

**PROCESSI DI  
CONCENTRAZIONE PER  
MEMBRANA**

# Soluzioni

- stessa concentrazione → isotoniche
- Concentrazioni diverse:
  - quella a concentrazione maggiore → ipertonica
  - quella a concentrazione minore → ipotonica

# LA CONCENTRAZIONE OSMOTICA

OSMOSI DIRETTA: *flusso spontaneo di solvente (acqua) da una soluzione più diluita ad una più concentrata, separate una dall'altra da una membrana adatta.*

membrana → deve consentire il passaggio del solvente ma non dei sali disciolti → semipermeabilità

Un processo "osmotico" è quindi caratterizzato da presenza di:



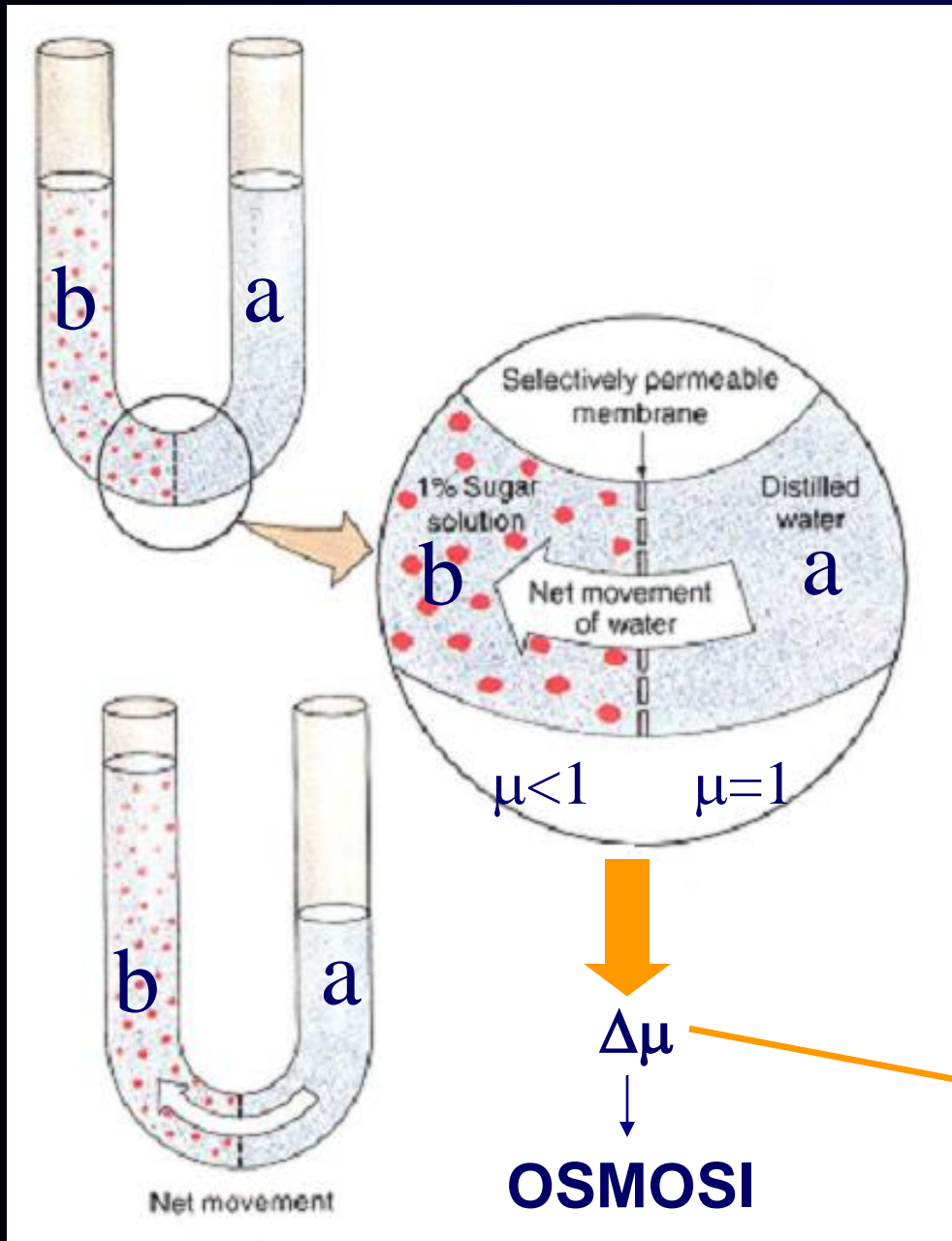
Fig. III.22

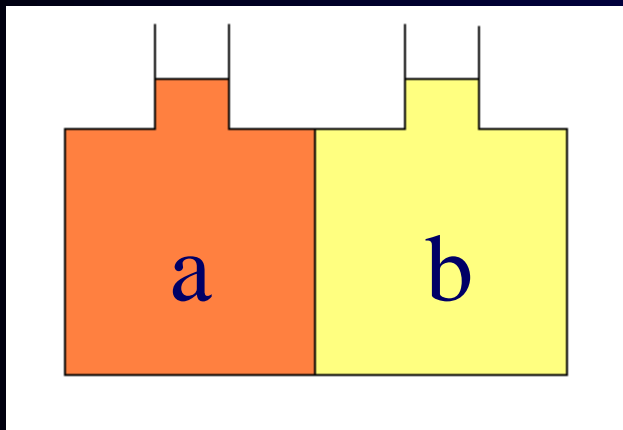
➤ soluzioni a diversa concentrazione

➤ membrana semipermeabile

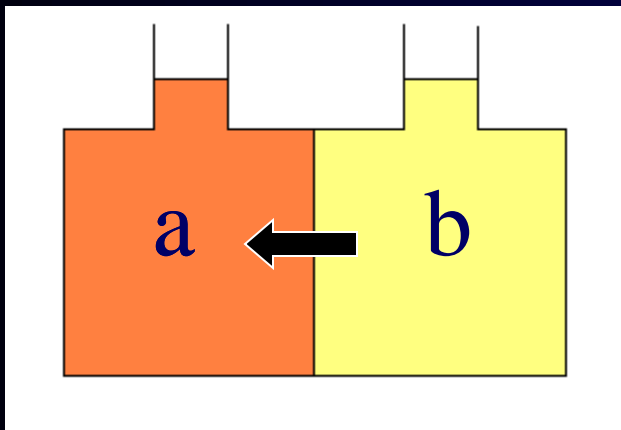


flusso di materia





Se le due soluzioni hanno la stessa concentrazione in soluti, i potenziali chimici di “a e b” sono uguali e quindi attraverso la membrana non si verifica alcun flusso d’acqua.



Se la soluzione “a” è più concentrata in soluti, allora avrà un minor quantitativo di acqua, un minore potenziale chimico e dunque l’acqua fluisce dalla soluzione “b” a quella “a”

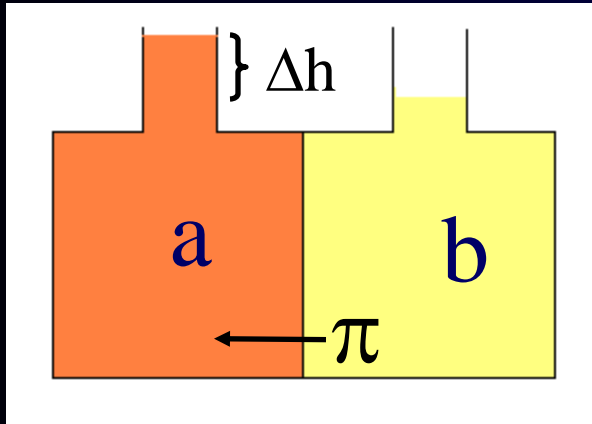
N.B. Quando i due potenziali chimici si eguagliano il processo osmotico si arresta



osmotica.gi

# PRESSIONE OSMOTICA

L'aumento di volume in "a" determina un aumento della pressione idrostatica, che "insiste" sulla parete della membrana. Tale pressione equilibra e quindi fornisce la misura della pressione (*osmotica*) esercitata dal solvente che tende a passare dalla soluzione più diluita "b" alla più concentrata "a"



$$\pi V = n RT$$

equazione di Van't Hoff

$\pi$  = pressione osmotica

$V$  = volume della soluzione

$R$  = costante  $\approx$  costante dei gas perfetti

$T$  = temperatura assoluta

$n$  = n° moli di soluto presenti in soluzione

# APPLICAZIONI DELL'OSMOSI DIRETTA AGLI ALIMENTI

Il processo osmotico può essere utilizzato nell'industria alimentare per ottenere una parziale disidratazione o concentrazione di alimenti aventi un elevato tenore in acqua.

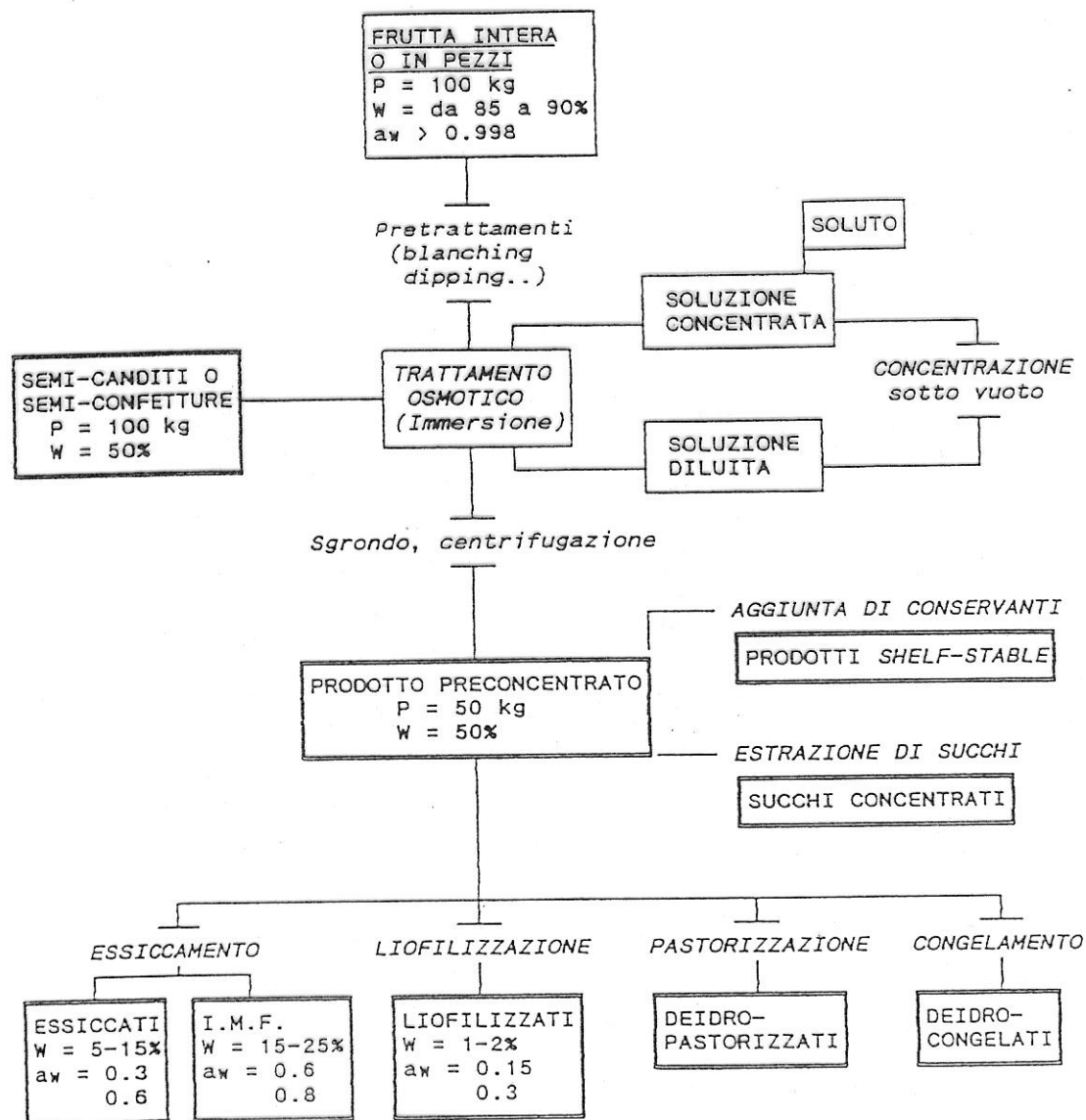


Ponendo infatti il materiale da disidratare ("soluzione ipotonica") a contatto con una soluzione ipertonica (ipertonica→compatibile, atossica)



Si viene a creare un flusso spontaneo di acqua (solvente) dall'interno del prodotto verso la soluzione concentrata.

