

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI
"FEDERICO II"



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

TESI DI LAUREA

*Forward Osmosis and Membrane Distillation:
Analisi tecnologica di applicazioni innovative per la dissalazione*

RELATORE

Ch.mo Prof. Amedeo Lancia

CORRELATORE

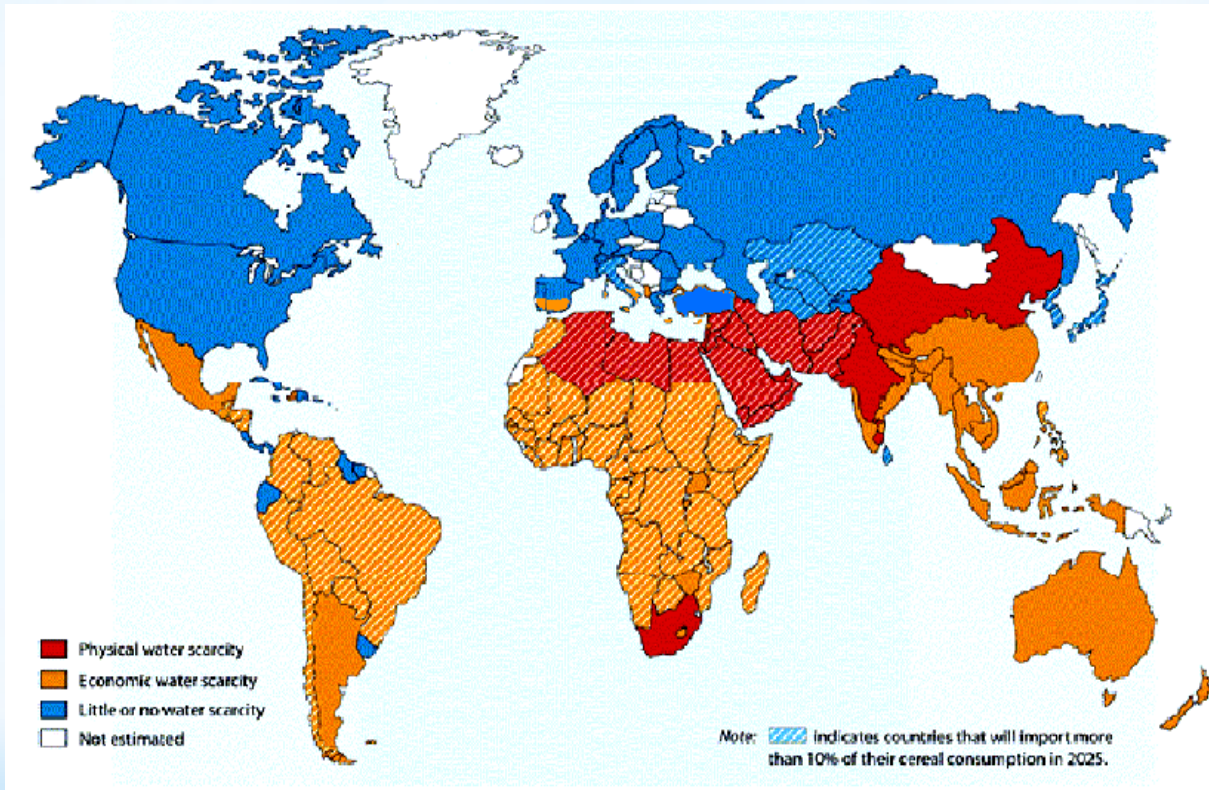
Ing. Antonio Gammone

CANDIDATO

Anna Barone

Matr. N49/16

Problematica globale



Scarsità di acqua potabile
Domanda crescente



Processi di trattamento

Dissalazione



15000 impianti in tutto il
mondo



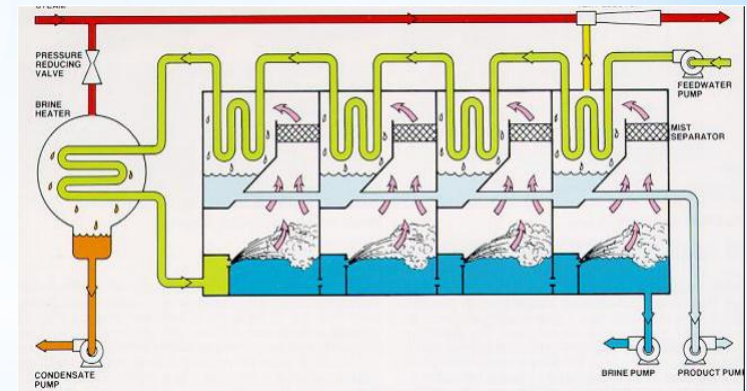
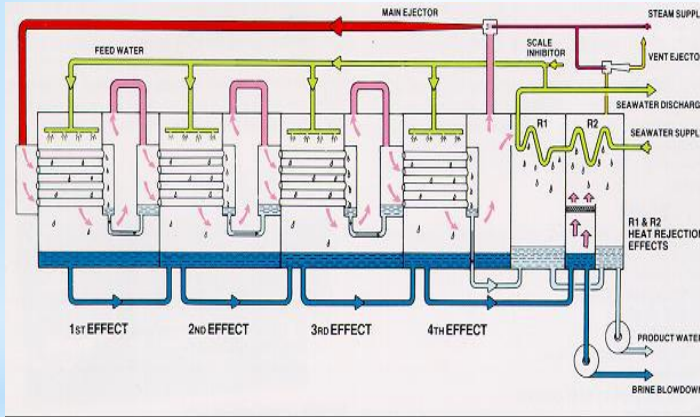
32 milioni m³/d

Tecnologie di desalinizzazione disponibili

MED
(Multipli Effetti)

← PROCESSI TERMICI →

MSF
(Multi-Stage Flash)



