

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



PRESENTAZIONE TESI DI LAUREA

«Tecnologie per la dissalazione delle acque marine»

Relatore:

Ch.mo Prof. Francesco Pirozzi

Candidato:

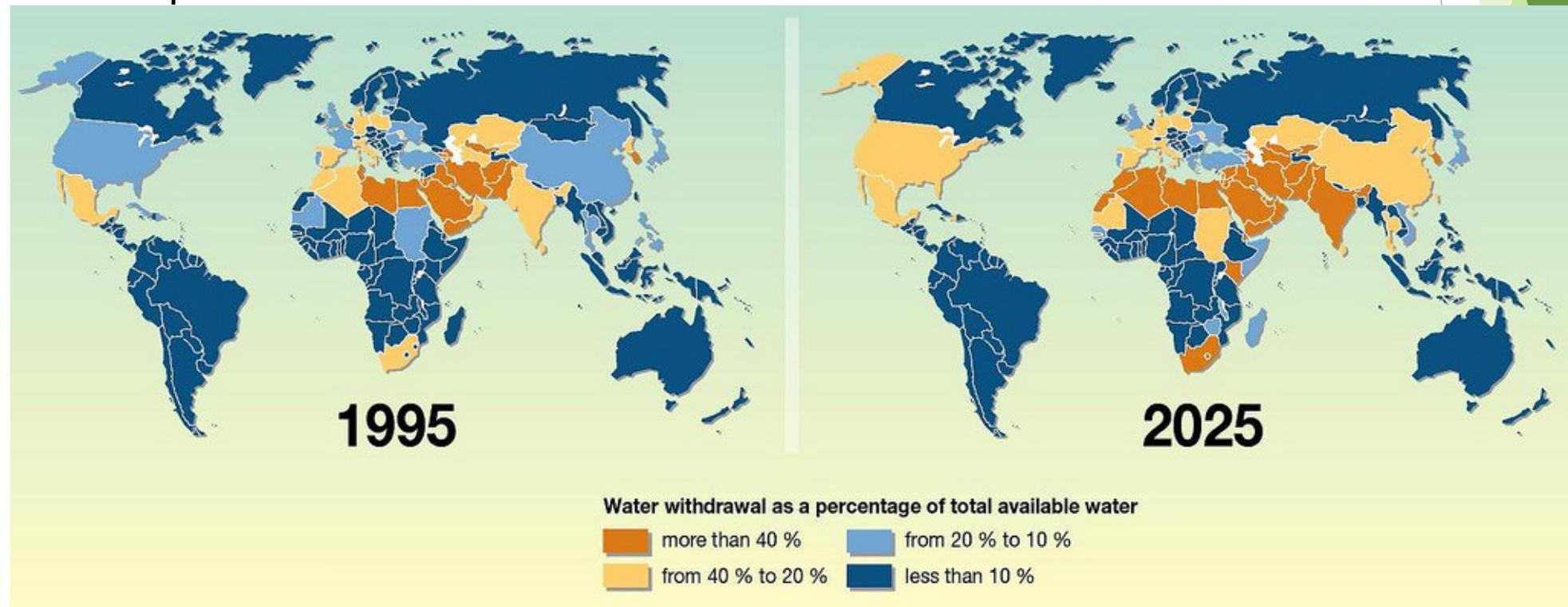
Gianluca Bavoso Matr. N49/130

# «Drivers» per la dissalazione

Carenze idriche:

- ▶ Aumento della popolazione;
- ▶ Aumento del consumo pro capite di acqua;
- ▶ Cambiamenti climatici.

WATER STRESS INDEX: rapporto tra la quantità d'acqua utilizzata e la quantità disponibile localmente proveniente da fonti rinnovabili.

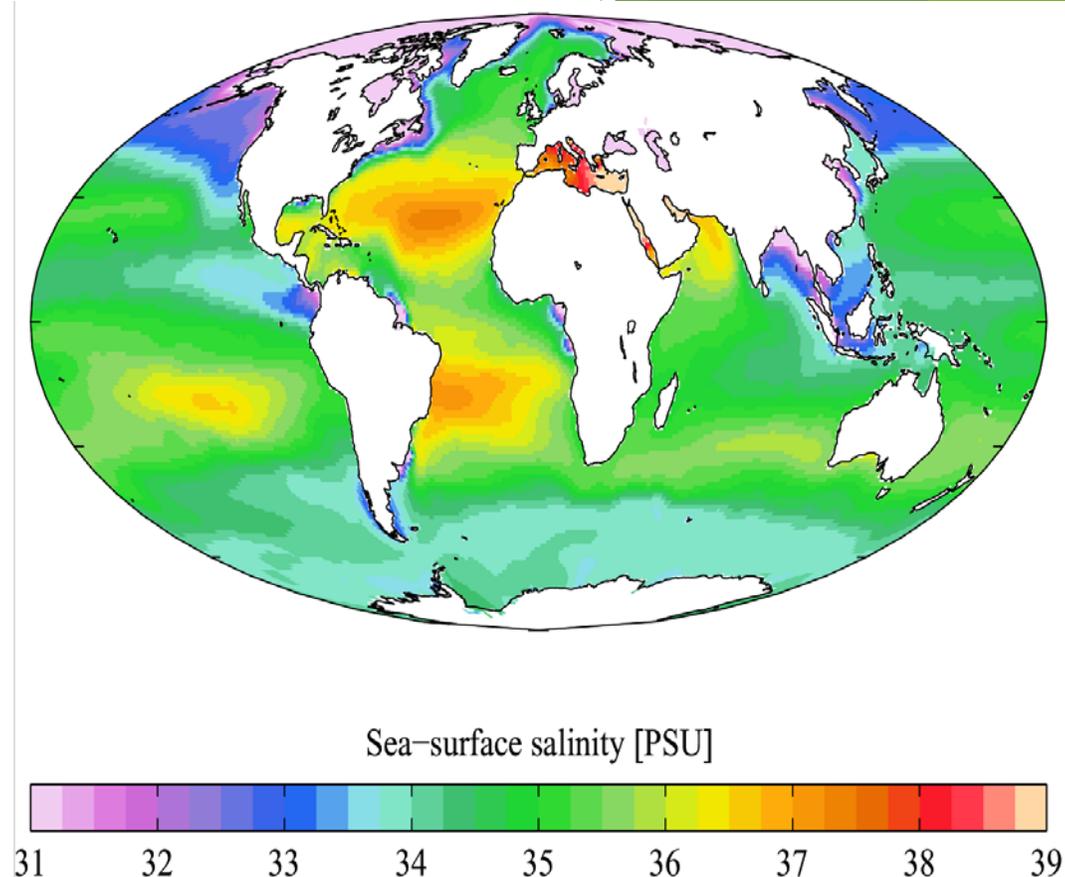


# Qualità dell'acqua marina

I principali parametri di qualità dell'acqua marina che influenzano i processi di dissalazione sono:

- Concentrazione dei costituenti inorganici disciolti;
- Torbidità;
- Concentrazione del carbonio organico totale (TOC).

