



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "LA SAPIENZA"
INGEGNERIA DELLE NANOTECNOLOGIE**

**LA TECNOLOGIA A MEMBRANE E LA SUA
APPLICAZIONE NELLE NANOTECNOLOGIE**

PROF. MARCO STOLLER

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CHIMICA MATERIALI AMBIENTE

PIANO 2 - UFFICIO 204b

TEL: +390644585580

MARCO.STOLLER@UNIROMA1.IT



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI ROMA "LA SAPIENZA"
INGEGNERIA DELLE NANOTECNOLOGIE**

LA TECNOLOGIA A MEMBRANE INTRODUZIONE

PROF. MARCO STOLLER

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CHIMICA MATERIALI AMBIENTE

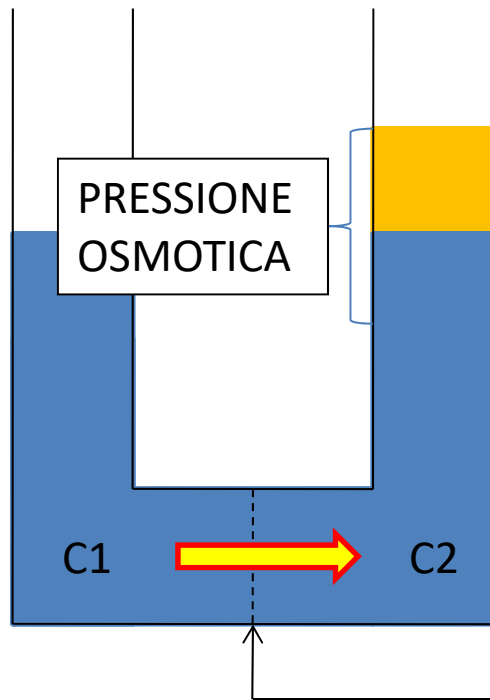
PIANO 2 - UFFICIO 204b

TEL: +390644585580

MARCO.STOLLER@UNIROMA1.IT

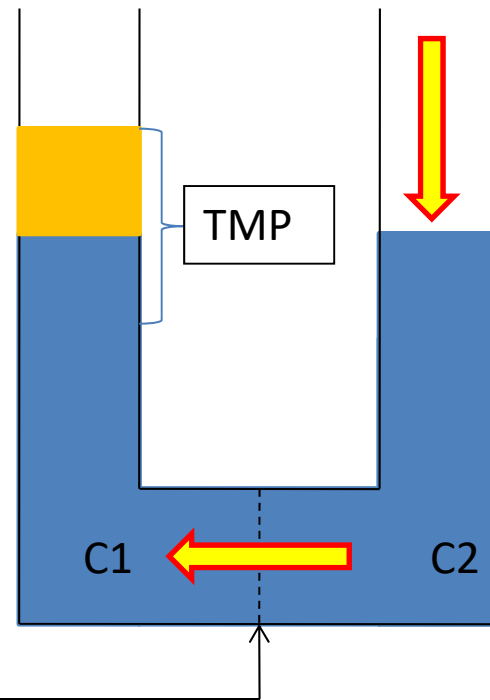
Membrane

Le membrane sono fasi semi-permeabili in grado di separare una corrente in due distinte



OSMOSI

$C1 < C2$



OSMOSI INVERSA

Definizioni

- **ALIMENTAZIONE, CONCENTRATO E PERMEATO**

Il permeato è la corrente che passa attraverso la membrana; viceversa, il concentrato è la corrente in uscita lato alimentazione.

- **FLUSSO**

Pari alla portata volumetrica riferito all'unità di tempo e superficie di membrana.