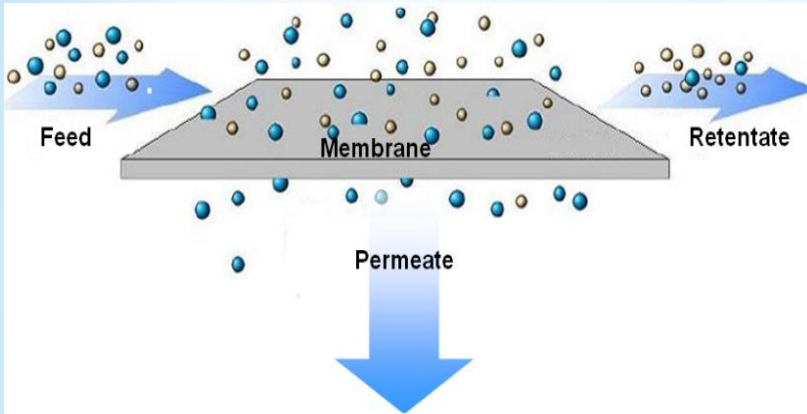
600 impianti → 1,60 milioni m³/d

6450 impianti → 2,88 milioni m³/d

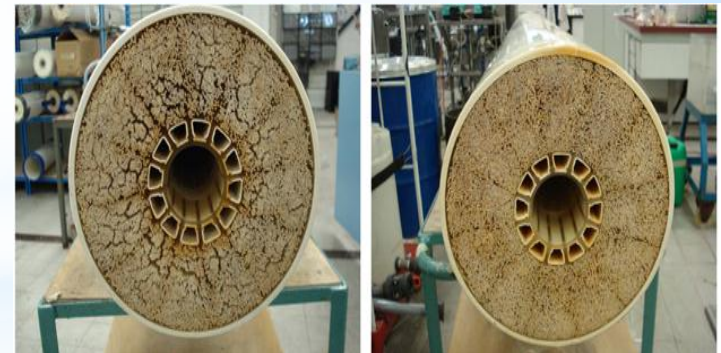
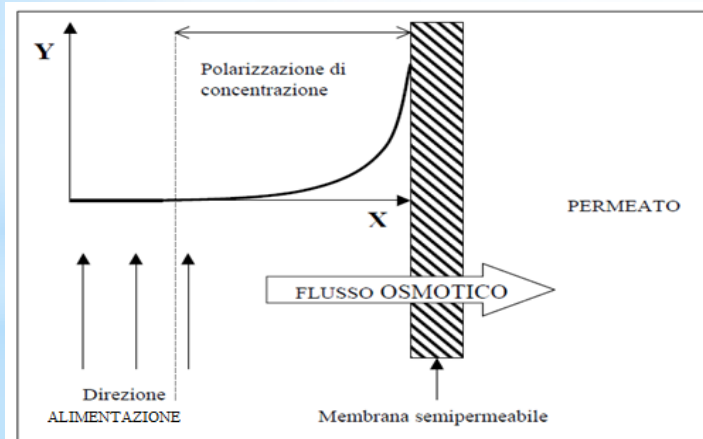
Processi termici	Pressione del vapore (bar)	Consumo di energia (kWh/m ³)	Vapore utilizzato (t/h)	Acqua prodotta (m ³ /h)	Recupero acqua %	Efficienza
MED	3-5	5,66	1,5	15	15	10
MSF	2,5	4,05	1,875	15	15	8

