



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Dipartimento di Ingegneria Chimica,
Gestionale, Informatica, Meccanica (DICGIM)



La produzione di Energia da gradienti salini: il progetto REAPower

Giorgio Micale e Alessandro Tamburini

13 Marzo 2014, Scuola Politecnica, Sala Capitò

Il gruppo di ricerca del progetto REAPower

Giorgio Micale



Andrea Cipollina



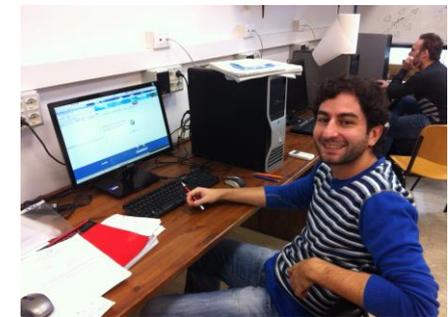
Alessandro Tamburini

Post Doc



Michele Tedesco

PhD student



Luigi Gurreri

PhD student



Claudio Scalici



Carmelo Cirino



Maurizio Bevacqua



Paolo Mazzola

Altre persone coinvolte nel progetto REAPower

STUDENTI:

Modellazione RED:

Gabriele La Barbera
Cristoforo Rinaudo
Davide Vaccari
Carmelo Scavuzzo
Davide Bascone
Alessia Caputo
Lorena Amoroso
Fabio Santoro

Attività sperimentale RED:

Massimo de Carmine
Francesca Giorlando
Paolo Modica
Giuseppe Russo
Dario Minnone
Claudia Passanante
Ornella Calderone
Marialaura Guarino

Attività recupero Magnesio:

Angelo Misseri
Michele Li Causi
Pierangela Dolcimascolo
Giuseppe Cerniglia

TECNICI:

Giuseppe Fanale Giacomo Galante



Energia da gradienti salini: aspetti teorici

La quantità teorica di energia che può essere ottenuta dalla miscelazione di due correnti saline a differente concentrazione è data:

$$\Delta G_{\text{mix}} \equiv \Delta G_b - (\Delta G_c + \Delta G_d)$$

Per soluzioni ideali per cui $\Delta H_{\text{mix}} = 0$ risulta:

$$\Delta G_{\text{mix}} = -(n_c + n_d)T\Delta S_{b,\text{mix}} - (-n_c T\Delta S_{c,\text{mix}} - n_d T\Delta S_{d,\text{mix}})$$

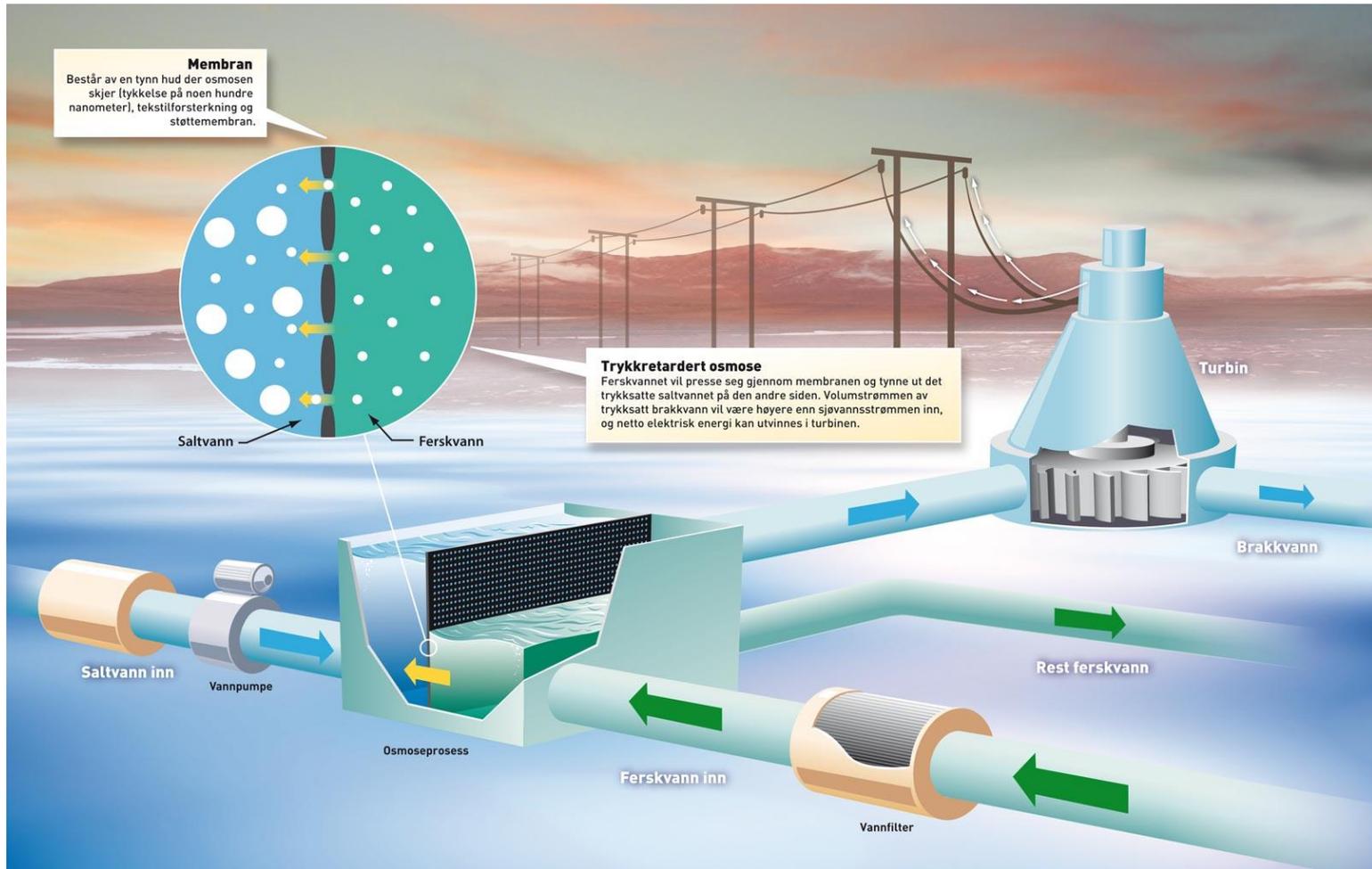
dove

$$\Delta S_{\text{mix}} = -R \sum x_i \ln x_i$$

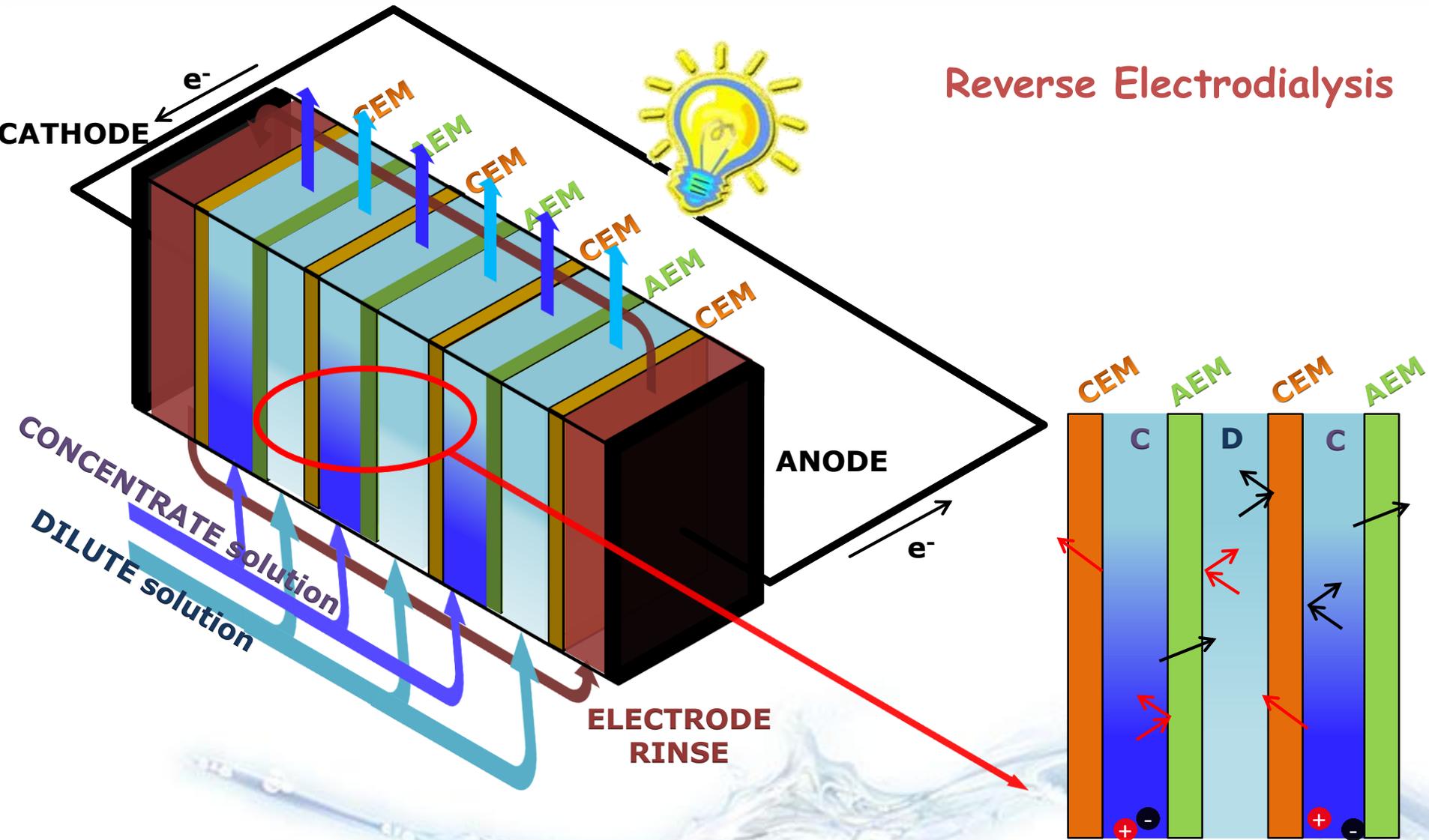
Miscelando 1 m³ di acqua di mare e 1m³ di acqua di fiume a 20°C si possono teoricamente estrarre 1.4 MJ di energia