Ione	Concentrazione [ppm]	Contenuto salino rispetto al totale[%]
Cloruro Cl <sup>-</sup>	19345	55.0
Sodio Na <sup>+</sup>	10752	30.6
Solfato SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2701	7.6
Magnesio Mg <sup>2+</sup>	1295	3.7
Calcio Ca <sup>2+</sup>	416	1.2
Potassio K <sup>+</sup>	390	1.1
Bicarbonato HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	145	0.4
Bromuro Br <sup>-</sup>	66	0.2
Borato BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	27	0.08
Stronzio Sr <sup>2+</sup>	13	0.04
Fluoruro F <sup>-</sup>	1	0.003

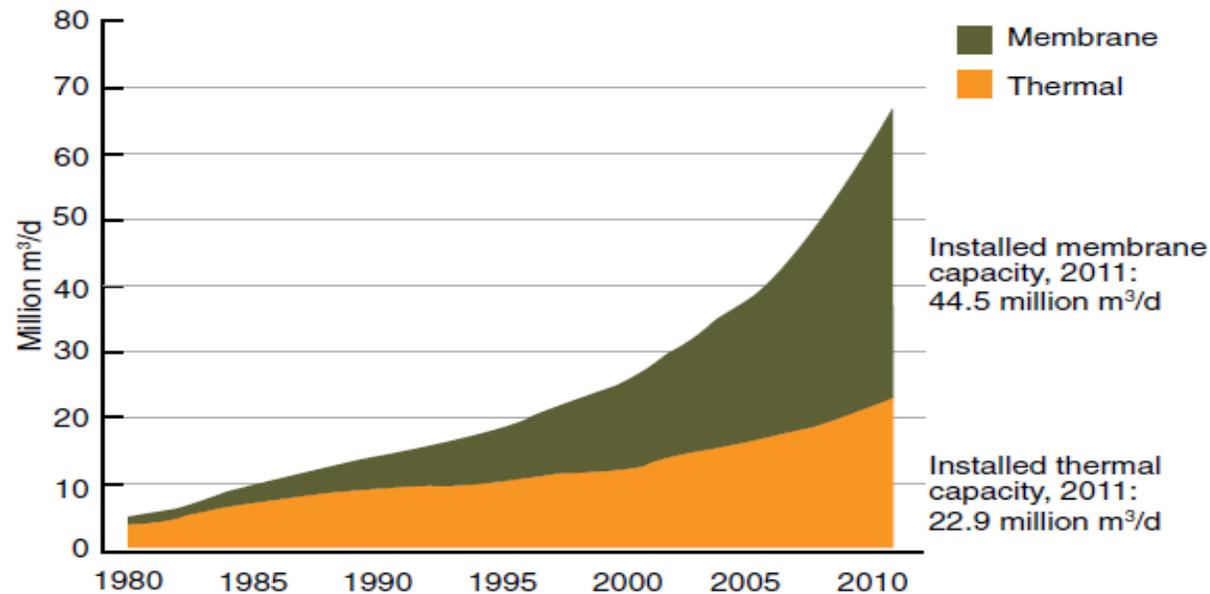


Si notano valori di salinità superiori alla media nel Mar Rosso, nel Mediterraneo e nel Golfo Persico.

# Processi per la dissalazione delle acque marine

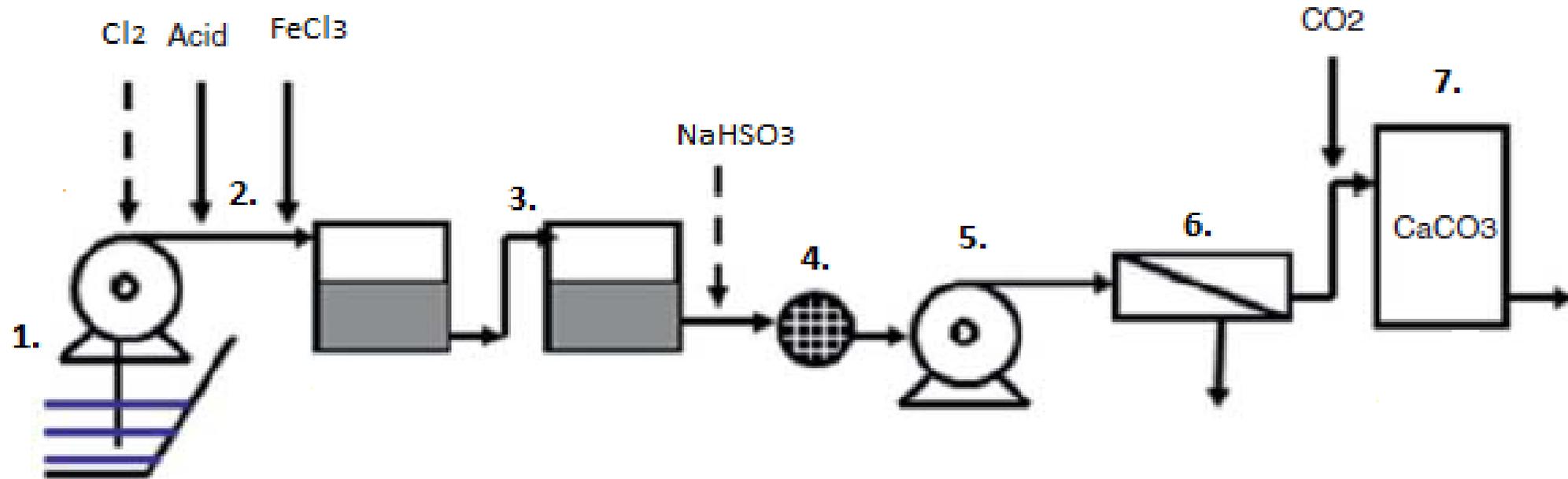
Processi termici

Processi a membrane (RO)



La crescita della capacità produttiva giornaliera degli impianti di dissalazione è stata significativa nel periodo considerato (1980-2011); in particolare la tecnologia a membrane risulta essere predominante in tempi recenti.