**N.B.** Le membrane cellulari (*plasmatica* e *vacuolare*) agiscono come membrane semipermeabili (es. la struttura cellulare superficiale dei pezzi di frutta agisce come una vera e propria membrana semipermeabile)



P = peso  
 W = contenuto in acqua  
 aw = attività dell'acqua



# ***Vantaggi del processo di disidratazione osmotica***

- processo effettuato a temperatura ambiente o poco superiore  
→ *vengono minimizzati i danni termici a carico di colore, aroma, nutrienti termosensibili;*
- miglioramento delle caratteristiche sensoriali (aroma, sapore, consistenza, ecc.)
- lo "strato" di zucchero intorno ai pezzi di frutta riduce l'imbrunimento enzimatico
- diminuzione acidità

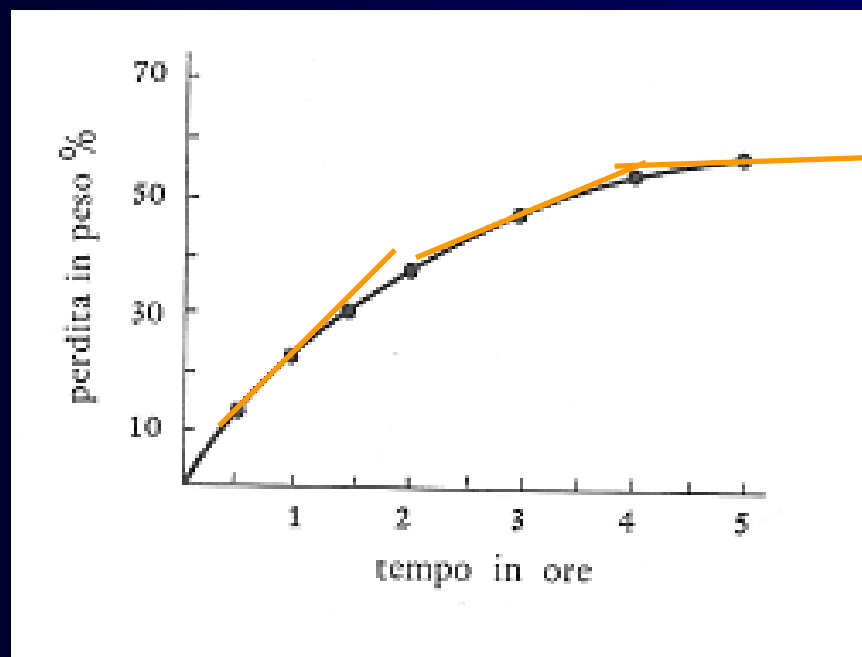
## ***Svantaggi del processo di disidratazione osmotica***

- diminuzione dell'acidità può essere uno svantaggio per certi prodotti → *aggiunta di opportune quantità di acidi allo sciroppo disidratante;*
- lo zucchero che residua sulla superficie del prodotto può essere indesiderato → *lavaggio in acqua corrente al termine del processo.*
- eccessiva "lentezza" del processo a temperatura ambiente;
- scarsa "flessibilità" del processo dal punto di vista della scelta della temperatura:
- Problema riciclo e smaltimento sciroppi

# VELOCITA' DI RIMOZIONE DELL'ACQUA

Dipende da :

- Natura e concentrazione dell'agente osmotico
- tempo di trattamento
- pressione
- Temperatura : per  $T > 50^{\circ}\text{C}$   $\longrightarrow$  pericolo NEB ed alterazione dei caratteri organolettici (sapore e aroma)
- agitazione



# COMBINAZIONE CON ALTRE TECNICHE DI CONSERVAZIONE/TRASFORMAZIONE

OSMOREFRIGERAZIONE

OSMOCONGELAMENTO

OSMOESSICCAMENTO

OSMOLIOFILIZZAZIONE

BLANCHING (OSMOSI HTST)

# OSMOSI INVERSA E ULTRAFILTRAZIONE

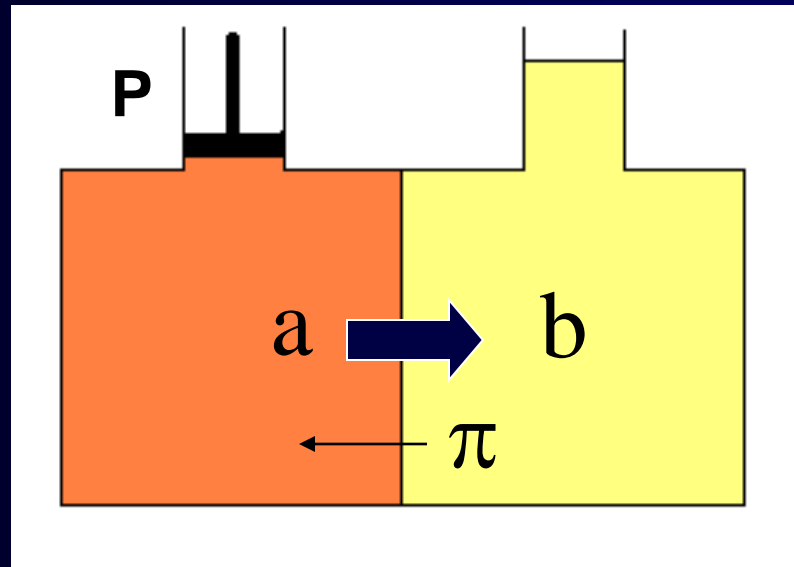
L'*osmosi inversa* e l'*ultrafiltrazione* sono tecniche di **concentrazione** e **separazione** a livello molecolare caratterizzate dall'impiego di membrane altamente selettive sotto un gradiente di pressione come "forza motrice".

## I PRINCIPI DELL'OSMOSI INVERSA

L'**osmosi inversa** è una tecnica che consente la separazione dell'acqua dalle sostanze in essa disciolte, siano esse molecole o ioni.

- *elemento filtrante* → **membrana semipermeabile**
- di messa a punto relativamente recente
- costituite da polimeri di sintesi (generalmente acetato di cellulosa).

- La forza motrice che agisce nell'osmosi inversa non è la pressione applicata, ma la differenza ( $P - \pi$ ) fra la pressione applicata e la pressione osmotica della soluzione che agisce in senso contrario .



# MEMBRANE

## CARATTERI

## S T A B I L I T A`

	<u>TERMICA</u>	<u>MECCANICA</u>	<u>CHIMICA</u>
I <sup>a</sup> GENERAZIONE: ACETATO DI CELLULOSA	<i>scarsa</i>	<i>scarsa</i>	<i>scarsa</i> (pH 3/8)
II <sup>a</sup> GENERAZIONE: POLIMERI DI SINTESI	<i>buona</i>	<i>buona</i>	<i>scarsa ai</i> <i>detergenti</i> (pH 2/12)
III <sup>a</sup> GENERAZIONE: COMPONENTI MINERALI	<i>ottima</i> <i>fino a 400 °C</i>	<i>ottima</i>	<i>buona</i> <i>tutti i pH</i>

➤ **Le applicazioni pratiche nell'industria alimentare sono essenzialmente la concentrazione di *succhi, estratti e soluzioni* a temperatura ambiente.**



**non si ricorre quindi all'allontanamento dell'acqua per evaporazione che comporta l'uso del calore e di conseguenza effetti negativi sulla qualità del prodotto.**



# DETERMINAZIONE DELLA PRESSIONE OSMOTICA DI UNA SOLUZIONE (per soluzioni diluite)

$$\pi = c RT / M$$



equazione di Van't Hoff

(dove  $T = ^\circ K$ ;  $R = kPa \cdot m^3 \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ ;  $M =$  peso molecolare;  
 $c =$  concentrazione  $Kg / m^3$ ;  $\pi = kPa$ )

Es.: soluzione di un monosaccaride con p.m. 180 e una conc.  
di  $100 \text{ kg} / m^3$  a temperatura ambiente ( $20^\circ C = 293^\circ K$ ).

$$\pi = 100/180 \cdot 8314 \cdot 293 = 1353334 \text{ N/m}^2 \cong 13 \text{ atm}$$

Es.: soluzione di saccarosio (p.m. = 342), stessa concentrazione

$$\pi = 100/342 \cdot 8314 \cdot 293 = 712281 \text{ N/m}^2 \cong 7 \text{ atm}$$

$$\pi = c RT / M$$


→la pressione osmotica è tanto più elevata quanto più piccola è la molecola considerata, quindi *a parità di concentrazione*, quanto più è elevato il numero di molecole in soluzione (proprietà colligativa).

→soluzioni di macromolecole hanno pressioni osmotiche molto basse, e ciò significa che in ultrafiltrazione i fenomeni osmotici sono trascurabili.

**N.B.** Ad alte concentrazioni l'equazione di Van't Hoff fornisce dati non molto attendibili.

-Una espressione più accurata della pressione osmotica (valida per un range di concentrazione in soluti maggiore), è la seguente:

$$\pi = - (RT \ln X_A) / V_m \quad \text{\underline{equazione di Gibb}}$$

dove  $V_m$  = volume molare del solvente puro ( $\text{m}^3/\text{Kmol}$ );

$X_A$  = frazione molare del solvente puro

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

Es.: succo d'arancia con 11% di solidi (PM 180) a temperatura ambiente ( $20^\circ\text{C}=293^\circ\text{K}$ ).

0.11 Kg solidi/ Kg di prodotto  $\longrightarrow$  0.89 Kg acqua / Kg di prodotto

$$X_A = \frac{0.89/18}{0.89/18 + 0.11/180} = 0.9878 \quad 1/V_m = \frac{(0.89/18) \cdot 1063.6}{18}$$

$$V_m = 0,019 \text{m}^3/\text{mole}$$

$$\pi = -[(8,314 \cdot 293)/0.019] \ln 0.9878 = 1572.6 \text{ kPa} \longrightarrow 1583.5 \text{ kPa}$$

1572.6 kPa=15.52 atm

1583.5 kPa =15,62atm

Table A.1.2 (Continued)

1 hp = 550 ft lb<sub>f</sub>/s  
1 Btu/h = 0.29307 W  
1 hp = 0.7068 Btu/s  
1 J/s = 1 W

Pressure

1 psia = 6.895 kPa  
1 psia =  $6.895 \times 10^3$  N/m<sup>2</sup>  
1 bar =  $1 \times 10^5$  Pa =  $1 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup>  
1 Pa = 1 N/m<sup>2</sup>  
1 mm Hg (0°C) =  $1.333224 \times 10^2$  N/m<sup>2</sup>  
1 atm = 29.921 in. Hg at 0°C  
1 atm = 33.90 ft H<sub>2</sub>O at 4°C  
1 atm = 14.696 psia =  $1.01325 \times 10^5$  N/m<sup>2</sup>  
1 atm = 1.01325 bar

1 atm = 760 mm Hg at 0°C =  $1.01325 \times 10^5$  Pa  
1 lb<sub>f</sub>/ft<sup>2</sup> =  $4.788 \times 10^2$  dyne/cm<sup>2</sup> = 47.88 N/m<sup>2</sup>

Specific heat

1 Btu/(lb<sub>m</sub> °F) = 4.1865 J/(g K)  
1 Btu/(lb<sub>m</sub> °F) = 1 cal/(g °C)

Temperature

$T_F = T_C \times 1.8 + 32$   
 $T_C = (T_F - 32)/1.8$

Thermal conductivity

1 Btu/(h ft °F) = 1.731 W/(m K)  
1 Btu in./(ft<sup>2</sup> h °F) =  $1.442279 \times 10^{-2}$  W/(m K)

Viscosity

1 lb<sub>m</sub>/(ft h) = 0.4134 cp  
1 lb<sub>m</sub>/(ft s) = 1488.16 cp  
1 cp =  $10^{-2}$  g/(cm s) =  $10^{-2}$  poise  
1 cp =  $10^{-3}$  Pa s =  $10^{-3}$  kg/(m s) =  $10^{-3}$  N s/m<sup>2</sup>  
1 lb<sub>f</sub> s/ft<sup>2</sup> =  $4.7879 \times 10^4$  cp  
1 N s/m<sup>2</sup> = 1 Pa s  
1 kg/(m s) = 1 Pa s

Volume

1 ft<sup>3</sup> = 0.02832 m<sup>3</sup>  
1 U.S. gal =  $3.785 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>  
1 L = 1000 cm<sup>3</sup>  
1 m<sup>3</sup> = 1000 L  
1 U.S. gal = 4 qt  
1 ft<sup>3</sup> = 7.481 U.S. gal  
1 British gal = 1.20094 U.S. gal

Work

1 hp h = 0.7457 kW h  
1 hp h = 2544.5 Btu  
1 ft lb<sub>f</sub> = 1.35582 J

➤ La pressione osmotica dei liquidi zuccherini è molto elevata, e aumenta rapidamente all'aumentare della concentrazione.