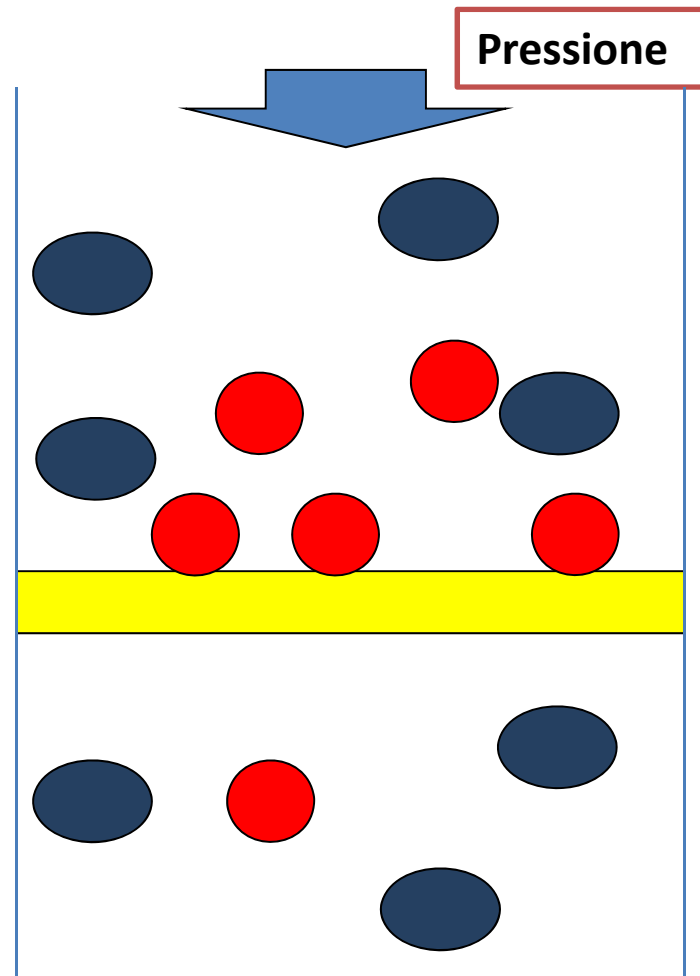
- **REIEZIONE**

Pari al valore percentuale di solute che non passa attraverso la membrana.

- **RECOVERY**

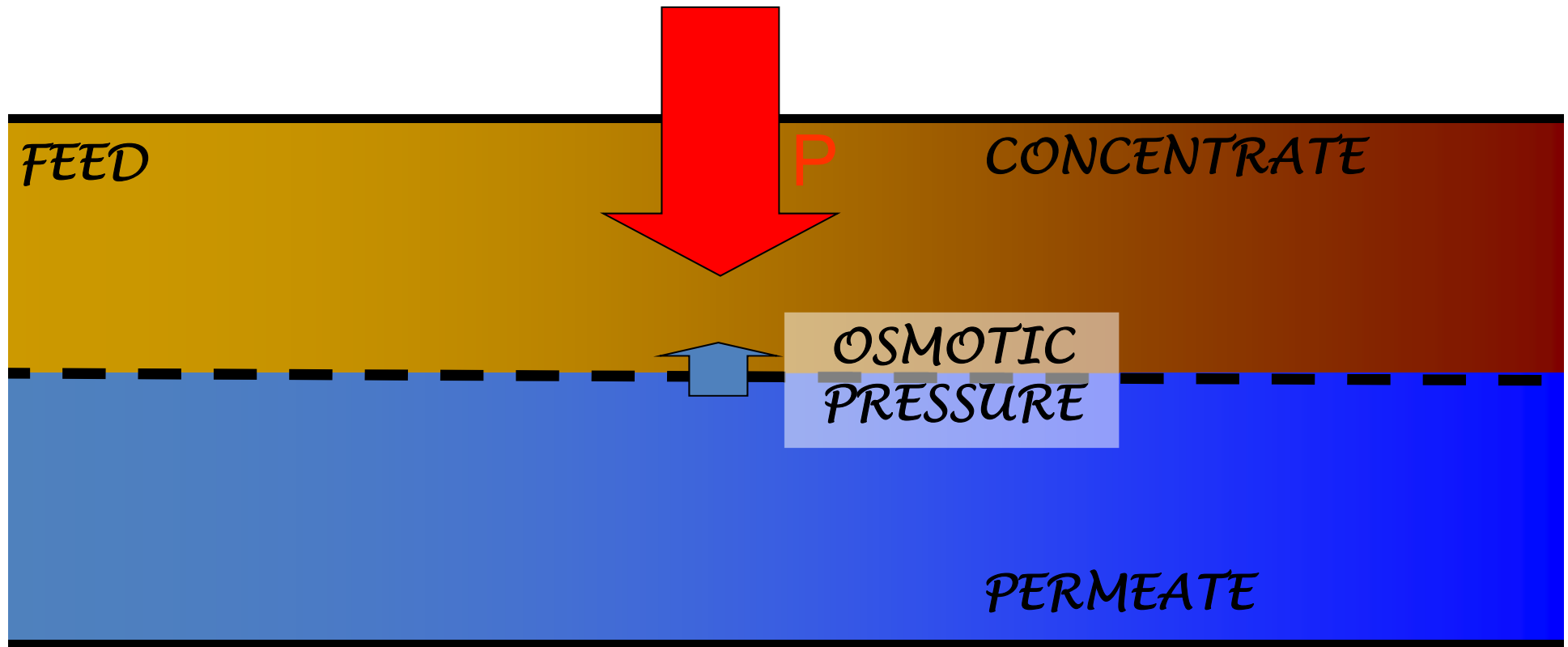
Pari al valore percentuale in volume di permeato rispetto all'alimentazione.