# Ciclo completo di un impianto di dissalazione



1. Approvvigionamento dell'acqua
2. Pretrattamento
3. Filtrazione a doppio stadio
4. Filtrazione a cartuccia

5. Pompaggio ad alta pressione
6. Unità degli elementi a membrana
7. Trattamento del permeato

# Processi termici di dissalazione

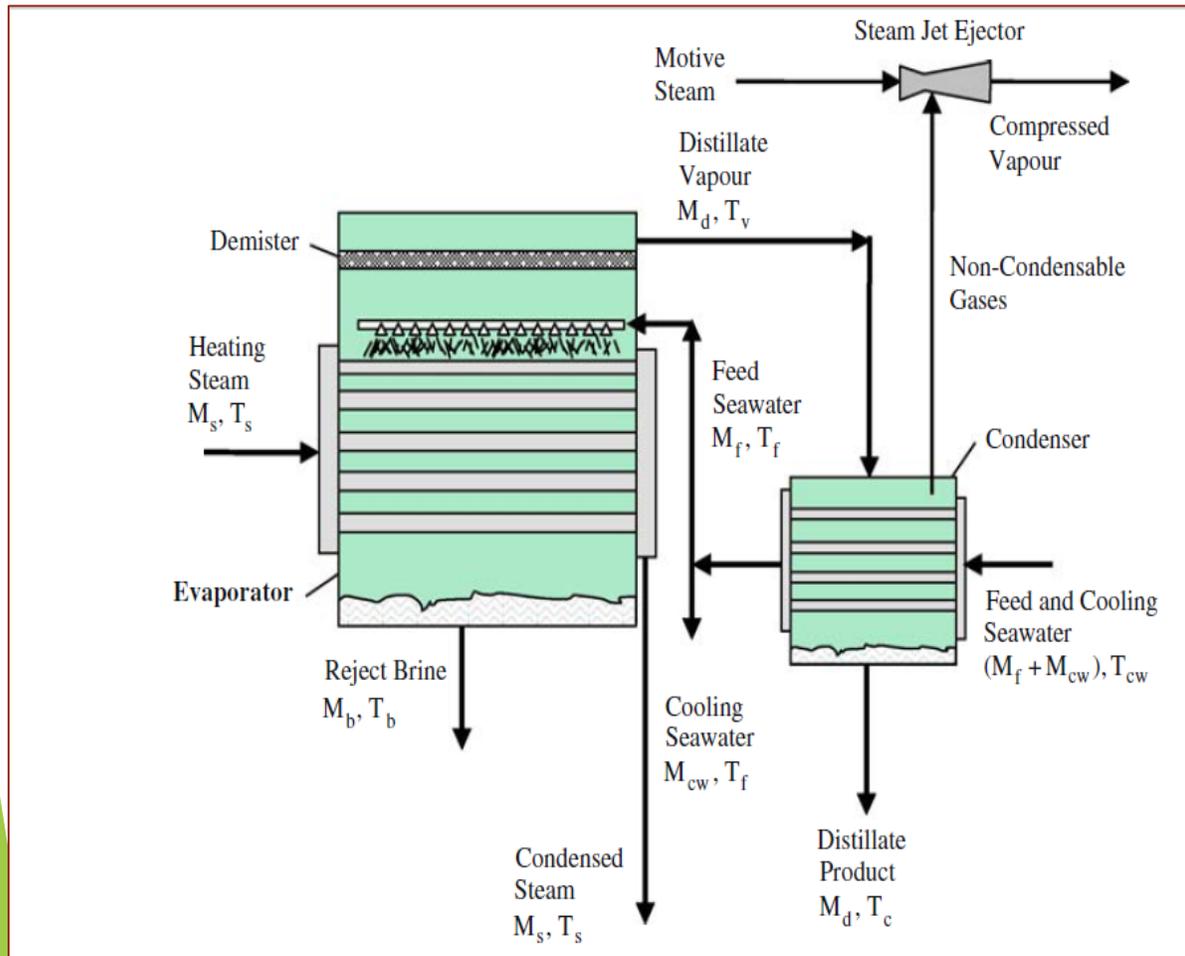
Distillazione ad effetti multipli (MED)

Dissalazione Flash Multistadio (MSF)

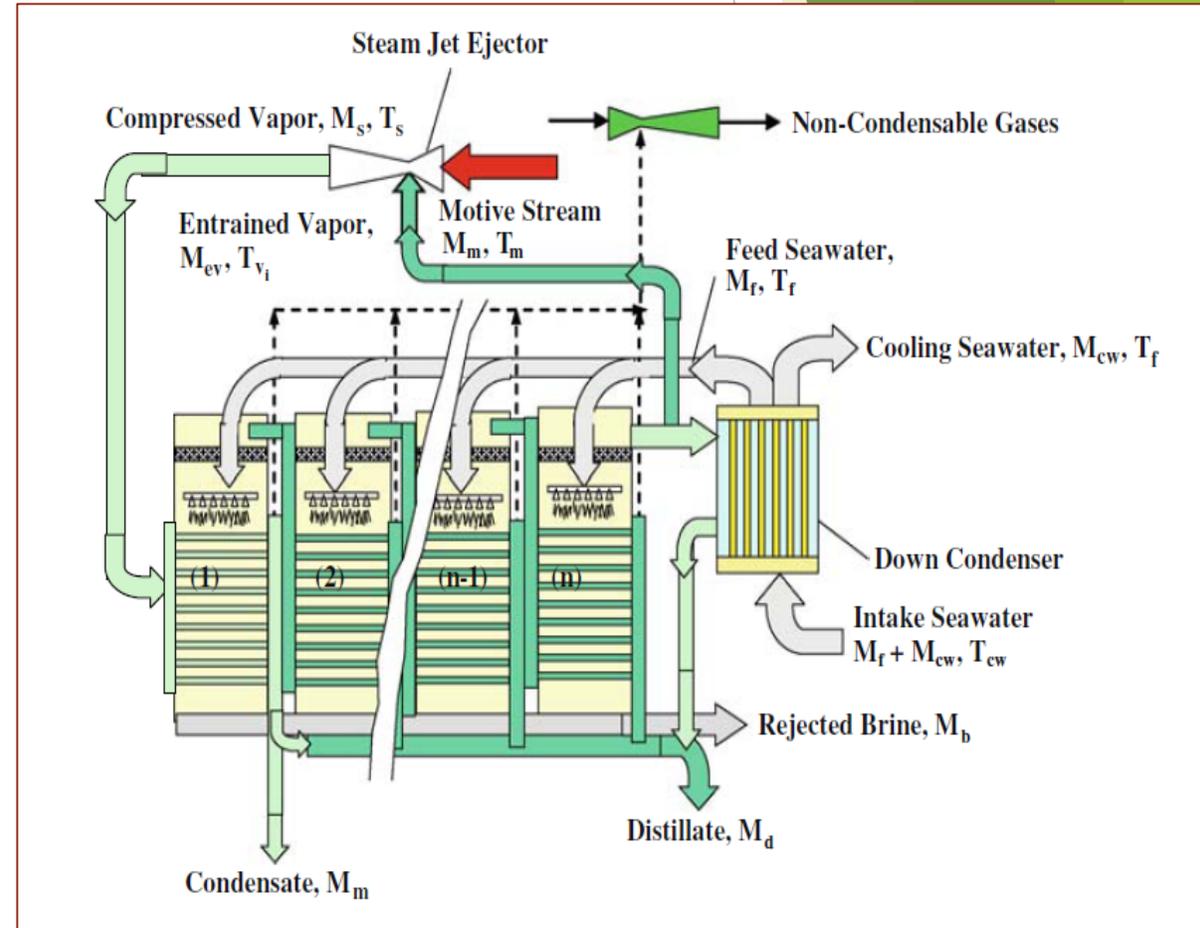
La capacità di produzione su larga scala per una singola unità MSF, pari a circa  $75.000 \frac{m^3}{giorno}$ , è sufficiente per fornire acqua potabile a 300.000 abitanti; un sistema MED ha una capacità di produzione unitaria che raggiunge il valore di  $36.000 \frac{m^3}{giorno}$ .