Tecnologie di desalinizzazione disponibili

PROCESSI A MEMBRANA → Osmosi Inversa (Reverse Osmosis)



	Pressione necessaria per l'osmosi (bar)	Consumo di energia (Kwh/m ³)	Recupero acqua (%)
RO	54-80	3	35-50

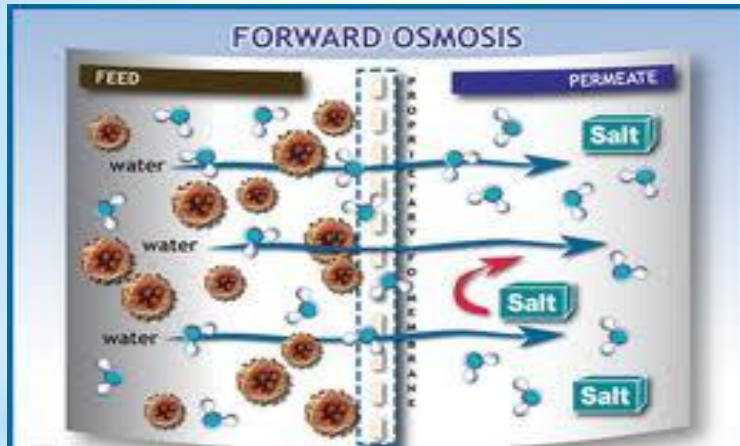


fouling

polarizzazione per concentrazione

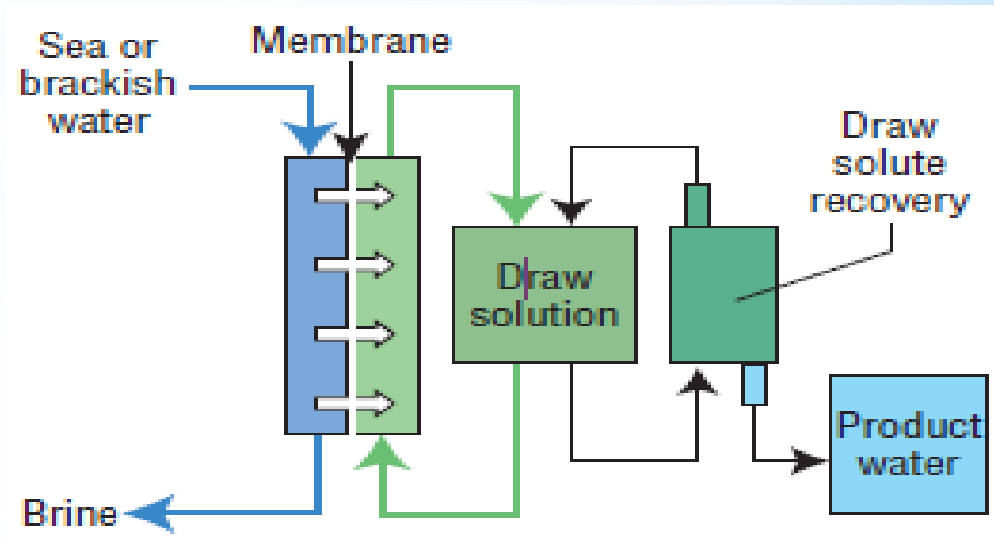
Tecnologie di desalinizzazione innovative