➤ Il processo di osmosi inversa prevede quindi l'applicazione di pressioni molto elevate - di qualche decina di atmosfere più grandi delle pressioni osmotiche dei liquidi da concentrare - mentre la "forza motrice" del processo tende a ridursi rapidamente all'aumentare della concentrazione.

# PERMEABILITÀ DELLE MEMBRANE

Esprime la *quantità di acqua separata per unità di superficie filtrante e per unità di tempo* (in genere l/m<sup>2</sup>h).

- concentrato è la soluzione che viene ritenuta
- permeato è l'acqua che passa attraverso la membrana.

## ➤ equazione della permeabilità in osmosi inversa

$$dV / dt = K A (\Delta p - \Delta \pi)$$

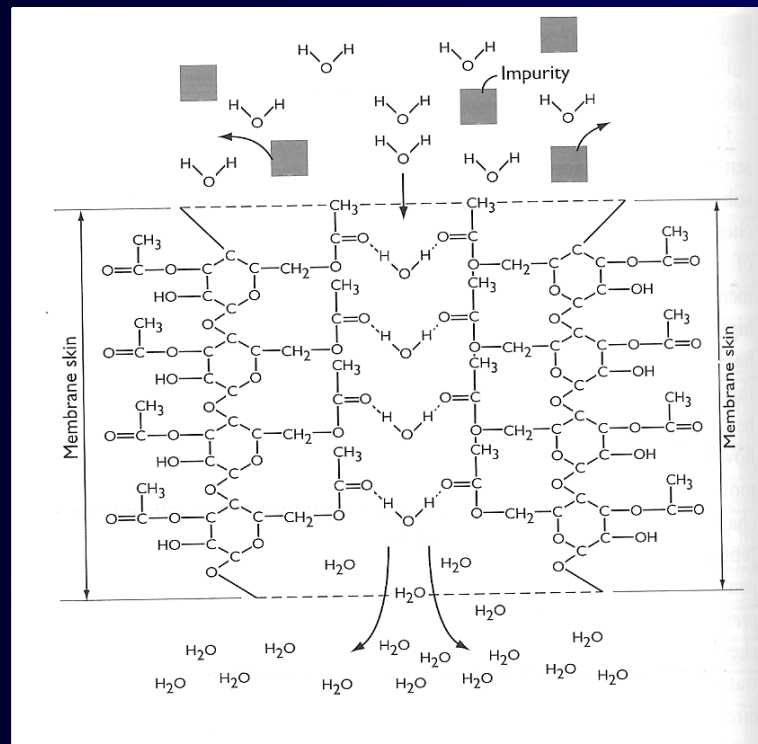
K = costante di permeabilità dipendente dalle caratteristiche della membrana e della soluzione trattata

$\Delta p$  = differenza di pressione idraulica ai due lati della membrana

$\Delta \pi$  = differenza di pressione osmotica ai due lati della membrana

# Meccanismo di trasporto dell'acqua attraverso la membrana

➤ L'opinione prevalente è che si tratti di un meccanismo di diffusione → l'acqua dissolverebbe nel polimero della membrana e la sua migrazione avverrebbe per effetto del gradiente di pressione (meccanismo che avviene solo con membrane che possiedono una forte affinità per l'acqua: es. *acetato di cellulosa*, che finora ha dato i migliori risultati).



→ Bisogna però considerare che le membrane reali non sono perfettamente semipermeabili, infatti una quantità di soluto, sia pur minima, passa nel permeato.

➤ Si definisce ritenzione il valore:

dove:

$$R = 1 - C_p / C_s$$

**C<sub>s</sub>** è la concentrazione di una specie ionica nella soluzione

**C<sub>p</sub>** è la sua concentrazione nel permeato.



➤ Spesso si considera la ritenzione percentuale.

- membrana perfettamente semipermeabile:  $C_p = 0$  e  $R = 100\%$
  - membrana porosa:  $C_p = C_s$  e  $R = 0\%$
- (senza capacità di ritenzione per molecole e ioni).

→ ritenzione inferiore al 100 %  
imperfezioni della membrana  
micropori (lasciano passare la soluzione tal quale).

→ sostanze con comportamento simile all'acqua  
proprietà di dissolversi nel polimero  
passaggio nel permeato con lo stesso meccanismo



ritenzione molto bassa, specie se hanno basso peso molecolare

- Es: alcoli metilico ed etilico, acido acetico
- composti organici polari di piccolo p.m. hanno ritenzione zero o molto piccola.
- zuccheri mono e disaccaridi
- ritenzione anche del 100% per la difficoltà di passare nei micropori e la bassa velocità di migrazione nel polimero.

### % di ritenzione funzione di:

1. tipo di membrana
  2. tipo di soluto
  3. condizioni operative (pressione).
- *aumento di pressione* ↔ *aumento di ritenzione*
  - ▶ *compattamento della membrana* (riduce gli effetti dovuti ai micropori) esaltata capacità di diffusione dell'acqua rispetto ai soluti.

