENERGIA NECESSARIA E' UNA FUNZIONE ESPONENZIALE DI L "

Per  $n = -1$

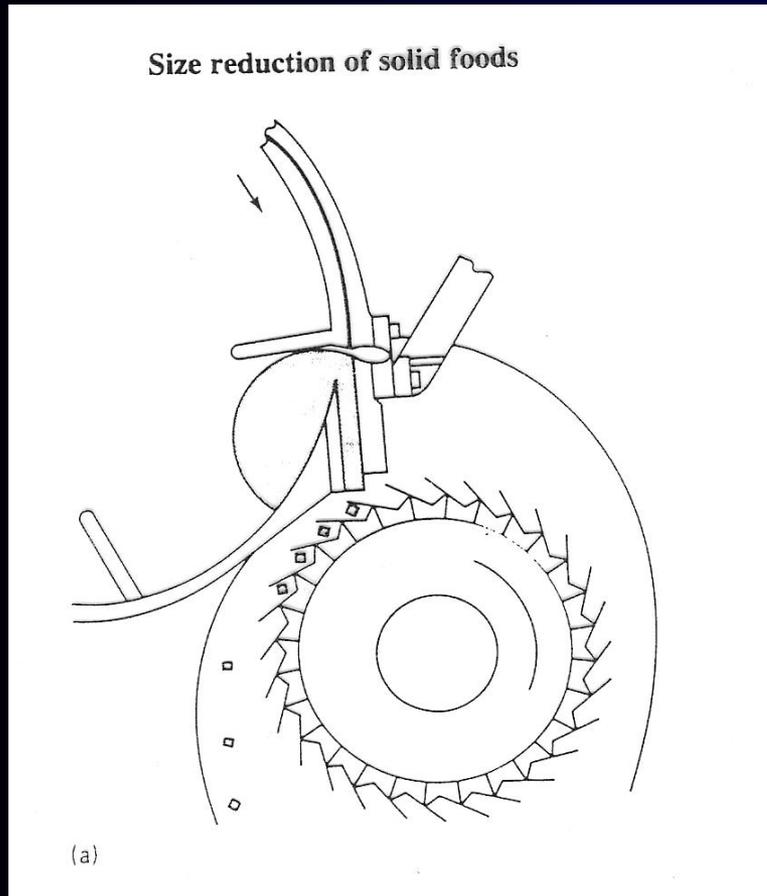
$$dE = (K/L) dL$$

$$E = K \ln (L_{iniz.} / L_{fin.})$$

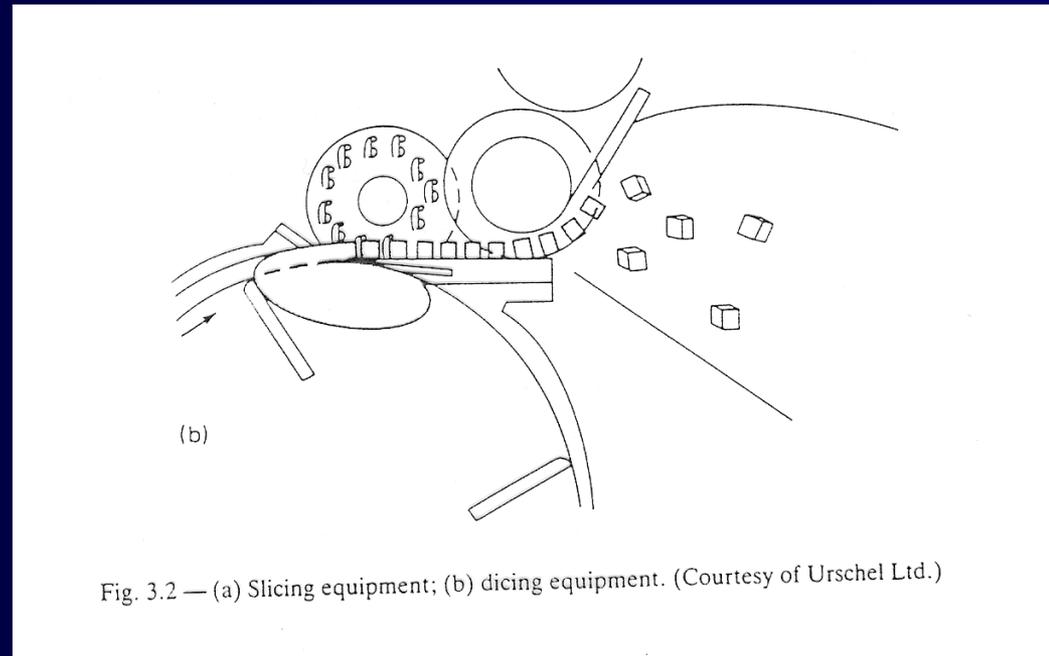
attenzione a fenomeni di impastamento dovuto ad alti contenuti in acqua e/o grassi

# ATTREZZATURE

**CRITERI DI SCELTA :  
CARATTERISTICHE E DIMENSIONI  
DEL MATERIALE DA MACIANDRE E  
DEL PRODOTTO DA OTTENERE**



- **FRANTOI o FRANTUMATORI**
- **TRITURATORI o GRANITORI**
- **POLVERIZZATORI o FINITORI**



# FRANTOIO A MASCELLA

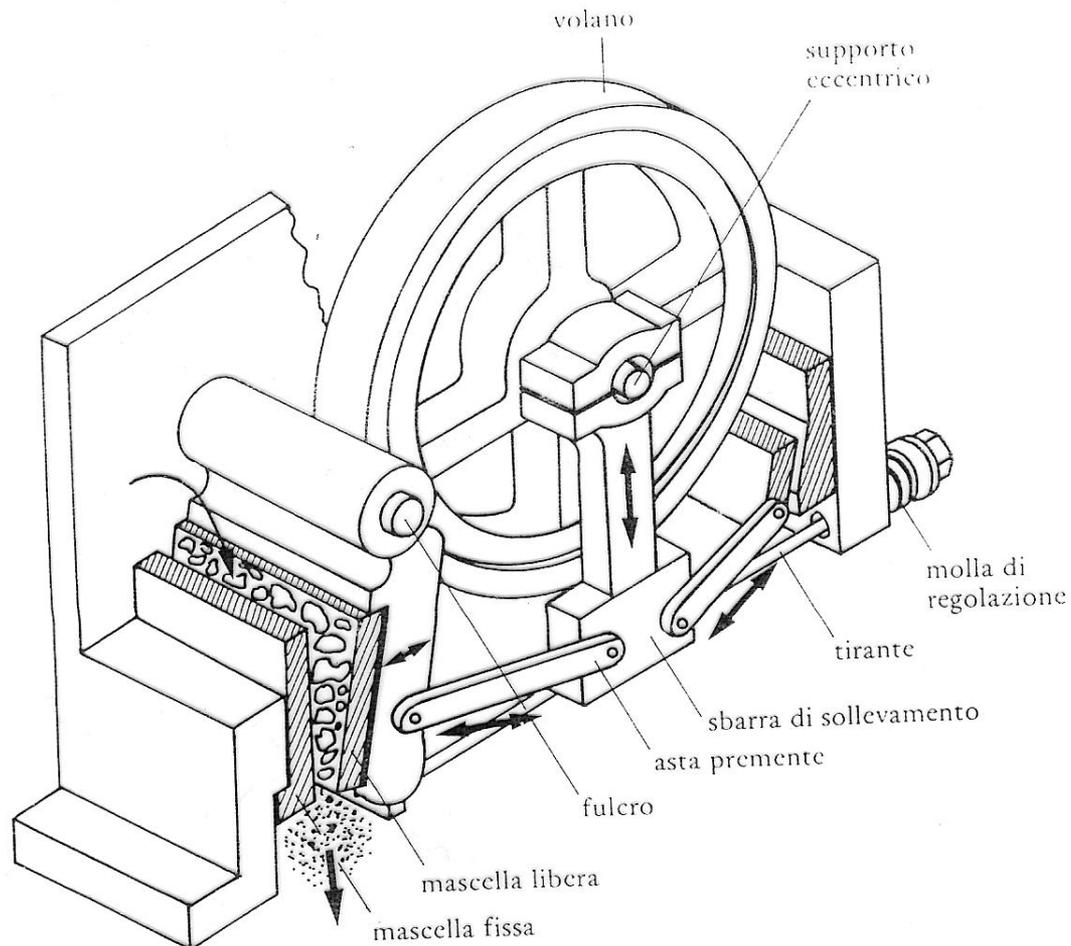
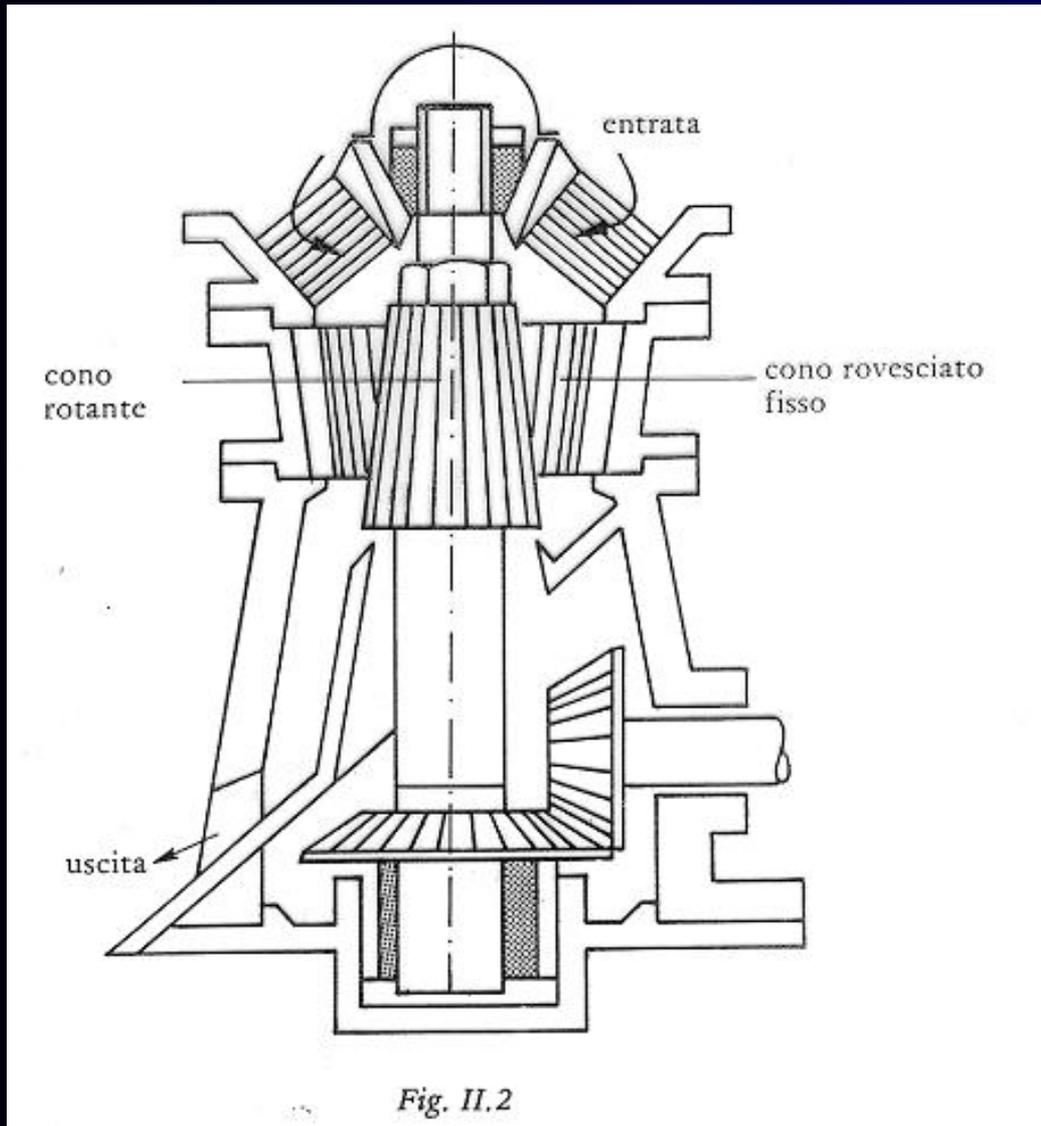


Fig. II.1

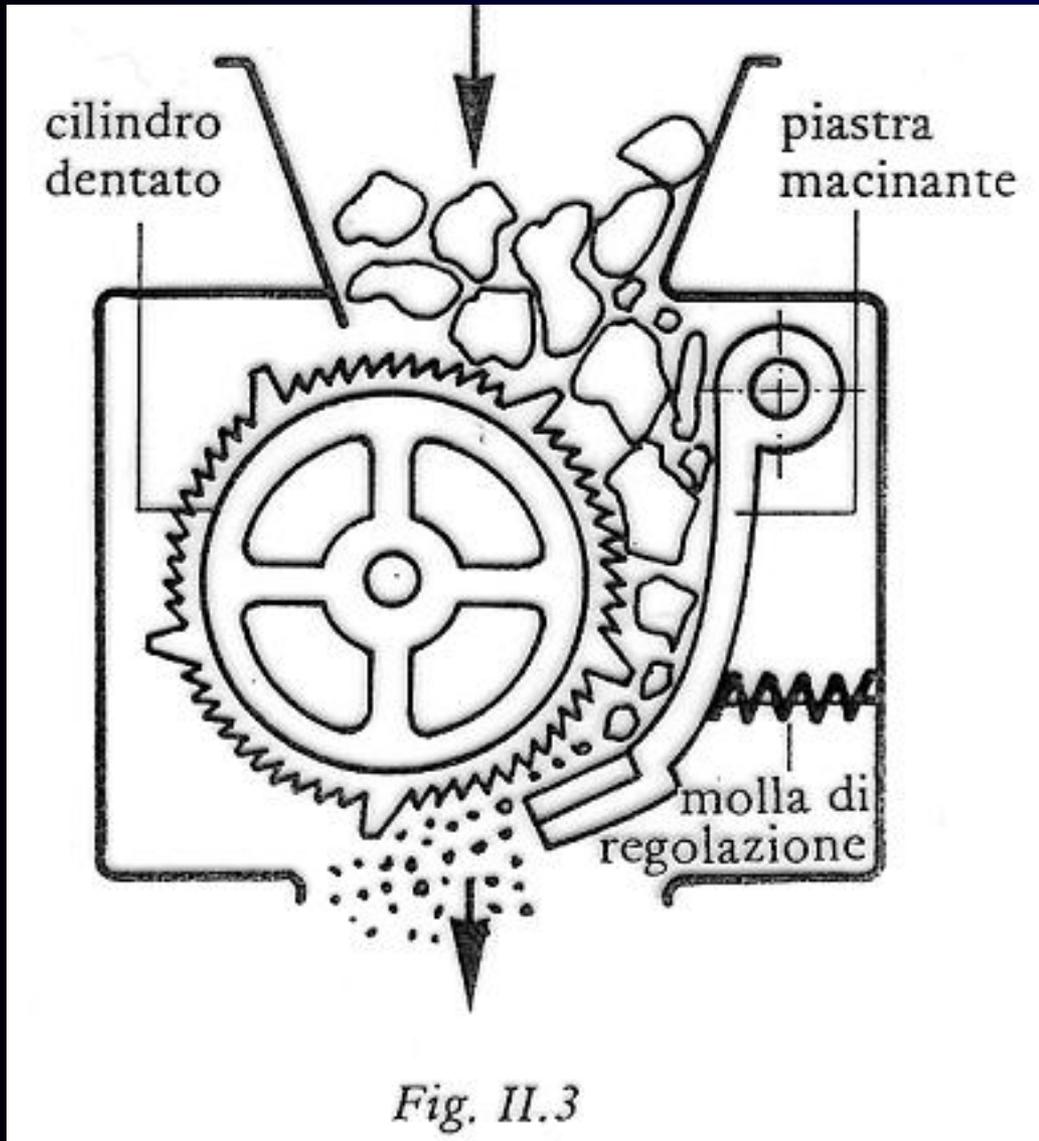
- pressione / schiacciamento
- prima rudimentale riduzione