Energia da gradienti salini: tecnologie correnti

Pressure Retarded Osmosis



Energia da gradienti salini: tecnologie correnti



Produzione di energia tramite Elettrodialisi Inversa

I processi RED comunemente chiamati Blue Energy prevedono l'uso di acqua di fiume come soluzione diluita e di acqua di mare come soluzione concentrata.

L'uso di acqua di fiume nel comparto diluito determina una resistenza elettrica elevata che limita la quantità di energia che può essere prodotta.





L'utilizzo di salamoie concentrate e acqua di mare può migliorare le performance del processo garantendo una resistenza elettrica molto bassa in tutti i canali.

L'ammontare di energia teoricamente disponibile dal mixing di 1 m^3 di salamoia satura (5 mol/L NaCl) e 1 m^3 di acqua di mare (0.5 mol/L NaCl) a 20°C è 10 MJ .



Il progetto REAPower

Fatti principali:

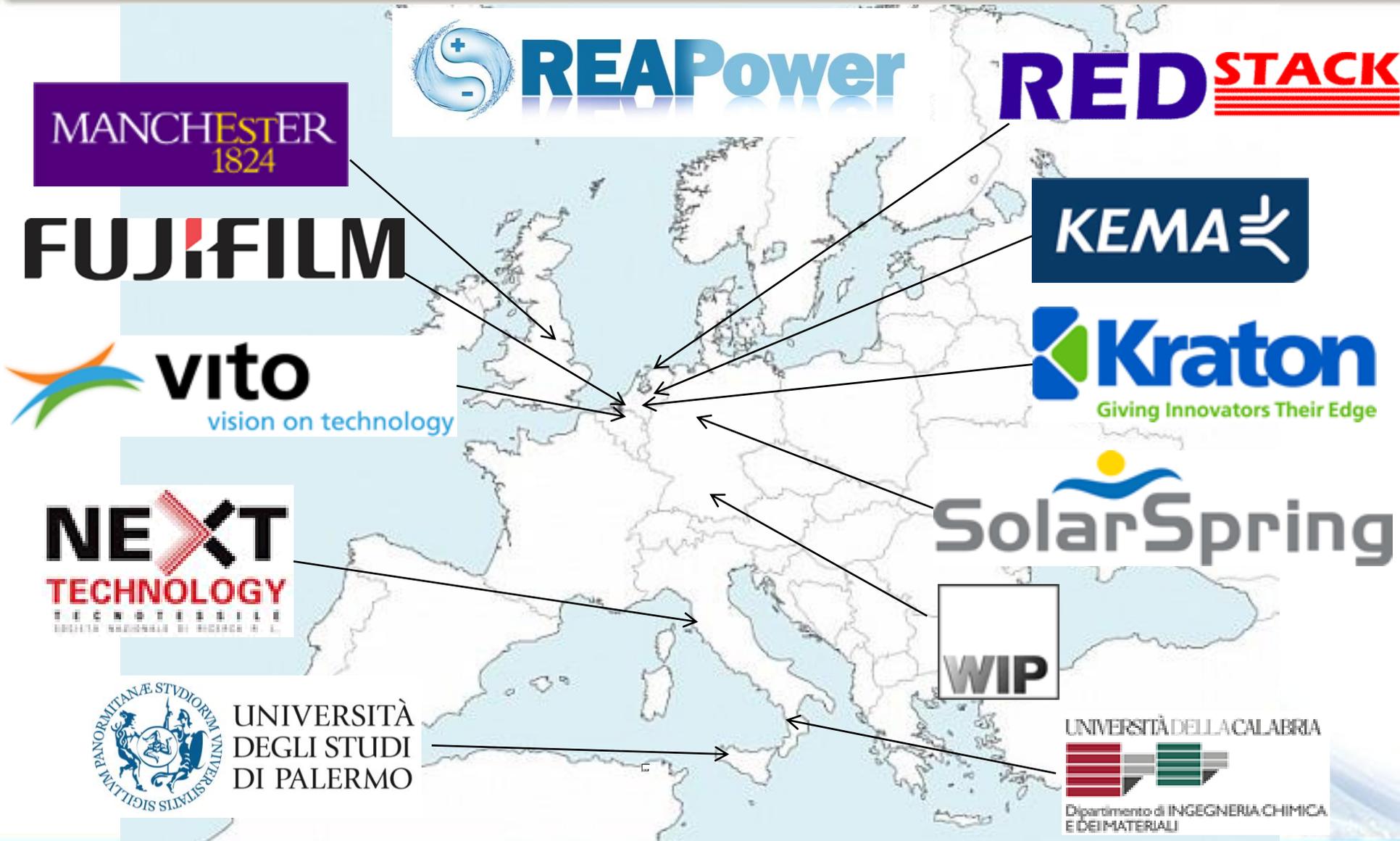


- Acronimo del progetto: “Reverse Electrodialysis for Alternative Power production”
- Progetto di cooperazione finanziato attraverso il programma FP7
- Data di inizio: 1 October 2010
- Data di chiusura: 30 September 2014

The Future

of sustainable energy production

In consorzio del progetto REAPower



Il progetto REAPower

Gli obiettivi. . .

1

- Definire e ottimizzare materiali per le membrane e componenti coerentemente alle condizioni operative di processo;

2

- Ottimizzare il design dei canali e dell'intero stack utilizzando tecniche di modellazione al computer;

3

- Validare i modelli sviluppati e testare i materiali e i componenti sviluppati mediante test sullo stack;

4

- Valutare e migliorare le performance del sistema attraverso test su un prototipo alimentato con salamoie reali;