# Apparato di permeazione per osmosi inversa

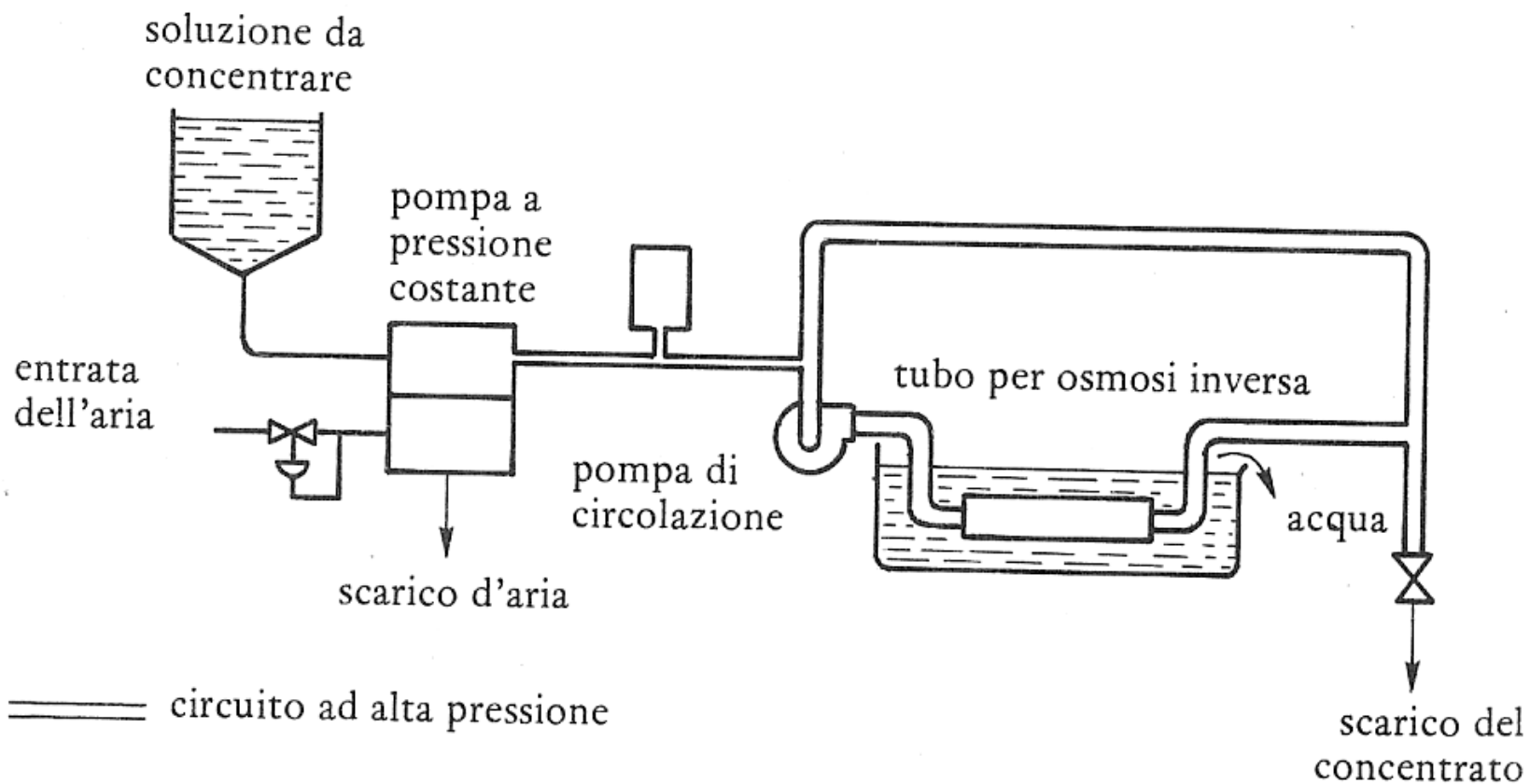
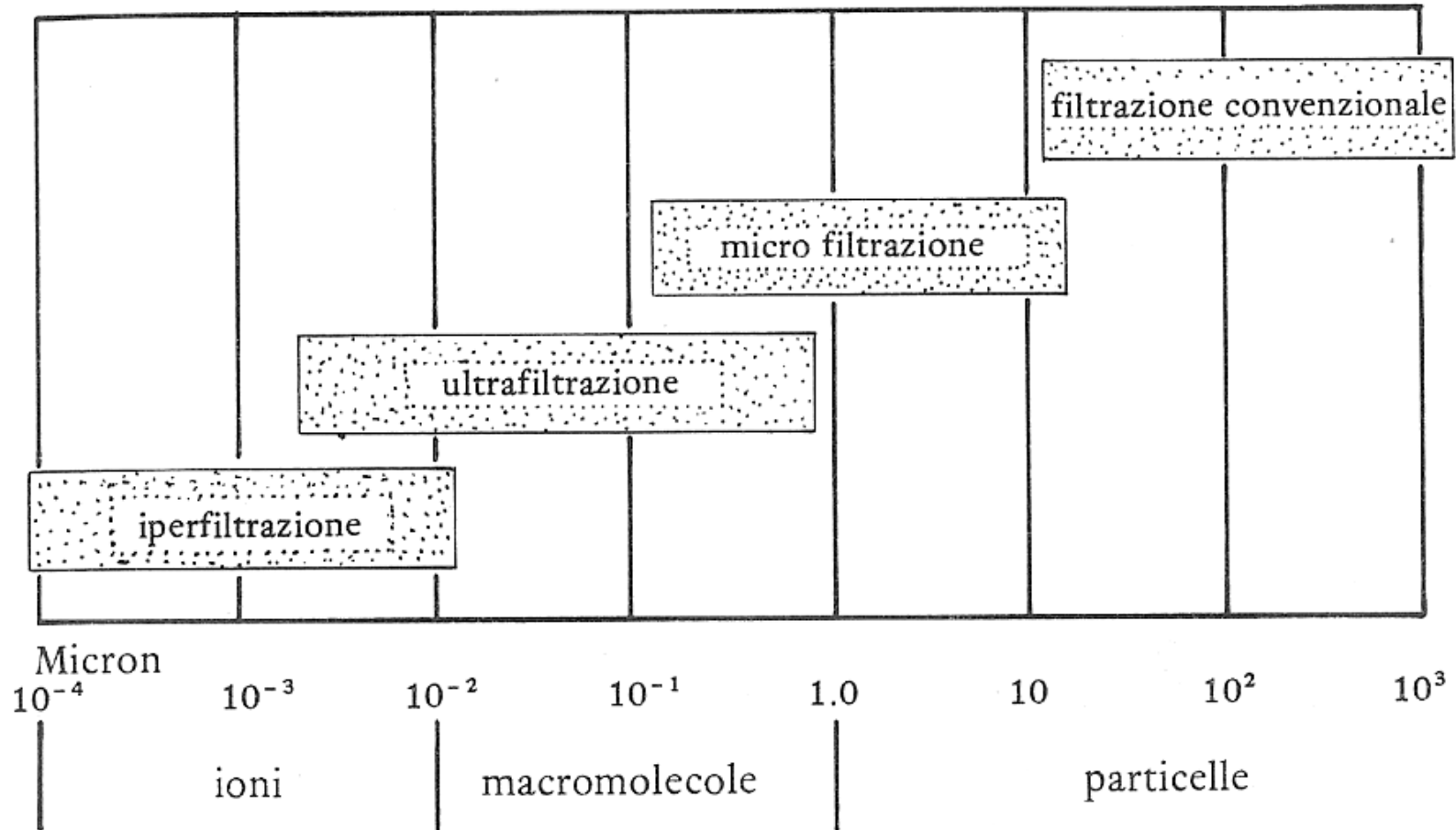
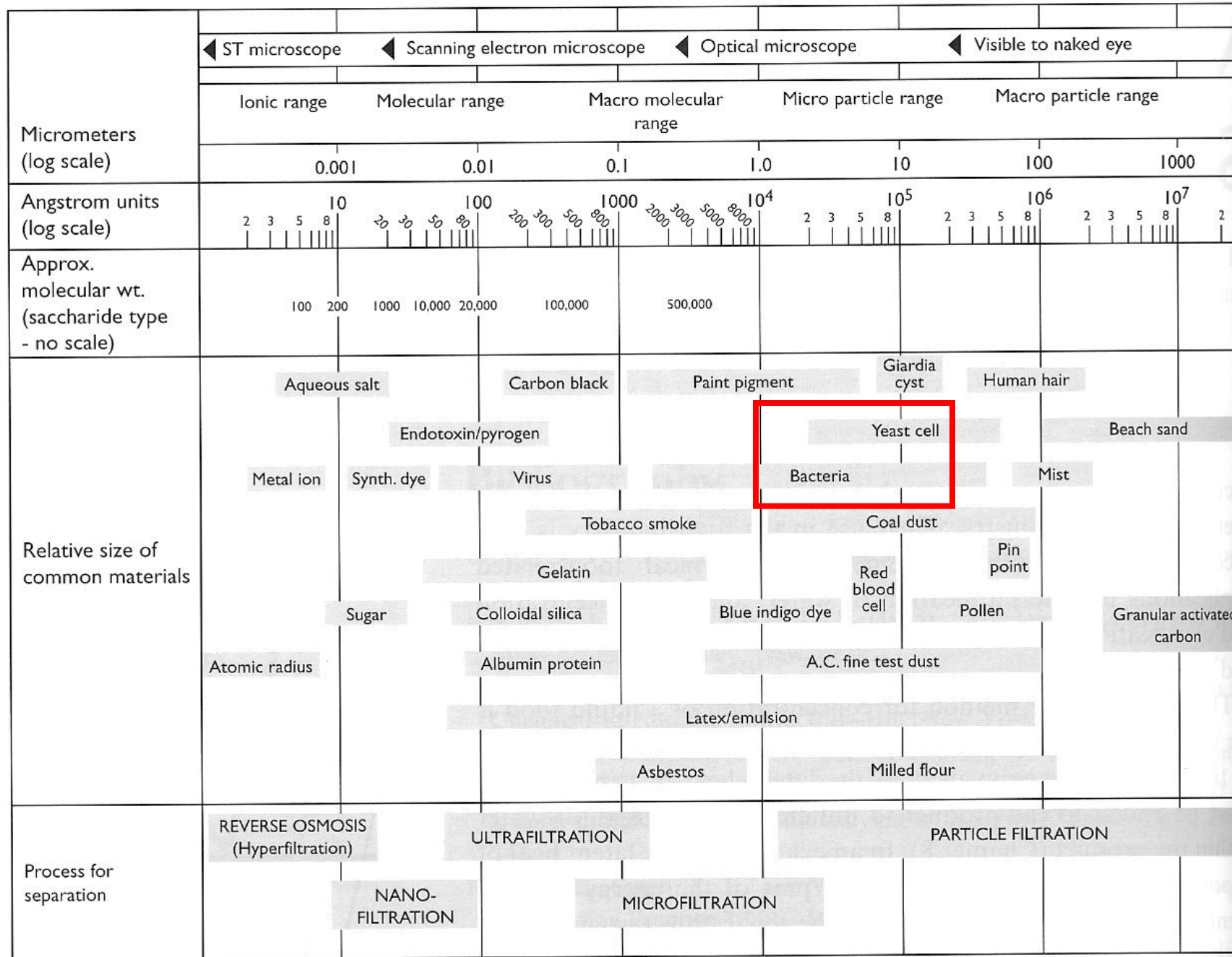
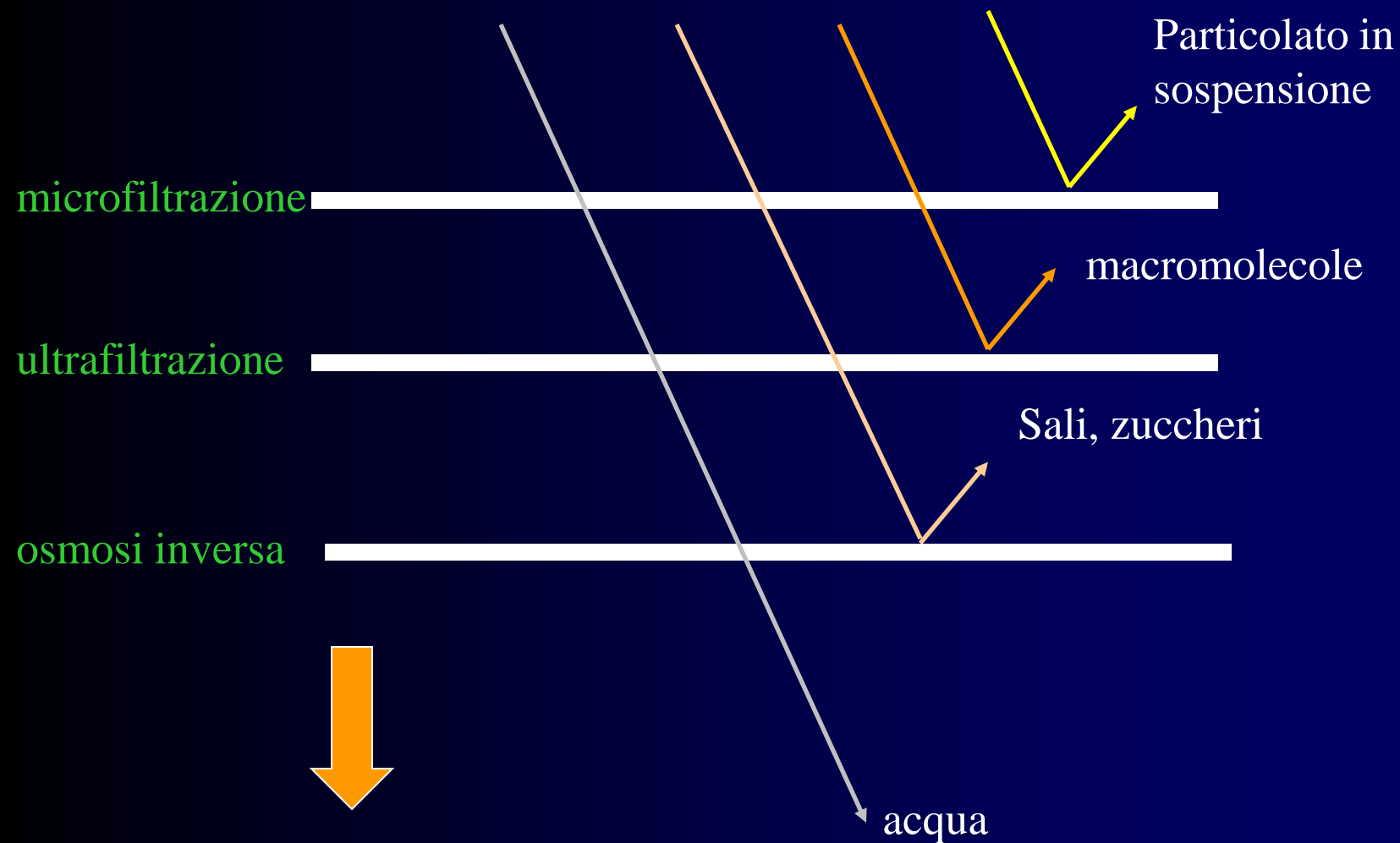


Fig. III.26

# ULTRAFILTRAZIONE







≠ CUT OFF

# I PRINCIPI DELL'ULTRAFILTRAZIONE

➤ *L'ultrafiltrazione agisce con un meccanismo di **setacciamento** del tutto identico a quello della filtrazione su membrana.*

→ Nell'ultrafiltrazione, a differenza della microfiltrazione, i pori delle membrane sono molto piccoli (dell'ordine dei millimicron) quindi 1000 volte più sottili delle membrane sterilizzanti.

→ permettono la ritenzione delle macromolecole e lasciano passare le sostanze a basso peso molecolare

➤ Le applicazioni pratiche sono: concentrazione e purificazione di macromolecole in soluzioni complesse: vengono eliminati sali, acidi, zuccheri e qualunque altro composto a basso peso molecolare.

Es:

- recupero delle proteine del siero di latte
- separazione dei sali, del lattosio, dell'acido lattico, ecc.

## Fenomeni di polarizzazione

➤ La concentrazione della soluzione a contatto della membrana risulta, nel corso del processo, più alta della concentrazione media della massa del liquido

➤ fenomeno chiamato concentrazione di polarizzazione

- $C_s$ : concentrazione media della soluzione trattata;
- $C_{po}$ : concentrazione nello *strato polarizzato* a contatto con la membrana;
- $C_{pe}$ : concentrazione media nel permeato.

$$C_{pe} < C_s < C_{po}$$

➤ Gli effetti pratici della concentrazione di polarizzazione sono *negativi* sia in osmosi inversa che in ultrafiltrazione.



➤ in osmosi inversa:

1. diminuzione di permeabilità
2. diminuzione di ritenzione dei soluti.

➤ in ultrafiltrazione:

1. concentrazione di macromolecole alla superficie della membrana (può eventualmente aumentare la ritenzione dei costituenti in conseguenza dell'intasamento dei pori).
2. fenomeni di **colmataggio** che riducono la permeabilità.

## Per minimizzare gli effetti della concentrazione di polarizzazione

1. si realizzano gli impianti di osmosi inversa e ultrafiltrazione con *passaggio della soluzione tangenzialmente alla membrana* e non alimentandola in direzione normale come per filtrazione tradizionale.

2. ottimizzazione condizioni del moto *aumentando la velocità di passaggio della soluzione e turbolenza*: → più intenso rimescolamento negli strati a contatto della membrana e → più rapida redistribuzione delle molecole ritenute in tutta la massa della soluzione.

# APPLICAZIONI DELL'OSMOSI INVERSA E DELL'ULTRAFILTRAZIONE NELL'INDUSTRIA ALIMENTARE

## APPLICAZIONI DELL'OSMOSI INVERSA

➤ L' O.I. consente la *concentrazione di succhi e liquidi zuccherini senza provocare le alterazioni connesse ai normali processi di concentrazione per evaporazione.*

➤ *L'eliminazione dell'acqua avviene per pressione - senza passaggio di stato- quindi il costo energetico del processo dovrebbe essere inferiore a quello per evaporazione.*

**- Ciò non sempre è vero e vanno distinte le singole applicazioni**

# LIMITI

## 1. concentrazione dei succhi di frutta

- il processo prevede l'applicazione di pressioni molto elevate, essendo elevate le pressioni osmotiche in gioco.  
-es. un succo di mela o di arancia al 45% di solidi (valore relativamente basso per i concentrati di questi succhi) ha una p. o. vicina alle 100 atm, per cui, considerando gli effetti della concentrazione di polarizzazione, si deduce che non esistono impianti capaci di raggiungere tali livelli di pressione.

## 2. caratteristiche delle membrane

-in genere sono di acetato di cellulosa, quindi molto delicate; inoltre non possono essere lavate e sanificate con i normali detergenti e disinfettanti. Ciò pone problemi di costo e problemi operativi non semplici.

### 3. effetti del colmataggio

-possono essere rilevanti, specie quando i materiali (succhi) da concentrare contengono sostanze coloranti e fenoliche di natura tannica, che per affinità con la membrana si fissano alla superficie determinandone il rapido bloccaggio, anche dopo un eventuale lavaggio.

### 4. difficoltà nel controllo dello sviluppo microbico

-a causa dei lunghi tempi del processo e delle temperature a cui esso viene condotto. In più non sempre è possibile l'aggiunta di sostanze antisettiche.