# FRANTOIO ROTATIVO



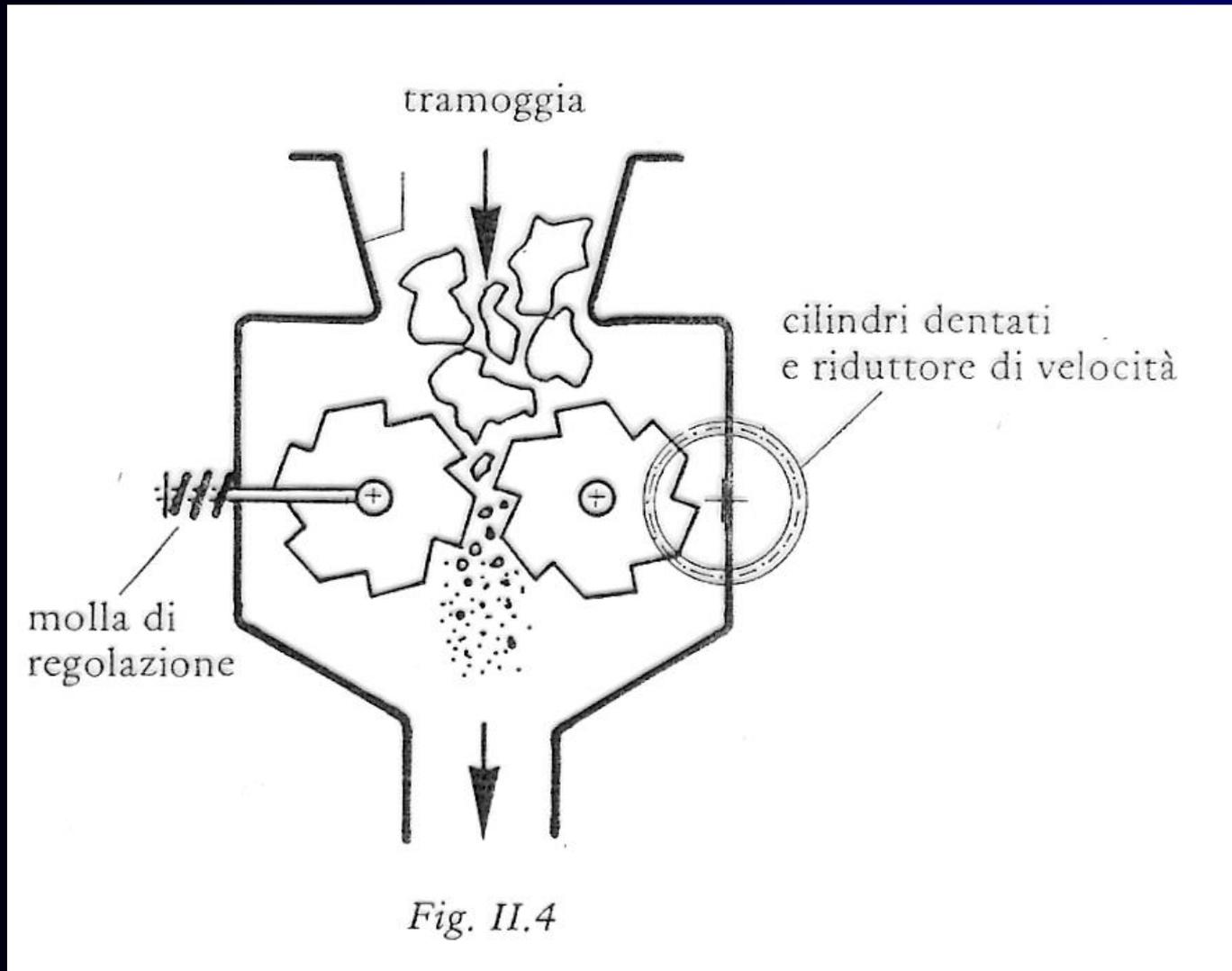
•Schiacciamento e macinazione

# FRANTOIO A CILINDRO ROTANTE

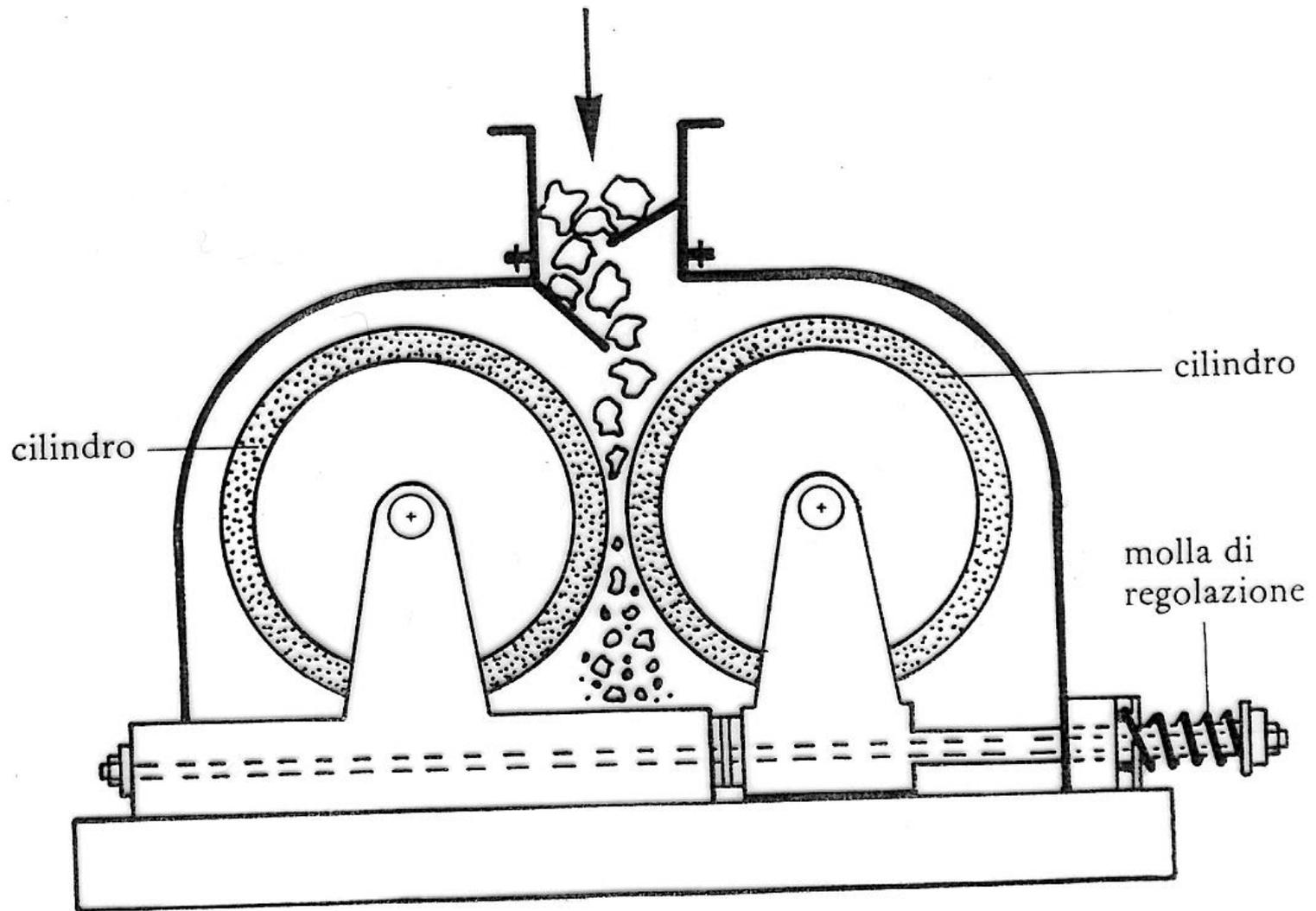


- MATERIALI TENERI
- EVITA FORMAZIONE DI POLVERI

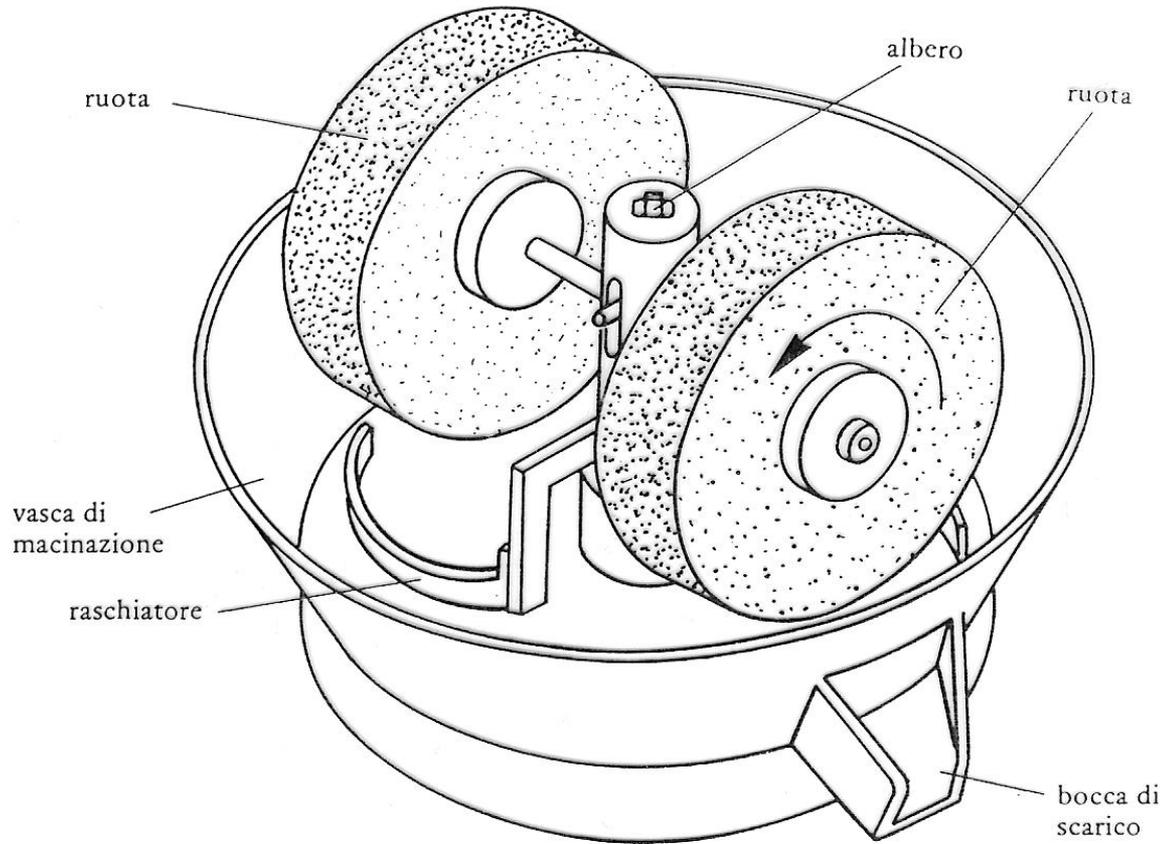
# FRANTOIO A CILINDRI DENTATI



# TRITURATORE O GRANITORE



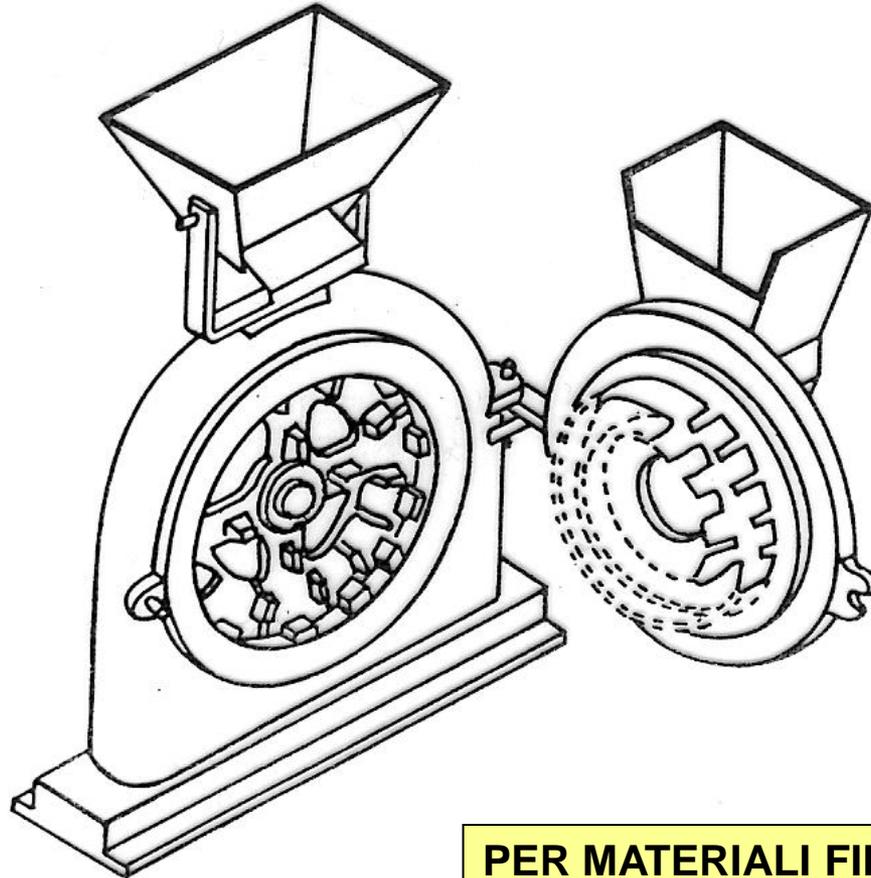
# MOLAZZA



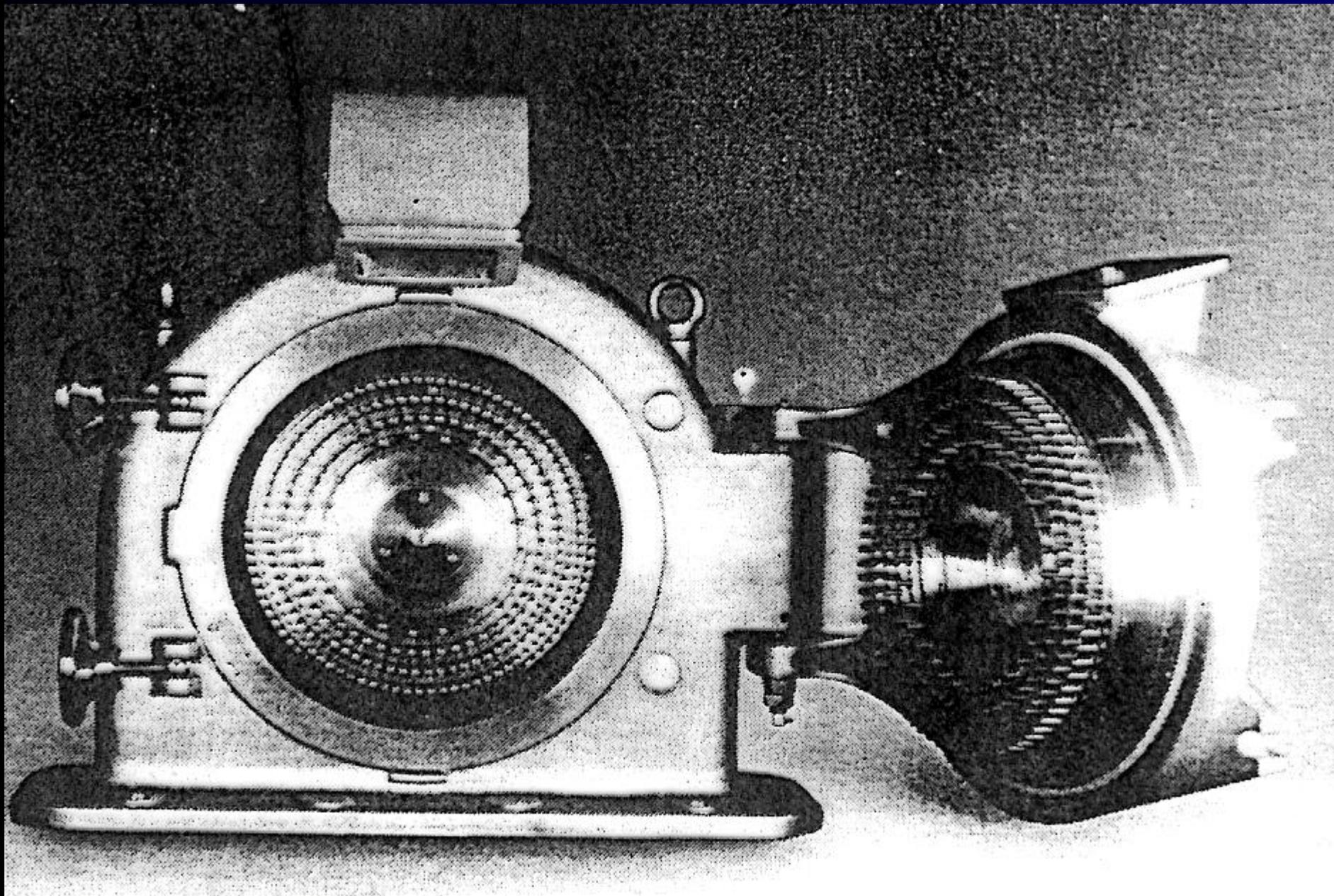
*Fig. II.6*

- PEZZATURA FINE
- MACINAZIONE AD UMIDO (ES. OLIVE)

# DISINTEGRATORE



**PER MATERIALI FIBROSI**



Da: FELLOW P.J., Food Processing Technology - Principles and practice  
– third edition. Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, 2009

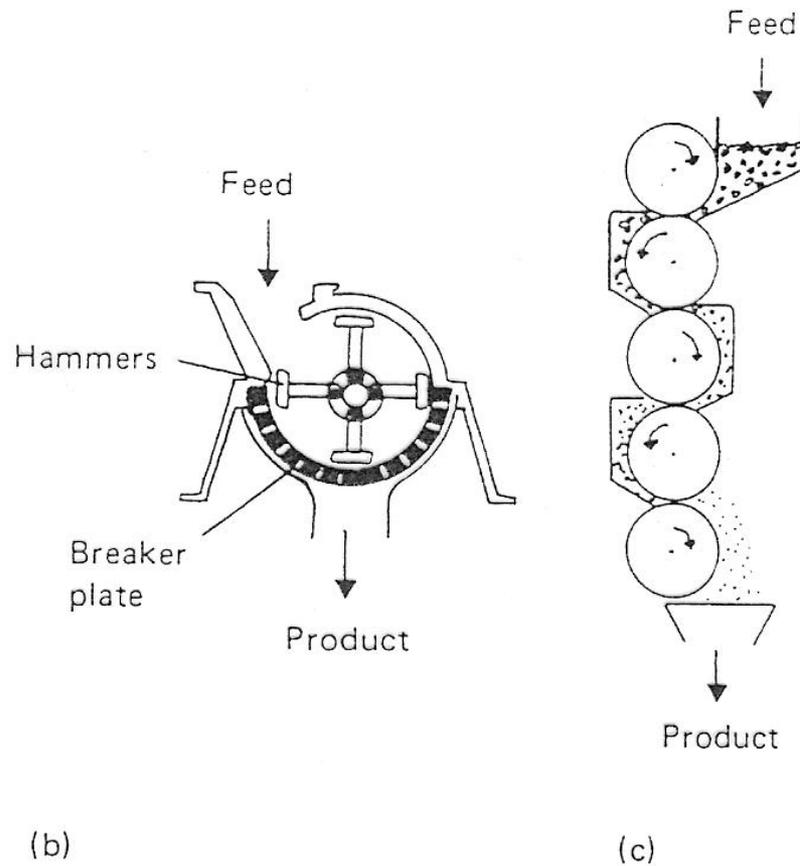
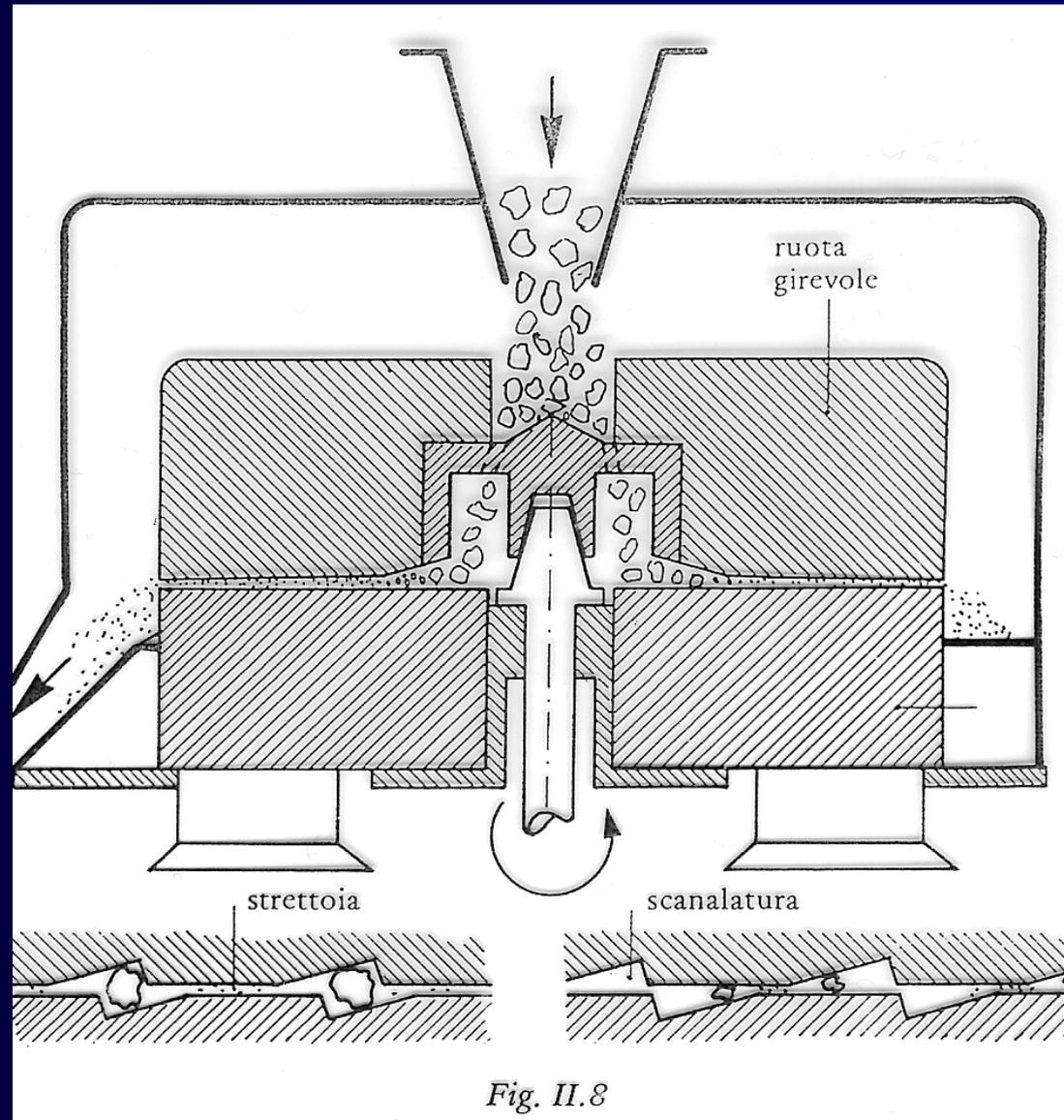


Fig. 3.4 — Mills: (a) pin and disc mill (courtesy of Alpine Process Technology); (b) hammer mill; (c) roller mill. (After Leniger and Beverloo (1975).)