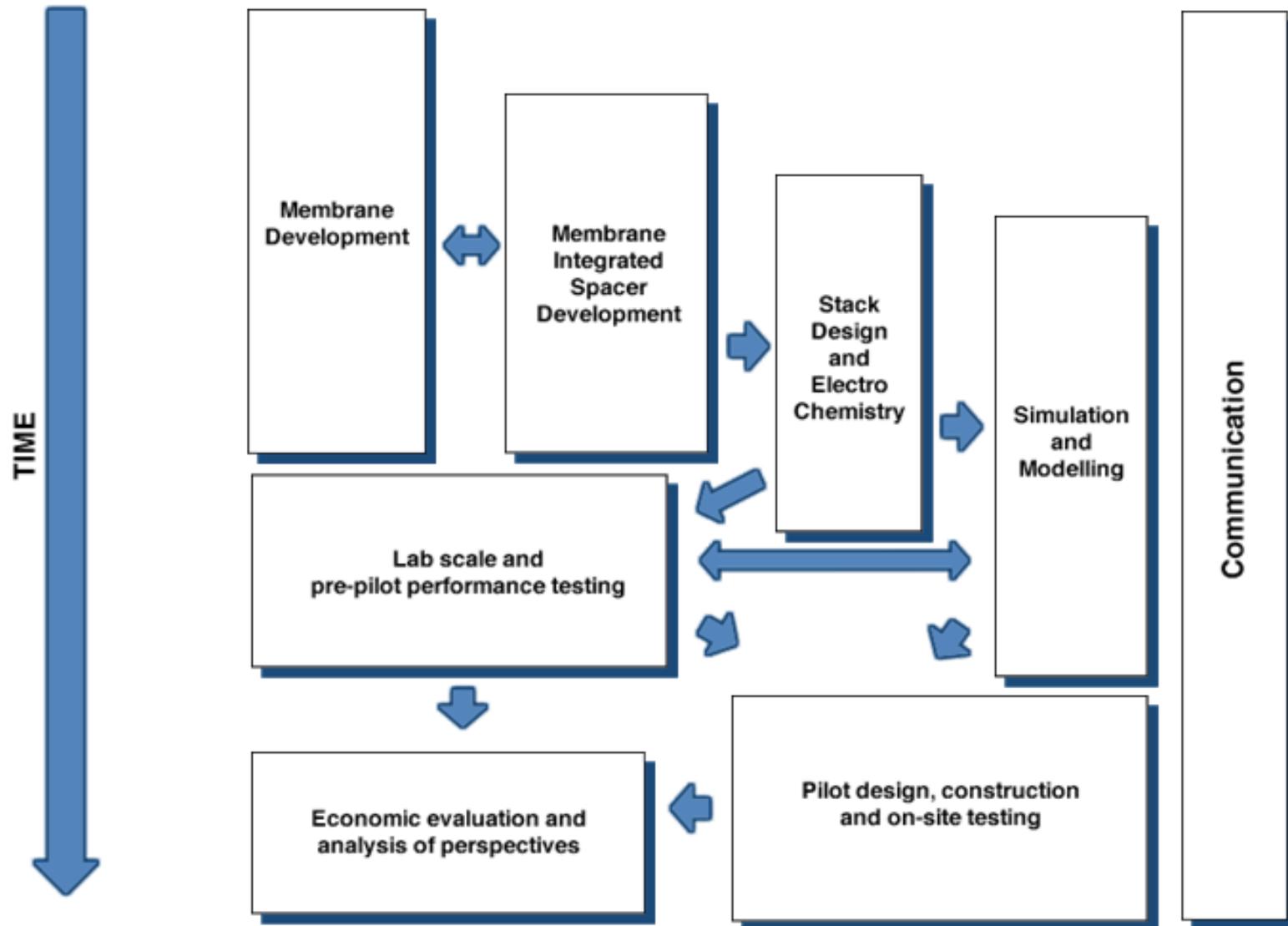
5

- Effettuare un'analisi economica e individuare le prospettive di sviluppo futuro;

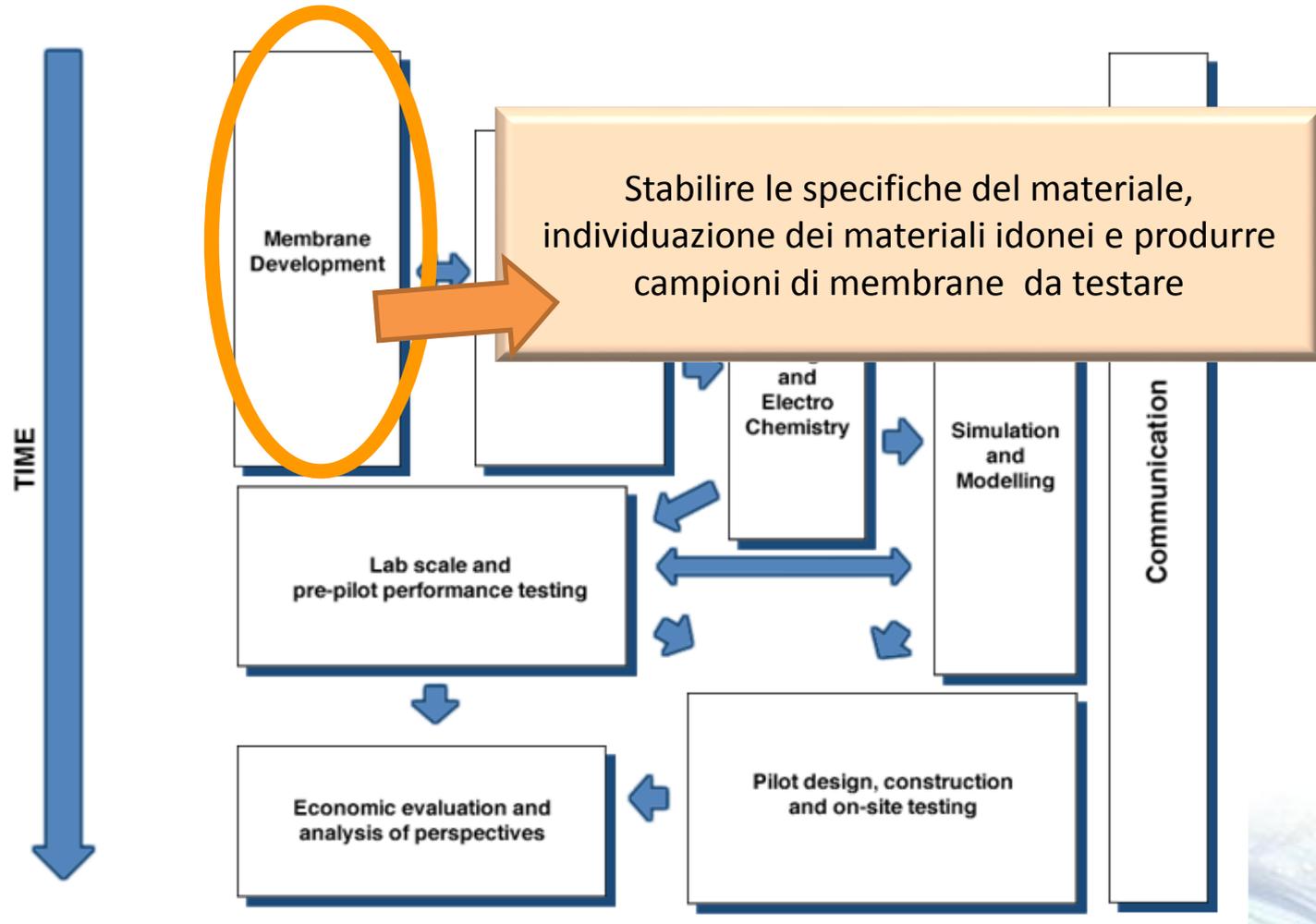
6

- Definire le fasi successive di R&D.

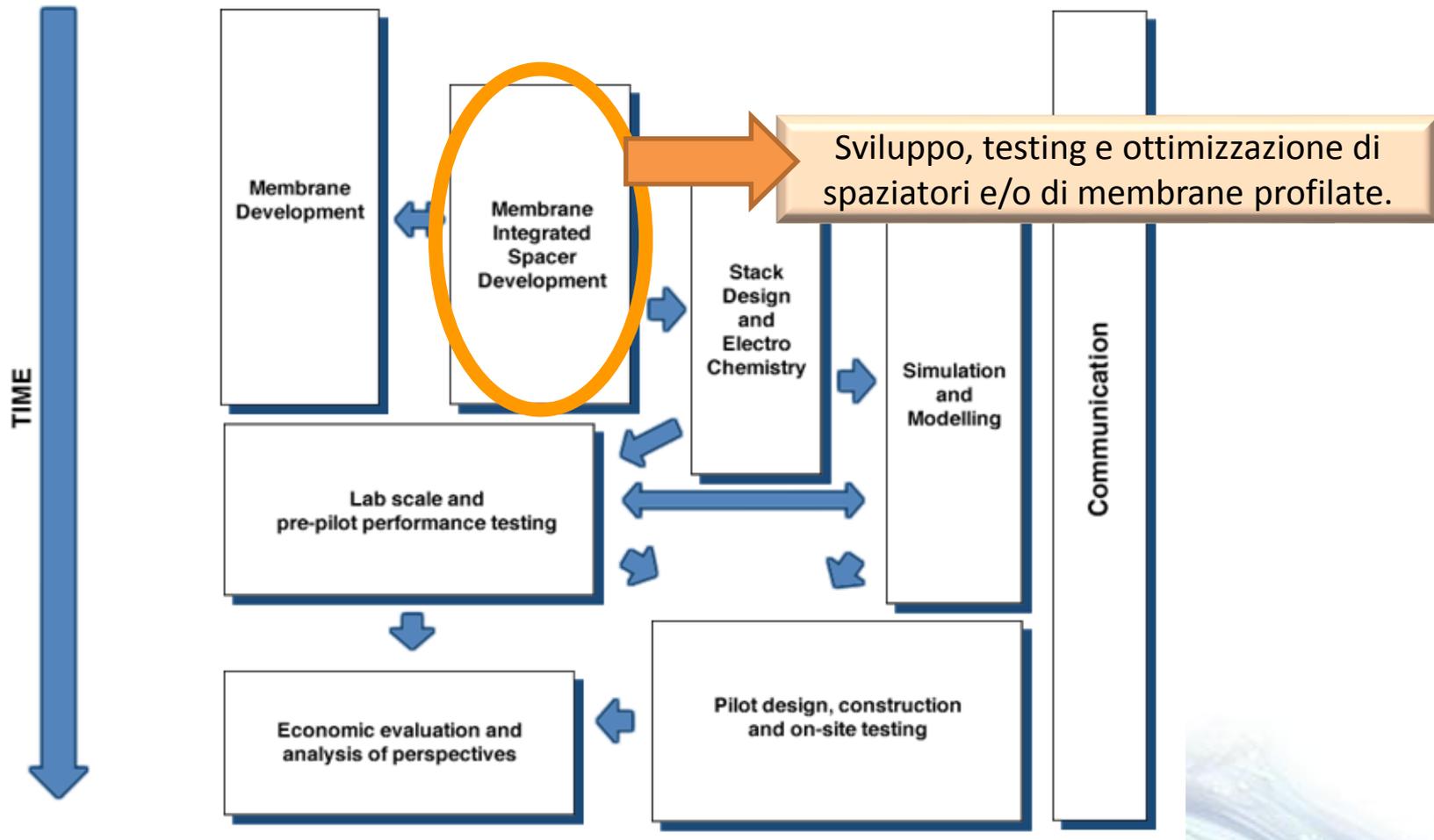
Diagramma a blocchi del progetto REAPower