Forward Osmosis



Vantaggi :

- pressioni idrauliche basse
- alto rigetto di contaminanti
- minore fouling



Schema di processo

Membrane FO

La membrana per la FO è :

- * priva di qualsiasi strato spesso di tessuto
- * in triacetato di cellulosa (CTA)

Rigetto sale → 95%

Flusso d' acqua ottenuto



50 l/m² h

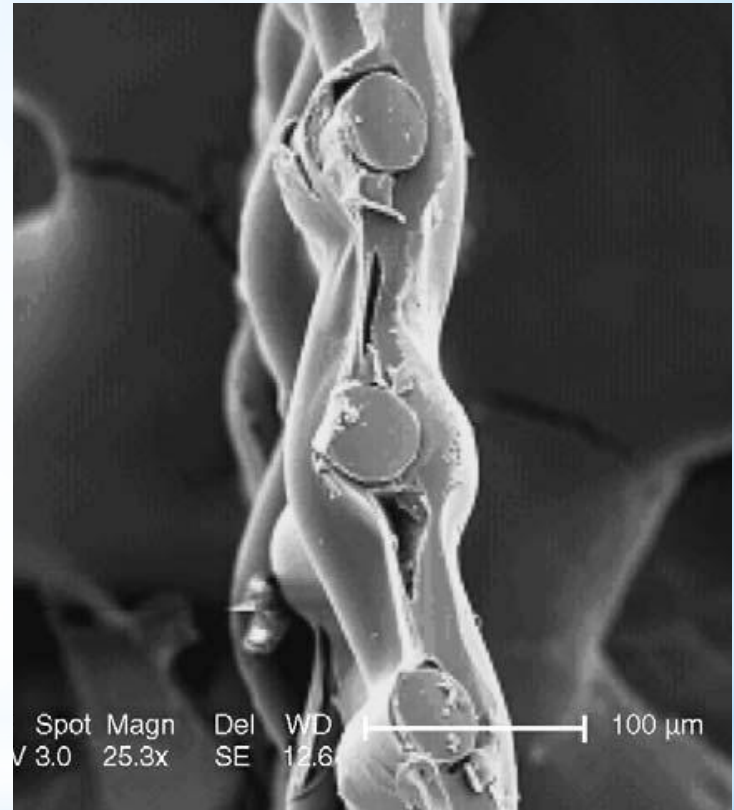


Immagine SEM di una sezione trasversale della membrana ad osmosi diretta.

Soluzioni d'estrazione (Draw solution)

Caratteristiche:

- * *alta solubilità nell'acqua;*
- * *peso molecolare basso*
- * *facilmente e in modo economico separabile dall'acqua potabile prodotta;*
- * *poca energia per la rigenerazione;*
- * *tossicità bassa o nulla;*
- * *chimicamente non reattive con le membrane polimeriche;*

anidride solforosa SO_2
solfato di alluminio $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)$
glucosio $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$
nitrato di potassio (KNO_3)