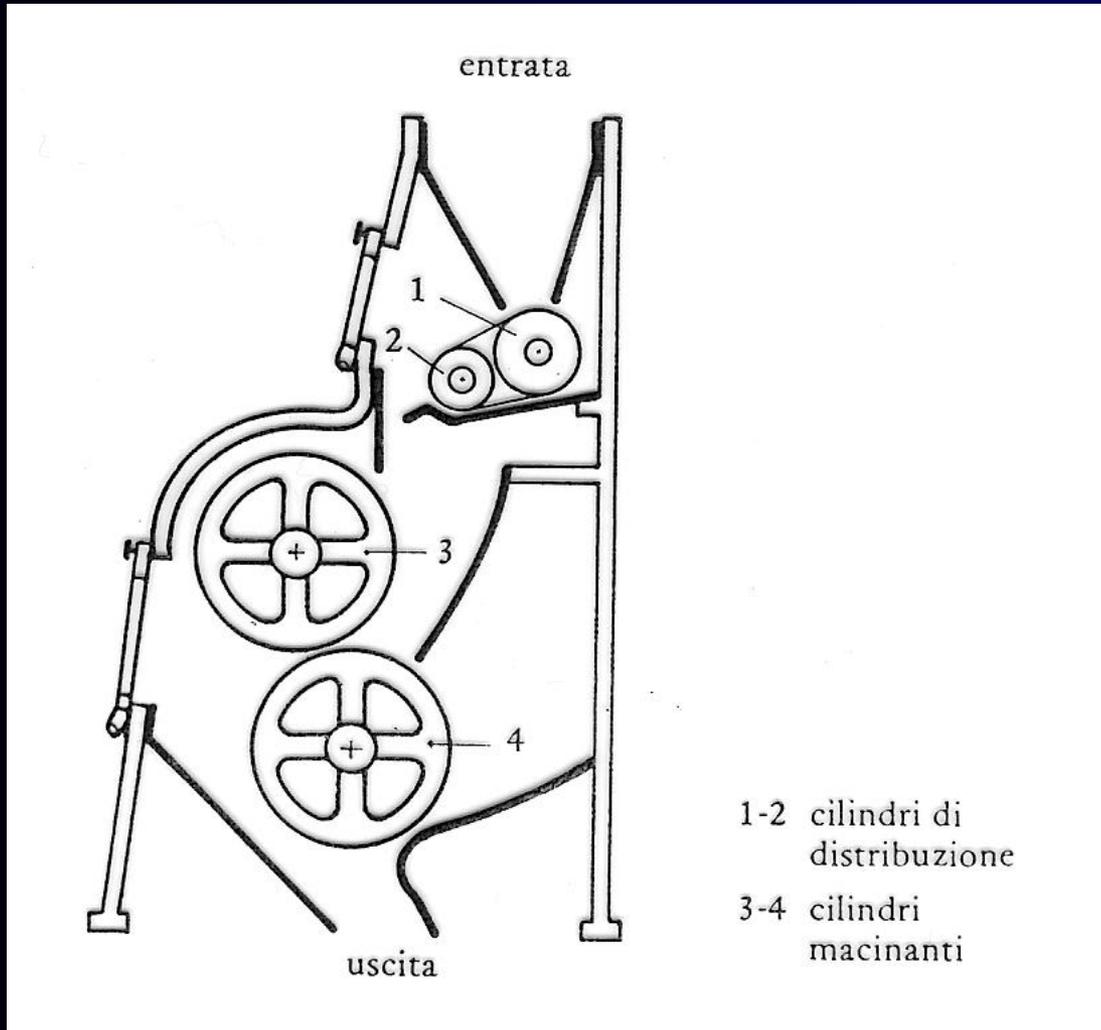
# POLVERIZZATORI O FINITORI

POLVERI DA MATERIALI  
PREMACINATI

MULINO A  
PALMENTI

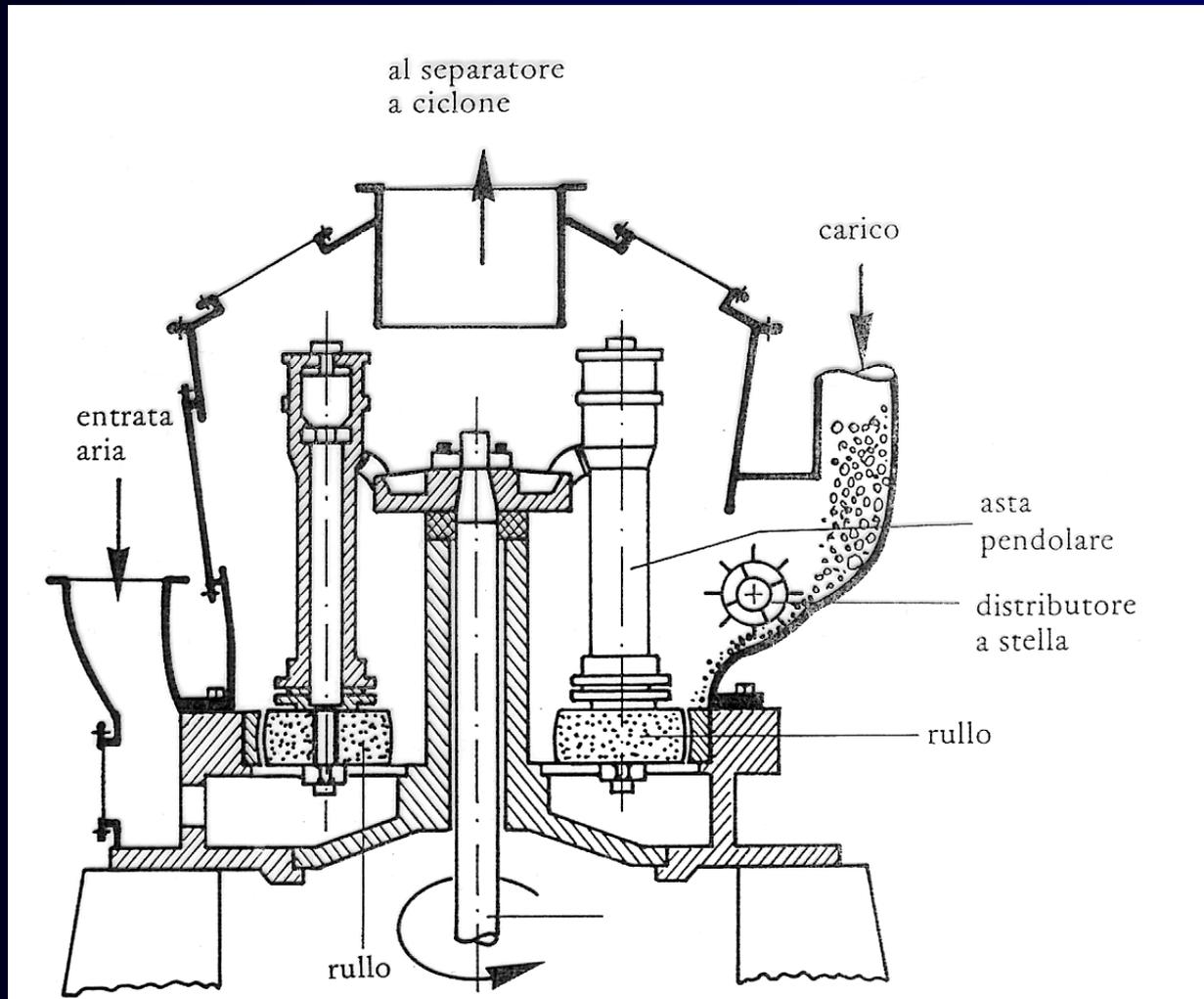


# MULINO A CILINDRI



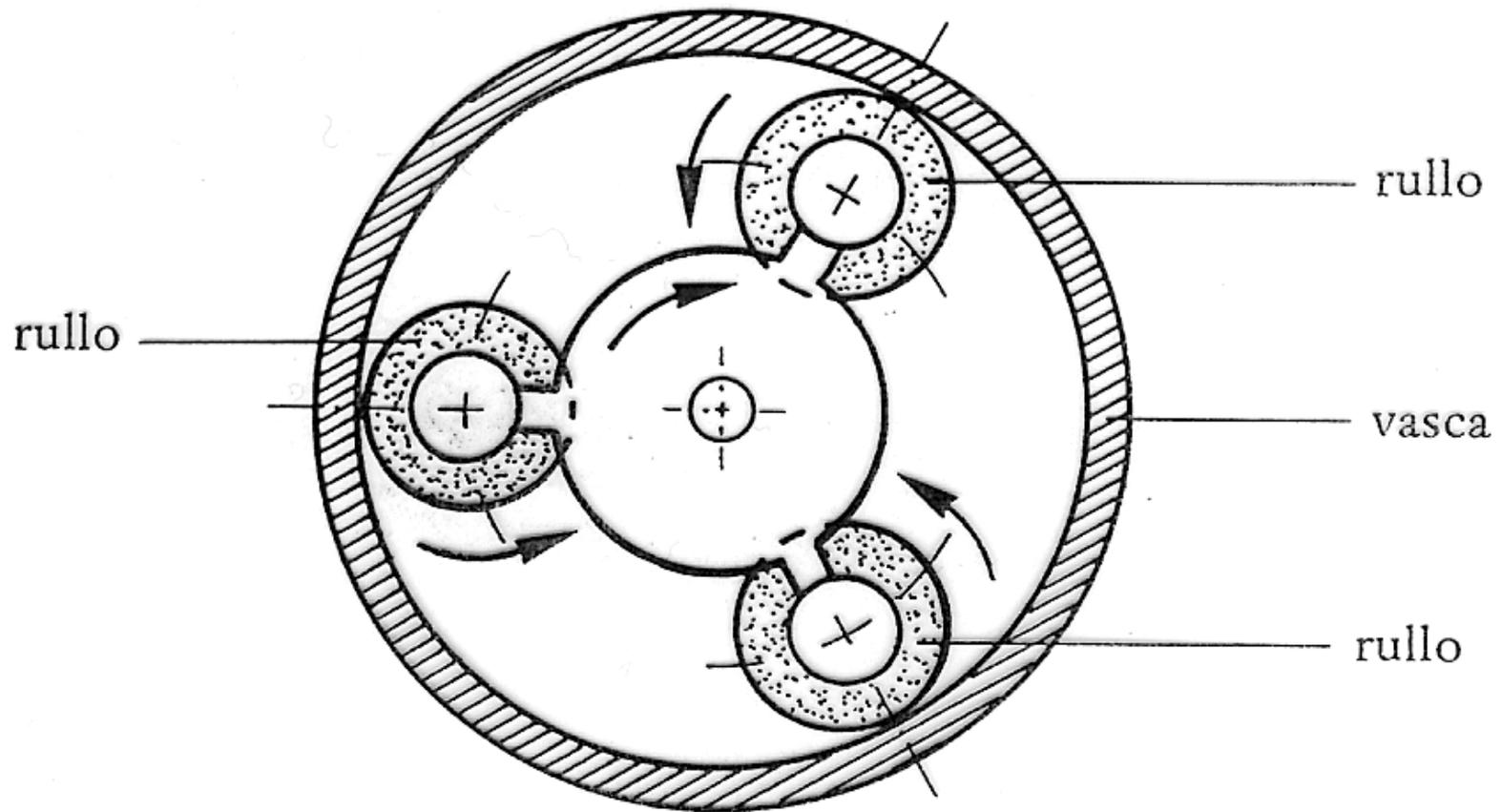
**\*pressione e sfregamento**

# MULINO CENTRIFUGO



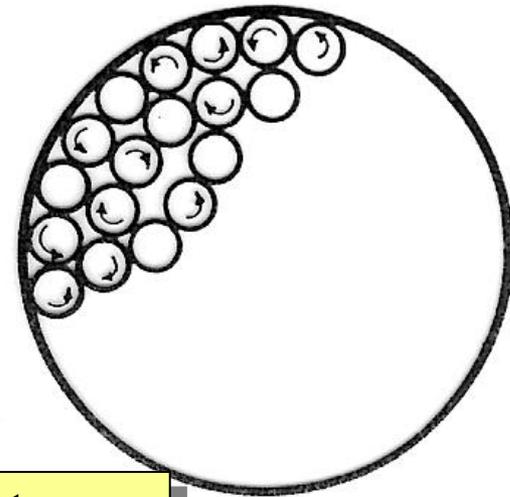
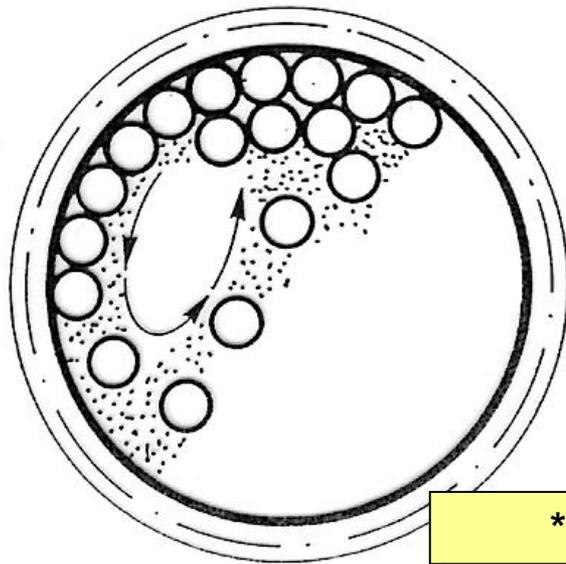
Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

# MULINO CENTRIFUGO



*Fig. II.10*

# MULINO A PALLE



**\*urto e sfregamento**

Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

# PROCESSI DI SEPARAZIONE

- RIMOZIONE PARTI ESTRANEE e/o NON EDULI:  
MONDATURA / LAVAGGIO
- RIMOZIONE "PEZZI" NON IDONEI: SELEZIONE
- FRAZIONAMENTO SECONDO DIMENSIONI:  
SETACCIATURA
- ISOLAMENTO O RIMOZIONE DI UN SINGOLO COSTITUENTE o DI UNA FRAZIONE:  
(Vari interventi, diverse operazioni)

# PROCESSI DI SEPARAZIONE...

- come ISOLAMENTO o RIMOZIONE di un singolo costituente (es. caffeina, colesterolo, vitamine, pectine, alginati, ecc) o di una singola frazione (es. lipidi, proteine, carboidrati, ecc.)

## STRATEGIA DI INTERVENTI

ALIMENTO [(a+b+c+...+n)]  INTERVENTO  a+[(b+c+...+n)]

Si sfruttano le differenze nelle proprietà chimiche e fisiche dei vari componenti ovvero:

- nelle **dimensioni** (*setacciatura, filtrazione*)
- nella **densità** (*sedimentazione, flottazione, centrifugazione*)
- nella **temperatura di ebollizione** (*distillazione e condensazione*)
- nella **temperatura di solidificazione** (*crioconcentrazione e successiva filtrazione o altra operazione di separazione solido-liquido*)
- nella **solubilità** (*estrazione con solvente, cristallizzazione*) separando poi la fase solida per filtrazione mentre il solvente viene separato (e recuperato) per distillazione

# PROCESSI DI SEPARAZIONE PER VIA MECCANICA

Sono le operazioni nelle quali la separazione viene effettuata sfruttando differenze nelle dimensioni delle particelle (es. setacciatura, filtrazione) oppure nella densità (es. sedimentazione, centrifugazione)

# SETACCIATURA O VAGLIATURA

(segue di norma la macinazione)

➤ classificazione dei materiali solidi ovvero separazione solido-solido attraverso l'uso di piastre forate (setacci o vagli) e l'applicazione di forze gravitazionali

## ATTREZZATURE INDUSTRIALI:

- Setacci orizzontali a vibrazione (vibrovagli)
- Setacci a tamburi

## ANALISI GRANULOMETRICA: "CLASSIFICAZIONE DEI MATERIALI SOLIDI"

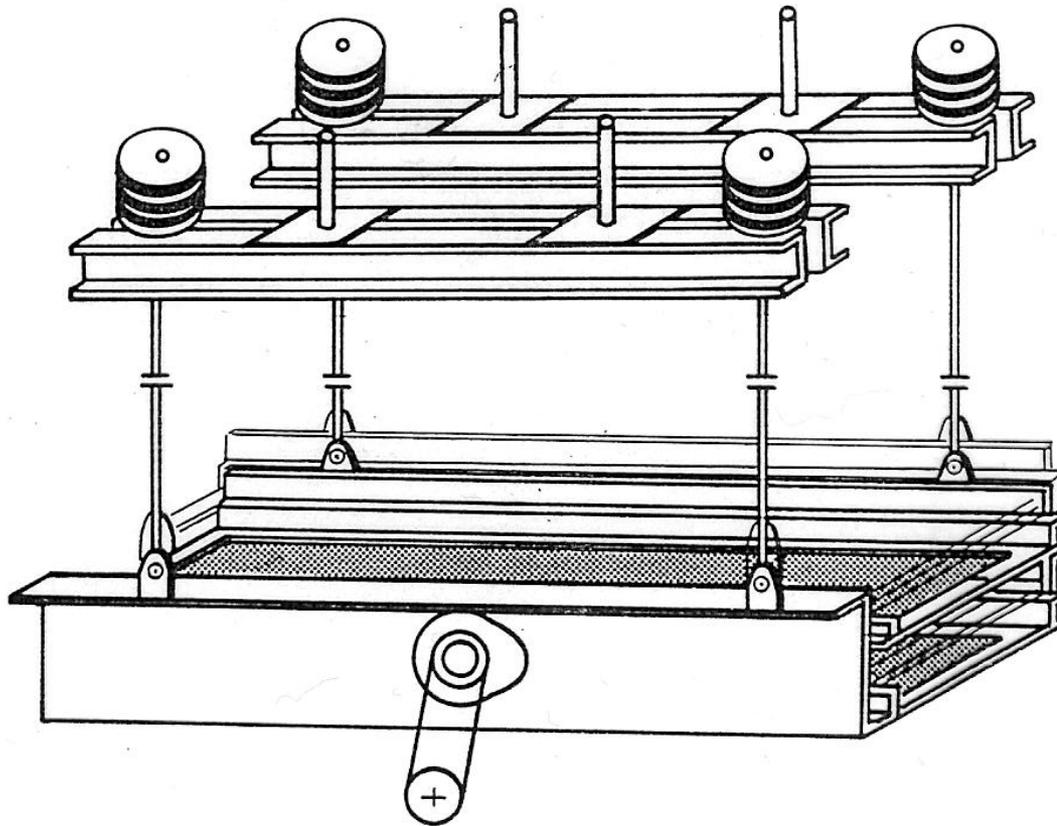
Si effettua facendo passare una quantità pesata di prodotto attraverso una serie di setacci in successione con maglie a diametro progressivamente minore. A fine operazione, pesando i residui in ogni vaglio, si ottiene la distribuzione in % delle diverse pezzature

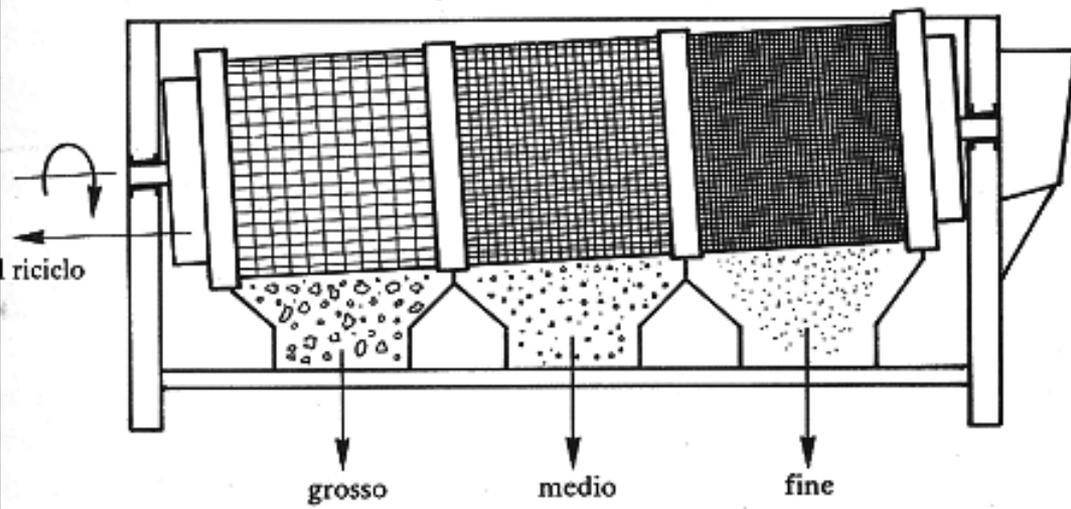
-----	%
-----	%
-----	%
-----	%

CLASSIFICAZIONE DEI SETACCI:

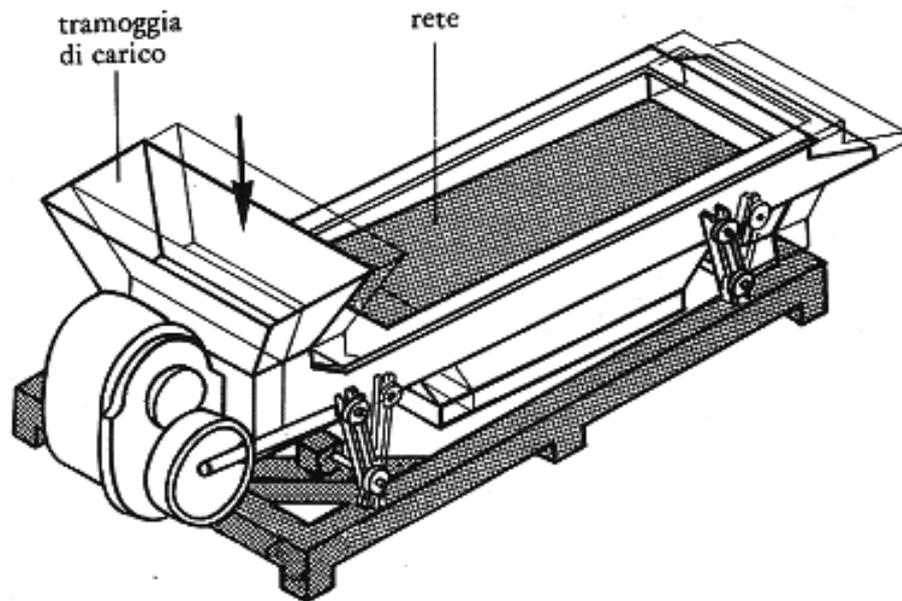
MESH = NUMERO DI MAGLIE PER INCH  
(UNITA' DI SUPERFICIE) LINEARE

# Setaccio orizzontale





*Fig. II.13*



*Fig. II.14*

## SETACCI A TAMBURI

## VIBROVAGLI

# FILTRAZIONE

Separazione di particelle solide presenti in sistemi fluidi mediante l'uso di filtri.

Legge generale:

$$\text{VELOCITA' DI PROCESSO} = \text{FORZA MOTRICE} / \text{RESISTENZA}$$
$$\frac{dV}{dt} = \Delta P / R$$

V: volume del fluido

t: tempo

P: pressione

R: Resistenza

La resistenza R è data dalla resistenza propria del filtro ( $R_f$ ) alla quale si deve aggiungere la resistenza del materiale depositato ( $R_m$ )

La resistenza presentata dal materiale che si deposita sul filtro ( $R_m$ ) può essere espressa come:

$$R_m = \mu r L_m$$

$R_m$ : resistenza del materiale

$\mu$  : viscosità della sospensione da filtrare

$r$ : resistenza specifica ( resistenza per unità di spessore del materiale)

$L_m$  : spessore del materiale depositato sul filtro

Anche la resistenza del filtro può essere espressa negli stessi termini, attribuendo al filtro una  $R$  pari a quella presentata da uno spessore di materiale (si tratta cioè di uno spessore fittizio)

$$R_f = \mu r L_f$$

L'EQUAZIONE GENERALE DELLA FILTRAZIONE DIVIENE ALLORA:

$$dV/dt = A \Delta P / [\mu r (L_m + L_f)]$$

CONOSCENDO LE CARATTERISTICHE DELLA SOSPENSIONE (volume  $S$  di solidi presenti per unità di volume del liquido, l'area del filtro  $A$  e il volume  $V$  di fluido filtrato) E' POSSIBILE CALCOLARE LO SPESSORE  $S$  DEL MATERIALE DEPOSITATO SUL FILTRO (PANNELLO):

$$L_m A = V S$$

$$L_m = V S / A$$

## a) FILTRAZIONE A VELOCITA' COSTANTE:

R: praticamente costante

P: costante

$dV/dt$ : costante

Di norma la velocità di filtrazione è costante nella prima fase del processo, quando la resistenza del filtro è molto maggiore di quella del pannello.

L'equazione

$$dV/dt = A \Delta P / [\mu r (L_m + L_f)]$$

può essere allora integrata

$$V / A t = \Delta P / [\mu r (SV/A) + L_f]$$

Da questa espressione è possibile calcolare la differenza di pressione necessaria per avere un certo flusso prefissato.

## b) FILTRAZIONE A PRESSIONE COSTANTE:

L'equazione generale della filtrazione:

$$dV/dt = A \Delta P / [\mu r (SV/A) + L_f]$$

Integrando nell'intervallo di tempo 0-t, quindi tra 0 e V:

$$\int_0^V [\mu r (SV/A) + L_f] dV = \int_0^t A \Delta P dt \quad \mu r (SV^2/2A) + L_f V = A P t$$

espressione che può essere riscritta nella forma:

$$t A / V = (\mu r S/2P) V/A + \mu r L_f / P$$

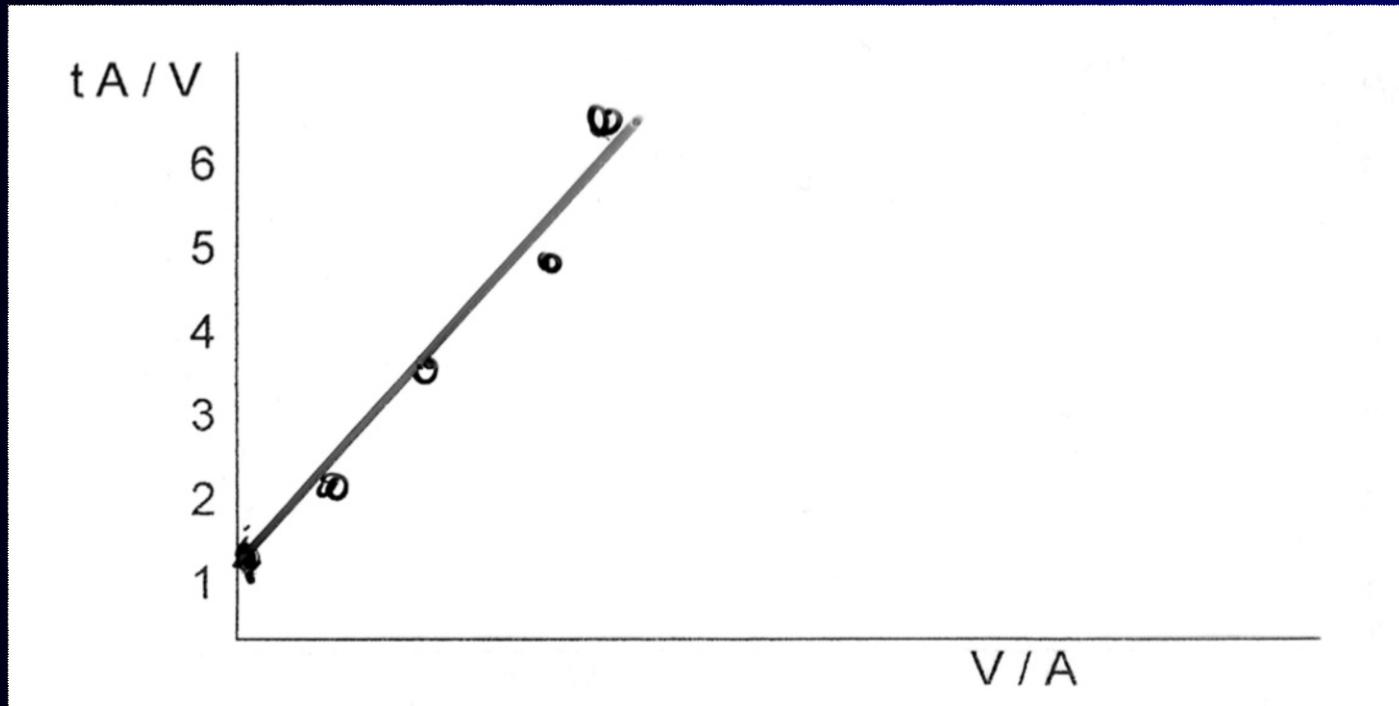
che in un diagramma  $(t A / V) =$  funzione di  $(V/A)$

Individua una retta  $y = mx + q$  che permette il calcolo della capacità filtrante di un impianto:

$$m = (\mu r S/2P)$$

$$q = (\mu r L_f / P)$$

Noti i termini  $\mu$ ,  $V$ ,  $P$ ,  $A$  si possono ricavare  $r$  e  $L_f$



$$m = (\mu r S / 2P)$$

$$q = (\mu r L_f / P)$$

## Compressibilità del pannello

DURANTE LA FILTRAZIONE IL PANNELLO PUO' SUBIRE UNA COMPRESSIONE CHE PROVOCA UN CAMBIAMENTO DEL VALORE DELLA RESISTENZA SPECIFICA "r"

IN QUESTI CASI SI PUO' USARE UNA RELAZIONE EMPIRICA, CHE PERMETTE DI VALUTARE I CAMBIAMENTI DI RESISTENZA, DEL TIPO:

$$r = r' (\Delta P^s) \quad \text{dove}$$

$r$  = resistenza specifica del pannello sotto una pressione

$r'$  = resistenza specifica sotto il gradiente di 1 atm

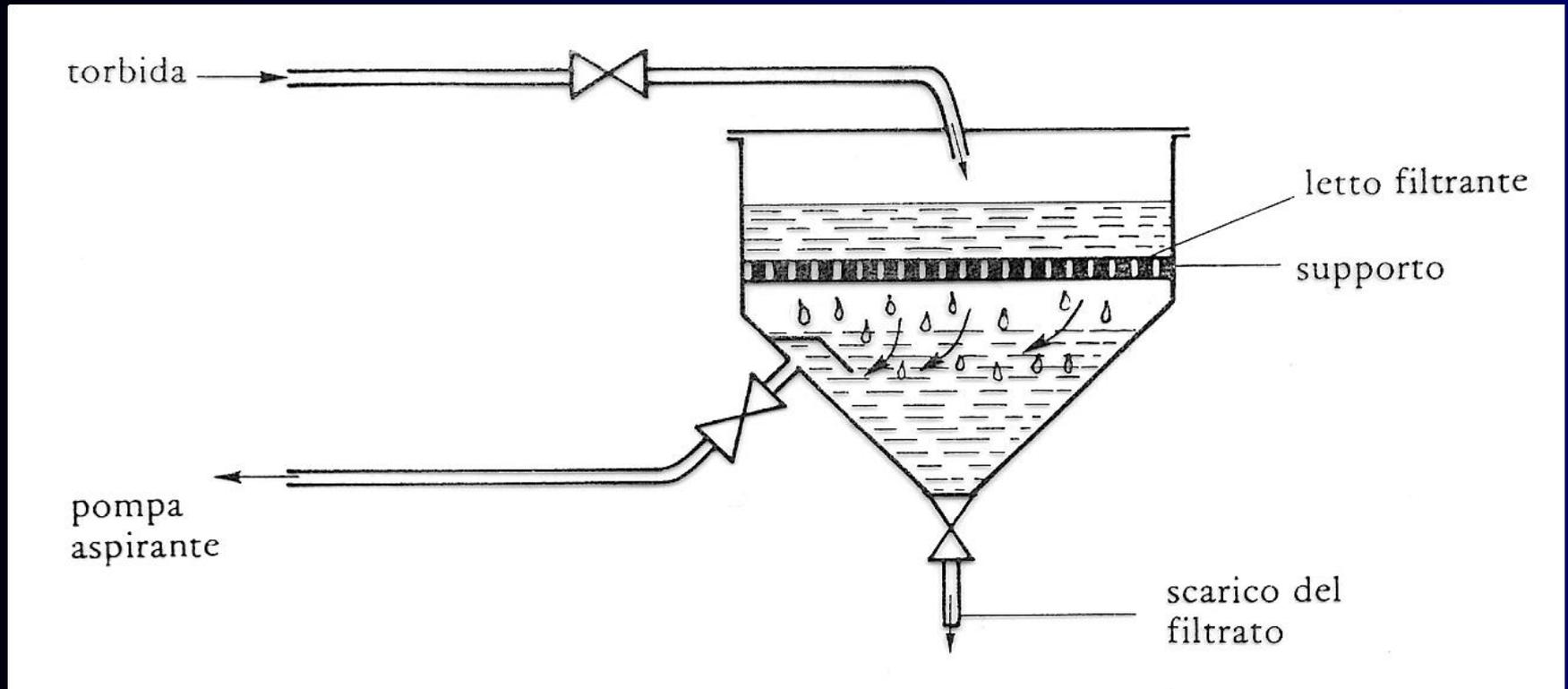
$\Delta P$  = caduta di pressione attraverso il filtro