MODI OPERATIVI



FILTRAZIONE DEAD END

MODI OPERATIVI



I lowd } lrqh#Wdqj hq } lddh

Parametri prestazionali

- **PRODUTTIVITA'** Flusso di permeato o permeabilità

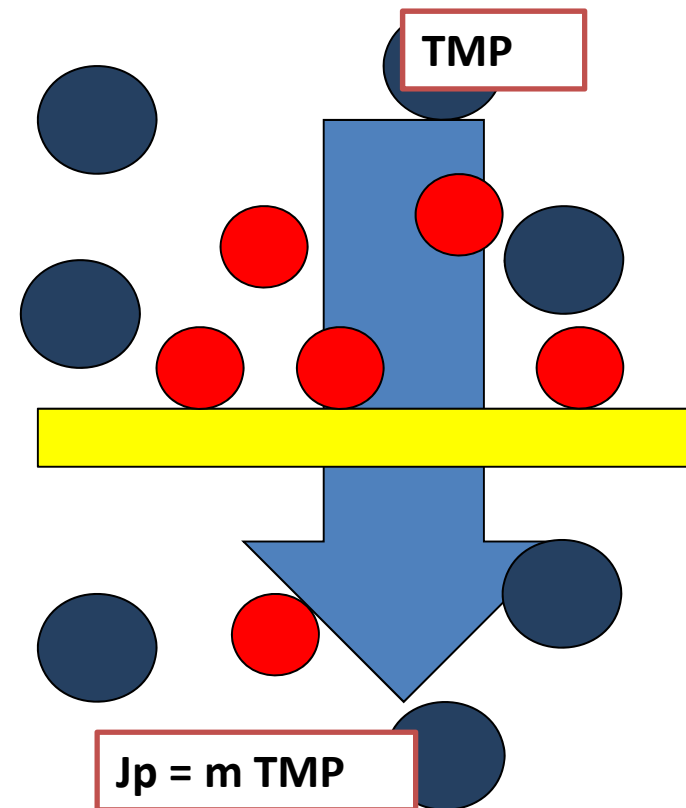
Dipende dal materiale della membrana, dimensione pori della membrana, spessore della membrana, alimentazione, concentrazione dei soluti, condizioni operative.

- **SELETTIVITA'** Reiezione

Dipende dal materiale delle membrane, dimensione pori delle membrane, alimentazione, interazione soluto-membrana (effetto Donnan), condizioni operative.

- **LONGEVITA'** Fouling ed invecchiamento

Dipende dal materiale delle membrane, alimentazione, concentrazione dei soluti, condizioni operative.