Date queste limitazioni si possono avere le seguenti applicazioni:

*a) trattamento di soluzioni fortemente diluite*

- ad es. concentrazione dall'1% al 5% in solidi → poi evaporazione ( In questo caso l'osmosi inversa può risultare una tecnica più economica dell'evaporazione).
- trattamento di effluenti delle industrie dolciarie o dei succhi zuccherini, dove livelli dell'1% sono carichi inquinanti notevoli.
- preconcentrazione del siero di latte dal 6% fino al 15-20% in solidi
  - poi concentrazione per evaporazione e successivo essiccamento.
  - anche in questo caso si realizzano risparmi rispetto ad altre tecniche.

*b) conseguimento di bassi rapporti di concentrazione di succhi pregiati destinati ad ulteriori elaborazioni*

➤ miglioramento dell'economia di processi di liofilizzazione di succhi di frutta (es. arancia) preconcentrando il succo non oltre i 25-30 °Bx → non si pregiudicano le fasi di congelamento e la stabilità del prodotto e si evitano successivi fenomeni di collassamento.

➤ concentrazione di mosti d'uva destinati a vinificazioni di qualità → si porta il livello degli zuccheri al 18-20%, concentrazione più adeguata alla qualità del vino che si vuole ottenere. In questo caso il prodotto risulta migliore del mosto concentrato ottenuto per evaporazione.

c) *trattamento acque di scarico*

- processi diretti o combinati con depurazione biologica

→ si ottiene acqua depurata, mentre le sostanze biodegradabili vanno alle vasche di depurazione.

d) *trattamento di acque salmastre*

- nella produzione di acqua "ultrapura" (< 30 ppm) per l'alimentazione di caldaie o nella preparazione di soluzioni per dialisi.



## Applicazioni dell'ultrafiltrazione

- stadio di applicazione industriale molto più avanzato rispetto all'osmosi inversa.
- diversi motivi:
  - l'ultrafiltrazione svolge una *funzione di separazione e purificazione* non attuabile con altre tecniche.
  - l'o.i. è una tecnica di concentrazione, quindi in concorrenza con l'evaporazione, tecnica molto evoluta ed affidabile.
  - le membrane per u.f. sono costituite da polimeri resistenti a condizioni di pH estreme, quindi più affidabili e flessibili (lavaggio, detergenza, sanificazione ecc.), resistenti ad alte temperature e durevoli nel tempo (fino ad oltre 1 anno).

## ➤ ultrafiltrazione del siero di latte

- è l'applicazione che ha ricevuto il massimo interesse
- sono presenti molti impianti nel mondo, con capacità fino ai 3000 qli/giorno di siero trattato.

*siero* → sottoprodotto della caseificazione, contiene lattosio, sali e proteine solubili , tutte sostanze di grande interesse alimentare

→ per **u.f. del siero** si ottengono *concentrati proteici*:

- elevato valore nutritivo delle proteine
- interessanti caratteristiche funzionali come miglioratore e coadiuvante tecnologico

## ALTRE APPLICAZIONI DELL'ULTRAFILTRAZIONE:

- latticello → sottoprodotto della burrificazione  
→ recupero di proteine e grassi
- latte → polveri ad alto titolo di proteine  
→ pretrattamento prima della caseificazione  
miglioramento della qualità della cagliata  
risparmio enzimi presamici  
più efficiente utilizzazione degli impianti  
→ ultrafiltrazione spinta fino alla eliminazione del 75-80 %  
del permeato; il concentrato si trasforma direttamente  
in cagliata e passa come tale alla fase di maturazione.
- concentrazione e purificazione di enzimi.
- concentrazione dell'albumine d'uovo, della gelatina, delle pectine, di  
proteine da estratti e sieri di estrazione di proteine vegetali, di proteine da  
plasma di sangue, ecc.

- recupero dell'enzima, del substrato e separazione dei prodotti di reazione nei reattori enzimatici (es. idrolisi del lattosio nel latte, nel siero e nei relativi permeati di ultrafiltrazione, per inversione del saccarosio).
- chiarificazione di sciroppi, succhi e prodotti fermentati (vengono eliminati i microrganismi, ma anche i composti macromolecolari non flocculati).
- trattamento effluenti dell'industria della carne e del pesce con abbattimento del carico inquinante e recupero delle proteine.
- separazione di oli e grassi da emulsioni acquose (acque di lavaggio nella produzione di grassi animali, acque di vegetazione delle olive, recupero di trigliceridi dalle acque saponose di neutralizzazione degli oli).

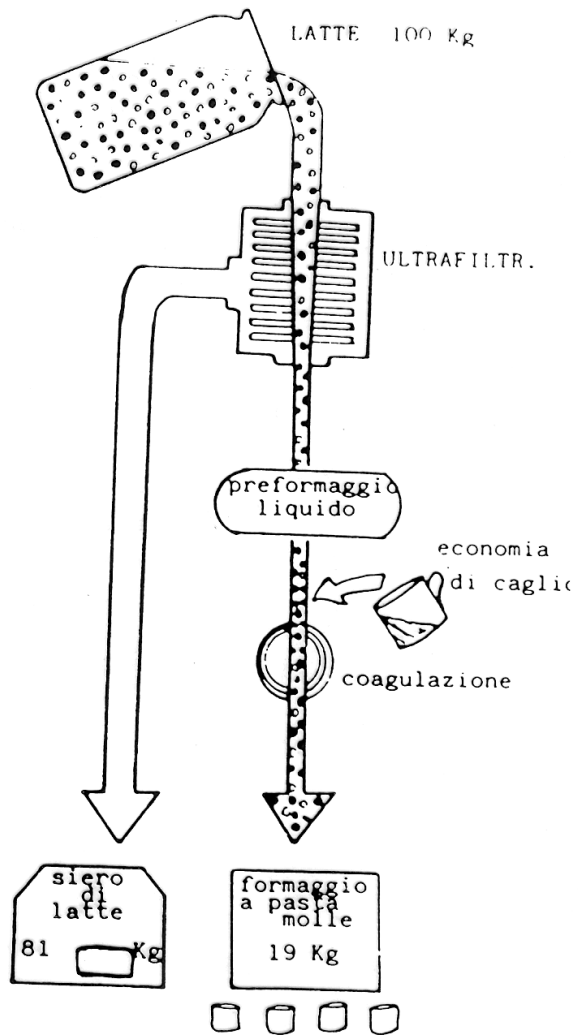
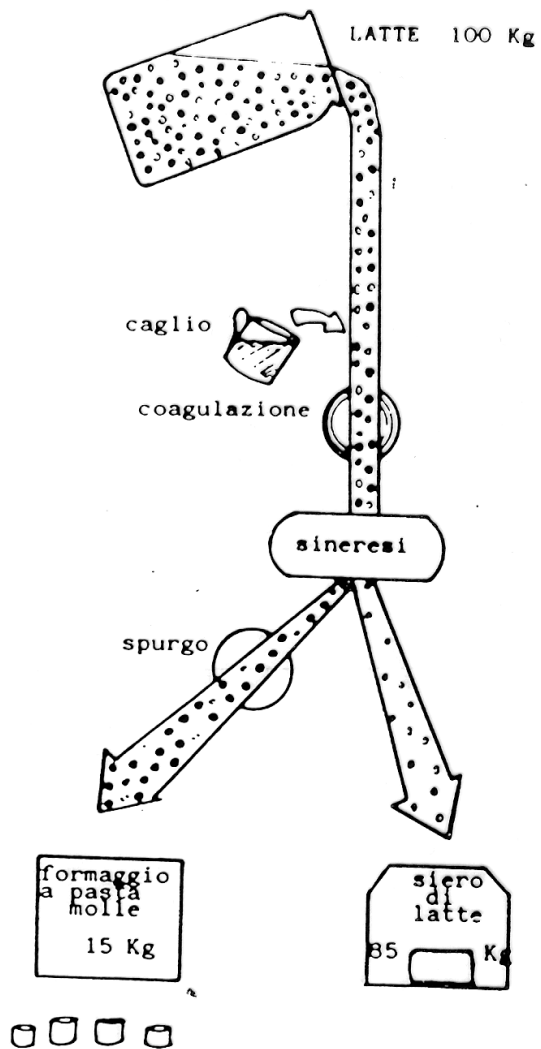
**Table 6.2** — Loss of nutrients during membrane concentration of milk

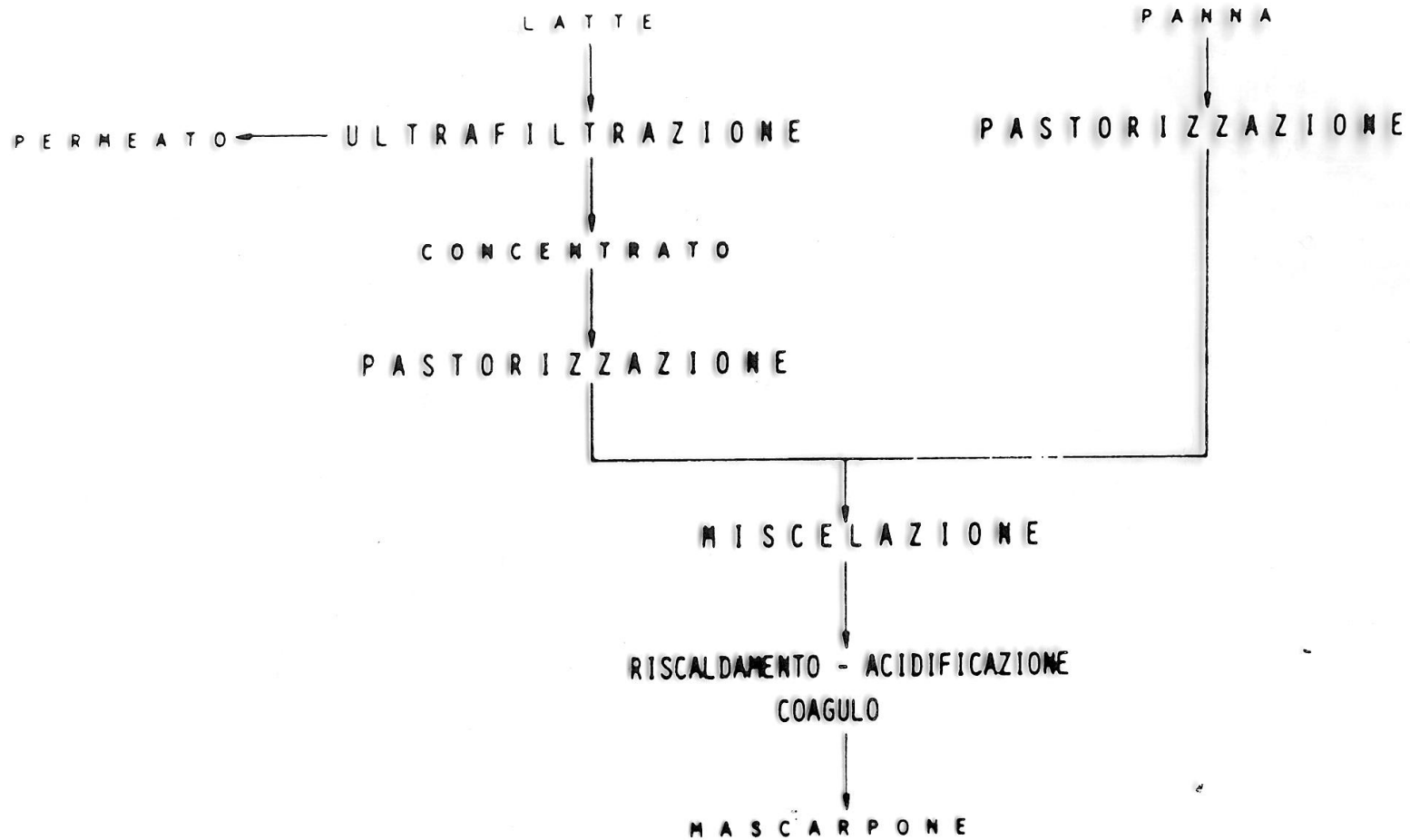
Nutrient	Loss (%)	
	Reverse osmosis	Ultrafiltration
Protein	0	5
Fat	0	0
Carbohydrate	0	43
Energy	0	13
Thiamin	0	38
Riboflavin	0	39
Nicotinic acid	8	41
Vitamin B <sub>6</sub>	3	36
Vitamin B <sub>12</sub>	0	2
Vitamin C	—	87
Folic acid	0	5
Pantothenic acid	0	32
Biotin	0	37

From Glover (1971).