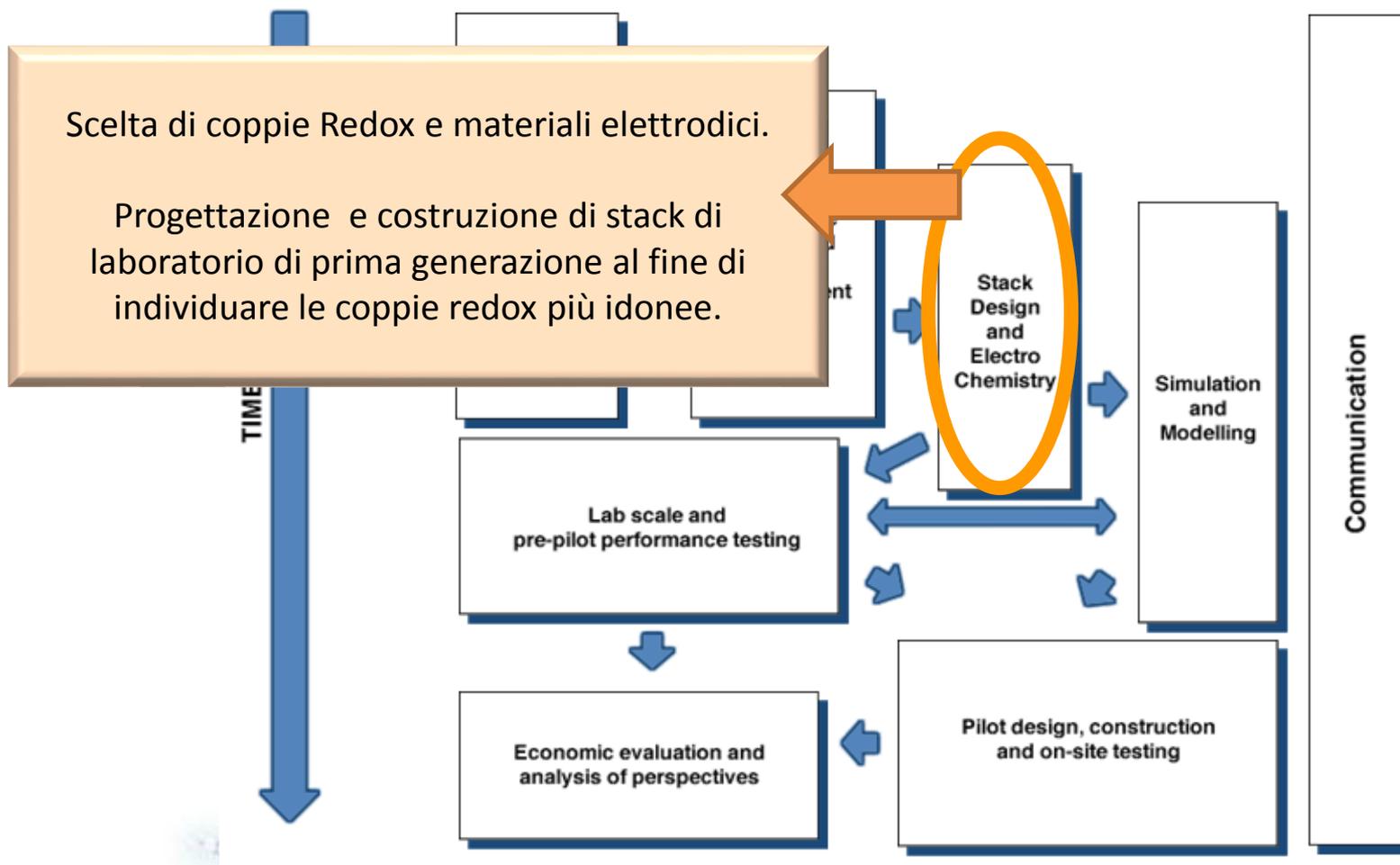
WP2. Sviluppo delle membrane



WP3. Sviluppo di Membrane integrate con lo spaziatore



WP4. Ingegnerizzazione elettrochimica/design dello stack



WP5. Simulazione di processo

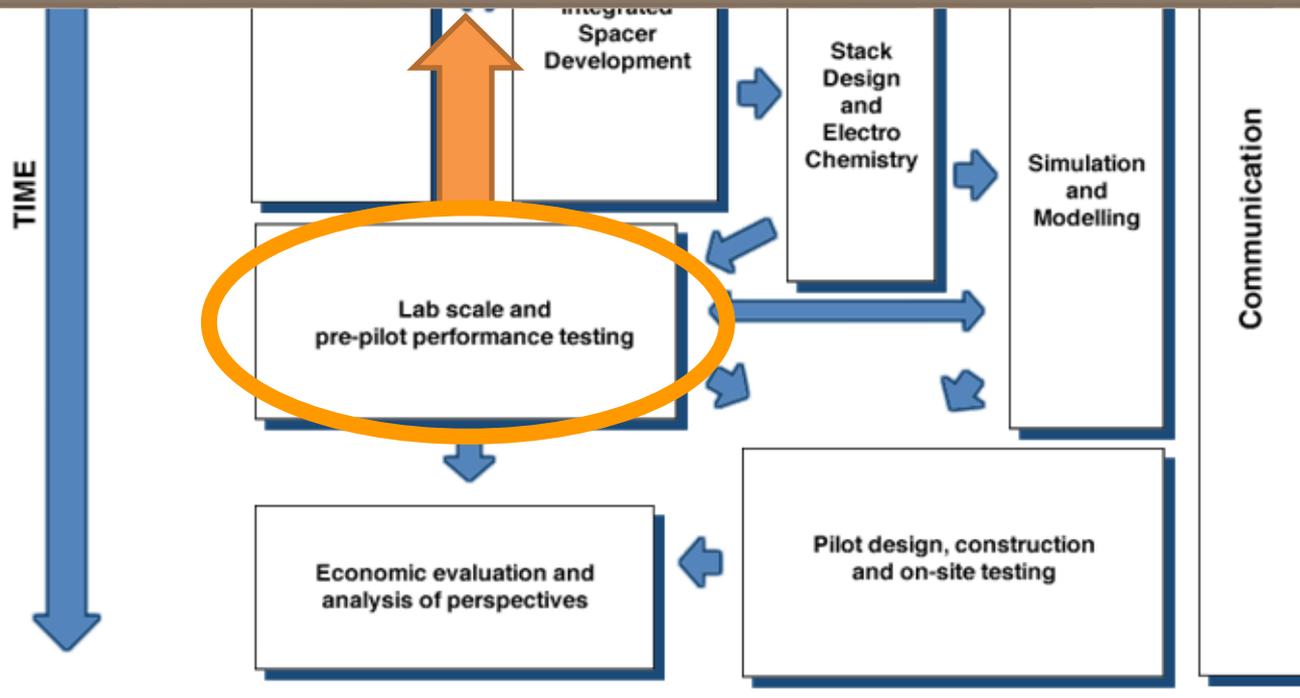
La modellazione mediante Fluidodinamica Computazionale (CFD) consente l'ottimizzazione della geometria dello stack e delle condizioni fluidodinamiche.

La modellazione di processo consente di descrivere il funzionamento dell'apparecchiatura nel suo complesso e di determinare attraverso analisi di sensitività le migliori condizioni operative.