Equazioni

- **PRESSIONE OSMOTICA**

$$\pi = R T V^{-1} \ln a = n R T c$$

- **PRESSIONE TRANSMEMBRANICA**

$$\text{TMP} = \Delta P - \Delta \pi = P_{op} - \pi_f$$

- **RESISTENZA DELLA MEMBRANA**

$$R_m = D \delta^{-1} dc/dx$$

- **RESISTENZA TOTALE DELLA MEMBRANA**

$$R_{tot} = J_p (R_m + R_p + R_a + R_{f,rev} + R_{f,irrev})$$

- **REIEZIONE**

$$R(x) = 1 - (c_{x,p} / c_{x,f})$$

Equazioni

- **FLUSSO SOLVENTE**

$$J_w = k_w \text{ TMP}$$

- **FLUSSO SOLUTO**

$$J_s = k_s \Delta c = J_w c_p$$

π : pressione osmotica

n : numero ionico

P_{op} : pressione operativa

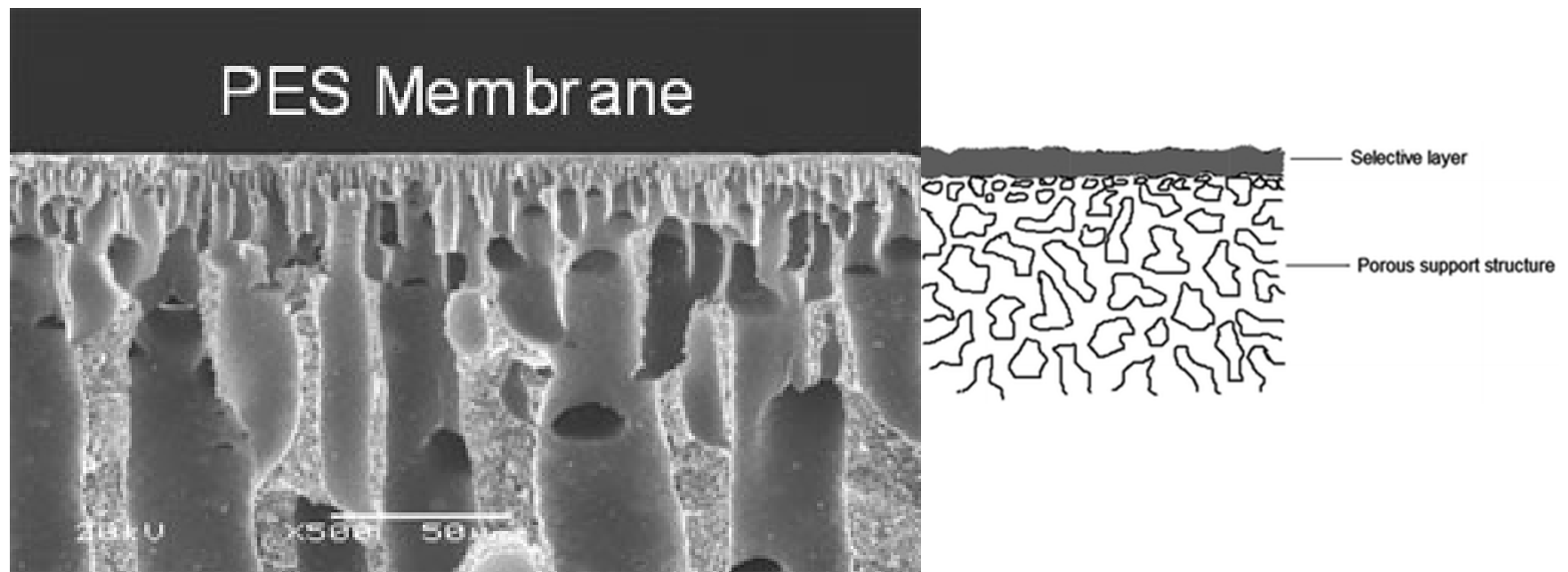
D : diffusività

δ : spessore della membrana

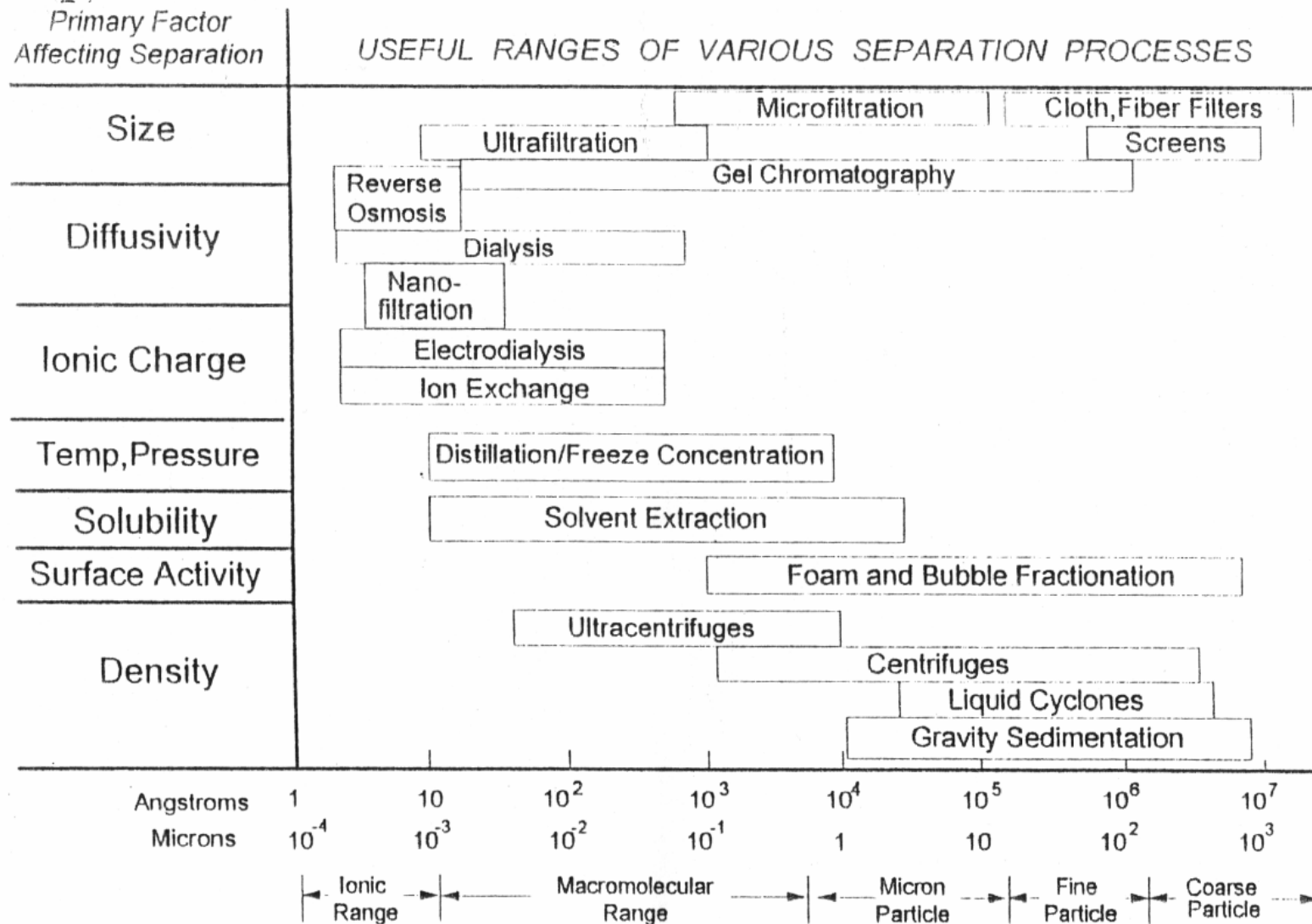
$R_m, R_p, R_a, R_{f,rev}, R_{f,irrev}$: Resistenza della membrana, polarizzazione, invecchiamento, fouling reversibile ed irreversibile.