PROCESSO TRADIZIONALE

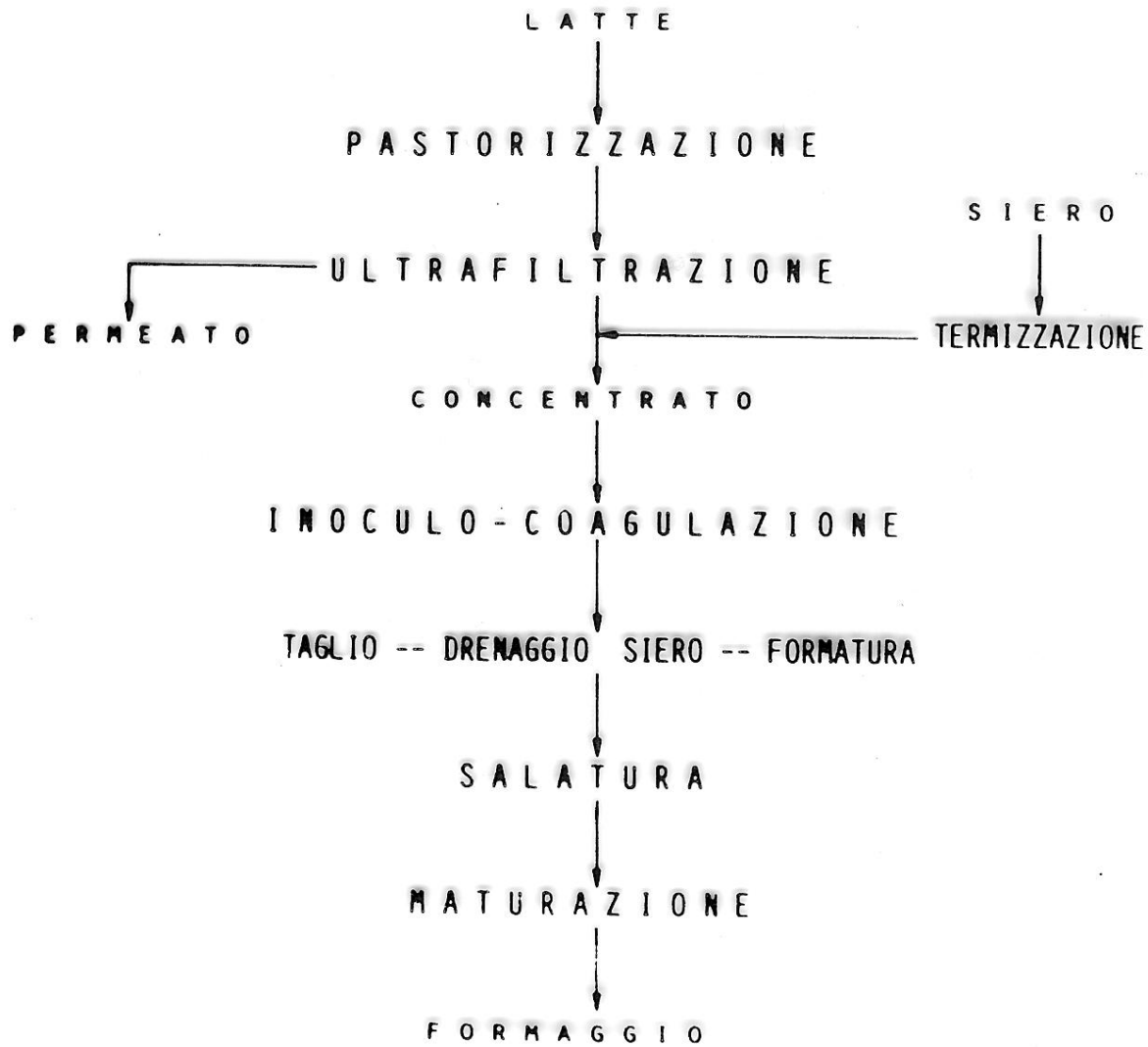
PROCESSO MMV (Maubois, Morquet e Vassal)













# **TIPOLOGIE DI MEMBRANE**

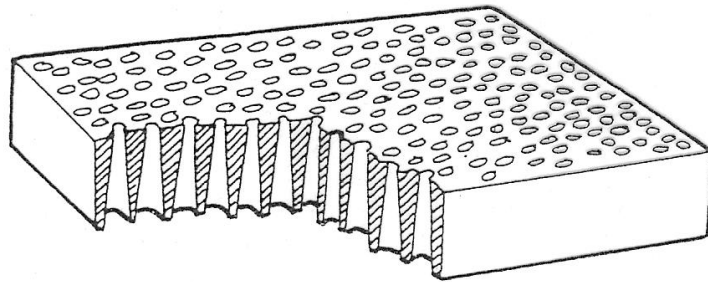


Fig. 6.2 — Microporous ultrafiltration membrane. (After Michaels (1974).)

microporous inner skin, which is surrounded by a layer of spongy support material (Fig. 6.3).

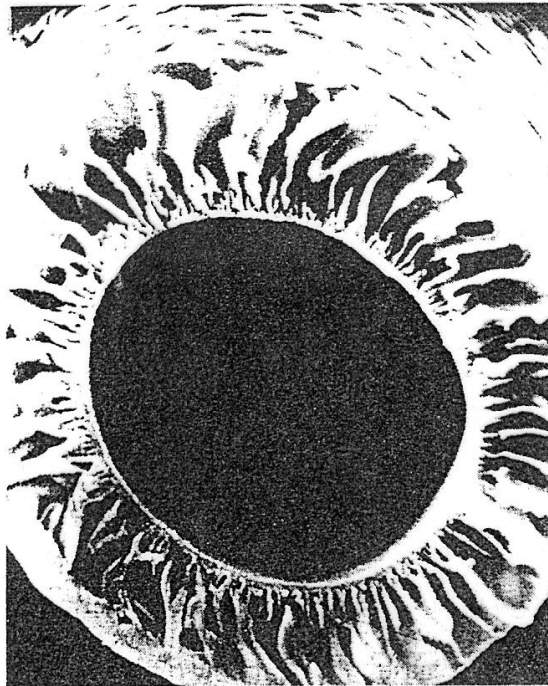


Fig. 6.3 — Hollow fibre membrane. (Courtesy of Patterson Candy International Ltd)

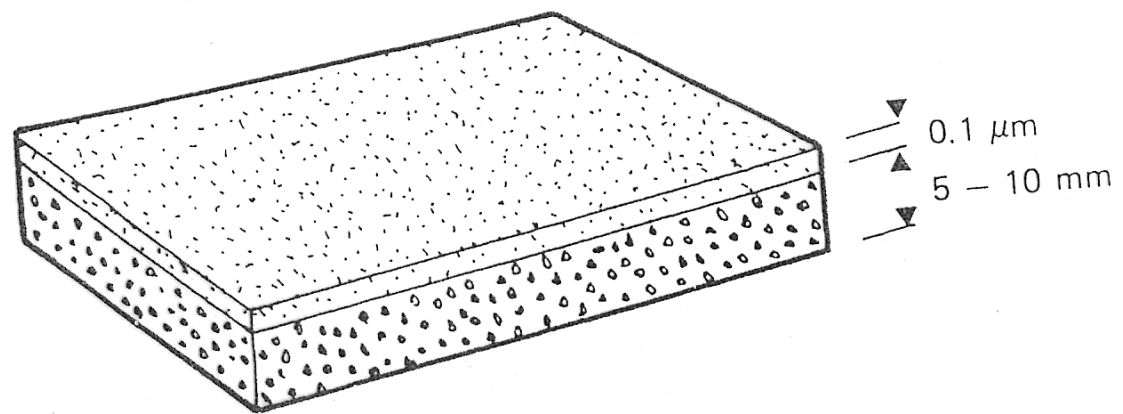
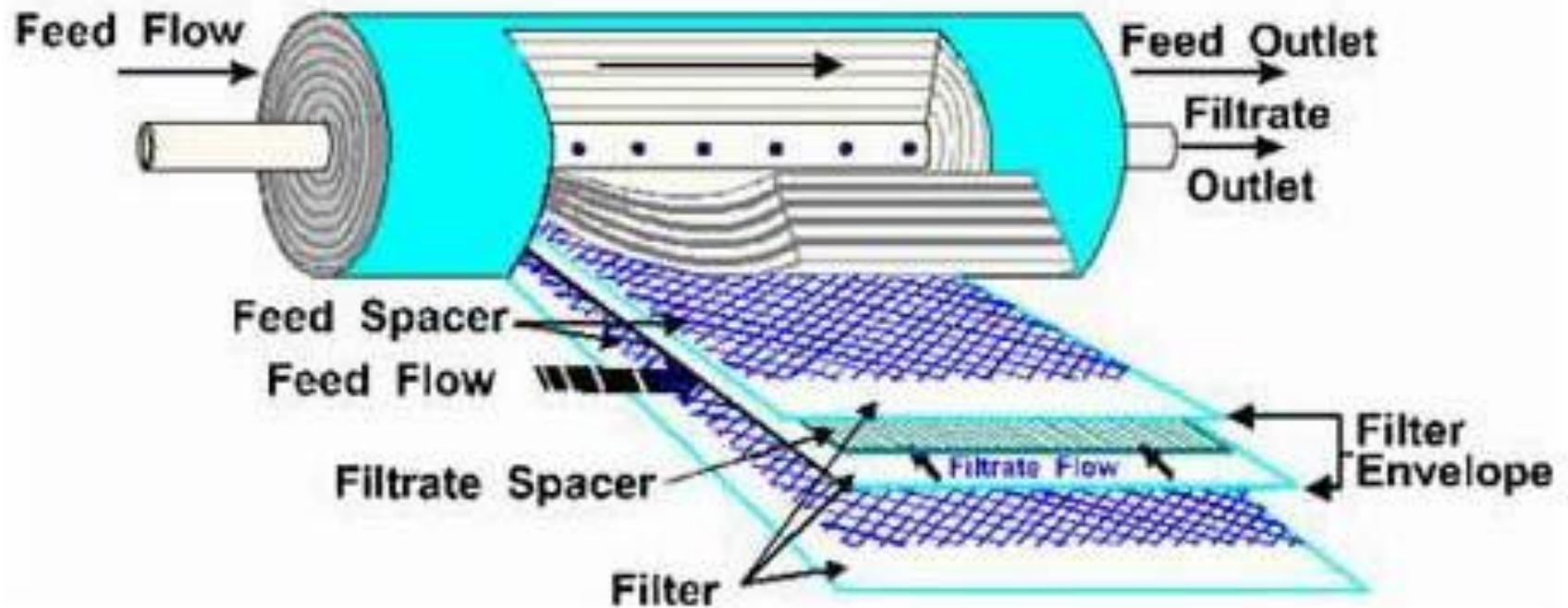
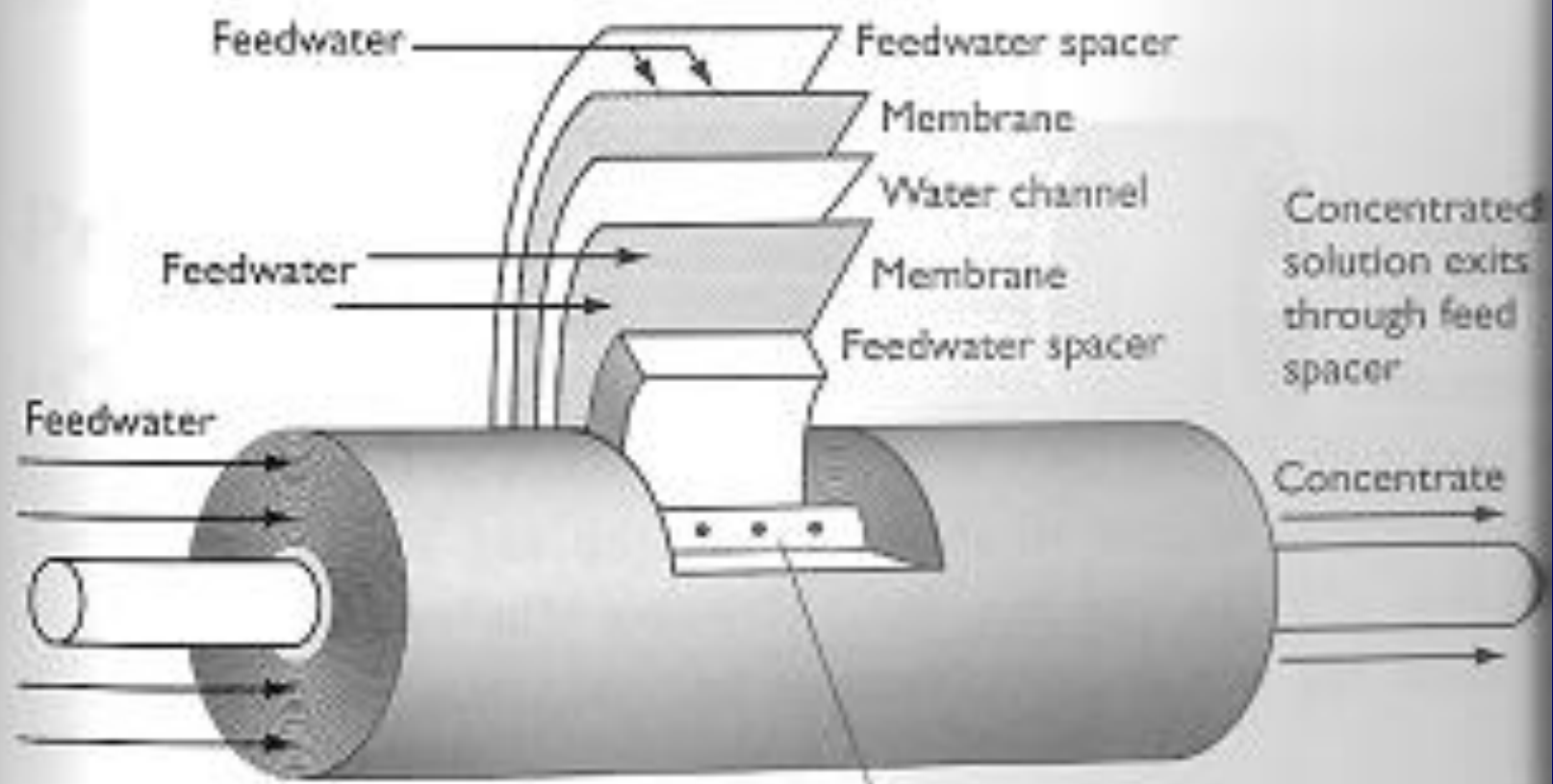