WP6. Test di prestazioni a scala di laboratorio

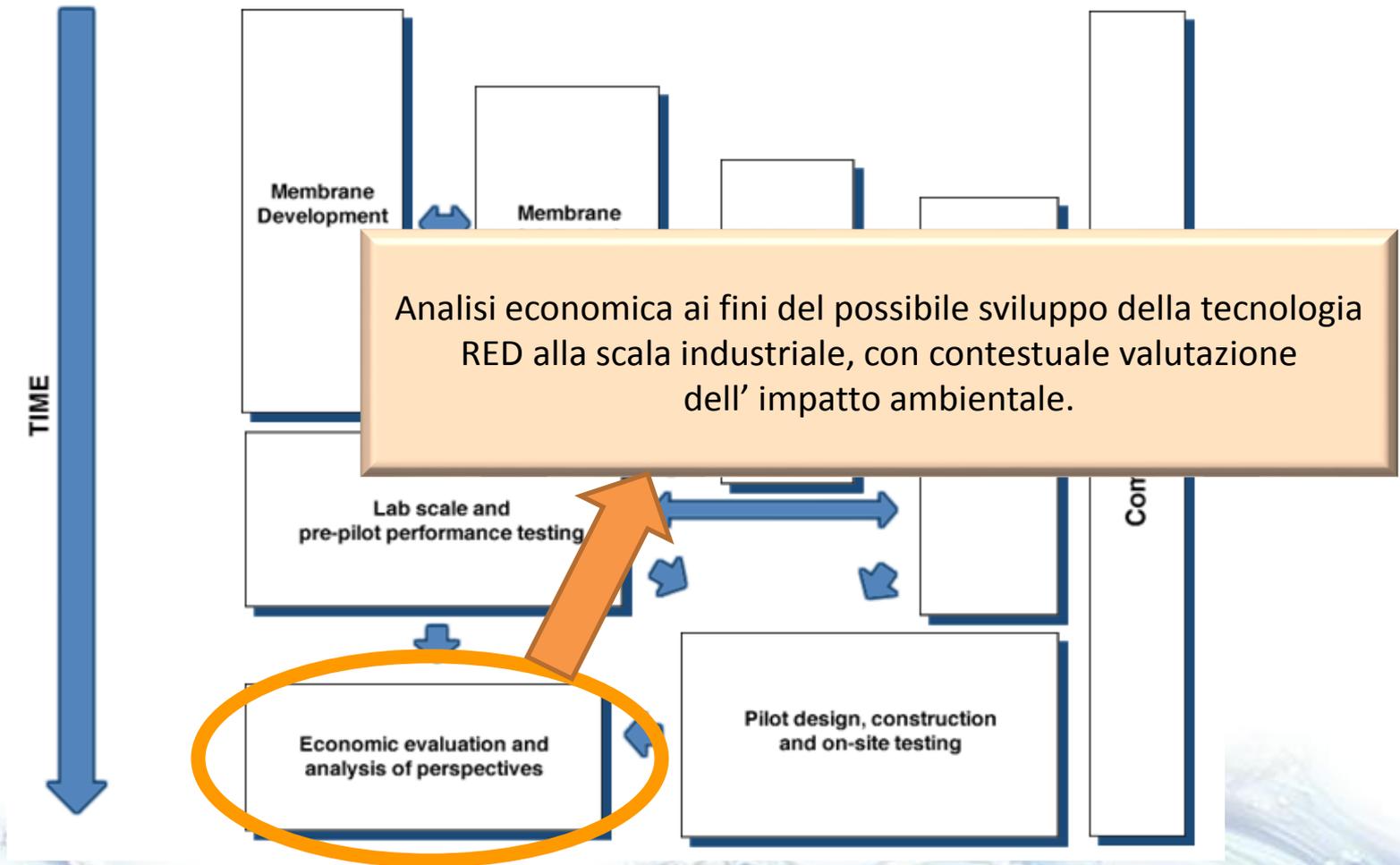
Attività di testing di unità prototipali di laboratorio al fine di valutare l'effetto sul processo delle condizioni idrauliche e dell'impiego di differenti soluzioni saline.



WP7. Progetto, realizzazione, test del prototipo



WP8. Valutazioni economiche/analisi delle prospettive





OBIETTIVI / ASPETTATIVE



RISULTATI RAGGIUNTI / PROSPETTIVE



Le Barriere Tecnologiche

Effetti della salinità sulla permselectività

Strategia adottata

Migliorare la preparazione delle membrane a scambio ionico IEMs

Alto potenziale di sporco e incrostazioni

Strategia adottata

Adeguati pre-trattamenti per acqua di mare e salamoia

Basse densità di potenza

Strategia adottata

Membrane sottili e geometria dei canali ottimizzata

Limitata quantità di salamoia

Strategia da adottare

Incrementare l'efficienza d'uso e le strategie di rigenerazione

Miglioramento delle performance delle membrane

Incrementata
permselectività



La permselectività ha raggiunto valori tra il 65 e il 90% quando in contatto con salamoie quasi sature.

Ridotta resistenza elettrica



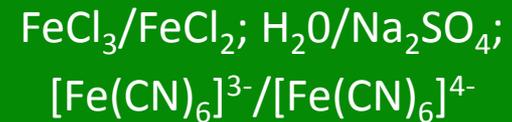
La resistenza specifica delle membrane è stata ridotta a valori circa di $1.5-2.5 \Omega \cdot \text{cm}^2$

Coppie Redox e geometria dello stack

Scelta delle coppie Redox



Diverse coppie redox sono state testate sotto diverse condizioni al fine di trovare le più promettenti per il prototipo RED:



Geometria dello stack



Due differenti geometrie di stack sono state progettate, realizzate e testate.

Membrane profilate & Ottimizzazione Fluidodinamica

Membrane integrate con lo spaziatore

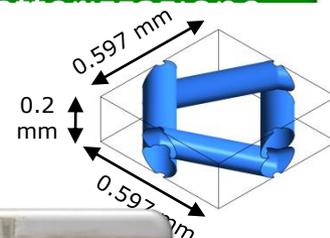
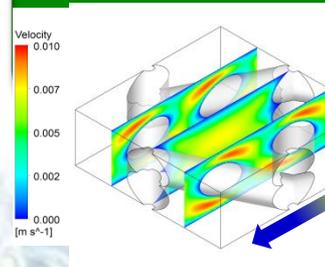


Sono stati condotti dei test per la preparazione di Membrane profilate, al fine di ridurre lo spessore totale a 10-20 μm

Scelta delle caratteristiche dello spaziatore

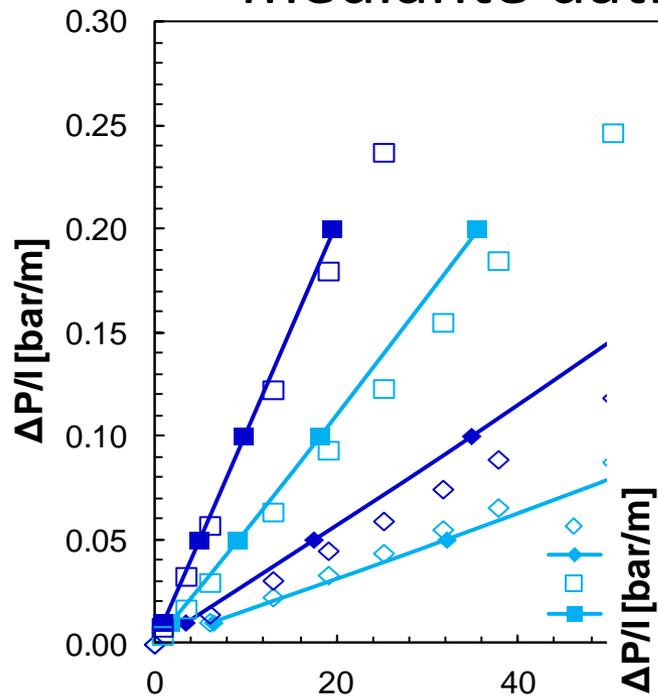


Sono state condotte simulazioni CFD unitamente ad una caratterizzazione sperimentale di spessore, e caratteristiche