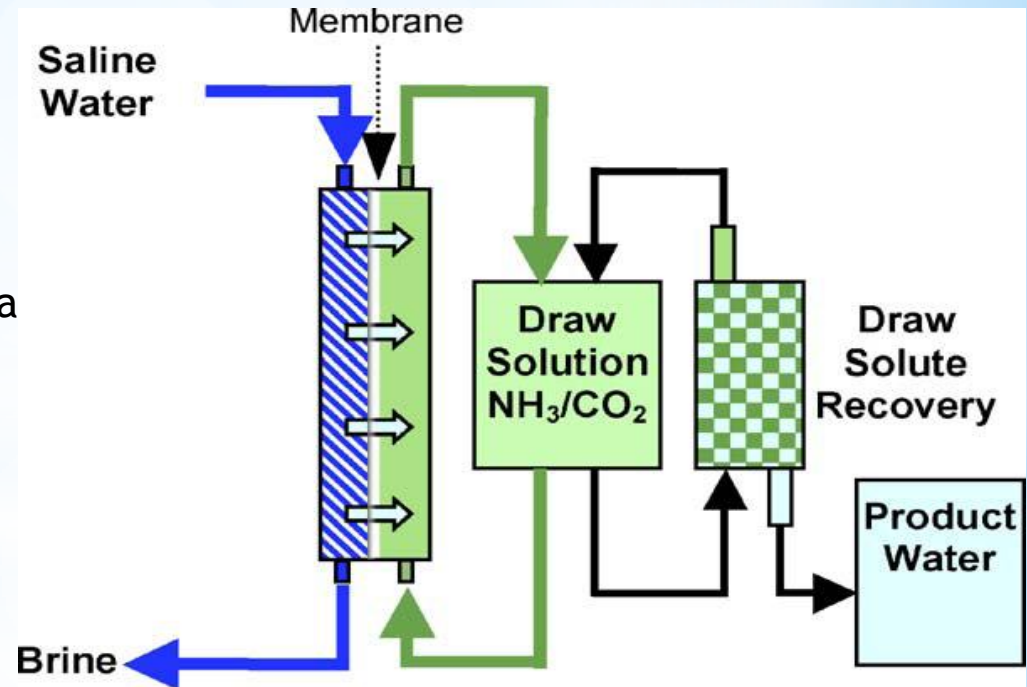
Questi criteri vengono soddisfatti utilizzando una soluzione d'estrazione di gas altamente solubili:

Ammoniaca (NH_3) e Anidride carbonica (CO_2)

Sistema di recupero della soluzione d'estrazione (Recovery system)

La separazione dell'acqua prodotta dalla soluzione d'estrazione può essere ottenuta attraverso:

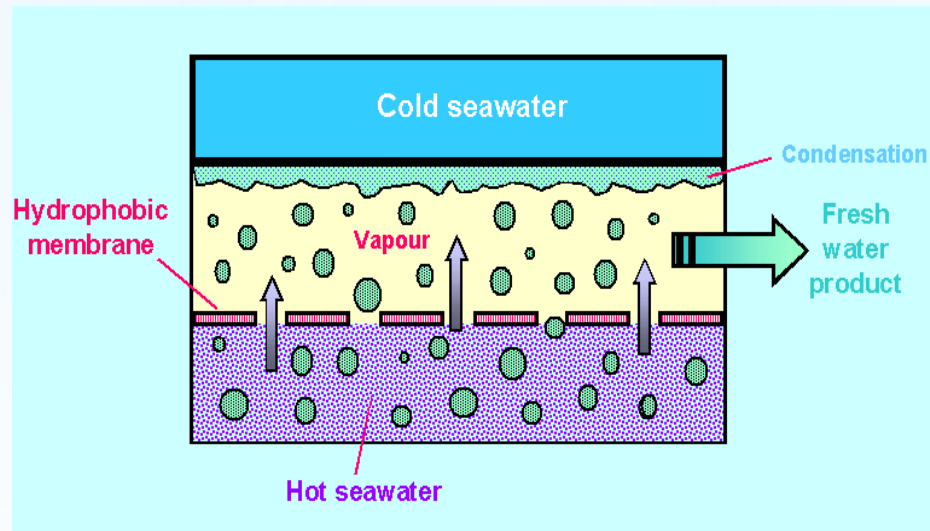
- *strippaggio*
- *riscaldamento*
- *distillazione*