Fig. 6.1 — Asymmetric reverse osmosis membrane. (After Michaels (1974).)

# Membrane a spirale



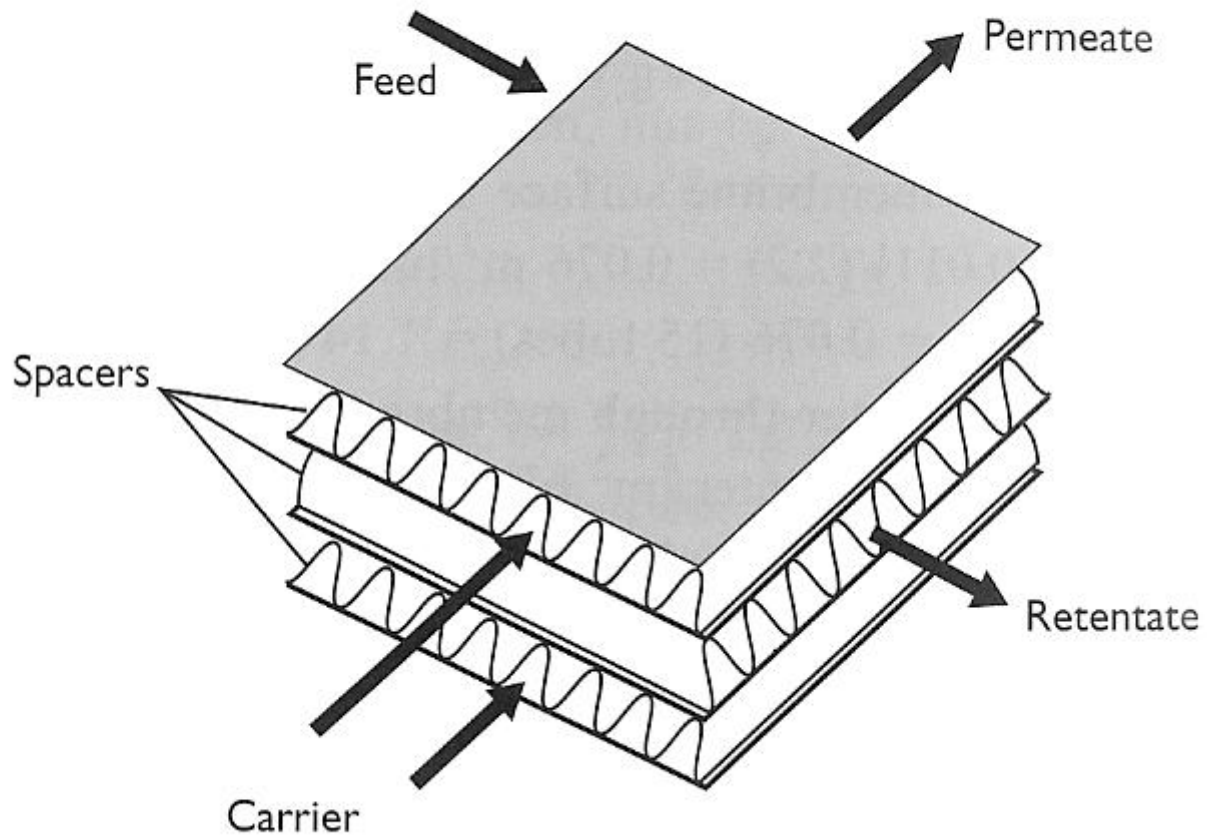


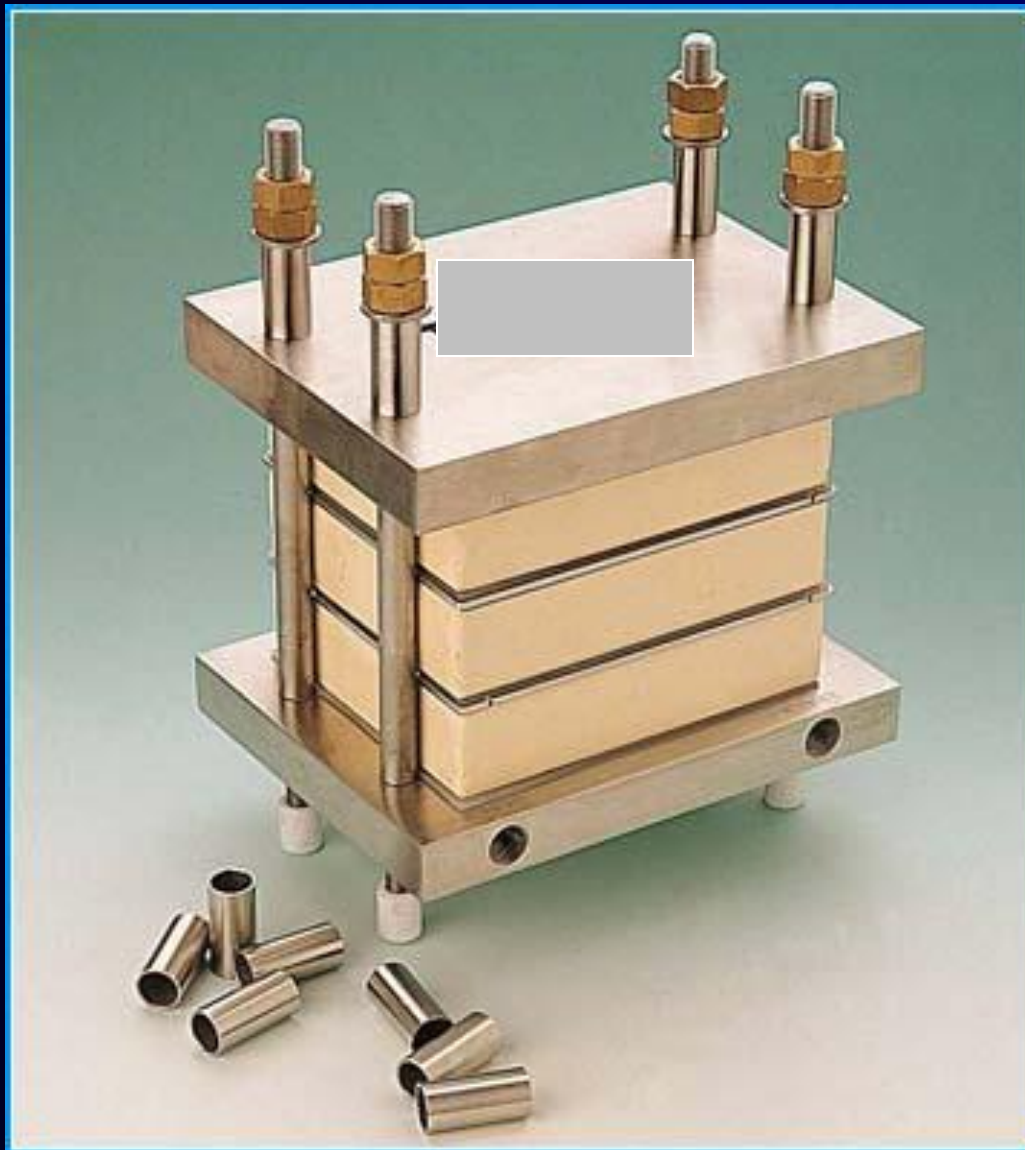
Water flows spirally through water channel; last layer contacts the holes in tube

- La configurazione a spirale avvolta è scelta per la sua efficienza ed economia.
- È composta da due fogli di membrana e da particolari reti di spaziatura, il tutto arrotolato su di un tubo plastico forato (tubo permeato). La membrana è mantenuta rigida da una ricopertura esterna in vetroresina oppure da una rete rigida.
- Il liquido da trattare viene alimentato in pressione da un lato dell'elemento. Per effetto della componente radiale della pressione, parte del liquido permea attraverso la membrana. Sempre per effetto della componente tangenziale della pressione il liquido non permeato viene spinto verso l'uscita della membrana raccogliendo le particelle troppo grosse per essere filtrate e ripulendo di conseguenza la membrana stessa.