$s$  = costante caratteristica del materiale (*compressibilità*)

**N.B. Osmosi diretta-inversa e ultrafiltrazione**  **trattazione distinta**

**APPARECCHIATURE**

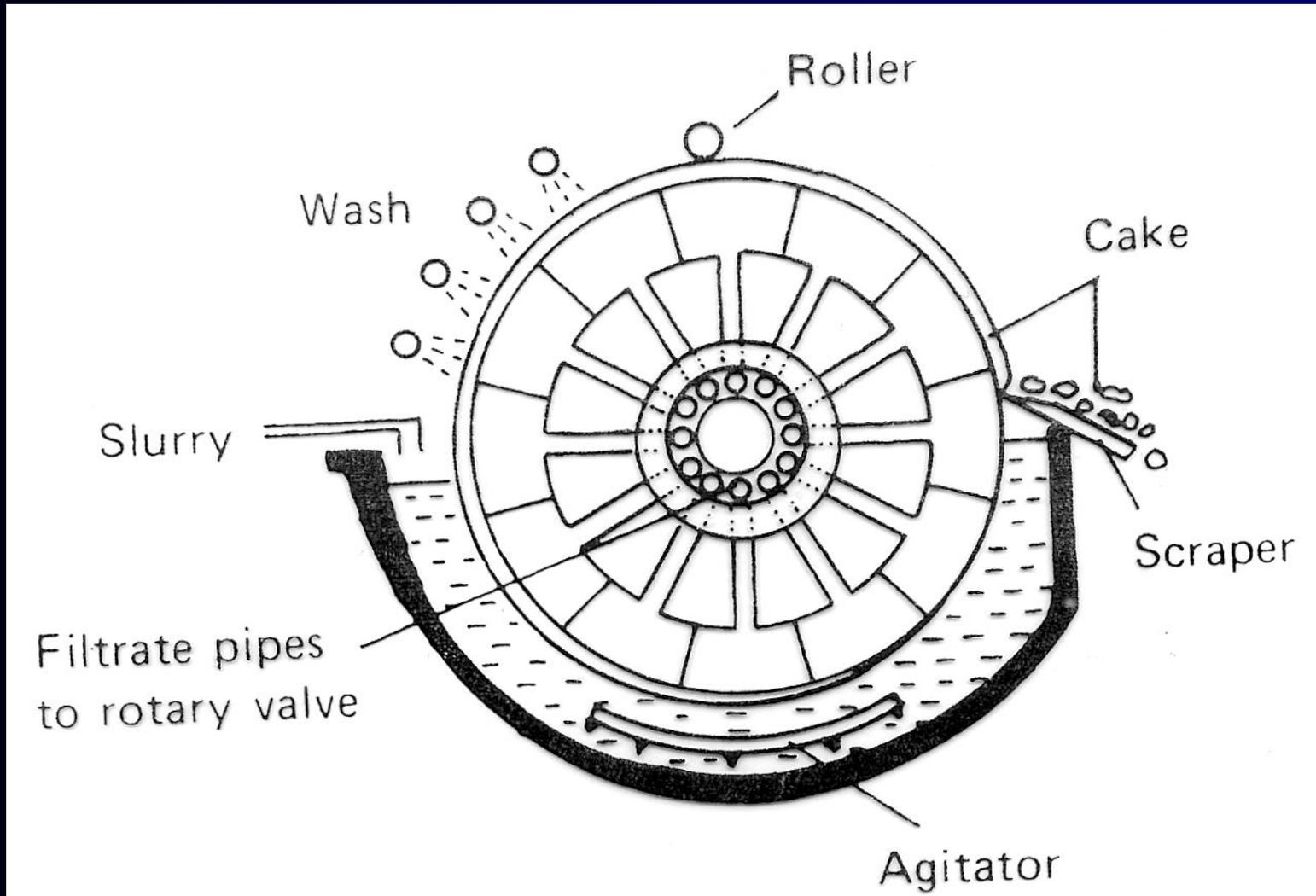
# FILTRO A NUCCIA



Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

- pressione a monte o depressione a valle

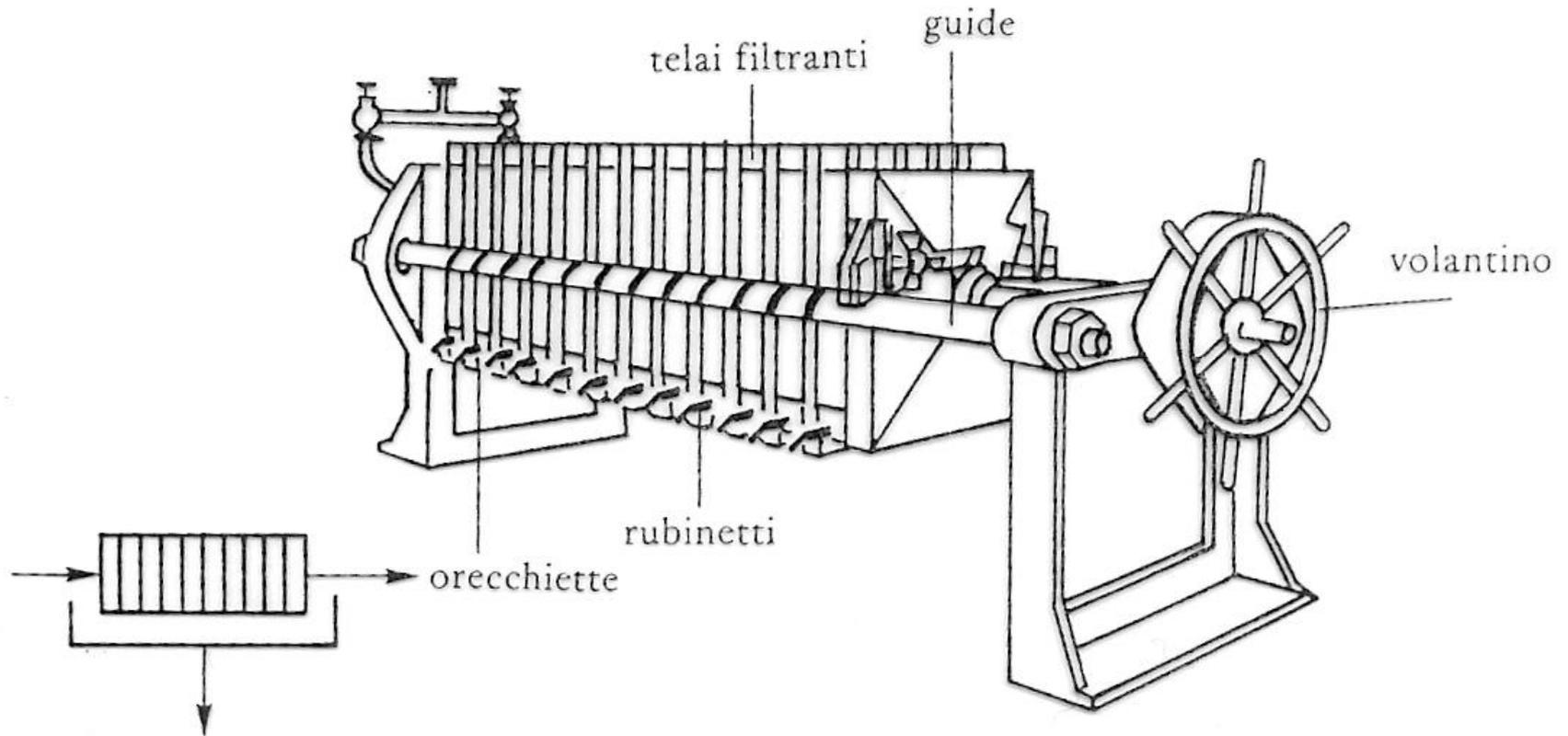
# FILTRO OLIVER



Da: FELLOW P.J., Food Processing Technology - Principles and practice  
– third edition. Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, 2009

- con tela o farina fossile

# FILTRO PRESSA



Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

compressione

# FILTRO PRESSA

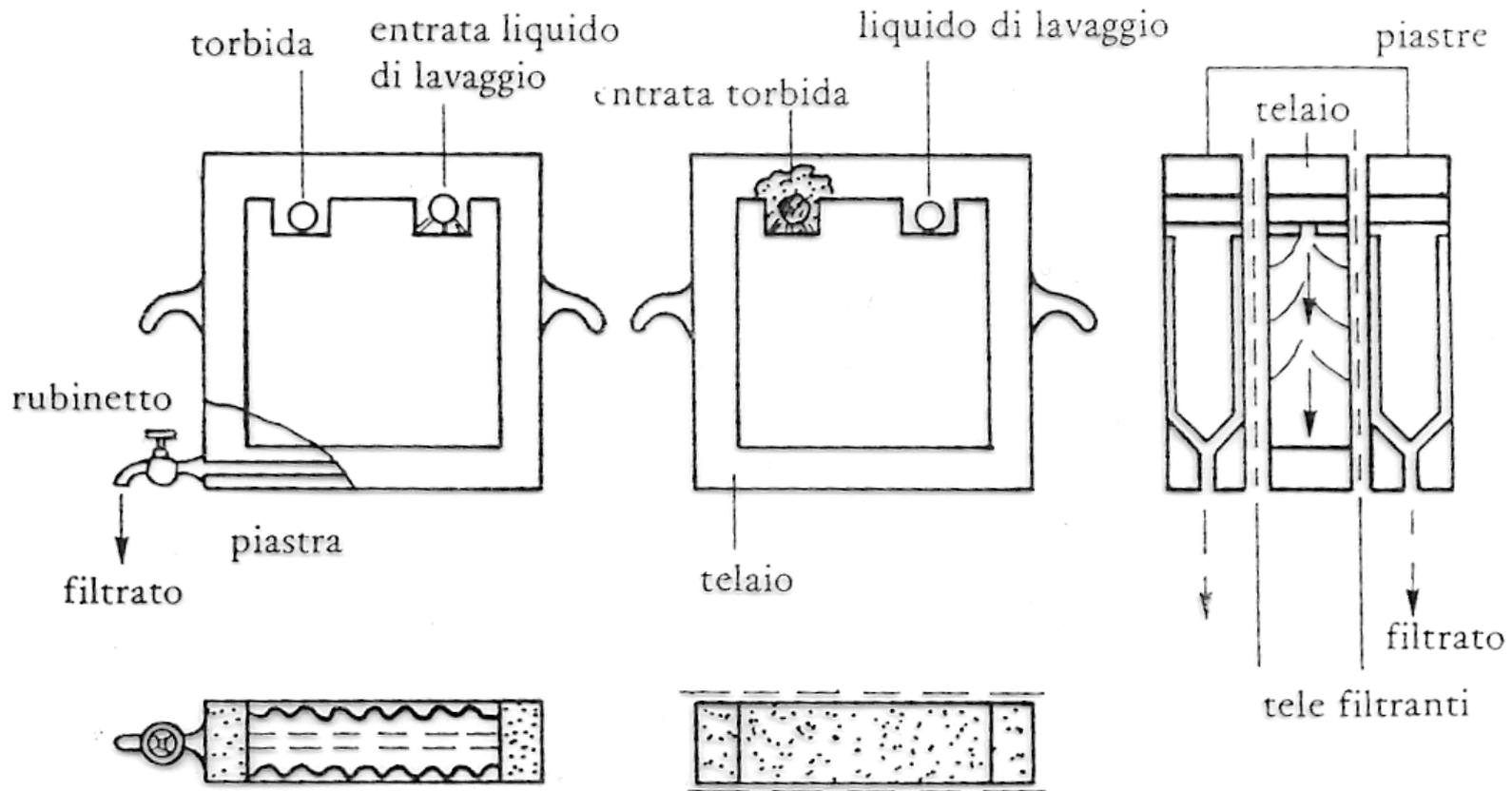


Fig. II.49

# PROCESSI DI SEPARAZIONE BASATI SULLE DIFFERENZE DI DENSITA' DI FASI O FRAZIONE IMMISCIBILI

## 1. SEDIMENTAZIONE

La **LEGGE DI STOKES** stabilisce:

$$V = D^2 g (\sigma_1 - \sigma_2) / 18\mu$$

V: velocità di sedimentazione (precipitazione o affioramento)

D: diametro della particella

g: Accelerazione di gravità

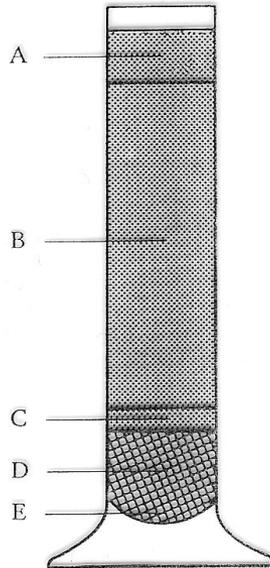
$\sigma$ : Densità (particelle e fluido)

$\mu$  : viscosità

LA SEDIMENTAZIONE SI APPLICA A MISCELE:

- solido-liquido
- Liquido-liquido
- Solido-gas

# Cilindro graduato



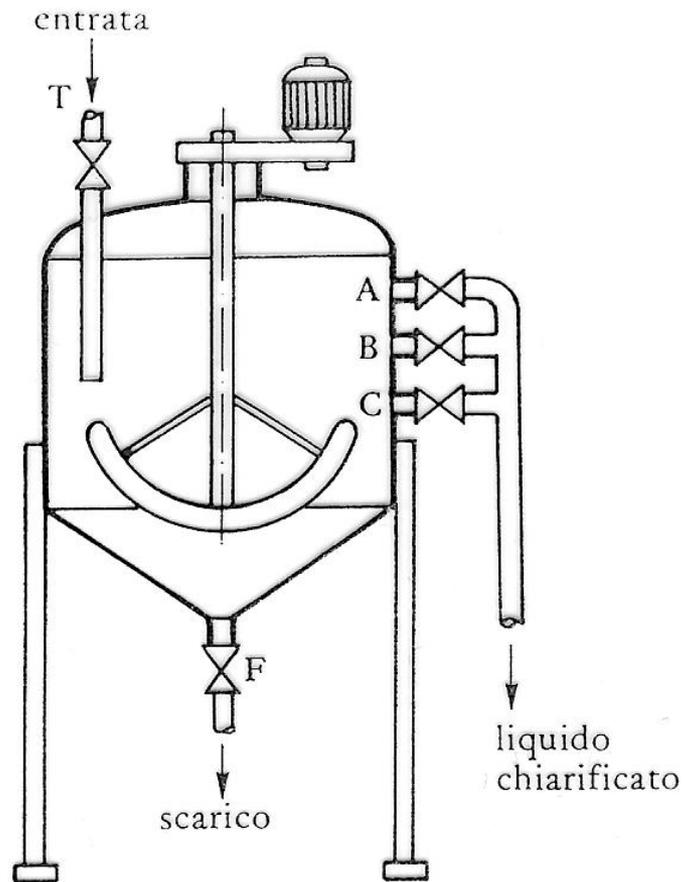
*Fig. II.51*

- Zona A : strato limpido (chiarificato)  
B : sospensione a concentrazione in solidi praticamente costante  
C : strato a concentrazione variabile tra quelle di B e di D  
D : strato di spessimento  
E : sedimento.

# APPARECCHIATURE

- SEDIMENTATORI DISCONTINUI (imbuto separatore)
- SEDIMENTATORI CONTINUI
- CICLONI SEPARATORI

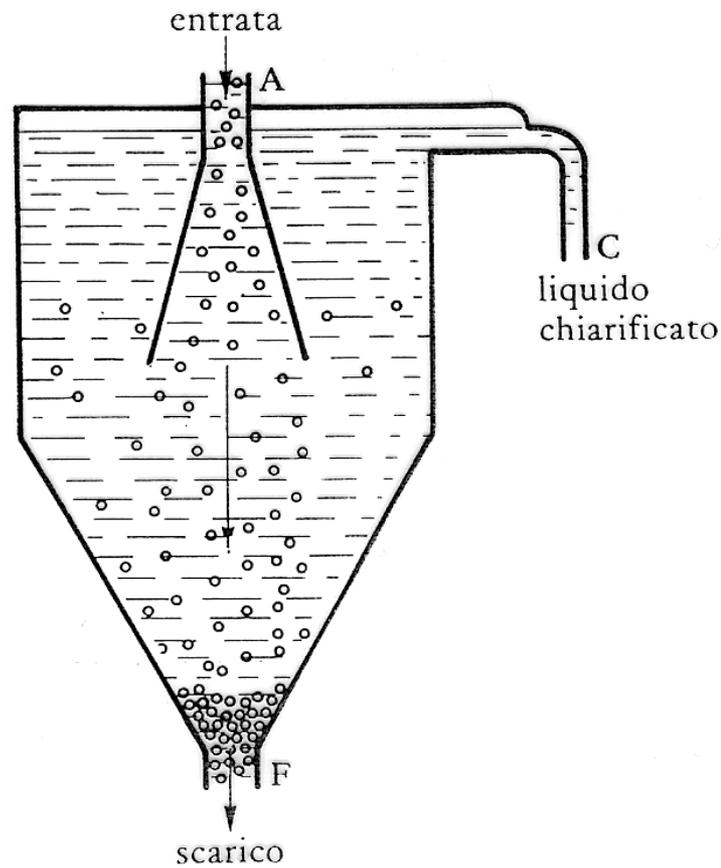
# IMBUTO SEPARATORE



*Fig. II.52*

DISCONTINUO

# CONTINUO



*Fig. II.53*

# DECANTATORE DORR

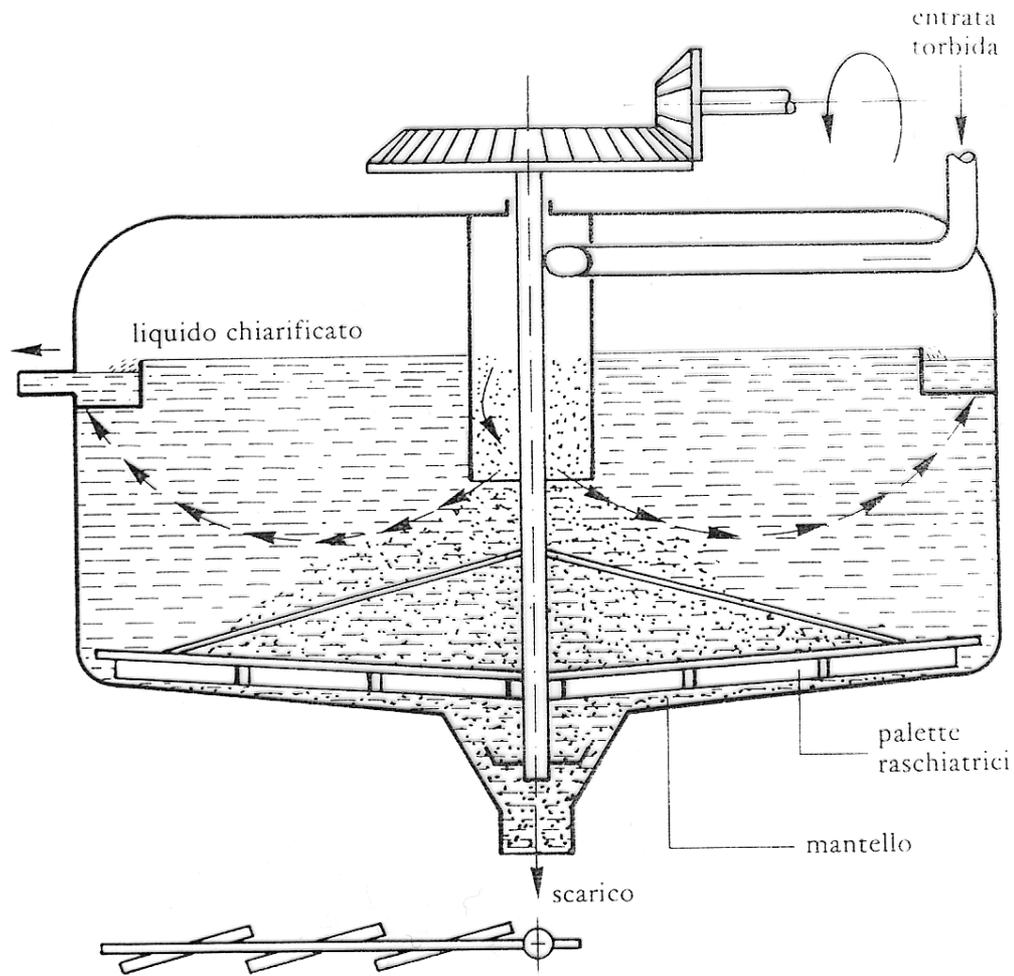


Fig. II. 54

# Sedimentazione di solidi in un gas

## Apparecchiature $\Rightarrow$ Cicloni separatori

- Il ciclone è una camera di decantazione di forma cilindrica a fondo troncoconico
- L'aria, entrando lateralmente, segue un cammino a spirale verso l'alto
  - Sulle particelle vengono ad agire due forze: una centrifuga dovuta al movimento dell'aria, e la forza di gravità
- Le due azioni combinate, unitamente all'attrito, favoriscono una rapida sedimentazione delle particelle
- La legge di Stokes permette di affermare che la velocità delle particelle è correlata alla risultante delle forze che agiscono su di esse

# Sedimentazione di solidi in un gas

☞ per una singola particella si può scrivere:

$$F_c = m (v^2/r)$$

dove:

**F<sub>c</sub>** = forza centrifuga che agisce sulla particella

**m** = massa della particella

**v** = velocità tangenziale della particella

**r** = raggio della particella

- Per un dato valore di **v** la forza sulla particella aumenta col decrescere del raggio
- Per la rimozione di piccole particelle l'efficienza del ciclone aumenta con il diminuire del diametro di questo
- Le dimensioni che sperimentalmente risultano ottimali sono oltre i **20μ**
  - L'efficienza di un ciclone dipende in larga misura dalle dimensioni delle particelle, se inferiori ai **5μ** è necessario ricorrere ad altri sistemi di separazione
  - E' fondamentale che l'aria entri tangenzialmente alla parete