# Distillazione ad effetti multipli (MED)

Schema di un sistema di distillazione ad effetto singolo



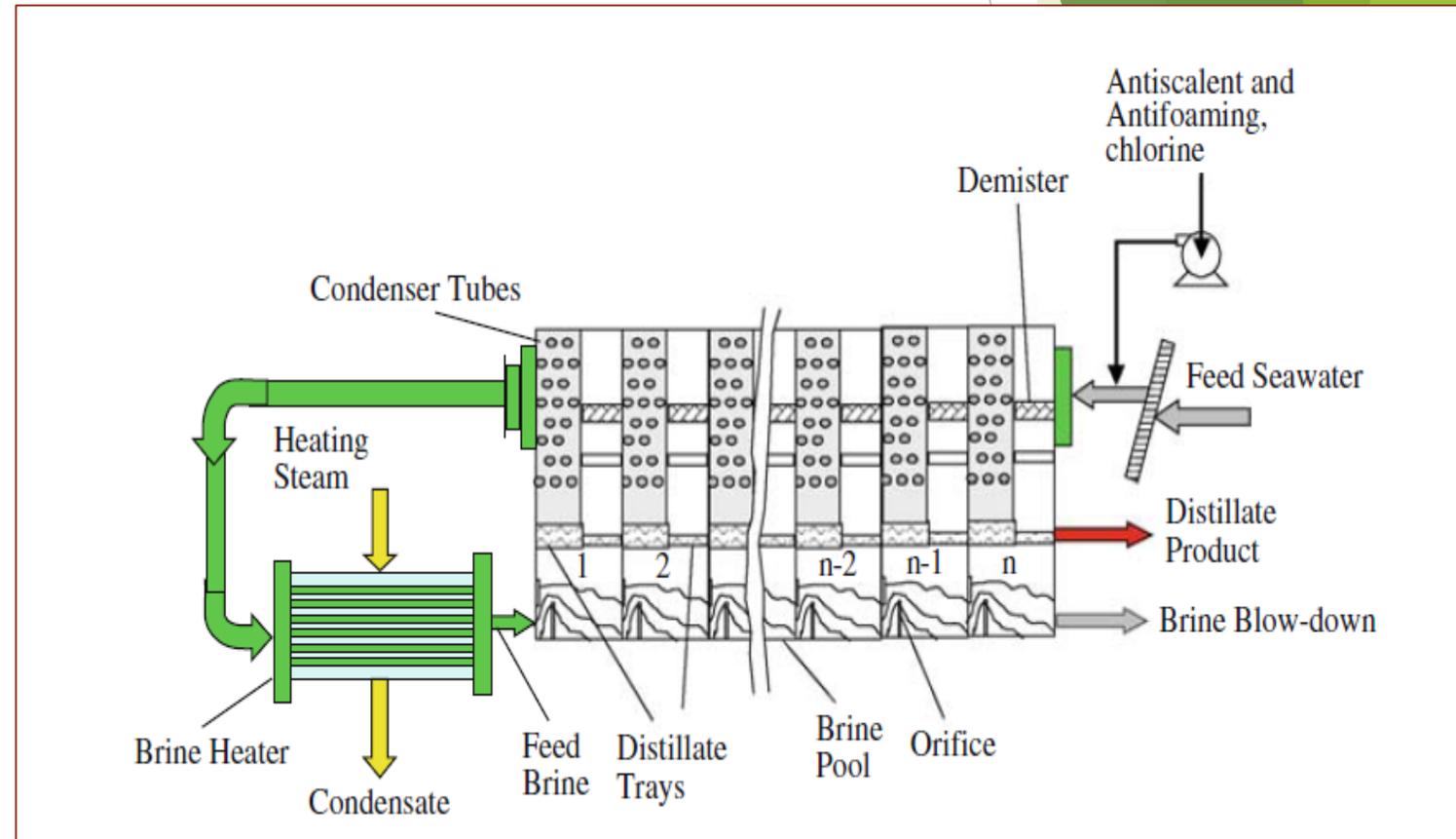
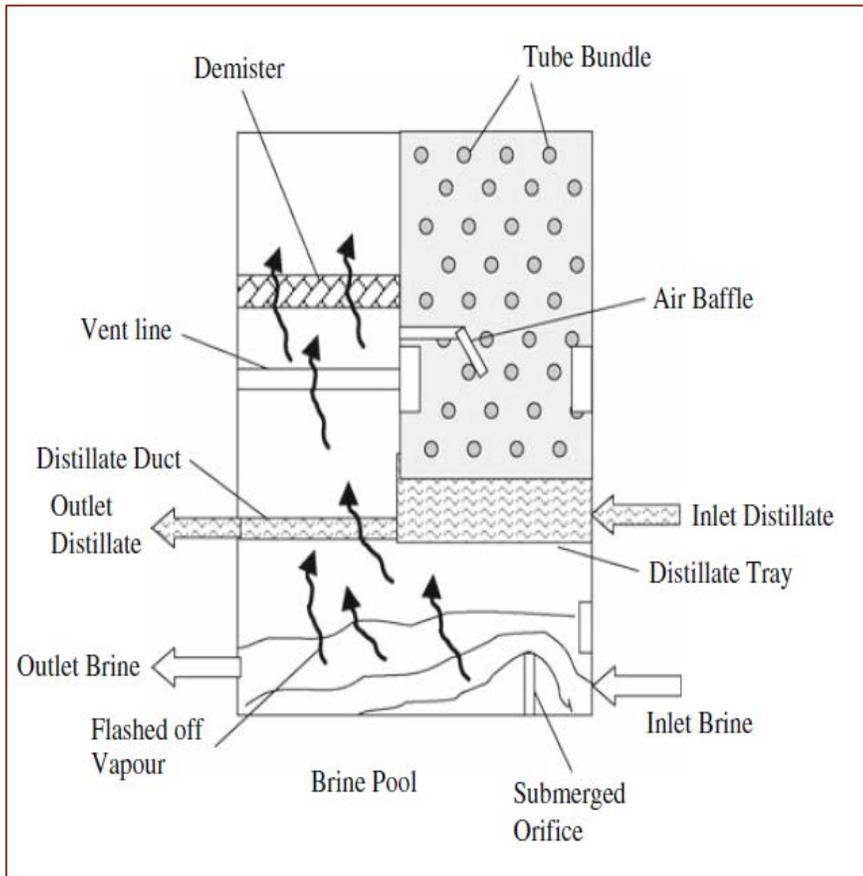
Schema di un sistema MED



# Dissalazione Flash Multistadio (MSF)

Schema della camera di flashing

Schema di un sistema MSF a singolo passaggio



# Processi a membrane: osmosi inversa

Il processo osmotico è un processo naturale dovuto al passaggio di un fluido attraverso una barriera costituita da una membrana semipermeabile.

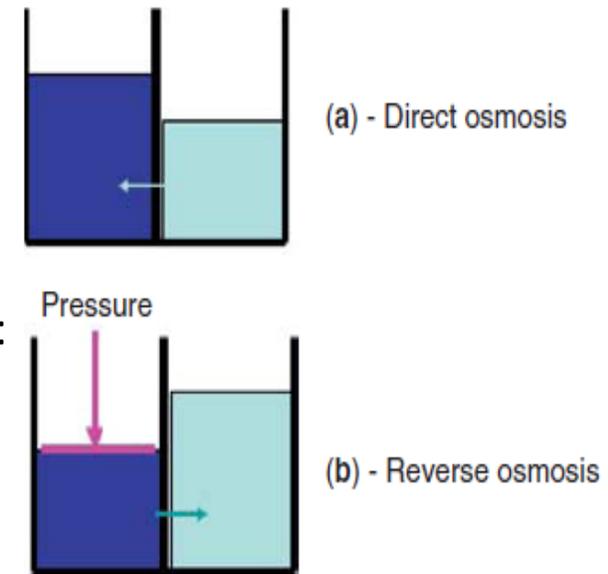
Ponendo acqua salata a un lato di una membrana e acqua dolce all'altro lato si genererà un flusso osmotico dall'acqua pura verso la soluzione salina: l'equilibrio si raggiunge quando la differenza di pressione idrostatica dovuta al cambiamento di volume è uguale alla pressione osmotica (osmosi diretta (a)).

L'applicazione di una pressione superiore a quella osmotica dal lato della soluzione salina produrrà un flusso di acqua dalla soluzione salina all'acqua pura (osmosi inversa (b)).

La pressione osmotica di una soluzione si può ottenere dalla seguente relazione:

$$P_{osm} = R \cdot (T + 273.15) \cdot \sum m_i$$

In cui  $\sum m_i$  è la somma delle concentrazioni molari dei solidi disciolti.