MEMBRANE ASIMMETRICHE

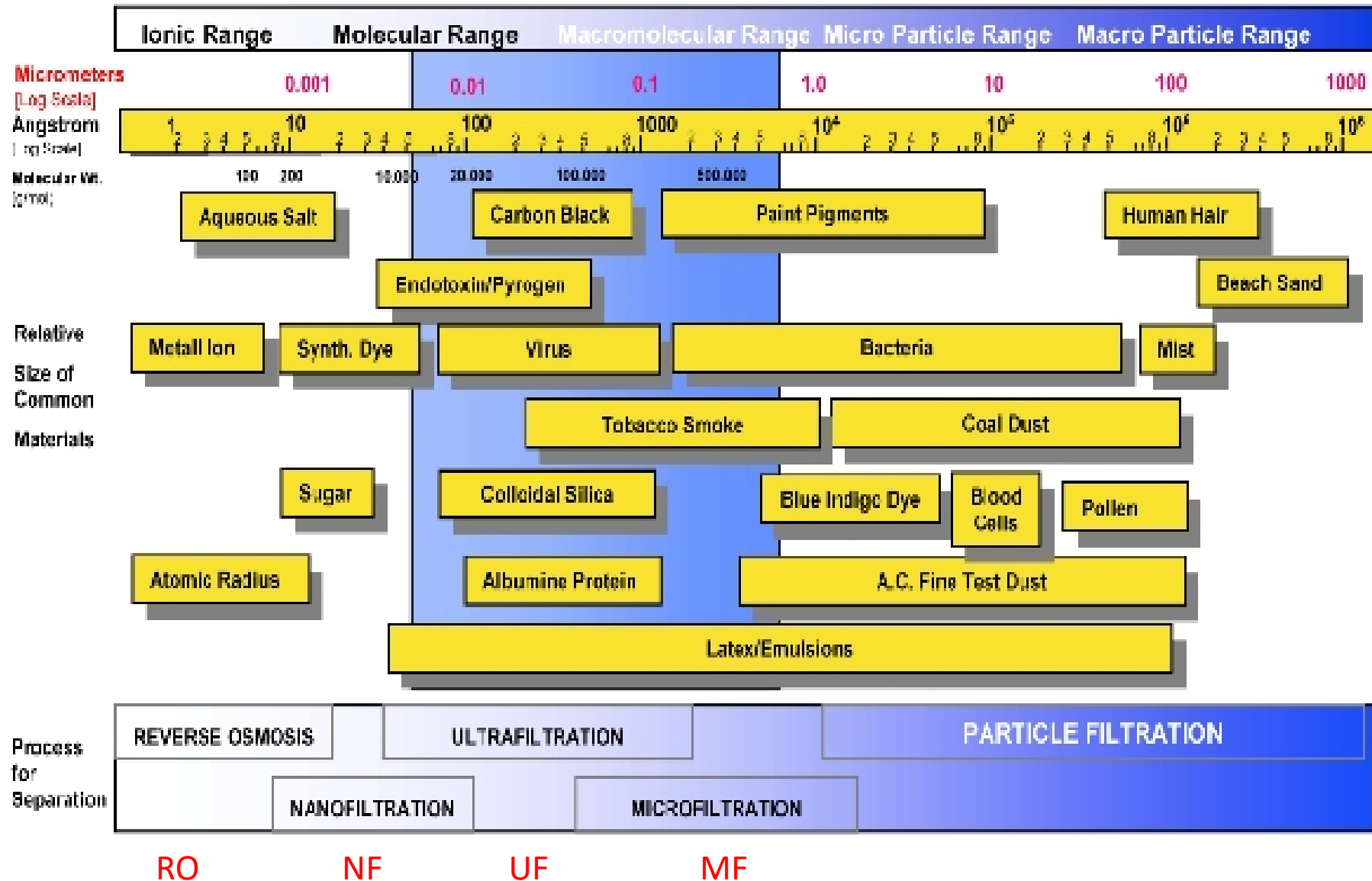
- IL FLUSSO DI MEMBRANA AUMENTA SE LO SPESSORE VIENE RIDOTTO. LE MEMBRAE ASSIMETRICHE GARANTISCONO STESSI VALORI DI SELETTIVITA' E LONGEVITA', MA CONFERISCONO IL SUPPORTO AL SOTTILE STRATO SELETTIVO A RESISTERE MECCANICAMENTE ALLE ALTRE PRESSIONI.