# CICLONE SEPARATORE

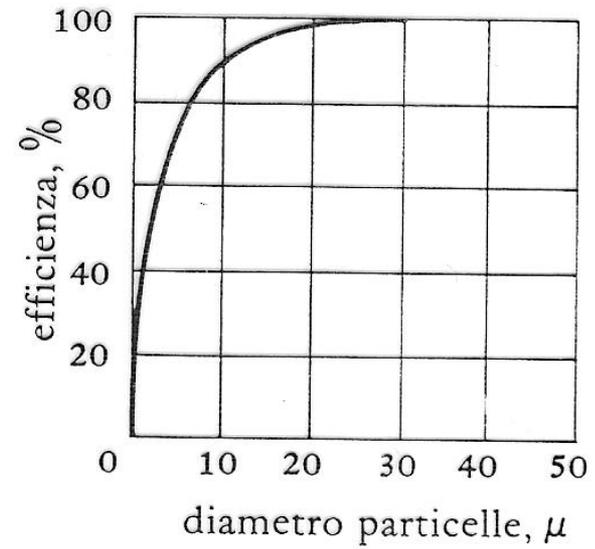
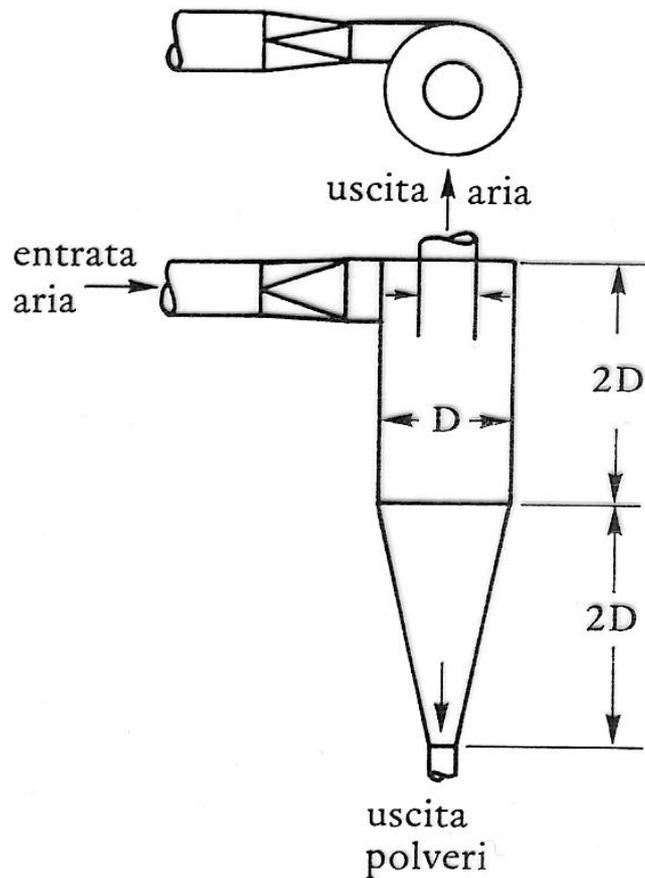


Fig. II.55

## 2. FLOTTAZIONE

SEPARAZIONE DI DUE SOLIDI (o di un solido da un liquido) FACENDO GALLEGGIARE UNO DI ESSI (o il solido) MEDIANTE L'AZIONE COMBINATA DI BOLLE D'ARIA E DI AGENTI FLOTTANTI (non necessariamente da additivare) → (acidi grassi, xantogenati) → MODIFICANO IN MODO SELETTIVO LA BAGNABILITA' DI UN SOLIDO

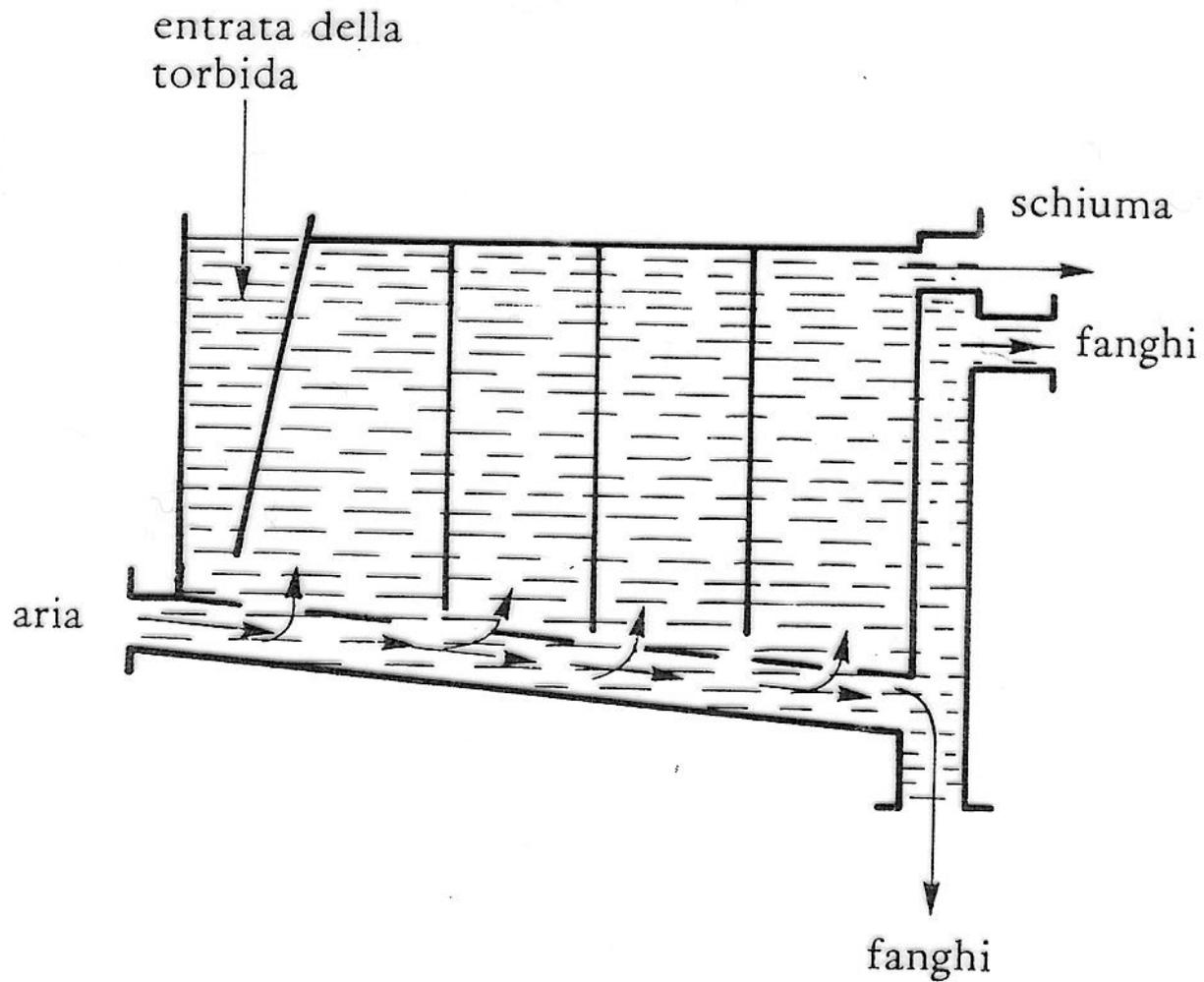
Quando le particelle solide vengono tenute in agitazione in una massa d'acqua contenente agenti flottanti e schiumogeni → Esaltazione delle proprietà idrofile e aerofile.

➤ Particelle che tendono ad **adsorbire acqua** bagnandosi tendono a precipitare sul fondo

➤ Particelle che tendono ad **adsorbire aria** galleggeranno per effetto della diminuzione del peso specifico (presenza di bolle)

### Applicazioni

- Separazione particelle di grasso da soluzioni acquose (semplice insufflamento di aria)
- Chiarificazione succhi



*Fig. II.56*

### 3. CENTRIFUGAZIONE

PER AUMENTARE LA VELOCITA' DEL PROCESSO SEPARATIVO NELLA CENTRIFUGAZIONE ALLA FORZA DI GRAVITA' VIENE AGGIUNTA UNA FORZA CENTRIFUGA

$$F_g = Mg$$

$$F_c = M a_c \quad a_c : \text{accelerazione centrifuga}$$

SE:

$N =$  r.p.m (REVOLUTION PER MINUTE)

(  $N = 1/ t$ , inverso del tempo, velocità angolare)

$r =$  raggio della centrifuga

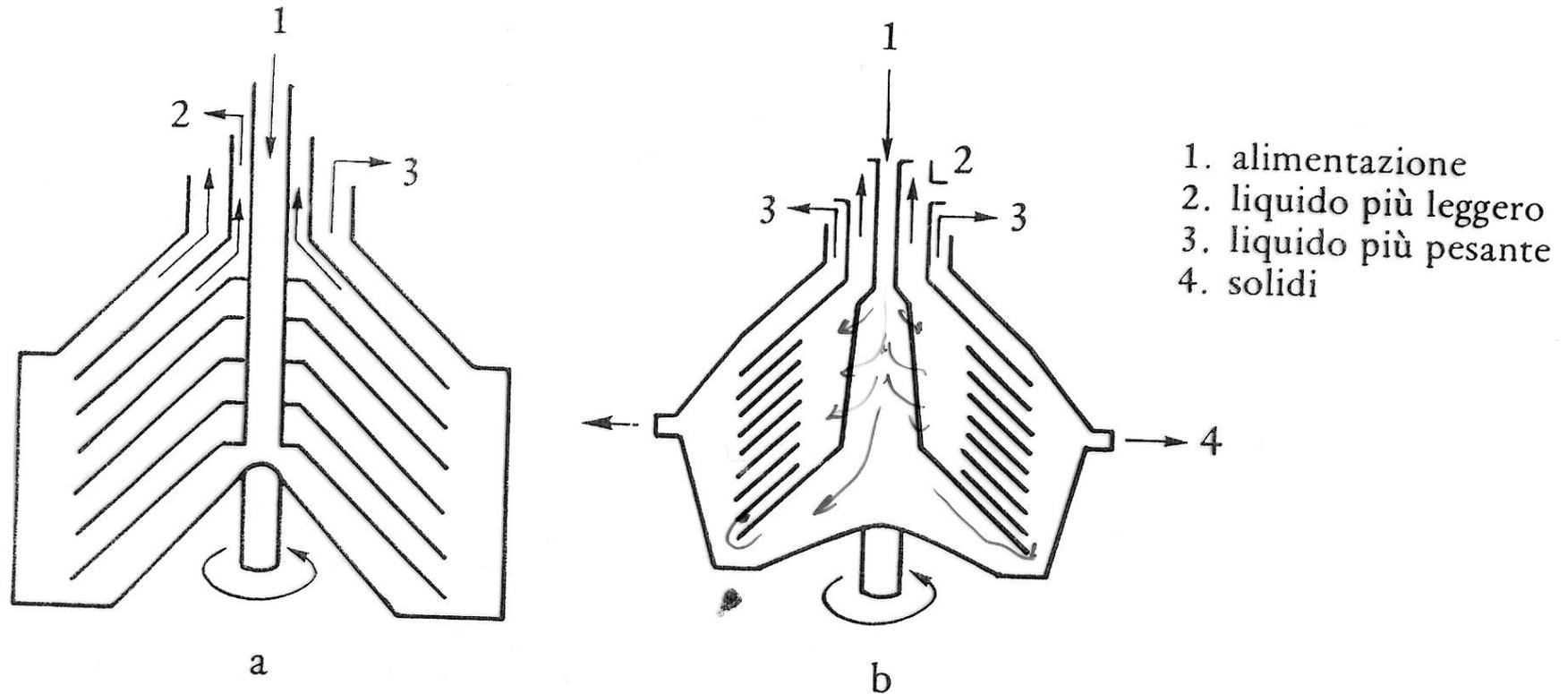
$$F_c = m r (2\pi N / 60)^2 = 0,011 m r N^2$$

VELOCITA' DI SEPARAZIONE:

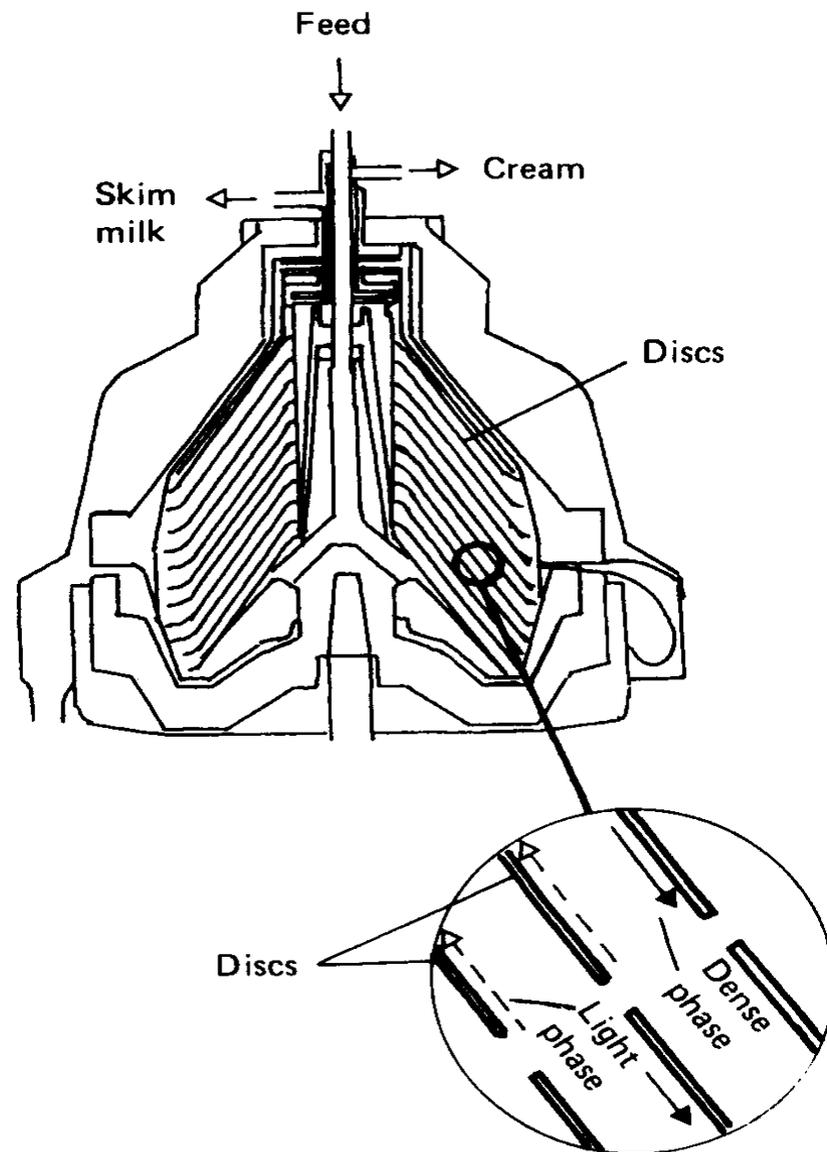
$$V_m = (D^2 N^2 r \Delta\sigma) / (1640 \pi)$$

Esempi di centrifughe discontinue e continue

# CENTRIFUGHE CONTINUE A PIATTI

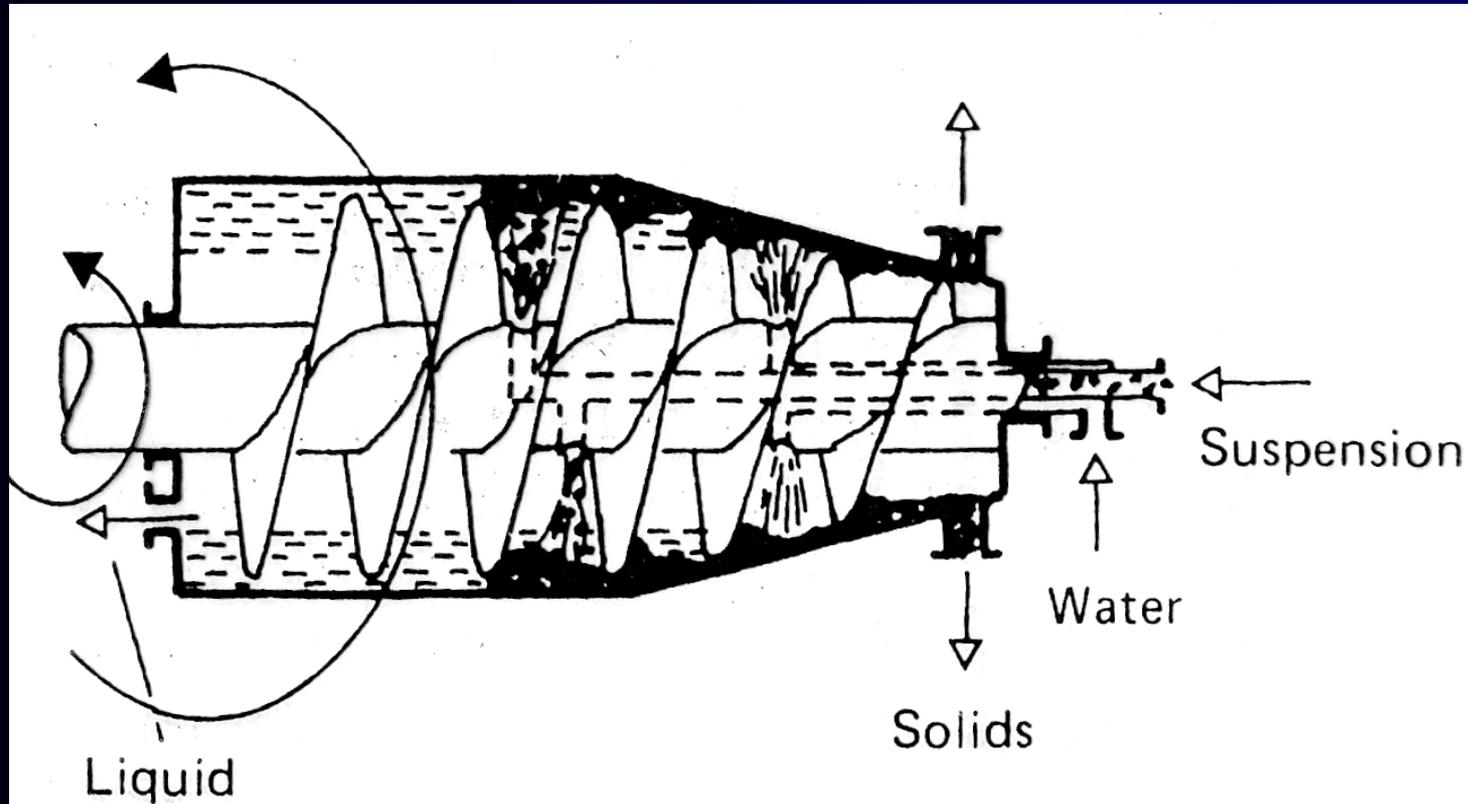


*Fig. II.59*



**Fig. 6.2** Disc bowl centrifuge.  
(Adapted from Hemfort (1983).)

# CENTRIFUGA AVITE



4 — Conveyor bowl centrifuge. (After Leniger and Beverloo (1975).)

# PROCESSI DI SEPARAZIONE BASATI SU DIFFERENZE NELLA TEMPERATURA DI EBOLLIZIONE E SULLE CONDIZIONI DI CONDENSAZIONE

## DISTILLAZIONE

Vapore

$[a]' + [b]' + [c]'$

$[a]' + [b]' + [c]' + \text{residuo}$

Liquido                      non volatile

## EQUILIBRIO LIQUIDO / VAPORE

All'equilibrio le due fasi (liquido e vapore) hanno la stessa composizione qualitativa in componenti volatili ma diversa distribuzione

# REAZIONI DI EQUILIBRIO PER LA MISCELA BINARIA A+B

## LEGGE DI HENRY:

$$P_A = H_A X_A$$

$P_A$  : tensione di vapore di A nel vapore

$H_A$  : costante di Henry

$X_A$  : frazione molare di A

Per frazione molare si intende il numero di moli di un componente in rapporto alle moli totali presenti ( $n_A / n_{tot} = X_A$ )

## LEGGE DI RAOULT (per miscele ideali):

$$P_A = P_A^* X_A$$

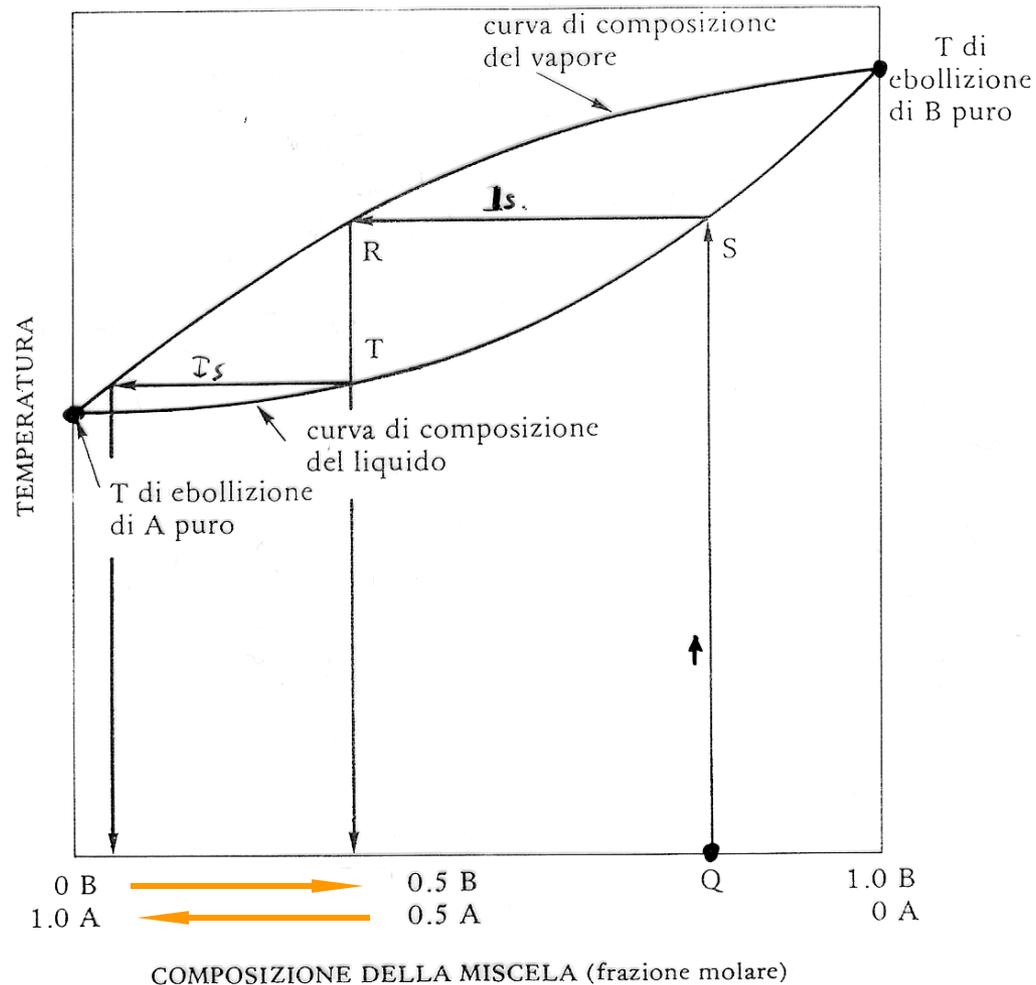
$P_A^*$ : tensione di vapore di A puro

Si può applicare nei sistemi in cui  $X_A$  è molto prossimo a 1

## CURVE DI EQUILIBRIO:

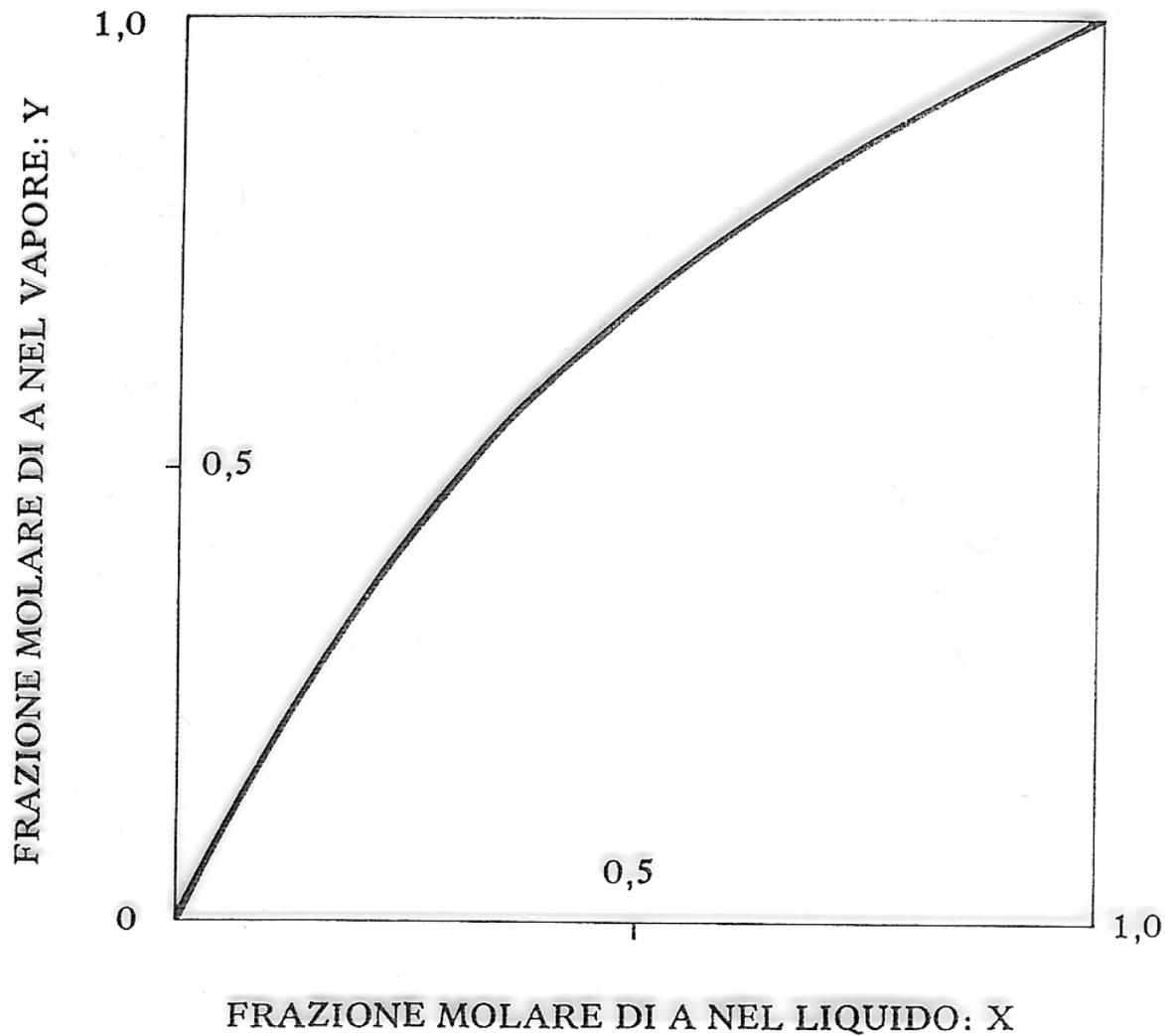
Temperatura ebollizione - conc.