# La progettazione e la gestione dei sistemi RO sono influenzati da:

Grado di recupero del permeato

$$R = 100\% \cdot \left( \frac{Q_p}{Q_f} \right)$$

Trasporto di acqua

$$Q_w = (\Delta P - \Delta P_{osm}) \cdot K_w \cdot \left( \frac{S}{d} \right)$$

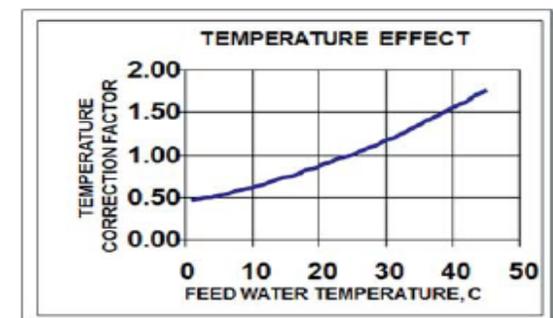
Trasporto di sale

$$Q_s = \Delta C \cdot K_s \cdot \left( \frac{S}{d} \right)$$

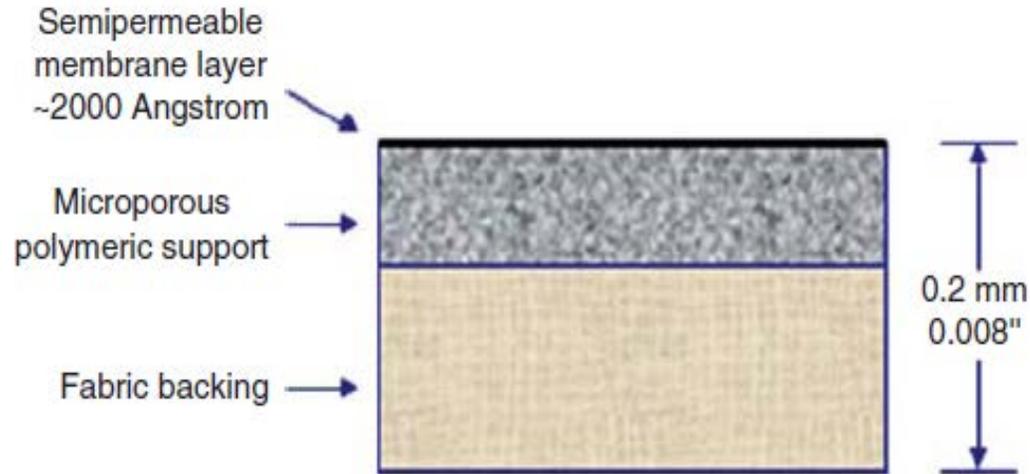
Temperatura

$$TCF = \frac{1}{\exp\left(C \cdot \left( \frac{1}{273 + T} \right) - \frac{1}{298} \right)}$$

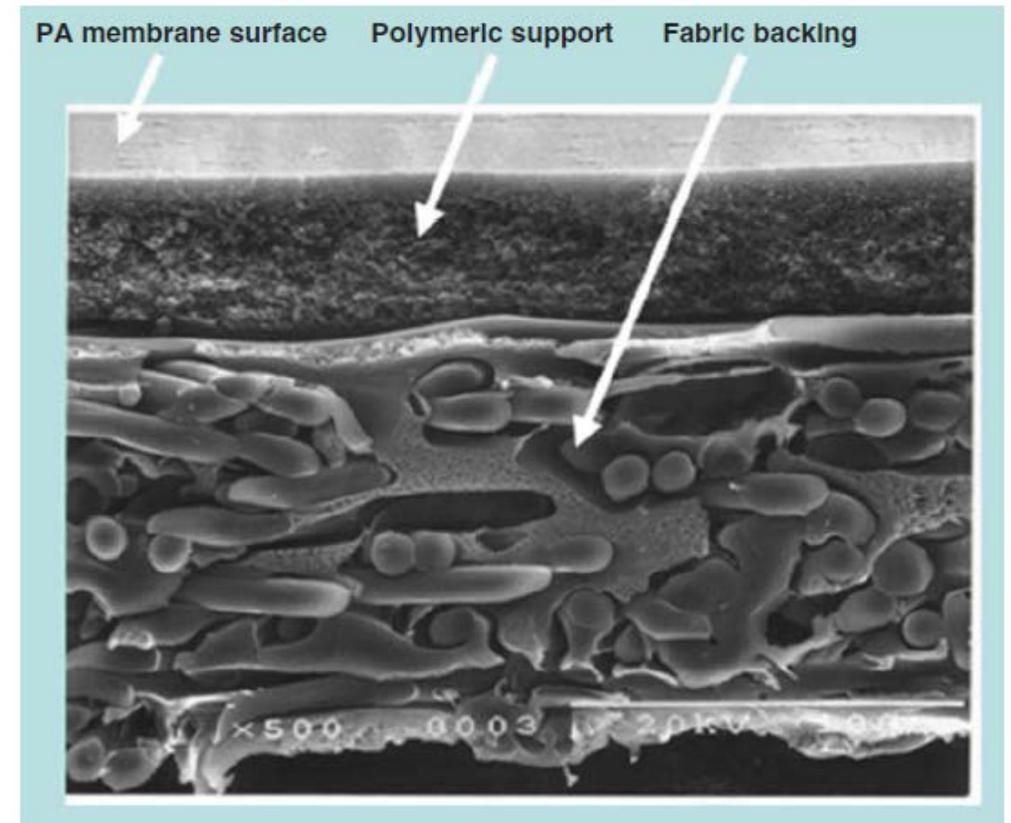
Polarizzazione per concentrazione



# Membrane semipermeabili

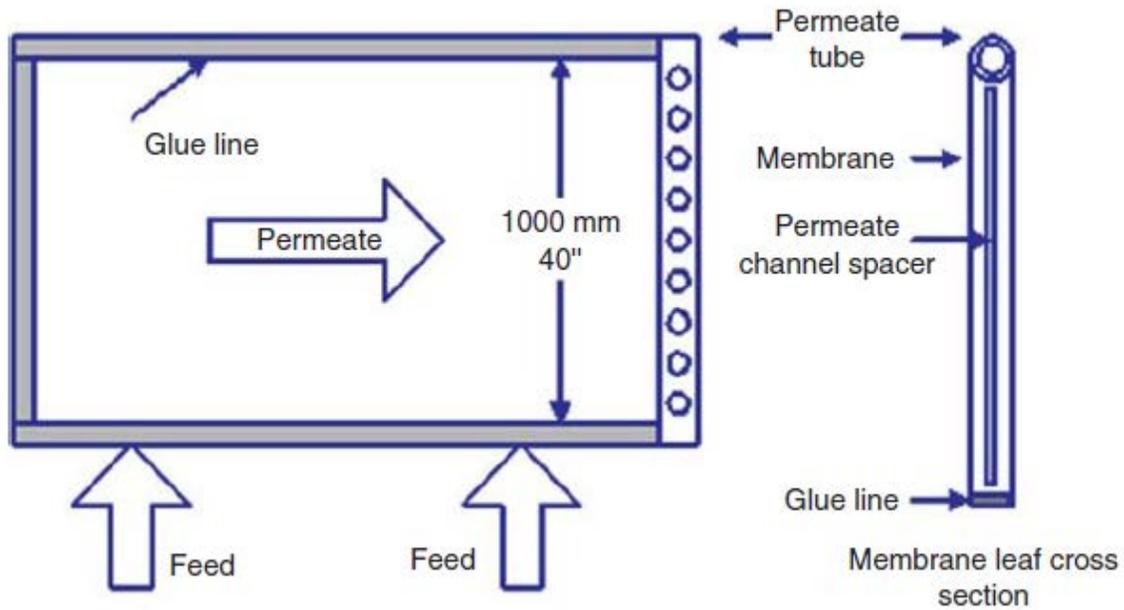


Le membrane semipermeabili per le applicazioni RO sono costituite da un film di materiale polimerico composto da uno strato dello spessore di alcune migliaia di Angstroms ( $10^{-10}$ m) e da uno strato di supporto spugnoso spesso circa 0.025-0.050 mm che è a sua volta depresso su un supporto di tessuto. Lo spessore complessivo della membrana è 0.15-0.20 mm.