TECNOLOGIA A MEMBRANE



SEPAZIONE LIQUIDO - LIQUIDO



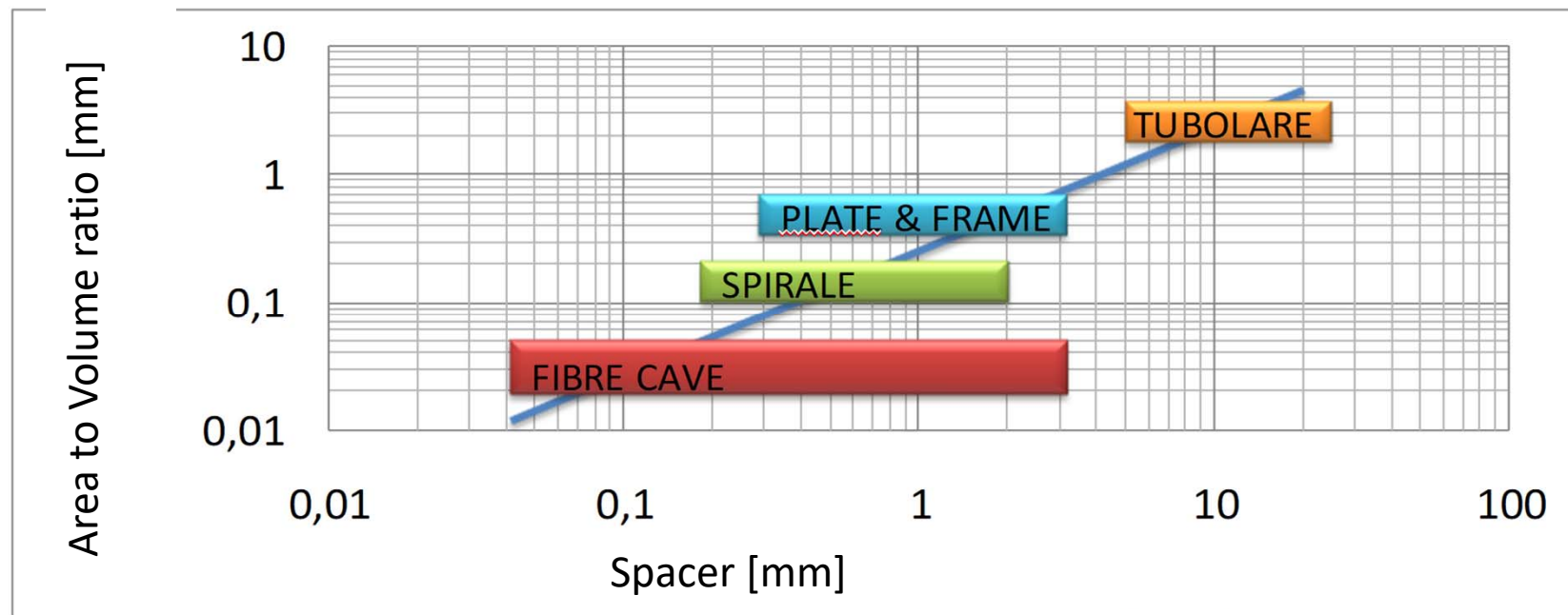
ALTRE TECNICHE DI SEPARAZIONE A MEMBRANE

Dialysis	symmetric microporous membrane, 0.01 – 1 μm pore radius	concentration gradient	diffusion in convection-free layer	separation of salts and microsolute from macromolecular solutions
Electrodialysis	cation- and anion-exchange membranes	electrical potential gradient	electrical charge of particle and size	desalting of ionic solutions
Gas separation	asymmetric homogeneous polymer membrane	hydrostatic pressure and concentration gradients	solubility, diffusion	separation of gas mixtures
Pervaporation	asymmetric homogeneous polymer membrane	vapor pressure gradient	solubility, diffusion	separation of azeotropic mixtures
Facilitated and coupled transport	liquid membrane with carrier	concentration gradient	solution and diffusion in liquid membrane	selective removal of ions, gas separation
Membrane distillation	symmetric hydrophobic porous membrane	vapor pressure gradient	vapor pressure differences	desalination of aqueous solutions

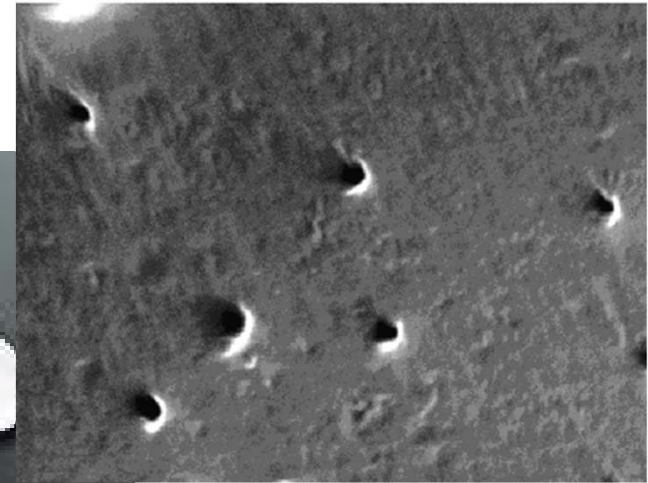
Moduli a membrane

- Membrane piane (Flat sheet membranes)
- Membrane tubolari (Tubular membrane modules)
- Membrane “Plate&frame”
- Membrane a spirale avvolta (Spiral wounded membrane modules (SW))
- Membrane a fibra cava (Hollow fiber membrane modules (HF))

Ogni modulo è caratterizzato da differenti rapporti di superficie su volume.