Conc. nel vapore- conc. nel liquido



Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

Tracciando varie isoterme si ottiene una serie di valori X e Y che possono essere riportati su una curva di distribuzione delle concentrazioni.



Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

# MISCELE AZEOTROPICHE

PER UNA DATA CONCENTRAZIONE LA COMPOSIZIONE DEL VAPORE E' UGUALE ANCHE IN QUANTITÀ ALLA COMPOSIZIONE DEL LIQUIDO

**N.B. NON DISTILLABILI**

➤ Condizioni di equilibrio in un sistema a due componenti liquidi (A e B):

RAOULT (per miscele reali):

$$P_A = \gamma_A X_A P_A^*$$

$$P_B = \gamma_B X_B P_B^*$$

Gibbs-Duhem:

$$X_A [d \log \gamma_A / d X_A]_{P,T} + X_B [d \log \gamma_B / d X_B]_{P,T} = 0$$

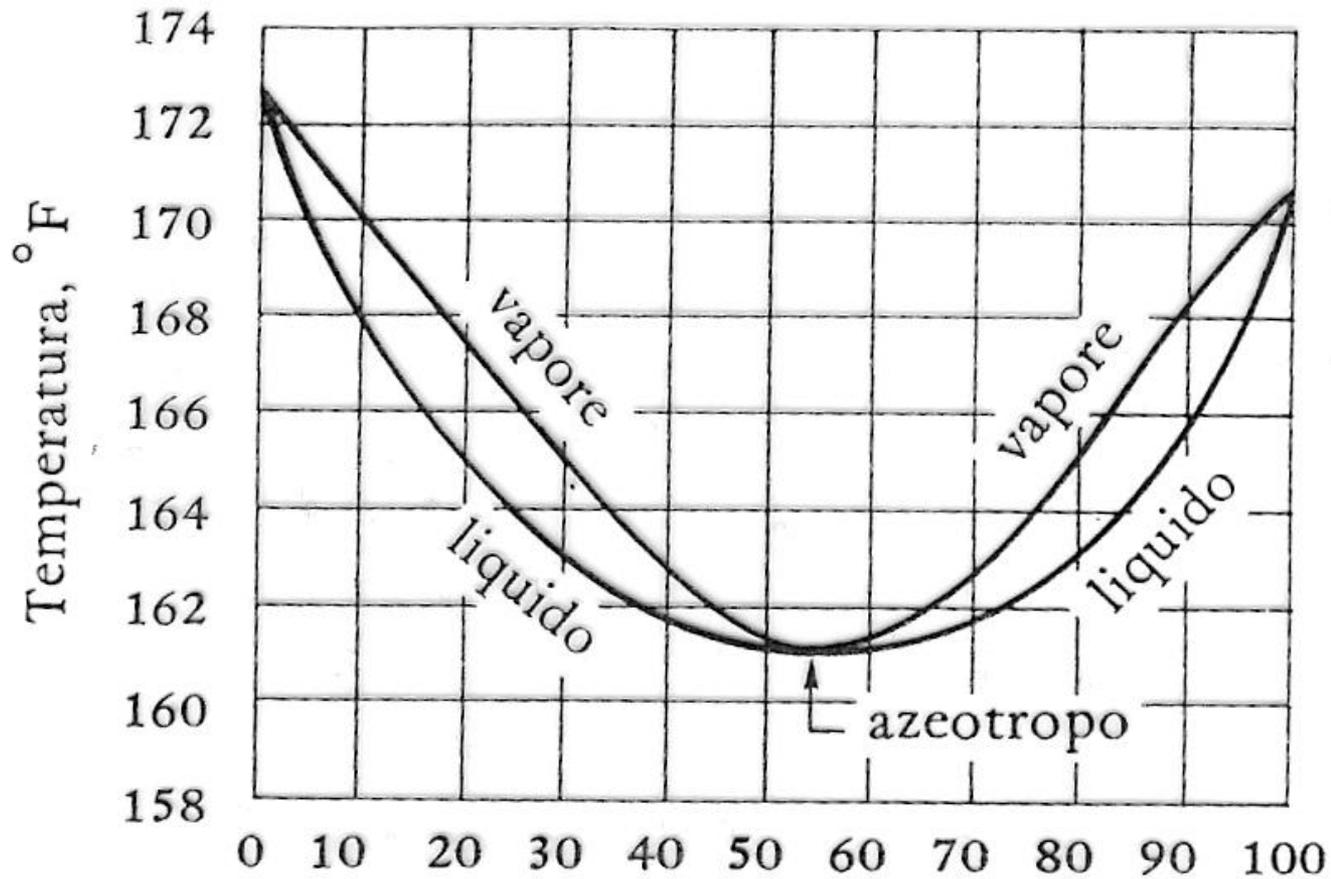
**Tra le varie soluzioni matematiche:**

Margules:

$$\log \gamma_A = X_B [A_2 + 2X_A (A_2 - A_1)]$$

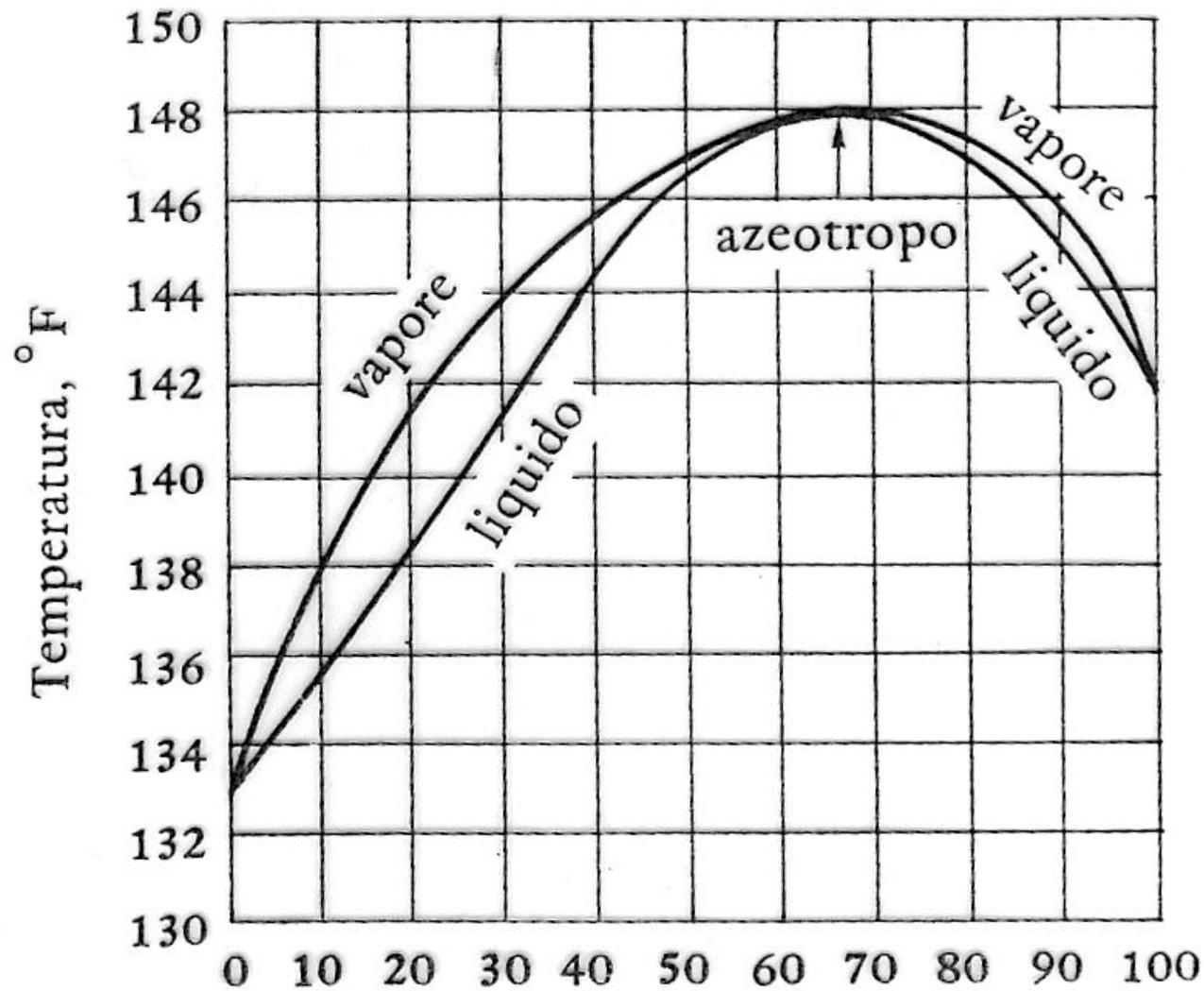
$$\log \gamma_B = X_A [A_1 + 2X_B (A_1 - A_2)]$$

**Dove  $A_2$  e  $A_1$  sono delle costanti**



- Acetato di etile
- etanolo

Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983



- cloroformio
- acetone

A seconda della pressione alla quale si esegue la distillazione si può avere:

➤ **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 che, altrimenti, potrebbero decomporsi

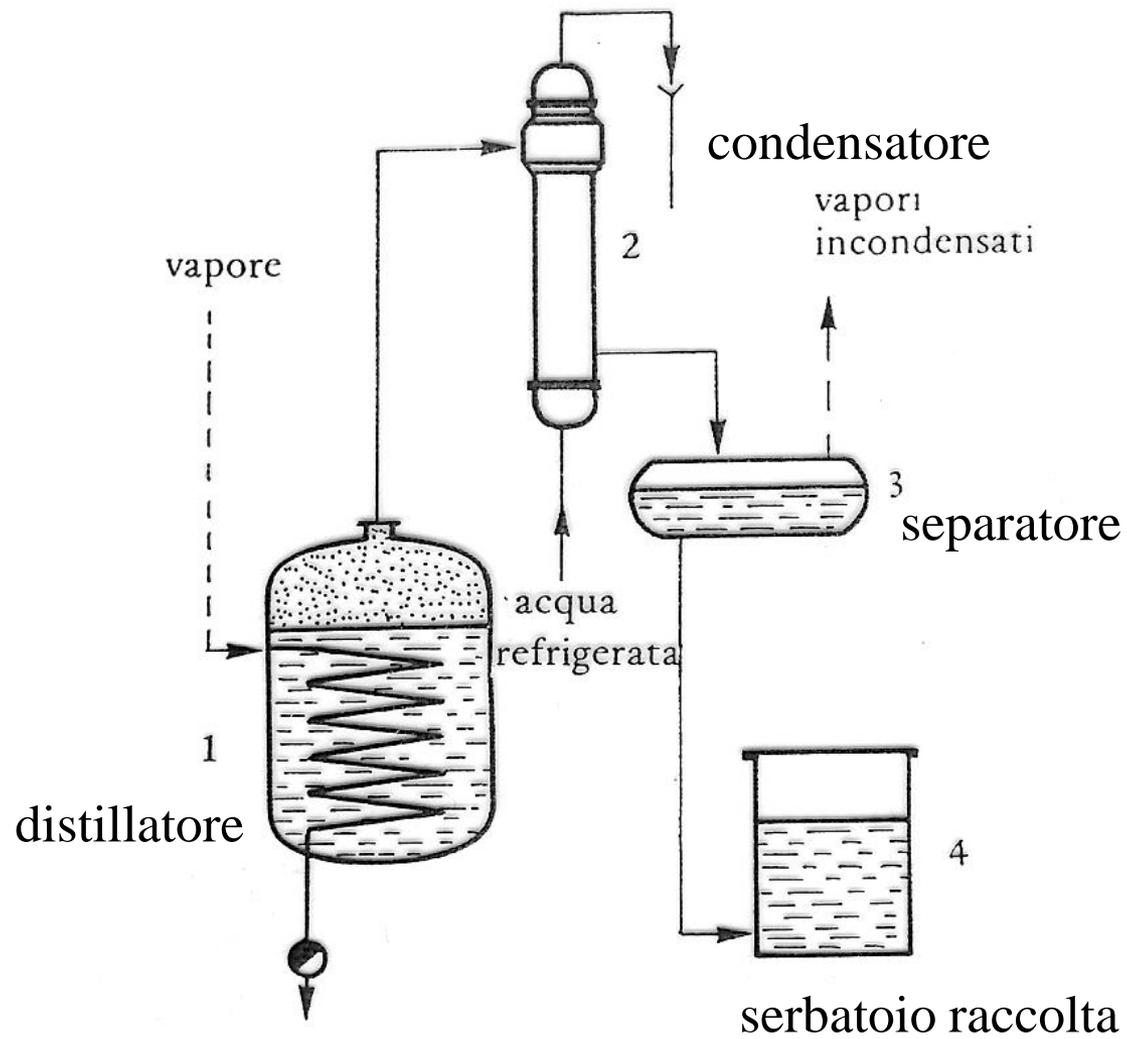
➤ **Distillazione in corrente di vapore:**  $P = P_{atm}$ ; si abbassa la  $T$  di ebollizione delle sostanze volatili grazie all'aggiunta di un vapore inerte (vapore d'acqua) la cui funzione è quella di contribuire alla tensione di vapore del sistema, in modo da bilanciare più facilmente ( $T$  minore) la pressione esterna.

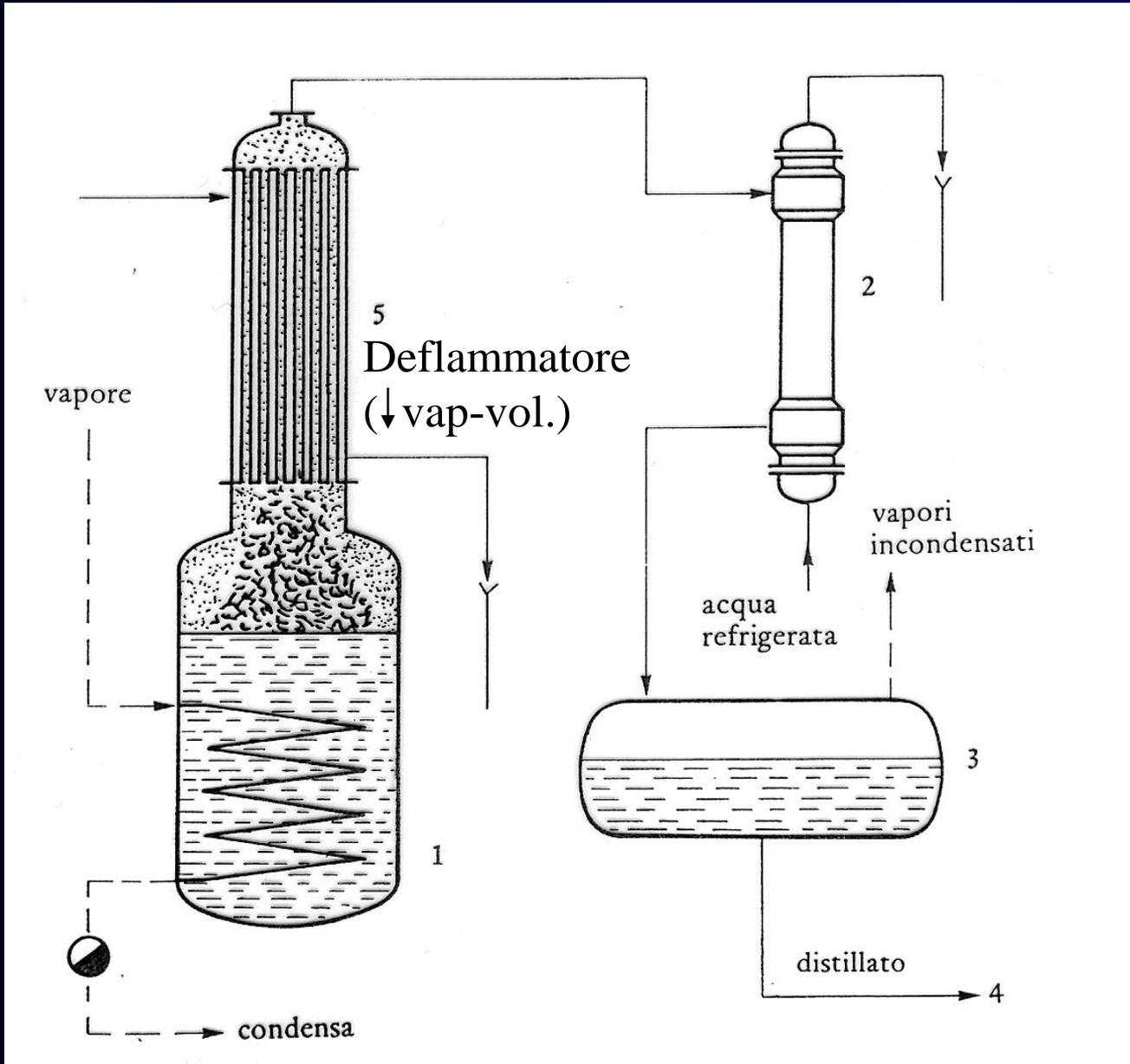
La distillazione può essere inoltre:

- **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

## APPARECCHIATURE

- convenzionale
- con deflemmatore





Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

# DISTILLAZIONE FRAZIONATA IN COLONNE A PIATTI

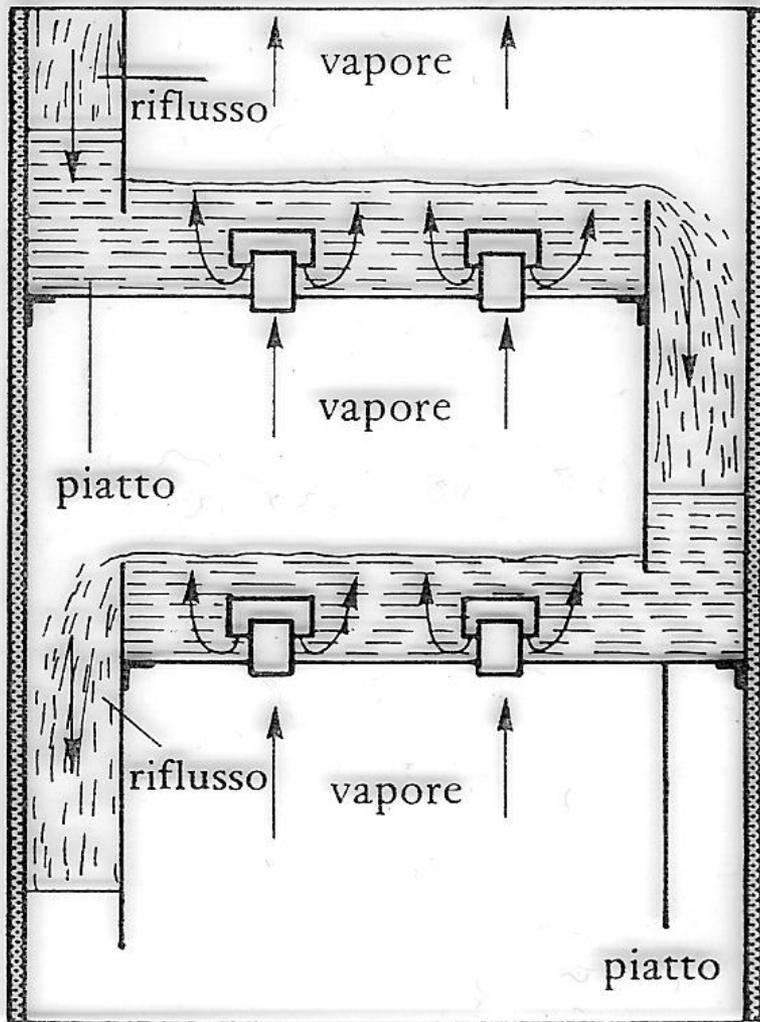
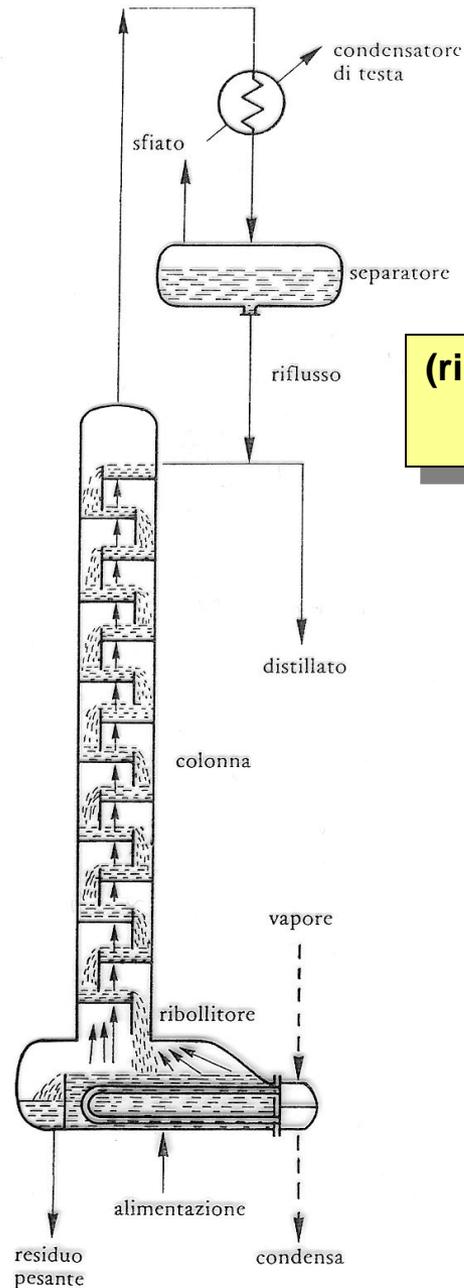


Fig. II. 77

**T** La temperatura del liquido e dei vapori è crescente dal piatto di testa al piatto di fondo. Liquido e vapore percorrono la colonna in controcorrente: il primo si arricchisce dei componenti meno volatili (condensano di piatto in piatto nel liquido stesso), il secondo di quelli più volatili.