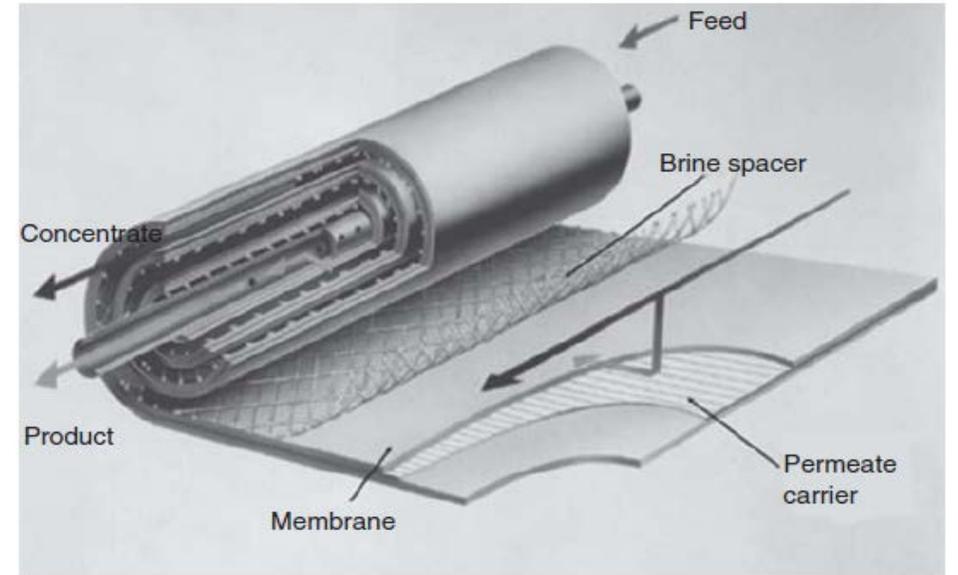
Sezione trasversale di una membrana ingrandita 500 volte al SEM

# Costruzione dei moduli a membrana



Schema di una lamina di un modulo a membrana

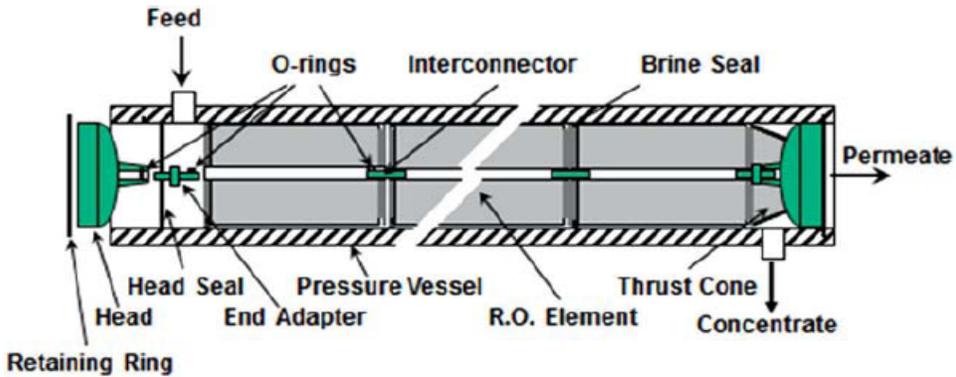
Due fogli di membrana piatti sono separati da un canale che permette il passaggio del permeato. I due fogli e il canale formano una lamina (leaf).



Modulo a membrana in configurazione a spirale

Le lamine durante il processo di assemblaggio vengono avvolte attorno al tubo del permeato in una configurazione a spirale.

# Unità commerciale ad osmosi inversa (RO)



Contenitore a pressione

Al fine di ottenere recuperi accettabili i sistemi a spirale sono usualmente allestiti con 3-8 elementi a membrana connessi in serie all'interno di un tubo formando un contenitore a pressione (Pressure Vessel).

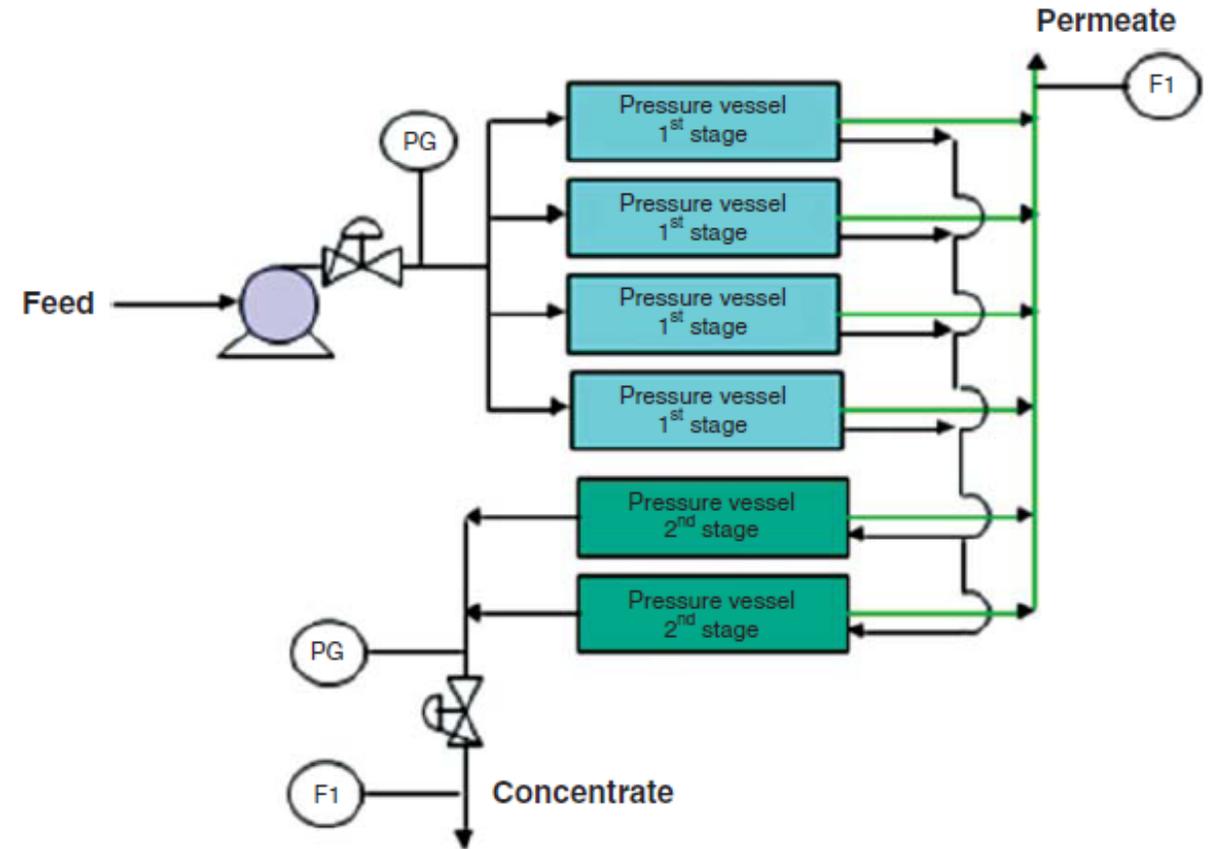
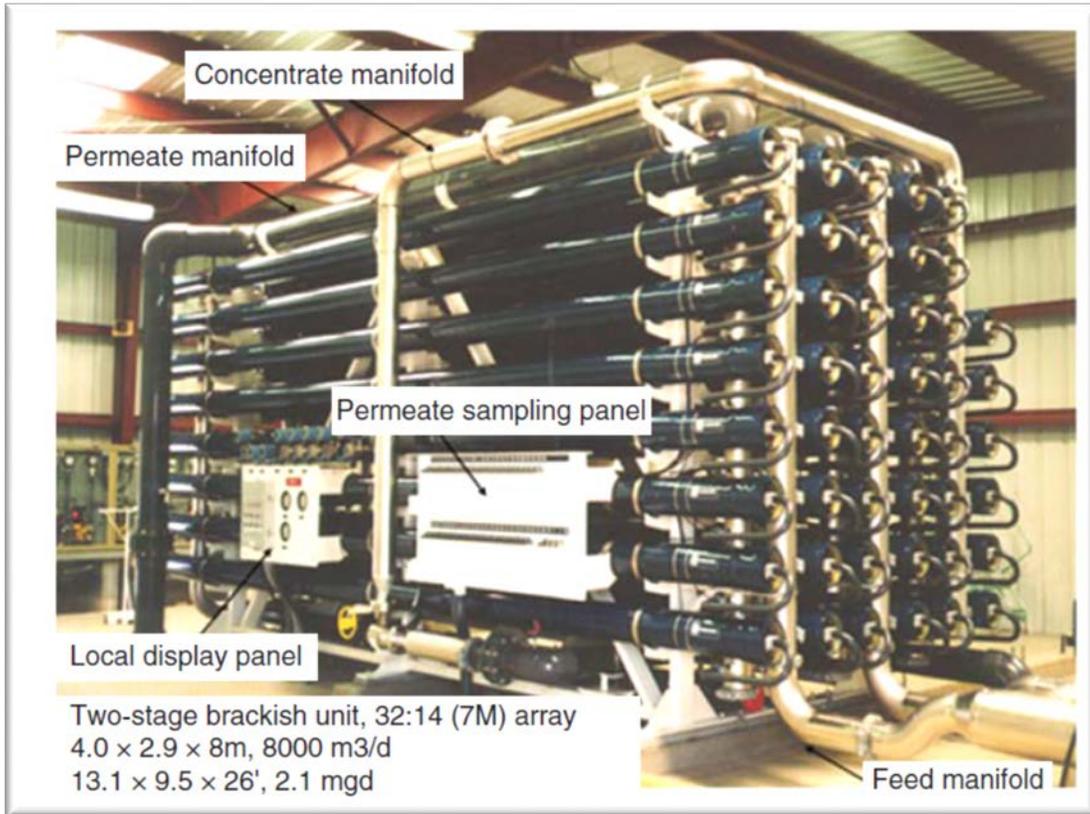