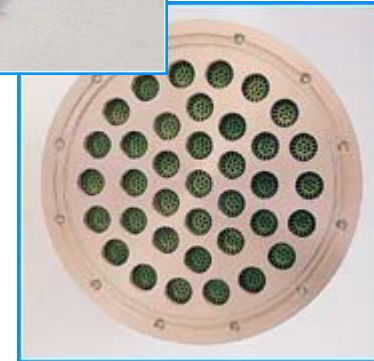
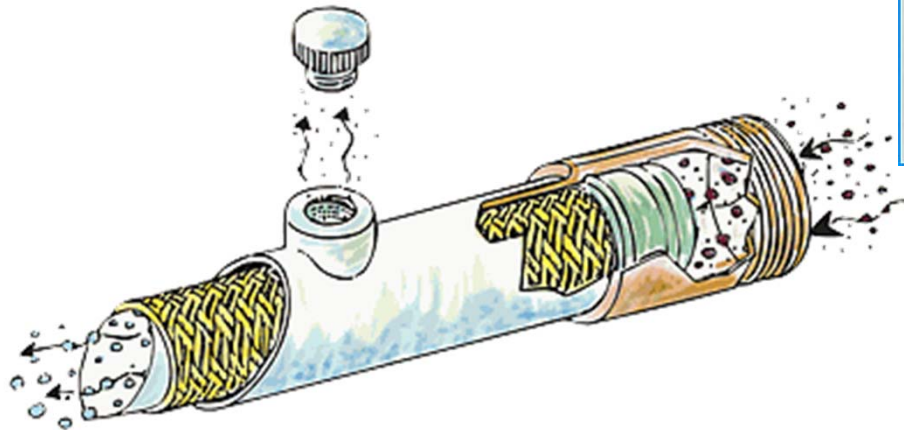
MEMBRANE PIANE



<u>Vantaggi</u>	<u>Svantaggi</u>	<u>Tecnologie</u>
Elevata varietà di membrane	Costi elevati	D, ED MF, UF, NF, RO HD
Si possono lavare	Sostituzione delle membrane frequente	
Consumo energetico contenuto	Problema di tenuta	
	Basso rapporto superficie su volume	

- Usato in laboratorio
- Fornisce indicazioni significativa sulla selettività, ma non sulla produttività o sulla longevità

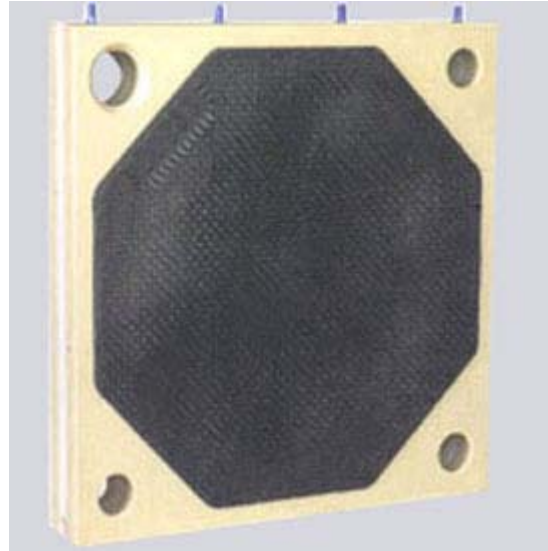
MEMBRANE TUBOLARI



<u>Vantaggi</u>	<u>Svantaggi</u>	<u>Tecnologie</u>
L'alimentazione può contenere solido sospeso	Richiede un consumo energetico elevato	GS, HD UF, MF, NF, RO
Lavora con fluidi non newtoniani	Elevati costi	
Si può lavare meccanicamente	Elevati valori di hold-up	
	Basso rapporto superficie volume	