Flusso \longrightarrow 92 l/m² h

Tecnologie di desalinizzazione innovative

Membrane Distillation

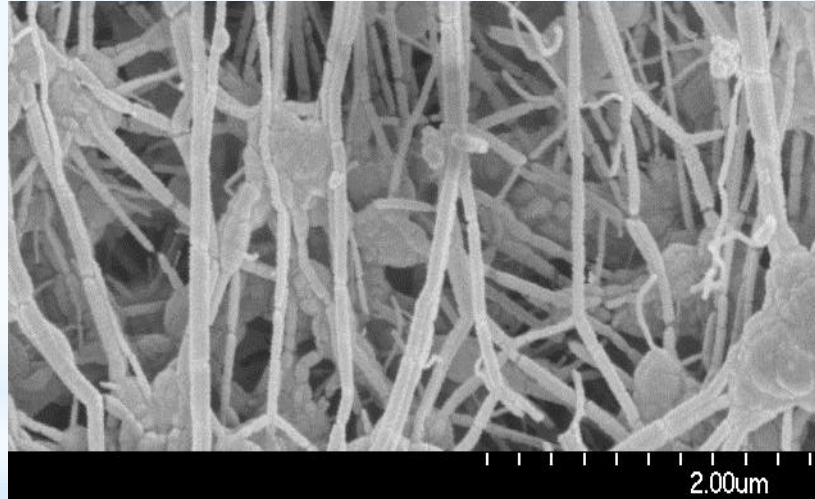


Il trasporto di materia in un modulo a membrana avviene attraverso le seguenti fasi:

- trasporto per convezione dei componenti più volatili (ovvero acqua pura) dal canale di alimentazione fino alla superficie della membrana (lato alimentazione);
- evaporazione dei componenti volatili (ovvero acqua pura) in corrispondenza della superficie della membrana (lato alimentazione), con produzione di vapore;
- attraversamento dei pori della membrana idrofobica da parte delle molecole di vapore;
- condensazione del vapore (nel canale del permeato o in un condensatore).

Caratteristiche della membrana

Le membrane polimeriche più comunemente utilizzate sono: Politetrafluoroetilene (PTFE), Polipropilene (PP), Polivinilidenfluoruro (PVDF).

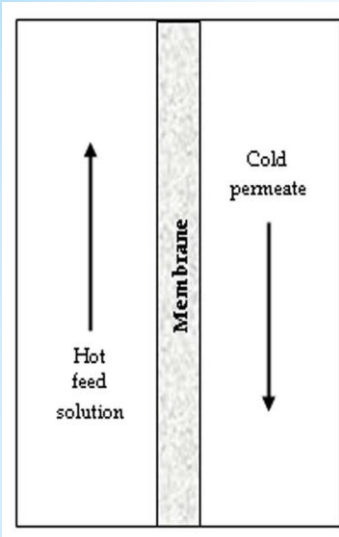


Membrana PTFE

Le caratteristiche principali di una membrana per un processo MD sono:

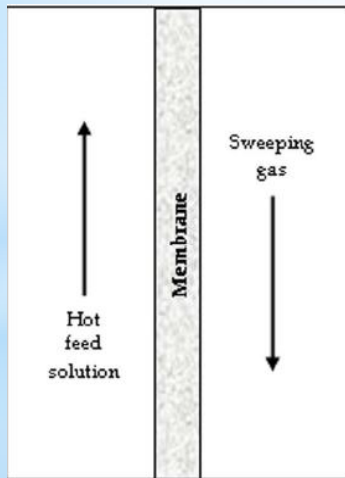
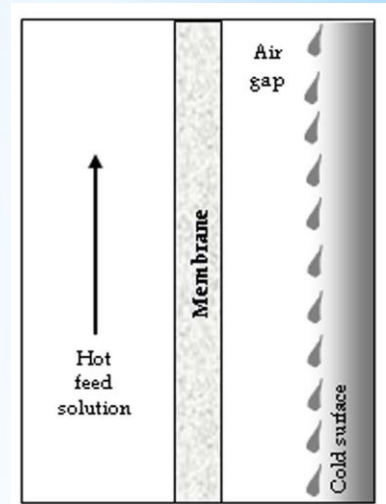
- Dimensione dei pori;
- Porosità;
- Spessore;
- Conducibilità termica;