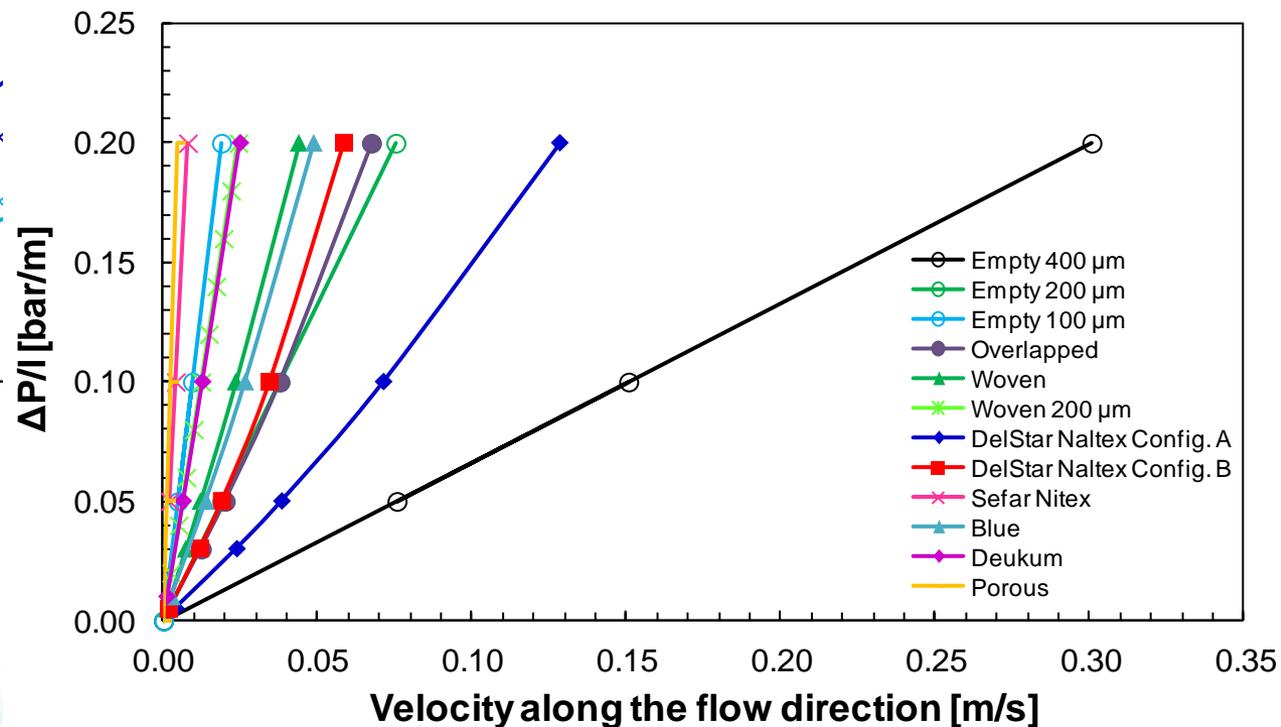


Modellazione mediante fluidodinamica numerica CFD

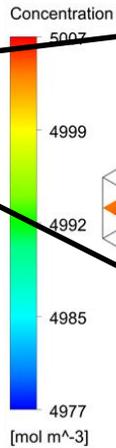
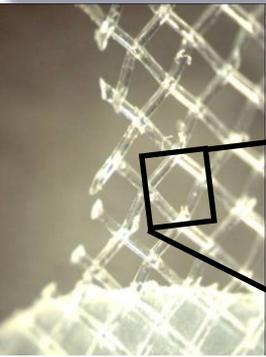
Validazione del modello
mediante dati sperimentali



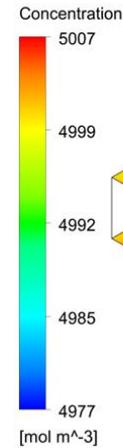
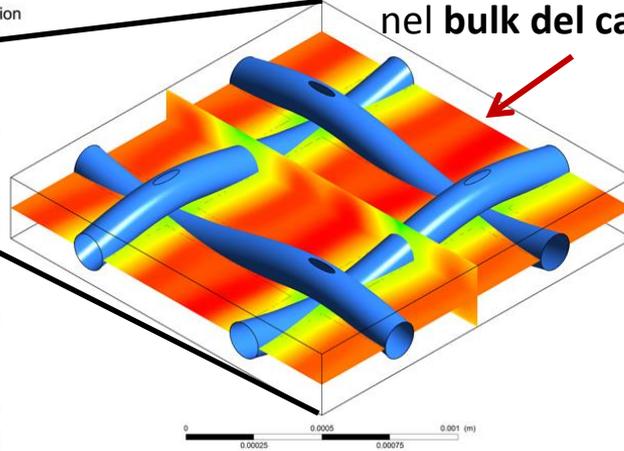
Simulazioni con diversi
spaziatori commerciali



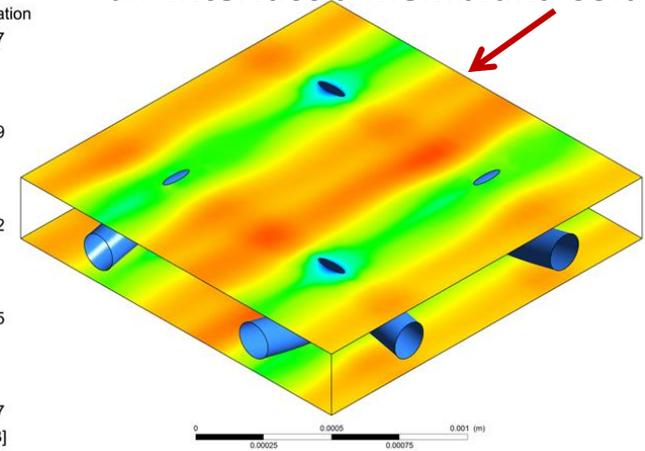
Il fenomeno della Polarizzazione di Concentrazione



Mapa di concentrazione del sale nel **bulk del canale**

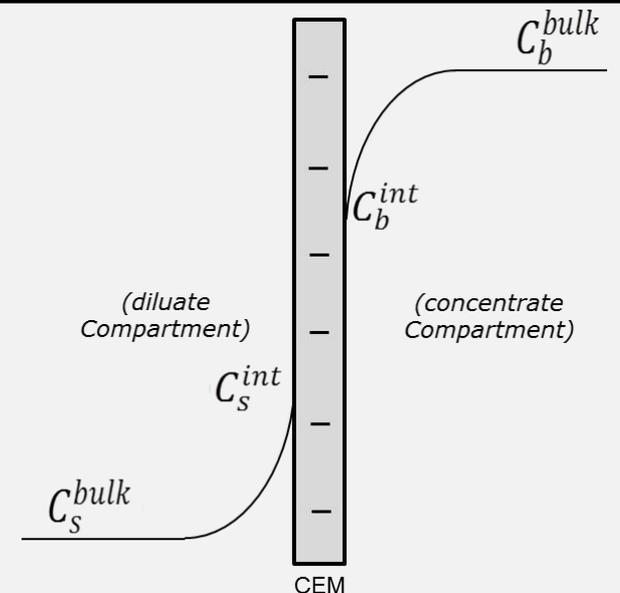


Mapa di concentrazione del sale all' **interfaccia membrana-soluzione**



Coefficienti di polarizzazione:

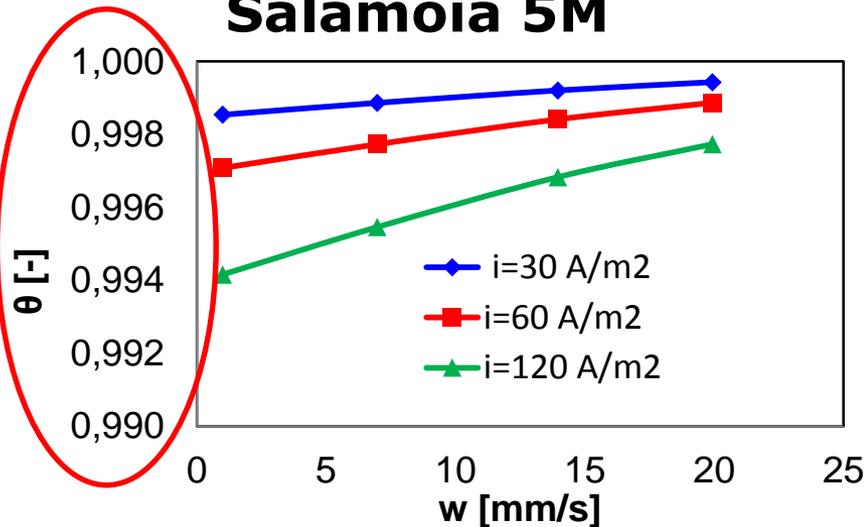
$$\left\{ \begin{array}{l} \vartheta_b = \frac{C_b^{int}}{C_b^{bulk}} \\ \vartheta_s = \frac{C_s^{bulk}}{C_s^{int}} \end{array} \right.$$