- Usato per alimentazioni non pretrattate

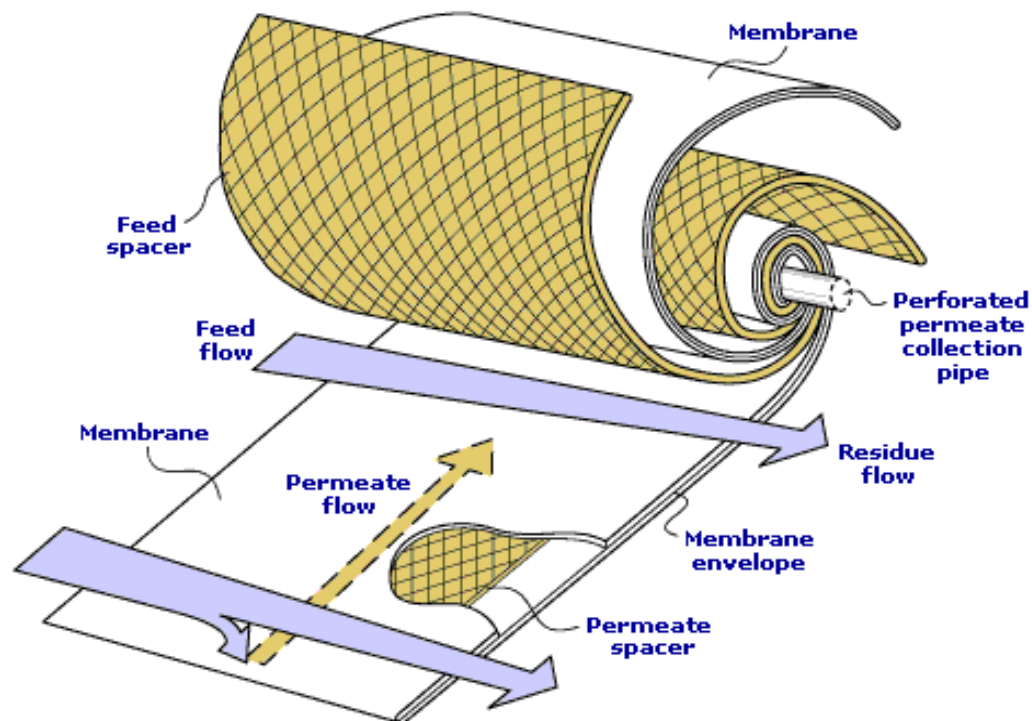
PLATE AND FRAME



<u>Vantaggi</u>	<u>Svantaggi</u>	<u>Tecnologie</u>
Gli stessi come le membrane piane	Gli stessi come le membrane piane	D, ED MF, UF, NF, RO HD
Rapporto superficie volume più elevato		

- Usato nei MBR (Membrane Bio Reactors)

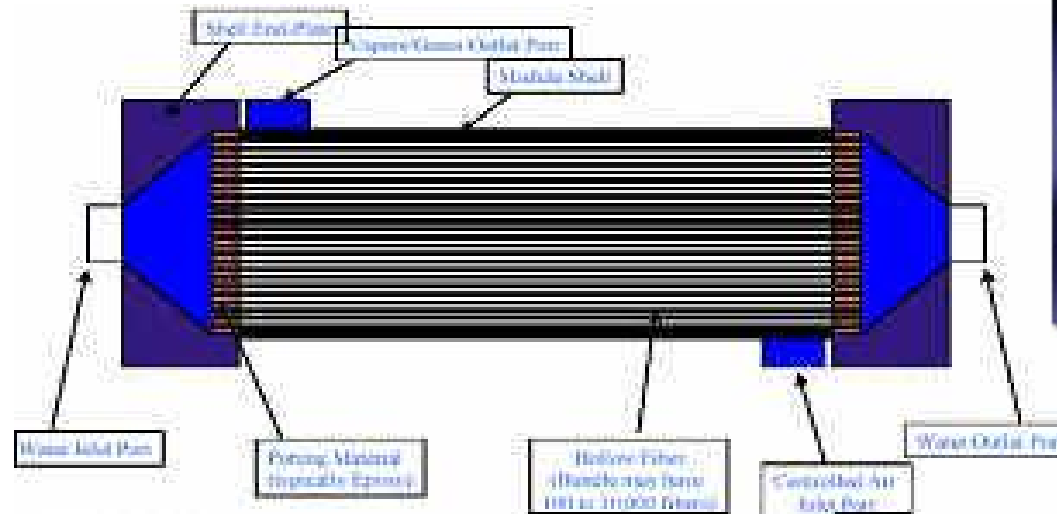
A SPIRALE AVVOLTA



<u>Vantaggi</u>	<u>Svantaggi</u>	<u>Tecnologie</u>
Basso hold-up	Non possono essere controllate	ED MF, UF, NF, RO
Molto compatto	Presenza di punti morti idrodinamici	
Elevata varietà di membrane		
Costi contenuti		

- Usate in NF e RO

A FIBRE CAVE



<u>Vantaggi</u>	<u>Svantaggi</u>	<u>Tecnologie</u>
Molto compatto	Fouling	MF, UF
Bassissimo valore di hold-up	Incompatibili con alimentazioni viscosi	
Costi ridotti	Varietà limitata di membrane	
Controllavabili		

- Usati per MF e UF