CONFIGURAZIONI MD



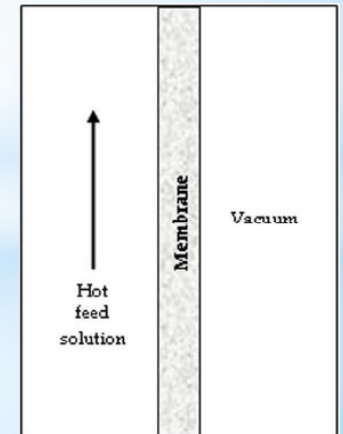
- DCMD
(*Direct Contact Membrane Distillation*)

- AGMD
(*Air Gap Membrane Distillation*)



- SGMD
(*Sweeping Gas Membrane Distillation*)

- VMD
(*Vacuum Contact Membrane Distillation*)



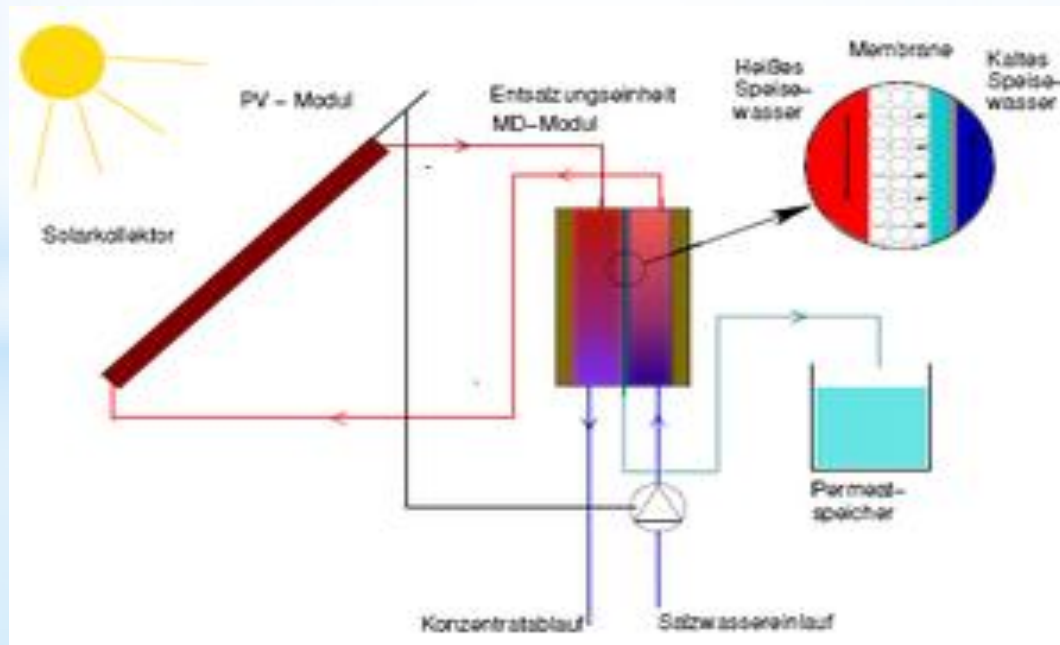
Aspetti energetici Membrane Distillation