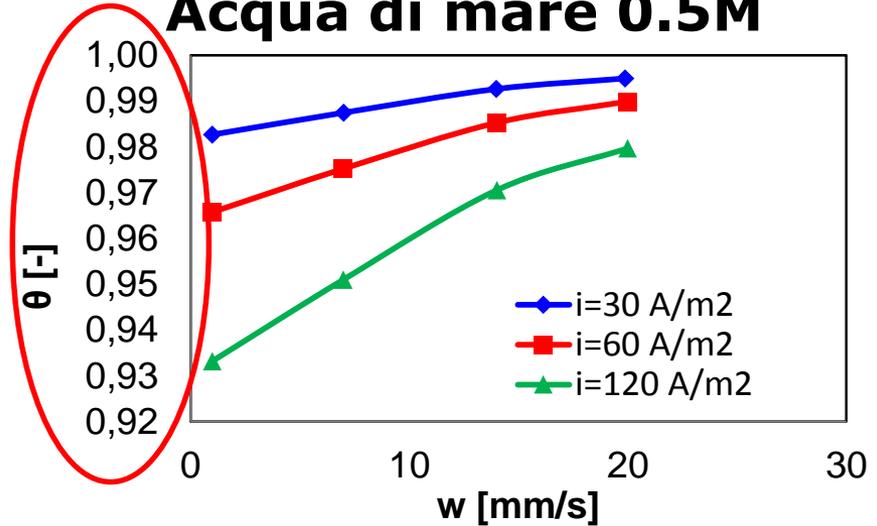
Predizione del fenomeno della polarizzazione

Coefficiente di polarizzazione per canali muniti di spaziatore Deukum

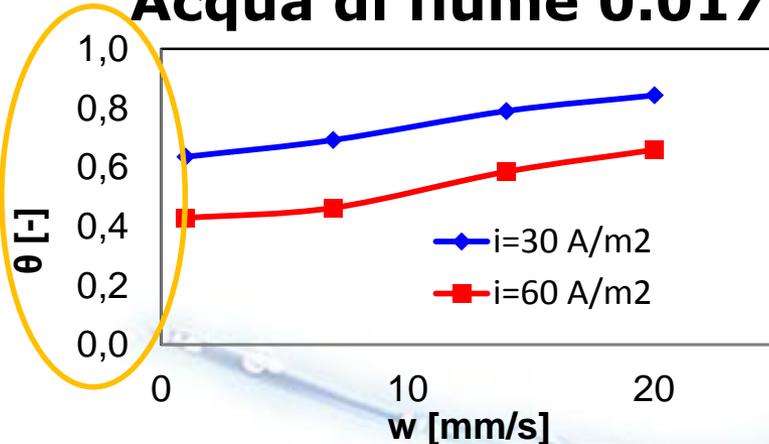
Salamoia 5M



Acqua di mare 0.5M



Acqua di fiume 0.017M



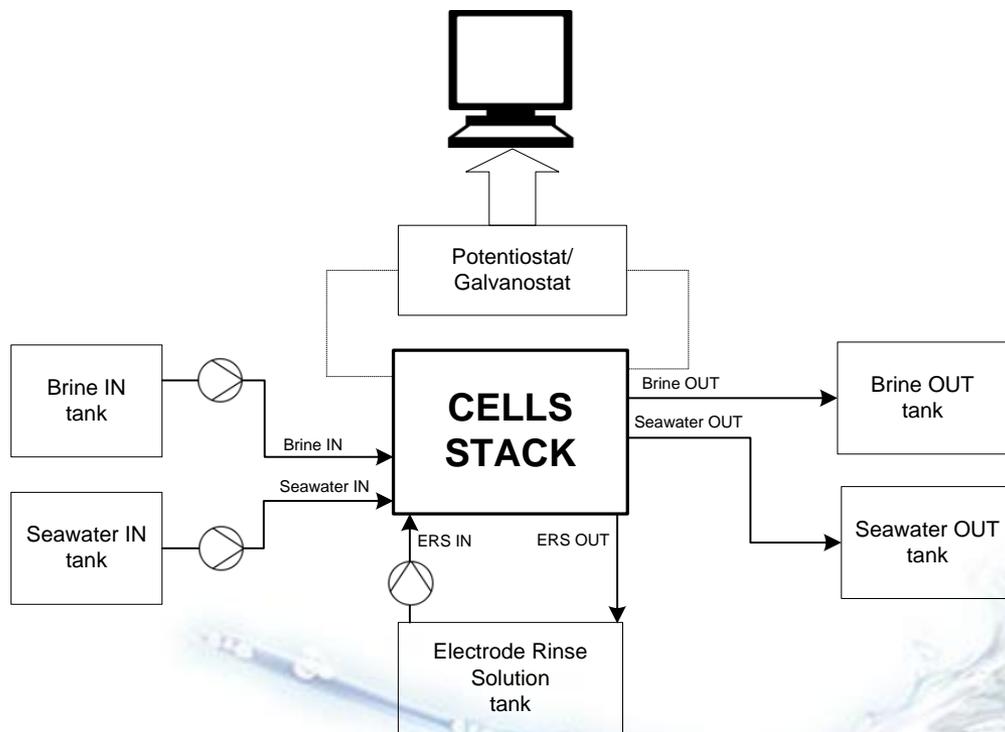
• Valori molto alti di θ per salamoia e acqua di mare, più bassi per acqua di fiume. Se $C \uparrow$, $\theta \uparrow$

• Più alta è la densità di corrente i , più bassi sono i valori di θ , ma tale dipendenza è cruciale solo per l'acqua di fiume

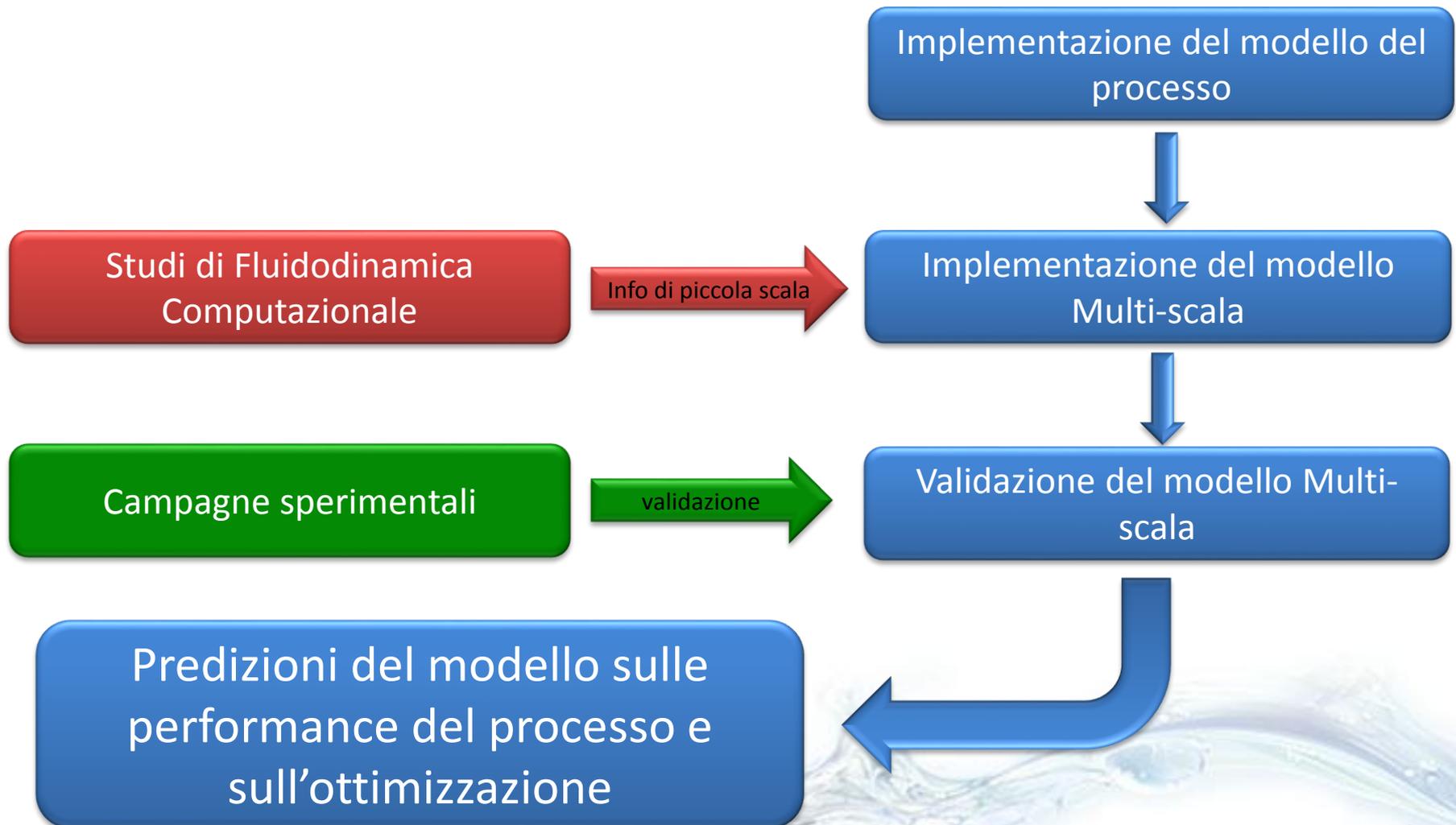
• Velocità più alte migliorano la miscelazione. Se $w \uparrow$, $\theta \uparrow$

Esperimenti condotti su stack di “seconda generazione”

Un'estesa campagna sperimentale è stata condotta presso i laboratori di VITO per studiare le prestazioni di un nuovo stack in condizioni di funzionamento REAPower.