# DISTILLAZIONE FRAZIONATA IN COLONNA



**(riciclo) → migliore purificazione**

Fig. II.78

Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

# ESTRAZIONE CON SOLVENTE



VELOCITA' ESTRAZIONE = FORZA MOTRICE / RESISTENZE

F.M= differenza di concentrazione del componente che deve essere estratto all'interfaccia del solido e al centro della fase solvente

$$dW/dt = K_i A (Y_s - Y)$$

$dW/dt$ : velocità di trasferimento del componente W (quantità in peso)

$K_i$  : coefficiente di trasporto di materia

$Y$  : conc. di W nel centro della soluzione (g/unità di volume)

$Y_s$  : concentrazione all'interfaccia (uguale alla conc. di saturazione alla T del sistema)

Fattori che controllano il processo:

1. Area di contatto tra le fasi
2. Tempo di contatto
3. Proprietà dei materiali trattati (distribuzione all'equilibrio del componente che deve essere estratto)
4. Numero di stadi impiegati

➤ macinazione o laminazione del materiale (solido) ➡  
aumento della superficie A

➤ agitazione della soluzione ➡ impedimento  
formazione zone ad alta conc.

➤ incremento della temperatura ➡ aumento di  $Y_s$  e di  $K_i$

Se  $V$  rappresenta la quantità (volume) di liquido aggiunto, il bilancio di massa impone che:

$$dW = V dY$$

$$dW/dt = K_i A (Y_s - Y)$$

$$V dY/dt = K_i A (Y_s - Y)$$

$$\int_{y_0}^y \frac{1}{(Y_s - Y)} dY = \int_0^t (K_i A / V) dt$$

N.B.  $Y_s$  è una grandezza nota,  $Y$  è l'incognita

$$[- \ln (Y_s - Y)]_{y_0}^y = [(K_i A) / V] t$$

$$\ln [(Y_s - Y_0) / (Y_s - Y)] = [(K_i A) / V] t$$

**L'AVVICINAMENTO ALL' EQUILIBRIO PRESENTA UN ANDAMENTO ESPONENZIALE RISPETTO AL TEMPO**

# ESTRAZIONE SOLIDO-LIQUIDO (lisciviazione)

Prevede:

- trattamento del solido  
(essiccamento + laminazione, macinazione, ecc.)
- Contatto
- separazione del liquido (solvente+soluti) dal solido residuo
- separazione liquido / liquido (recupero del solvente)

## ESTRAZIONE LIQUIDO-LIQUIDO

Eseguita quando i componenti della miscela presentano temperature di ebollizione molto vicine o quando si hanno soluzioni molto diluite.

## Caratteri del solvente:

- alta capacità solubilizzante
- alta selettività
- alta stabilità ed inerzia nei confronti degli "altri" costituenti
- bassa temperatura di ebollizione (favorisce la distillazione per la rimozione e recupero del solvente)
- bassa viscosità (migliore resa di estrazione)
- assenza di tossicità (\*\*\*\*\*)

## ESTRATTORI

Sono in pratica dei serbatoi muniti di agitatori, collegati con separatori ( decantatori)

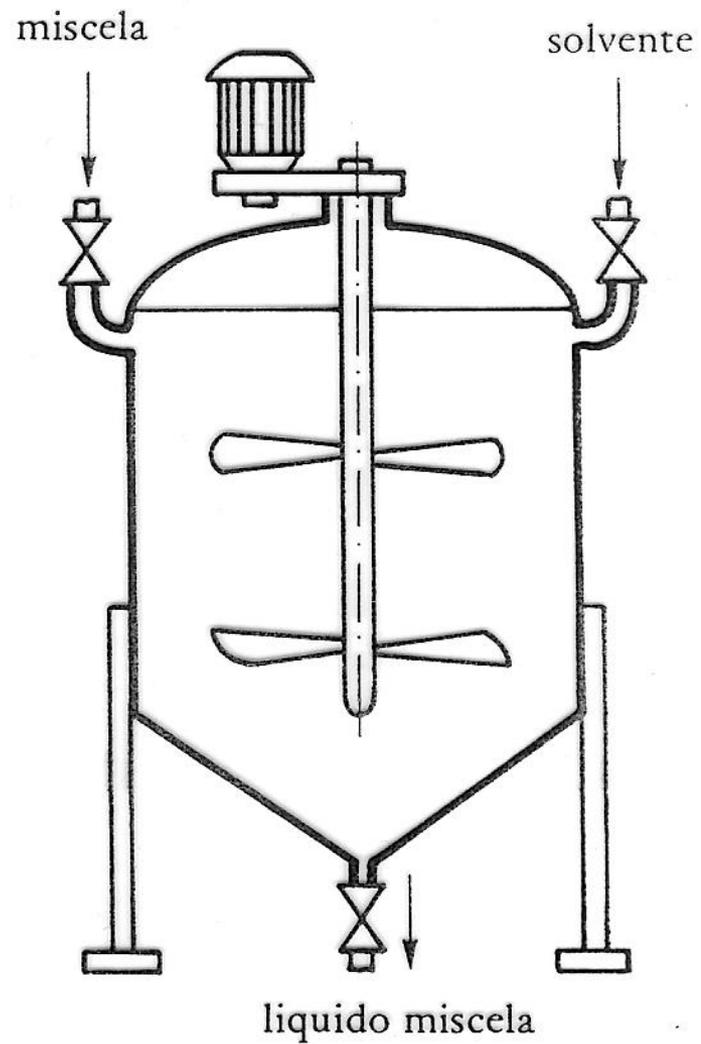
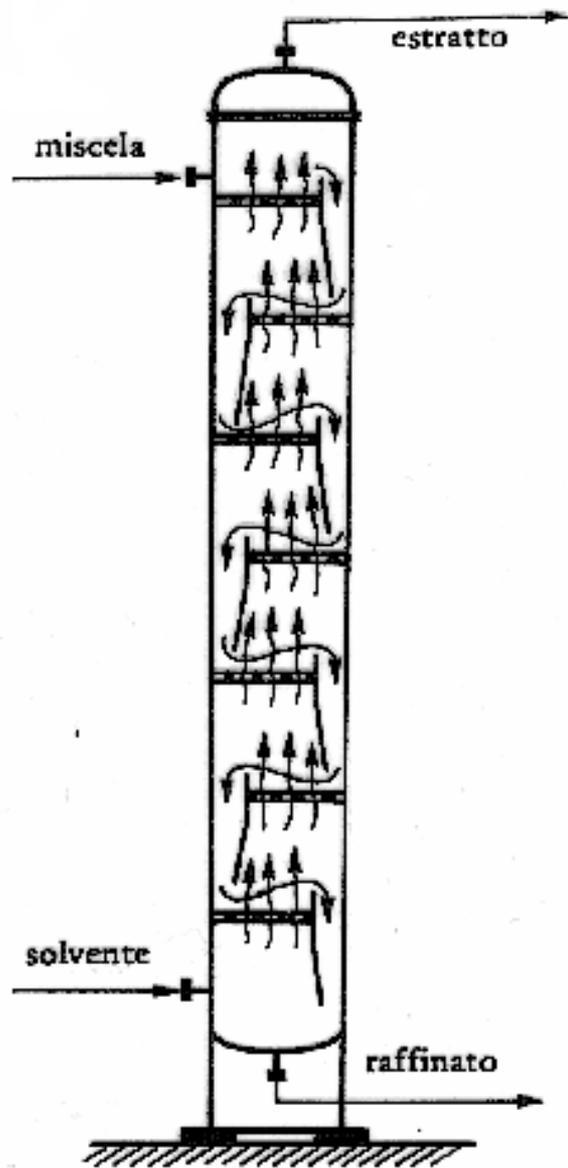
- Estrazione per contatto semplice:
- Estrazione semplice con contatto multiplo
- Estrazione a contatto continuo in controcorrente:

### COLONNA DI ESTRAZIONE:

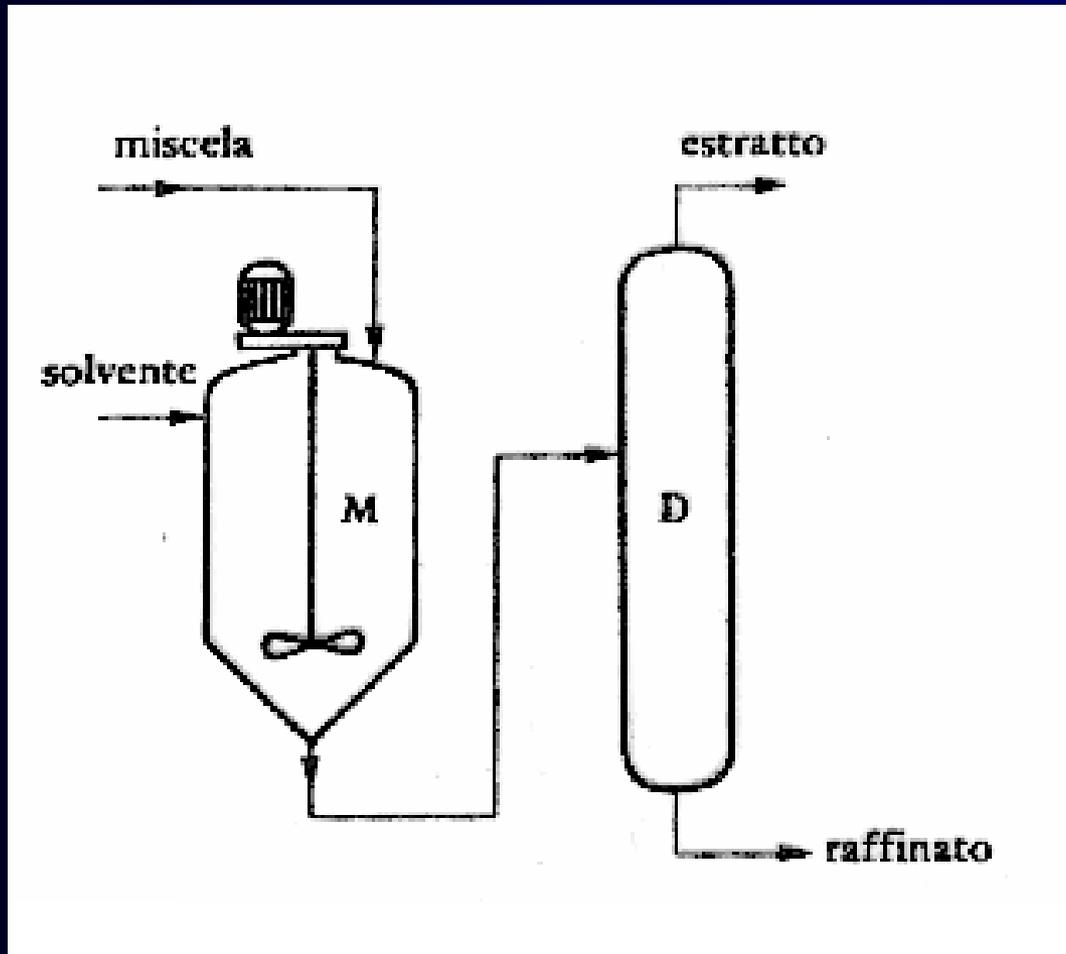
consente un'operazione continua senza decantatori



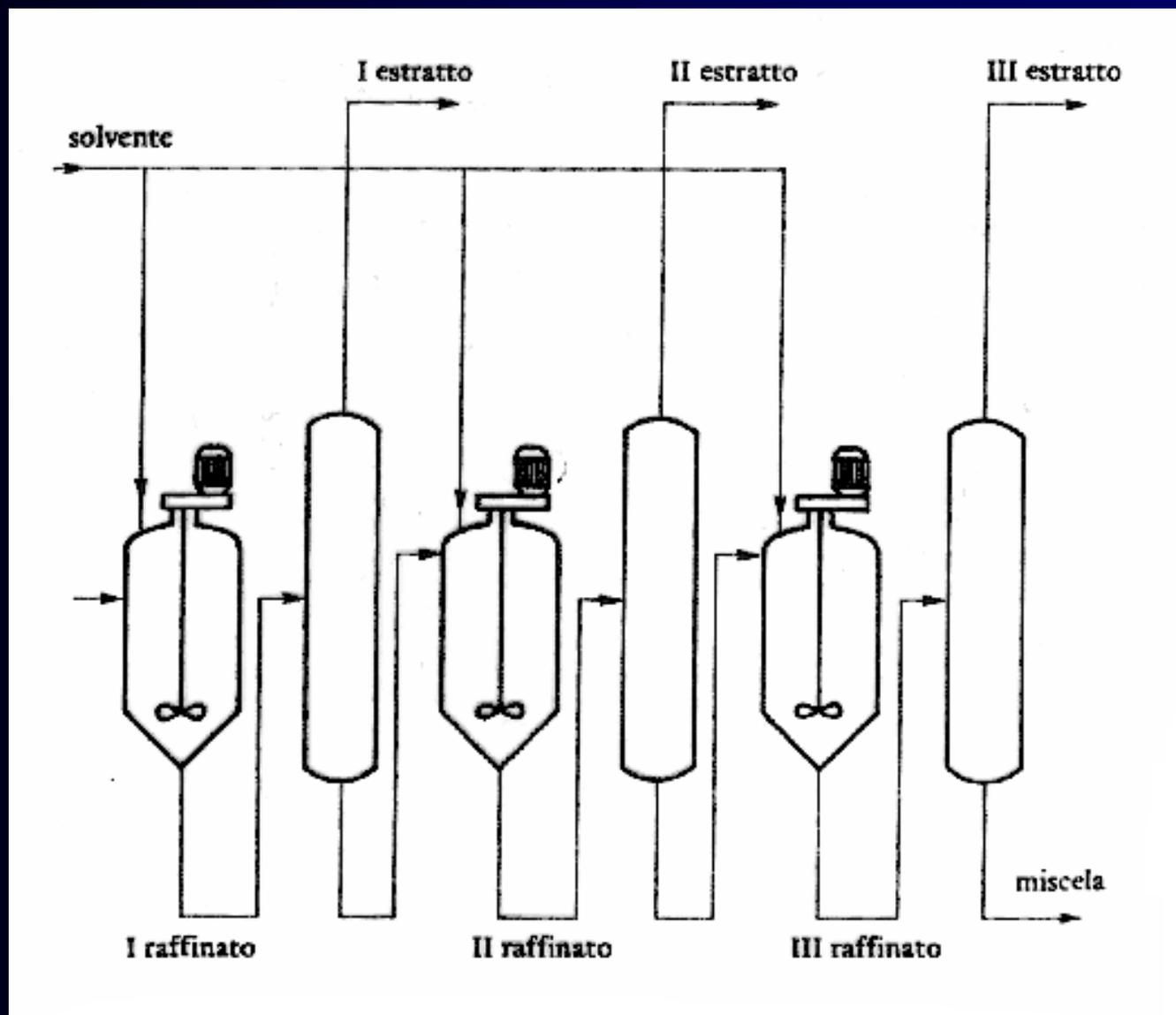
Il solvente, più leggero della miscela, sale verso l'alto in controcorrente rispetto alla miscela più pesante



*Fig. II.64*



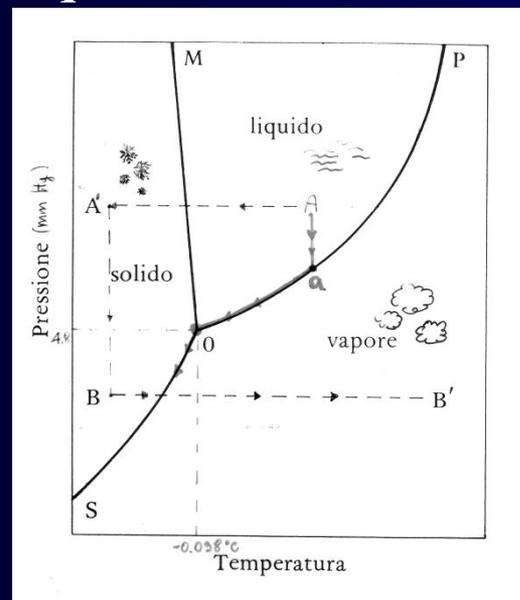
Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983



# ESTRAZIONE CON FLUIDI SUPERCRITICI (S.F.E.)

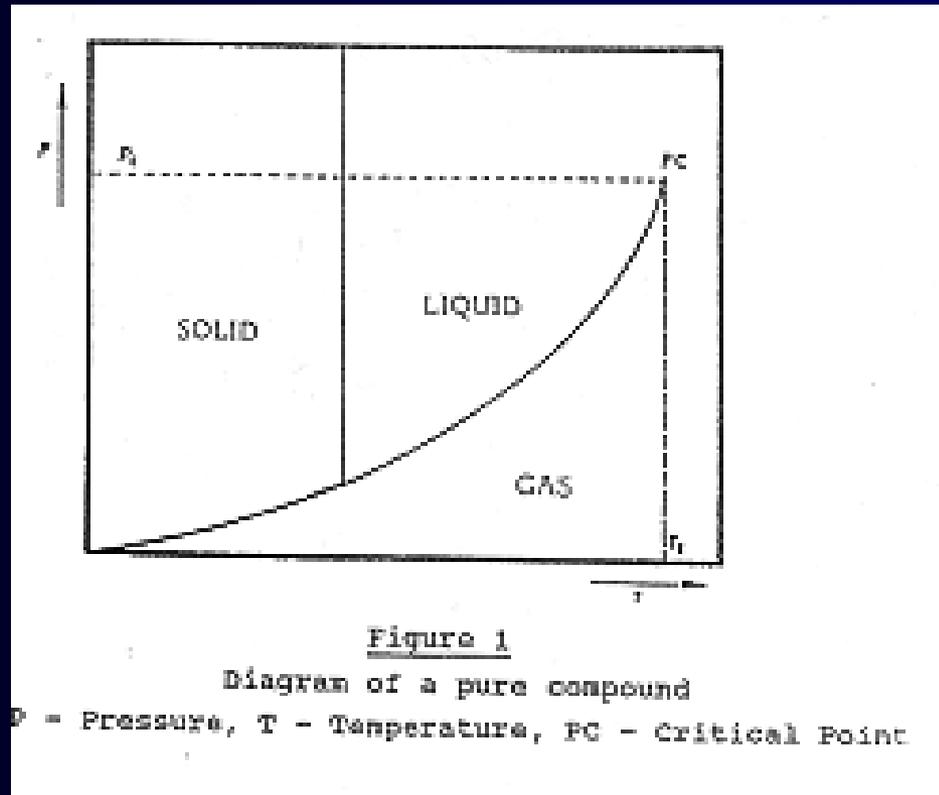
Ogni sostanza pura assume uno stato di aggregazione specifico, *solido*, *liquido* o *gassoso* a seconda delle condizioni esterne (Pressione e Temperatura). Esistono tuttavia particolari condizioni in cui si può verificare la coesistenza di due stati fisici (rami del diagramma) o tre (punto triplo) ma anche:

Vapori saturi: simultanea presenza di una fase gassosa in equilibrio con la fase liquida.



# FLUIDI SUPERCRITICI

Composti che a T e P superiori al PUNTO CRITICO ( $T_c$ ), si presentano come un gas che ha una densità paragonabile a quella del liquido.



	DENSITA'	COMPRESSIBILITA'	DIFFUSIVITA'	VISCOSITA'
LIQUIDO	<u>ALTA</u>	<u>BASSA</u>	BASSA	ALTA
GAS	BASSA	ALTA	<u>ALTA</u>	<u>BASSA</u>
FLUIDO SUPERCRITICO	<u>ALTA</u>	<u>BASSA</u>	<u>ALTA</u>	<u>BASSA</u>

SUPERANDO LE CONDIZIONI CRITICHE IL GAS ASSUME PROPRIETA' DI OTTIMO SOLVENTE (per i soluti compatibili in termini di polarità molecolare)

- Riportato a pressioni inferiori al  $p_c$ , il fluido perde il potere solubilizzante e si allontana completamente dall'estratto e dal sistema (nessun residuo, completo recupero).
- Capacità della s.f.e. è la possibilità di modulare le capacità solvente ( $p$  e  $t$ ) e il potere di penetrare nelle matrici solide (come un gas).

### ANIDRIDE CARBONICA:

$$T_c = 31^\circ\text{C}$$

$$P_c = 73 \text{ Atm} = 1.3 \text{ Mpa}$$

$$(1 \text{ Atm} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa})$$

- assenza di tossicità
- bassi costi del gas
- condizioni critiche facilmente superabili

## APPLICAZIONI INDUSTRIALI:

DECAFFEINIZZAZIONE	CAFFE'
DEODORAZIONE	OLII VEGETALI; GRASSI; LIEVITO DI BIRRA
RECUPERO DI AROMI	SPEZIE; LUPPOLO; TABACCO, CAFFE', FRUTTA
RECUPERO OLII	SEMI SOIA; ARACHIDI; GIRASOLE; COLZA, MAIS, COCCO, CACAO, OLIVA
RAFFINAZIONE OLII	RIMOZIONE ACIDI GRASSI; IDROGENAZIONE, SEPARAZIONE
FRAZIONAMENTO	OLIO FEGATO MERLUZZO; LIMONENE; ESTERI AC. GRASSI

# ADSORBIMENTO E ABSORBIMENTO

# ADSORSBIMENTO

Per adsorbimento si intende il fenomeno per cui i liquidi ed i solidi hanno la proprietà di trattenere in superficie (*senza diffusione all'interno*), altre sostanze solide, liquide o gassose.

➤ processo favorito da elevata superficie di contatto



I solidi adsorbenti:

- *elevata porosità*
- *suddivisi in piccole particelle*

➤ La diffusione all'interno del solido avviene attraverso i capillari, presenti per porosità; l'adsorbimento interessa la superficie del capillare.

Fra le sostanze adsorbenti:

➤ **Terre decoloranti** (particolari tipi di argilla naturale attivata)

➤ adatte per sostanze organiche presenti in fase liquida.

**1. Attivazione** →  $H_2SO_4$  al 15% o con  $HCl$  al 20% a  $100^\circ C$



sostituzione ioni metallici grossi, con ioni idrogeno più piccoli, creazione di nuove piccole porosità.

**2. Lavaggio** (allontanamento acido) + **essiccamento** ( $800^\circ C$ )

➤ **Gel di silice** ( $SiO_2$ )

adatto specialmente per vapori.