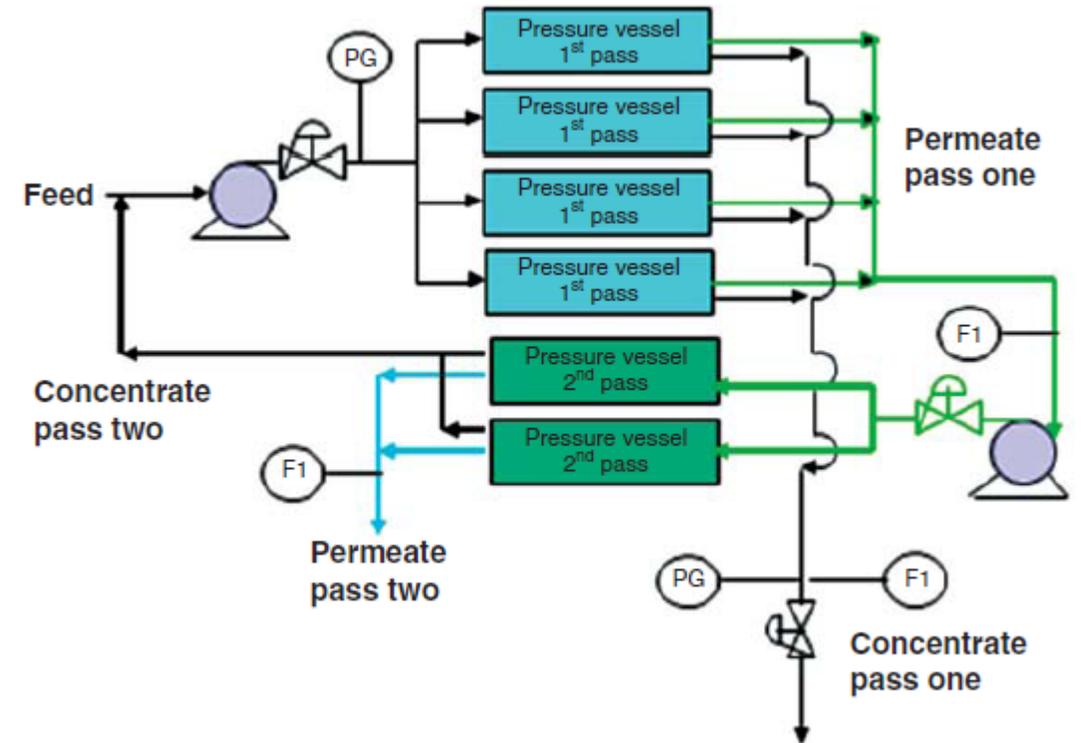
Diagramma semplificato di una unità ad osmosi inversa a doppio stadio