Da 100 litri di acqua salata \longrightarrow 80 litri di acqua potabile

Vapore prodotto \longrightarrow 120 Kg/m²h

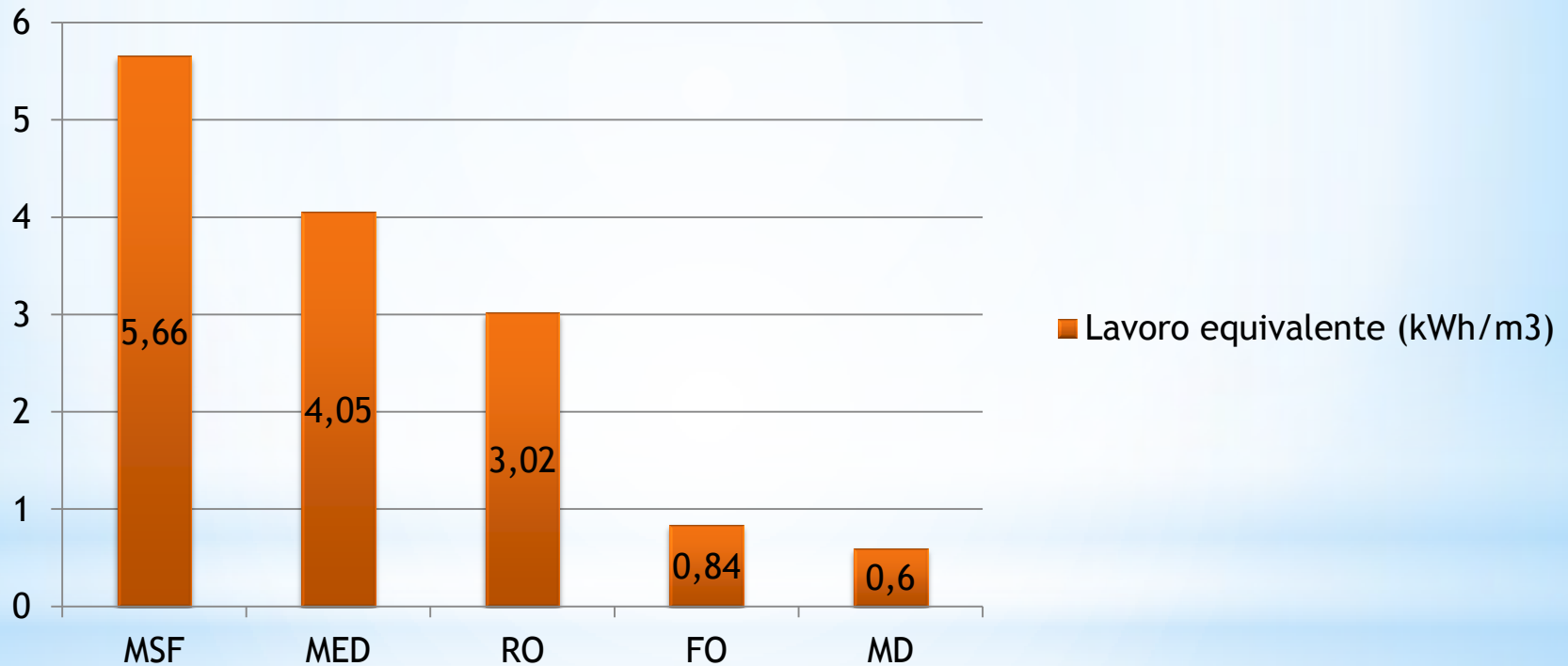
Specific thermal energy consumption (kwh/m³) \longrightarrow 12,1

Specific electricity consumption (kwh/m³) \longrightarrow 0,6- 0,7



Aspetti energetici

Confronto tra le diverse tecnologie di dissalazione



Conclusioni

- ✓ La dissalazione dell'acqua di mare rappresenta un elemento necessario di integrazione della disponibilità complessiva di acqua potabile
- ✓ L'Osmosi diretta e la Distillazione a membrana sono due nuovi approcci nel campo della dissalazione economicamente ed energeticamente convenienti.
- ✓ L'*osmosi diretta* può desalinizzare efficientemente l'acqua di mare, grazie all'utilizzo di una membrana composta da triacetato di cellulosa CTA, e una soluzione d'estrazione NH_3 e CO_2 .
- ✓ La *distillazione a membrana* è una tecnologia che ha ottenuto sperimentalmente buoni risultati e si aspettano, quindi, dei buoni sviluppi futuri.
- ✓ La ricerca di processi di dissalazione innovativi, che possano ridurre i costi energetici, rappresenta un obiettivo futuro di notevole importanza.
La *Forward Osmosis* e la *Membrane Distillation* possono raggiungere tale obiettivo.