# ASSORBIMENTO

Processo mediante il quale un componente gassoso di una miscela si trasferisce in un liquido (o in un gas) con il quale la miscela stessa viene a contatto

gas in ( A+B+C)            gas out (A+B)

- **gorgogliamento** (il componente C passa dal gas al liquido)
- **stripping** (il componente C passa dal liquido al gas)

obiettivo: realizzare massima superficie di scambio per tempi di contatto sufficientemente lunghi (bisogna raggiungere condizioni di equilibrio)

## ANDAMENTO DEL PROCESSI = FORZA MOTRICE/ RESISTENZE

Forza motrice = gradiente di concentrazione =  $C_{\text{iniziale}} - C_{\text{equilibrio}}$

Resistenze: sono di varia natura; si ammette essere all'interfaccia  
LIQUIDO-GAS

$$dW / dt = K_l A (X' - X) - k_g A (Y - Y')$$

$X$  = concentrazione di C (componente gassoso) nel liquido ;

$Y$  = concentrazione di C (componente gassoso) nel gas

' = equilibrio

$K_l$  e  $k_g$  = coefficienti di trasferimento globale della materia per il liquido e per il gas

# ASSORBIMENTO GAS-SOLIDO

IL GAS PUO' ESSERE ASSORBITO DAL SOLIDO IN TRE MODI:

1. PENETRAZIONE (ASSORBIMENTO FISICO): Il gas penetra negli interstizi capillari del solido (es. carbone attivo)
2. DISSOLUZIONE (ASSORBIMENTO FISICO). Il gas penetra nel solido e si scioglie in esso (es. Idrogeno nel palladio)
3. REAZIONE (ASSORBIMENTO CHIMICO): il gas viene fissato dal solido come conseguenza di una reazione chimica (es. Ossigeno a caldo su rame  
➤ CuO poroso)

# ASSORBIMENTO GAS-LIQUIDO

1. ASSORBIMENTO FISICO: il gas diffonde nel liquido e si solubilizza. La solubilità è funzione della temperatura e della pressione (es. CO<sub>2</sub> nelle bevande)
2. ASSORBIMENTO CHIMICO (CHEMIASSORBIMENTO) : il gas reagisce con il liquido e origina un nuovo composto (es: SO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O -> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

## APPARECCHIATURE

# Colonne a riempimento

vetro, ceramica,  
plastica, acciaio

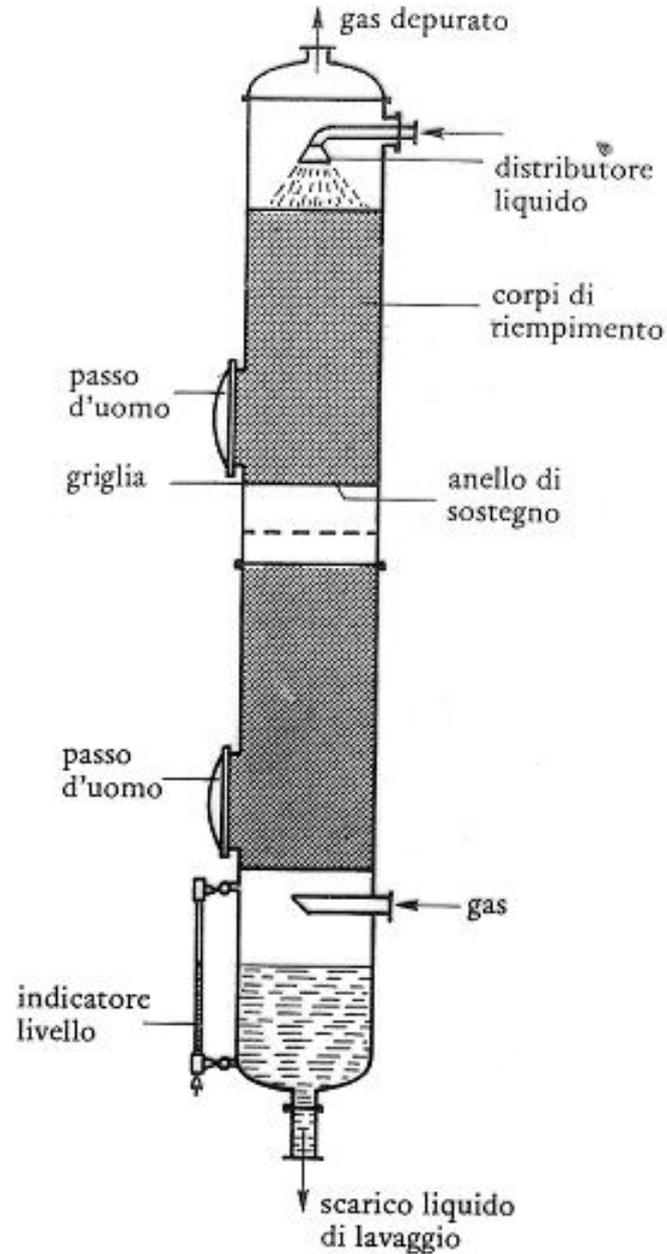
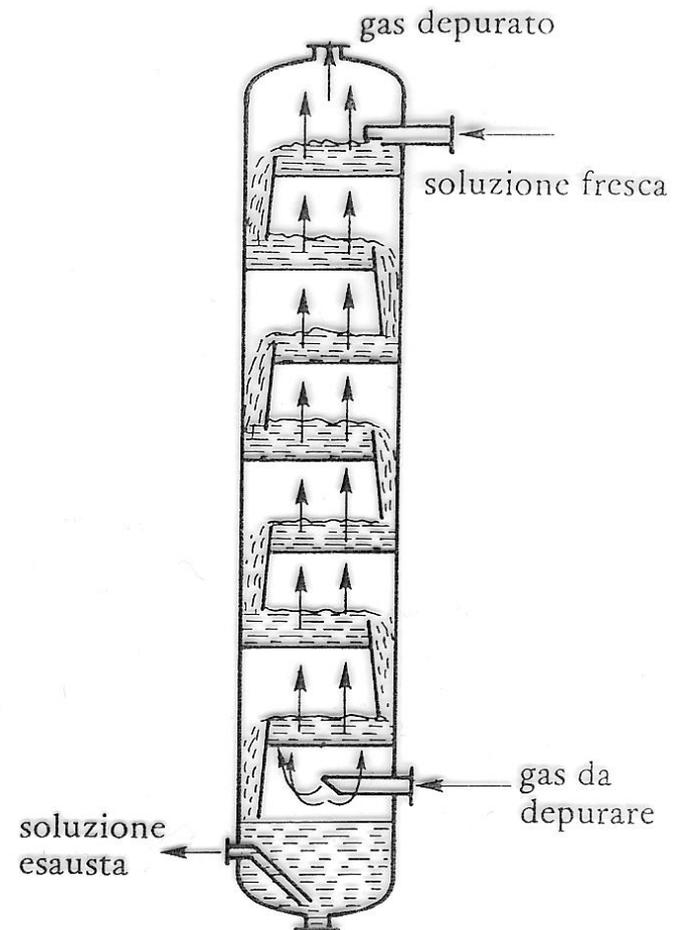


Fig. II.61 – Colonna a riempimento.

# Colonne a piatti

*Fig. II.62* – Colonna a piatti.



## Colonne a spruzzo

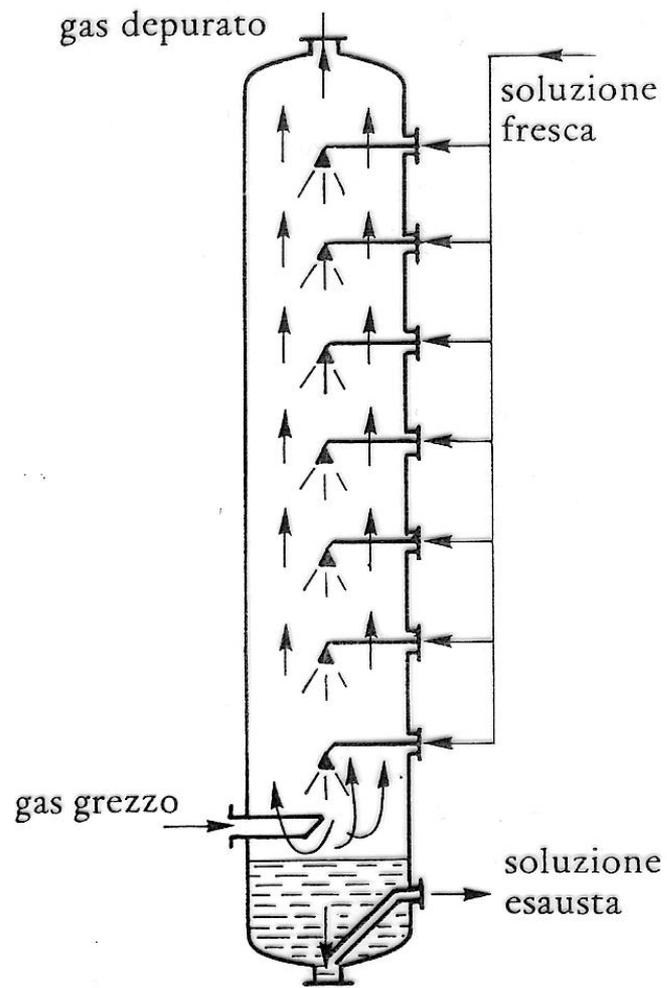


Fig. II.63 – Colonna a spruzzo.

# CRISTALLIZZAZIONE

SOLUZIONE  SOLUZIONE + PRECIPITATO  
(liquido) (liquido) (solido)

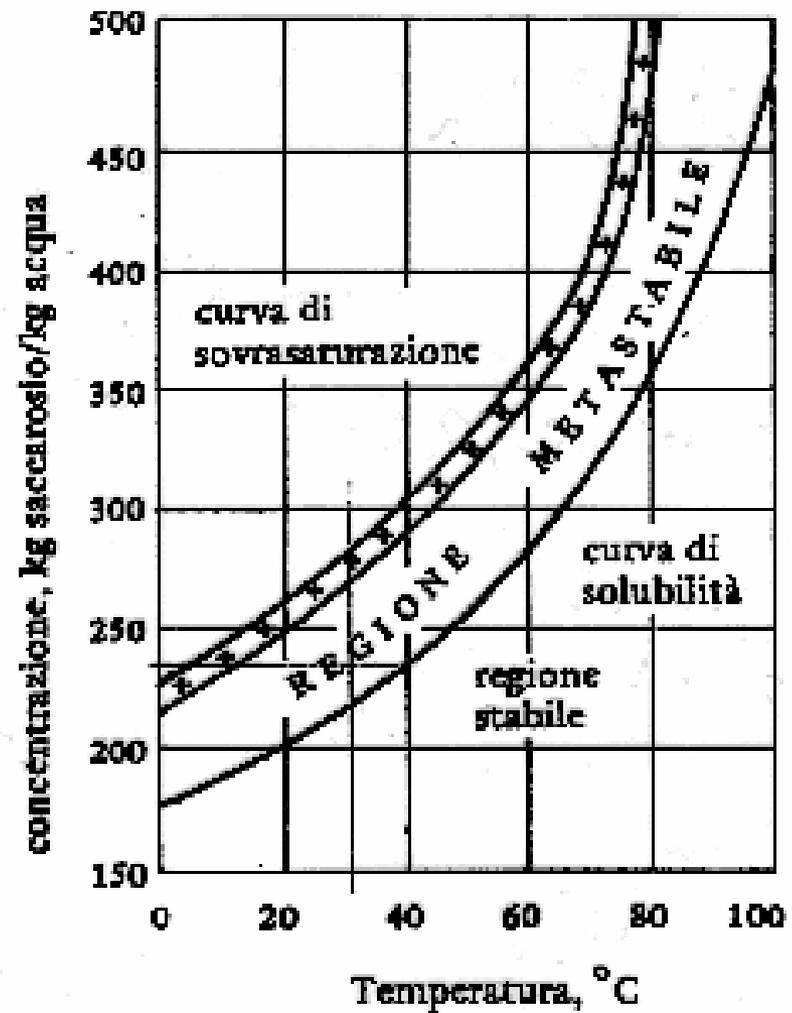
Solubilità: grammi di soluto /100 grammi di solvente

*Grammi di materiale anidro necessari per formare una soluzione satura in 100 grammi di solvente*

LA SOLUBILITA' E' UNA FUNZIONE DELLA TEMPERATURA  
(effetto P trascurabile)

## CRISTALLIZZAZIONE:

- REGIONE STABILE
- REGIONE METASTABILE
- REGIONE INSTABILE



## Fasi

1. NUCLEAZIONE

2. ACCRESCIMENTO DEI CRISTALLI

➤ La velocità di nucleazione e accrescimento dei cristalli può essere controllata:

Sovrassaturazione modesta → < nucleazione  
> accrescimento

Sovrassaturazione alta → > nucleazione  
< accrescimento

## Modalità

➤ > o < velocità di evaporazione del solvente o/e raffreddamento

# CALORE DI CRISTALLIZZAZIONE:

SOLUZIONE  SOLVENTE + CRISTALLI + CALORE"

(CORRISPONDE PRATICAMENTE AL CALORE CONSUMATO IN FASE DI  
SOLUBILIZZAZIONE / SOLUZIONE SATURA)

## VELOCITA' DI CRISTALLIZZAZIONE:

$$dW / dt = K_d (C - C_i) \text{ ("Diffusione")}$$

$$dW / dt = K_s (C_i - C_s) \text{ (" Reazione")}$$



$$dW / dt = k A (C - C_s)$$

C = Concentrazione nella soluzione

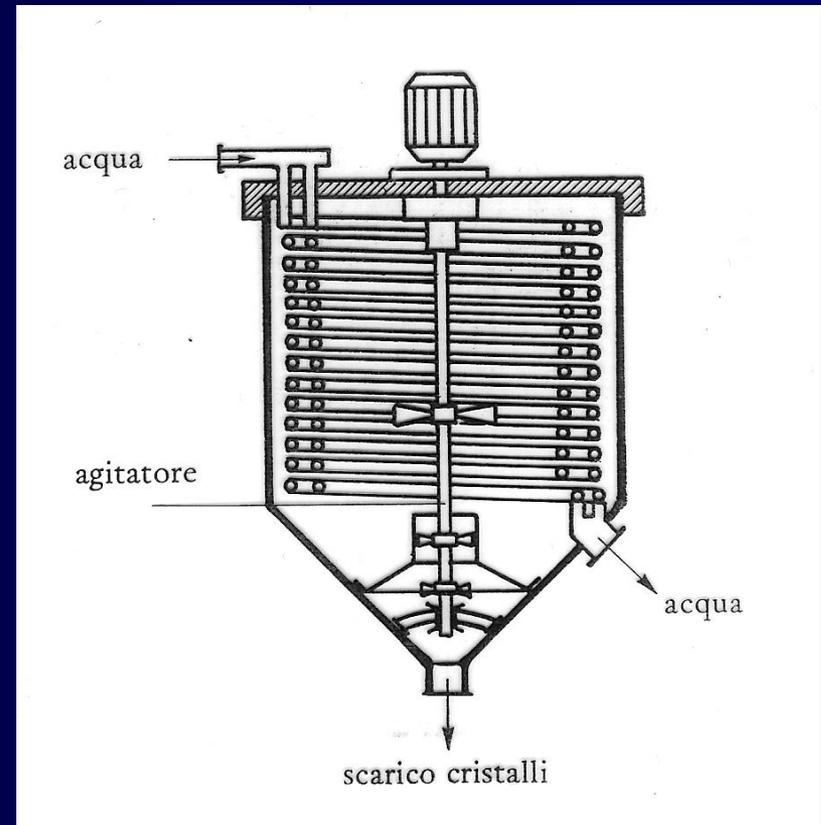
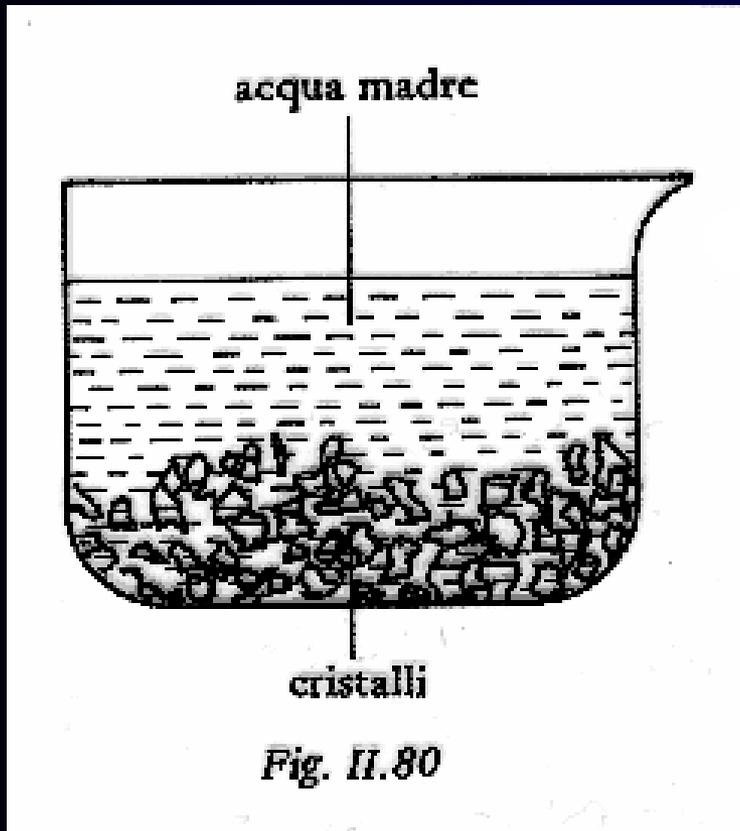
C<sub>i</sub> = Concentrazione all'interfaccia

C<sub>s</sub> = Concentrazione di saturazione

K<sub>d</sub> = coeff. di trasferimento di massa all'interfaccia

K<sub>s</sub> = costante di velocità per la reazione superficiale

# CRISTALLIZZATORI DISCONTINUI

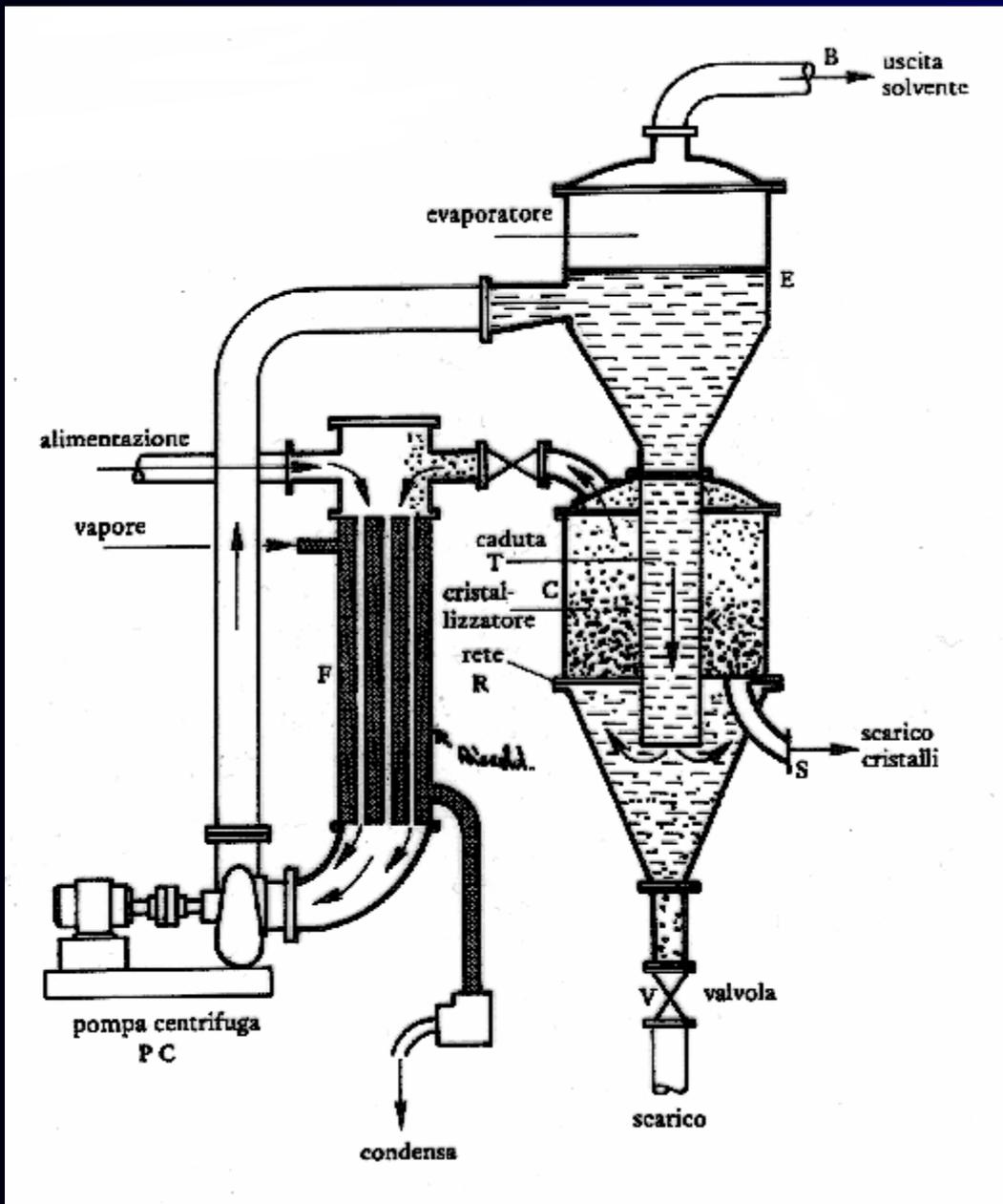


Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

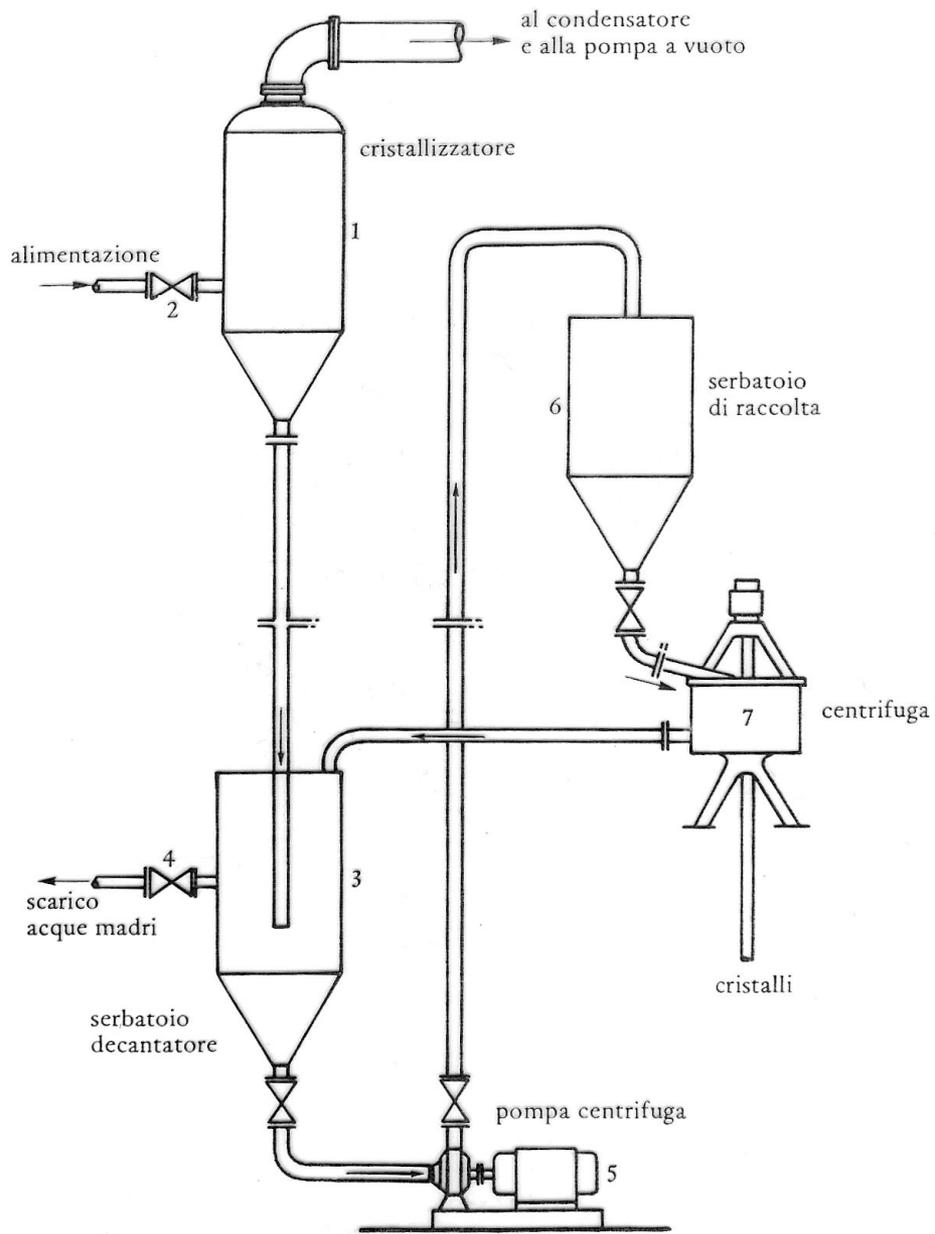
a raffreddamento naturale

a raffreddamento con  
acqua e munito di agitatore

# CRISTALLIZZATORI CONTINUI



## Cristallizzatore "Oslo" cristalli uniformi



Sotto vuoto