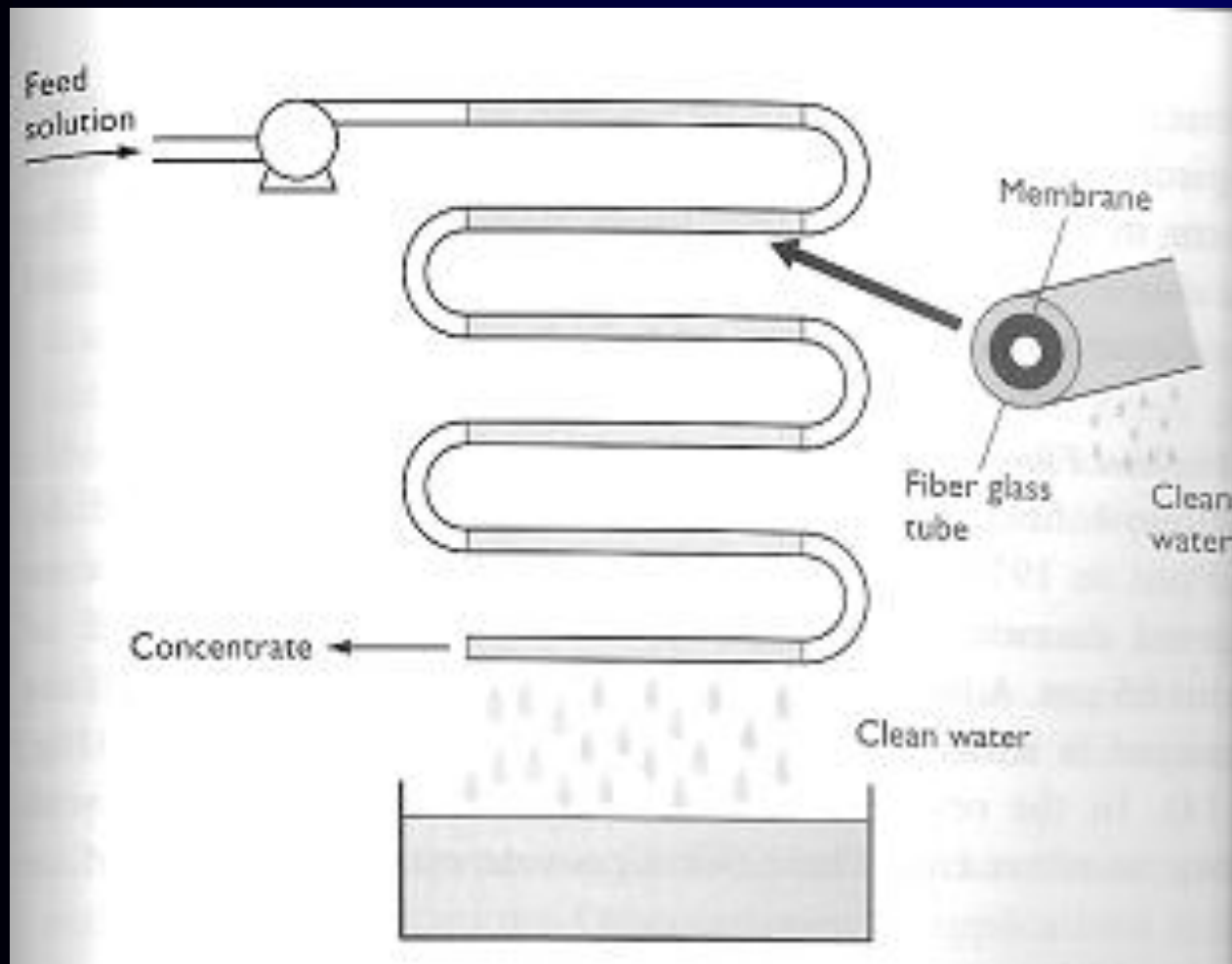


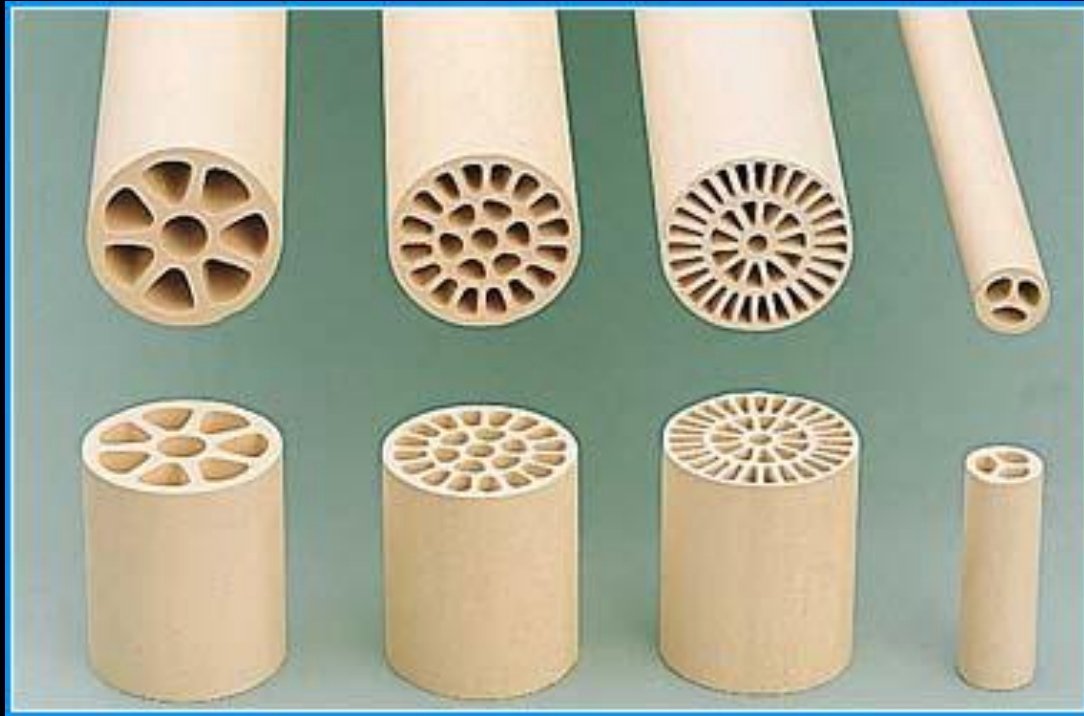
# Membrane plane





# Membrane tubolari





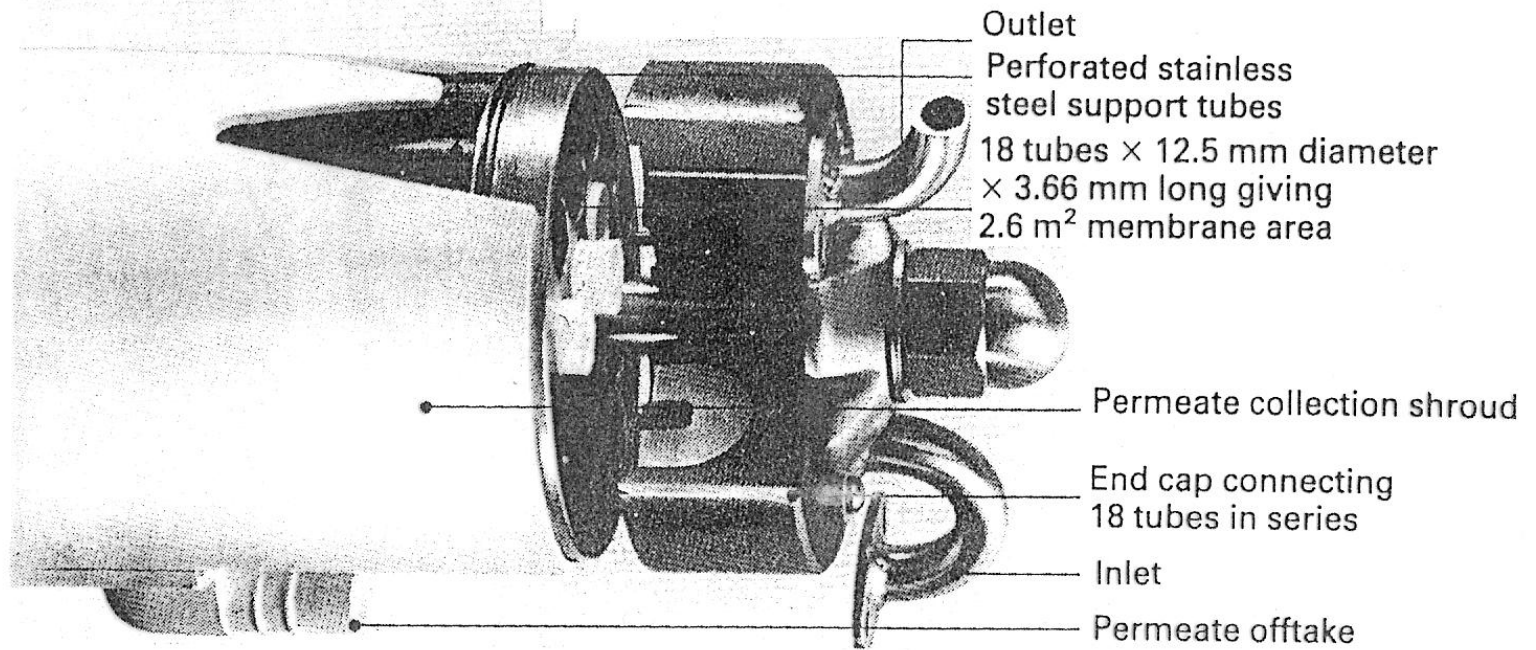
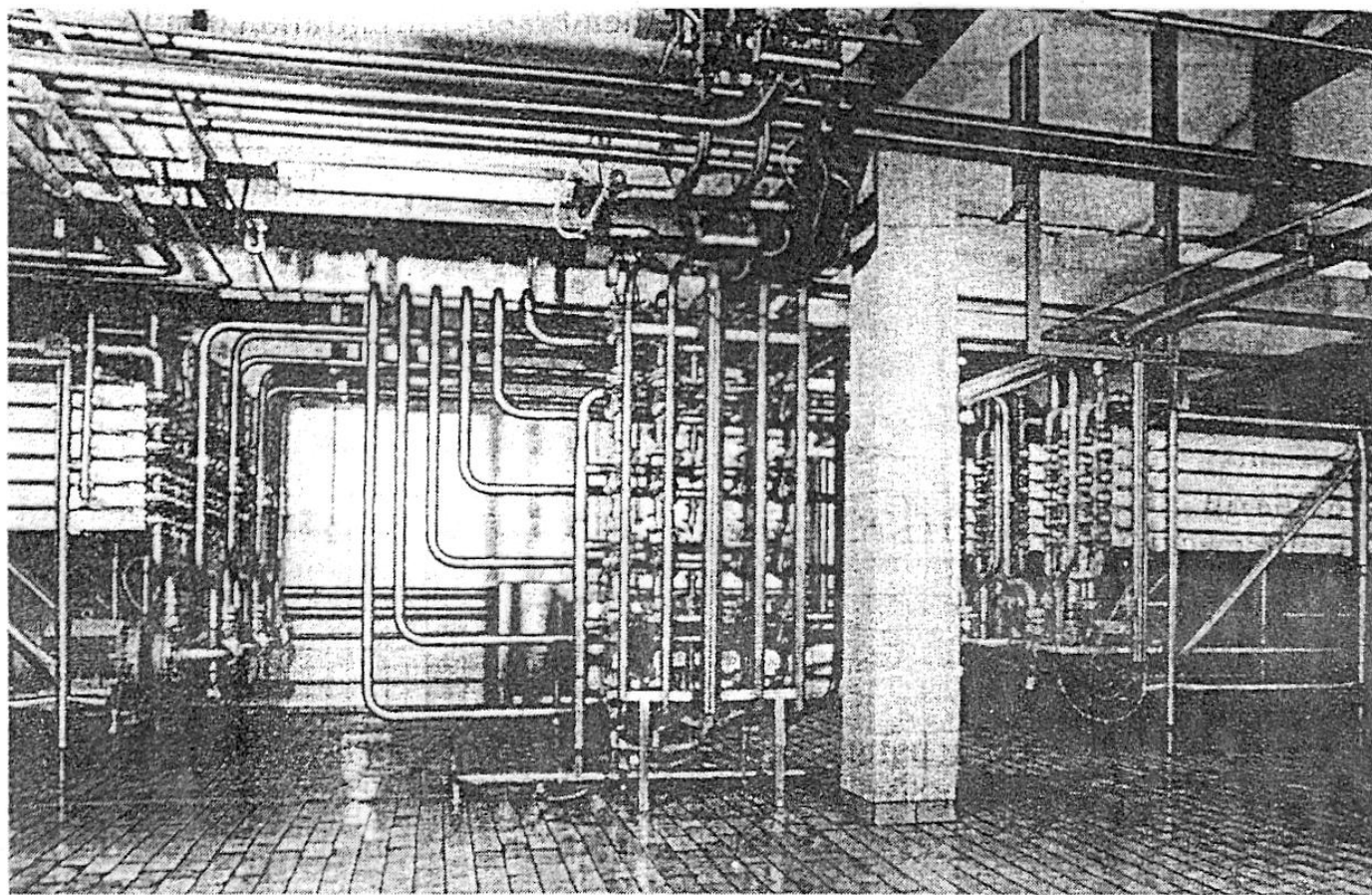


Fig. 6.5 — Tubular membrane. (Courtesy of Patterson Candy International Ltd.)



# ELETTRODIALISI

- L'elettrodialisi è un processo elettrochimico di separazione applicata a soluzioni acquose nelle quali, sostanze chimiche sia inorganiche che organiche, si sciolgono e si dissociano in ioni rispettivamente positivi e negativi.
- La basilare proprietà di una soluzione acquosa di sostanze disciolte e dissociate (idrolisi) è quella di condurre elettricità, dando quindi luogo ad una conduttività elettrica.
- Immergendo nella soluzione due elettrodi di polarità opposta (positiva e negativa) è possibile far migrare gli ioni positivi verso l'elettrodo negativo e gli ioni negativi verso l'elettrodo positivo.
- Per impedire il rimescolamento degli ioni separati elettricamente si impiegano membrane permoselettive opportunamente collocate tra gli elettrodi.





- Le membrane partecipano al processo in quanto nei loro microcanali sono presenti rispettivamente gruppi funzionali positivi (membrane anioniche) che permettono soltanto il passaggio di ioni con carica negativa, e gruppi funzionali negativi (membrane cationiche) che permettono soltanto il passaggio di ioni con carica positiva.
- Attraverso la migrazione ionica selettiva è possibile raccogliere, ricostruire e/o concentrare in celle adiacenti alla cella del grezzo da trattare, la sostanza che si intende isolare.
- La separazione più elementare di un sale inorganico, ad esempio cloruro sodico, da un grezzo di lavorazione, è schematicamente rappresentata nella figura qui sotto.

- A differenza di tutti gli altri sistemi di separazione/ concentrazione per membrana, l'elettrodialisi utilizza membrane permeabili agli ioni ma non all'acqua.
- Il processo di elettrodialisi non rimuove materiali colloidali, batteri e sostanze non ioniche.



Utilizzato per la desalificazione delle acqua