# Unità commerciale ad osmosi inversa (RO)



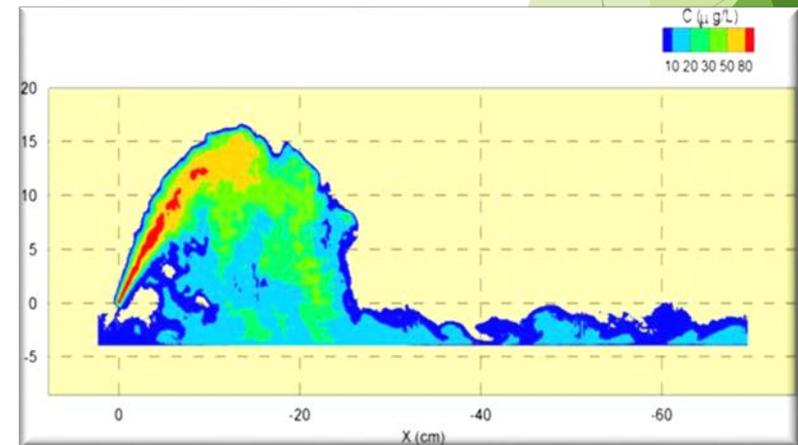
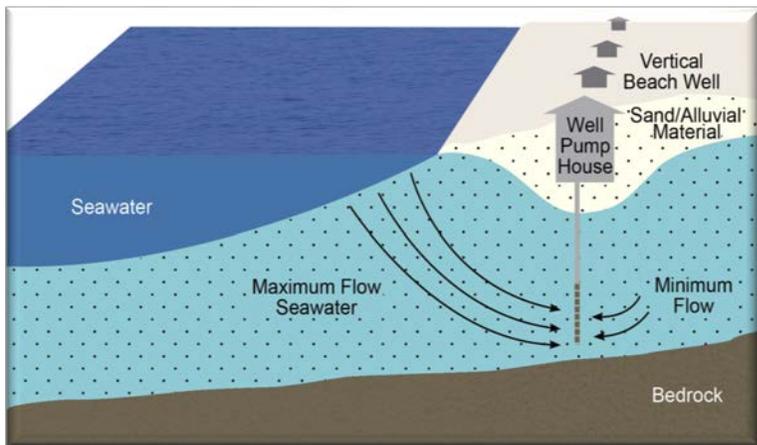
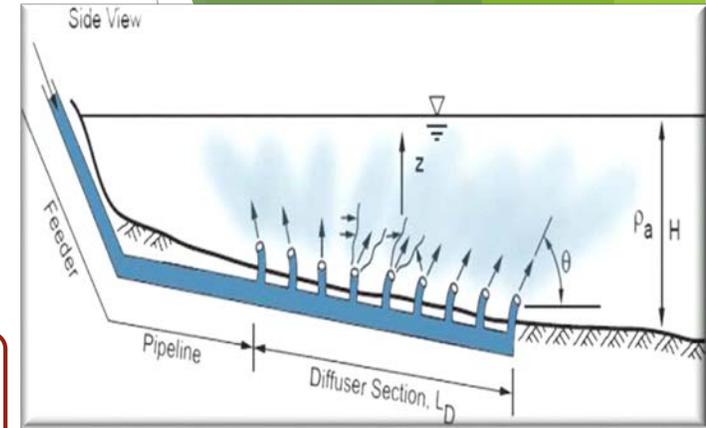
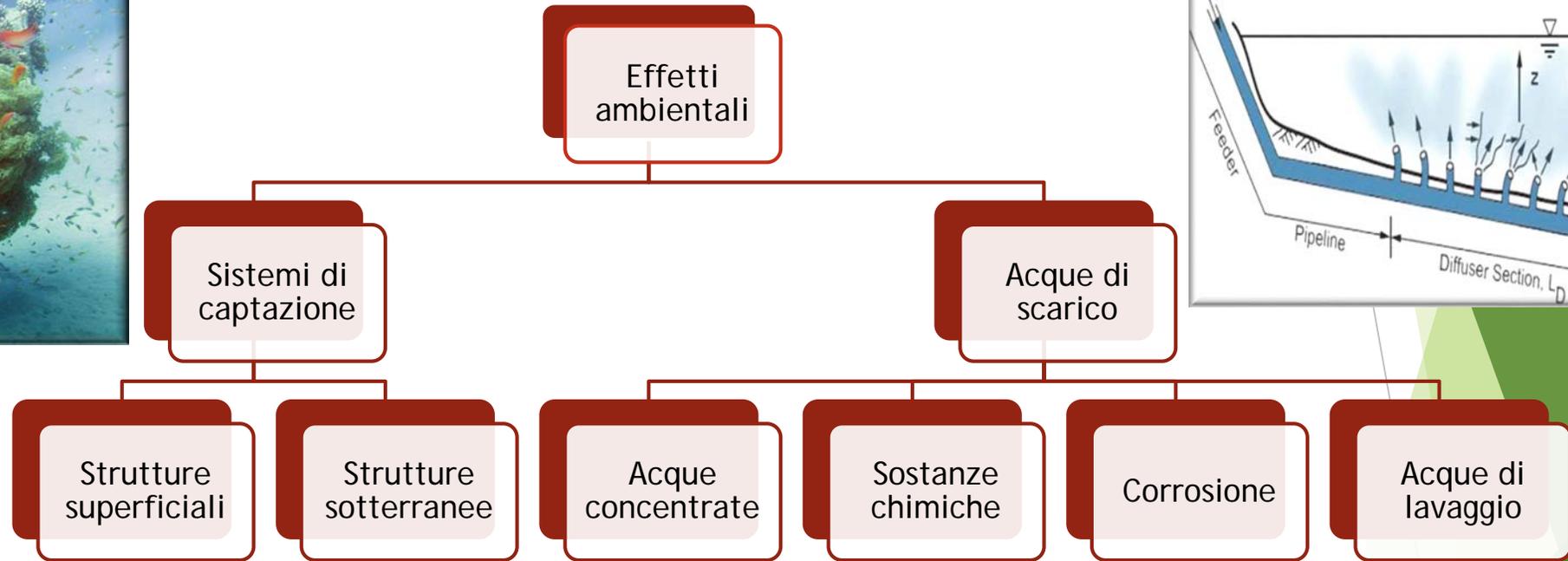
## Unità commerciale a due stadi per osmosi inversa

L'unità contiene 322 elementi a membrana ed è in grado di produrre circa 8000 m<sup>3</sup> al giorno di permeato con un tasso di recupero dell'80%.



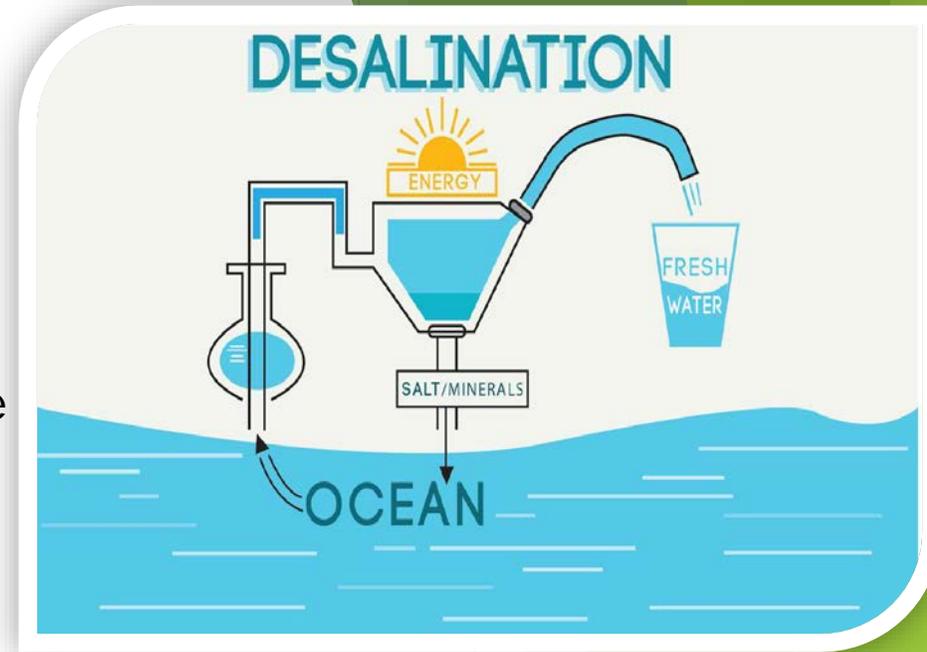
## Schema di un sistema a doppio passaggio RO

# Effetti ambientali degli impianti di dissalazione



# Conclusioni

- ▶ Attualmente la dissalazione è ancora un processo relativamente costoso sia in termini di capitale investito che in termini energetici, sono pertanto necessari miglioramenti per ridurre i costi.
- ▶ Bisogna limitare l'impatto ambientale: è auspicabile che gli impianti di dissalazione vengano inseriti nelle categorie di progetti soggetti alla valutazione VIA.
- ▶ L'uso di metodi di pretrattamento alternativi dovrebbe essere considerato ove possibile: la prefiltrazione mediante membrane per ultrafiltrazione (UF) o microfiltrazione (MF) può eliminare o ridurre la necessità di un pretrattamento chimico.



*Grazie  
per l'attenzione!*