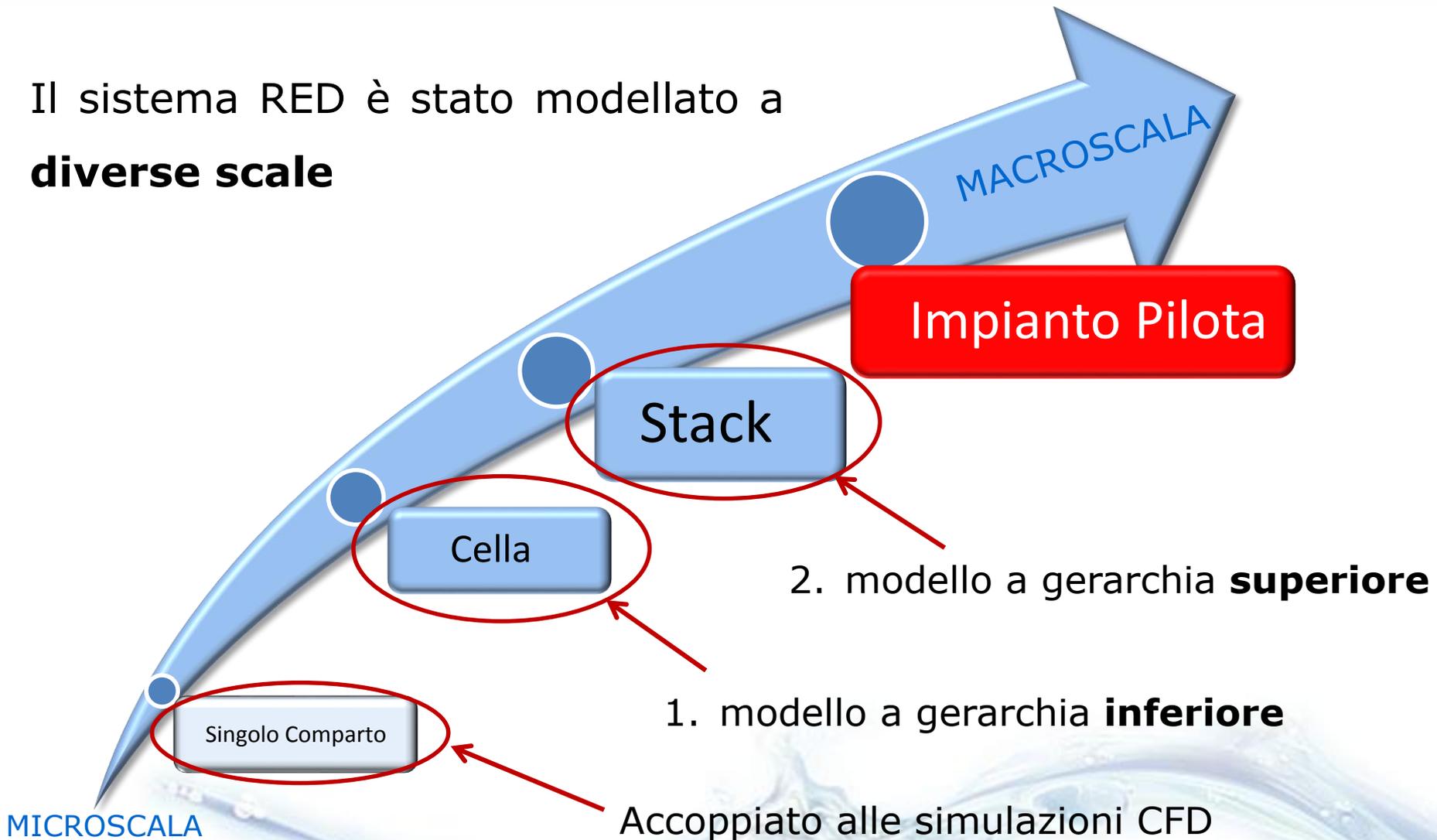


Modellazione Multi-scala



Modellazione multiscala: gerarchia dei modelli

Il sistema RED è stato modellato a **diverse scale**



Migliori condizioni di funzionamento

Attività sperimentali



Attività di modellazione



MIGLIORI condizioni operative

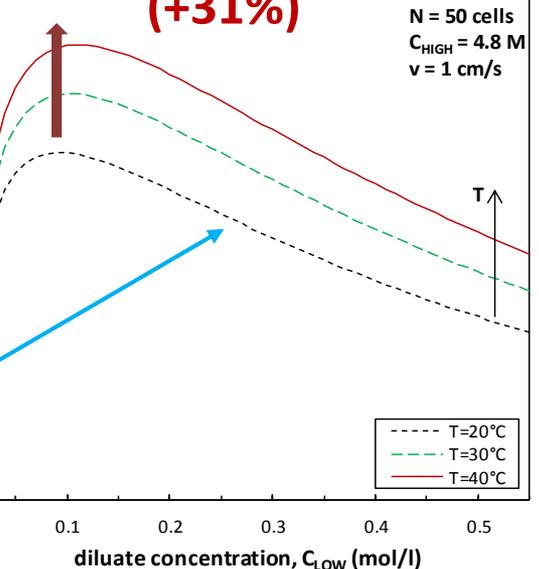


Ricerca delle migliori condizioni operative

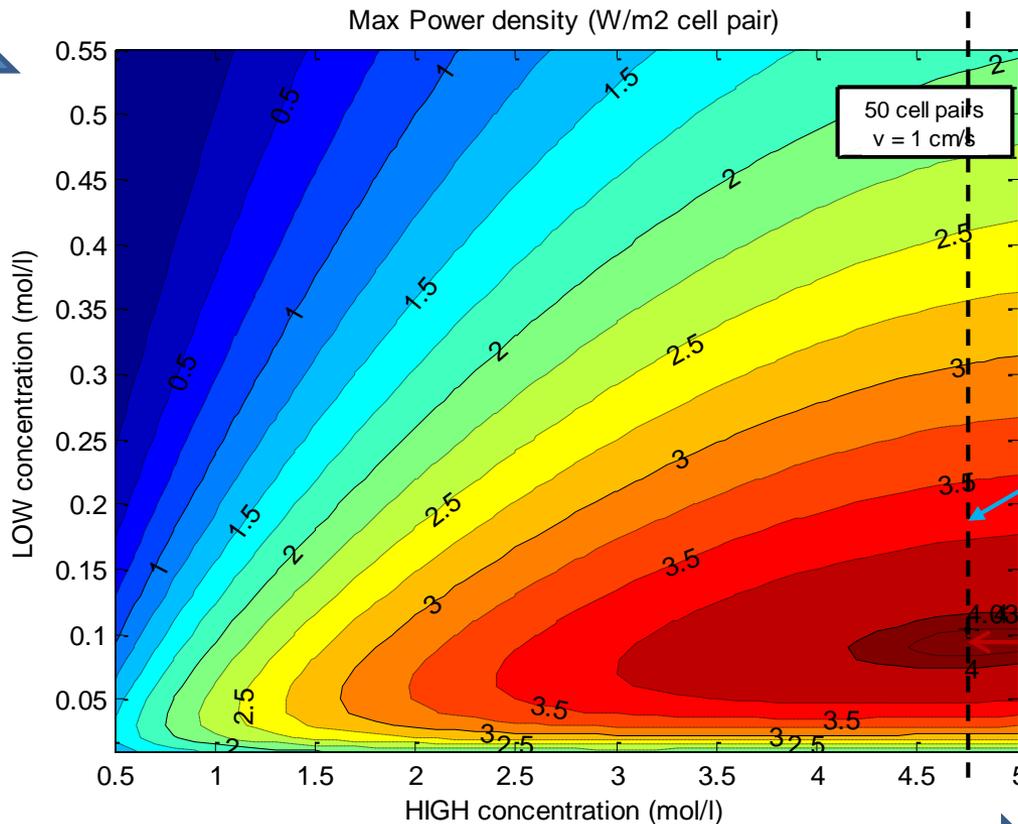
Influenza della T e della Concentrazione

Max $P_d = 5.3 \text{ W/m}^2$

(+31%)



**MIGLIORI condizioni:
acqua salmastra (0.05 – 0.1 M)
+ salamoia (4.5 – 5 M)**



acqua di fiume
acqua di mare

acqua di mare

salamoia

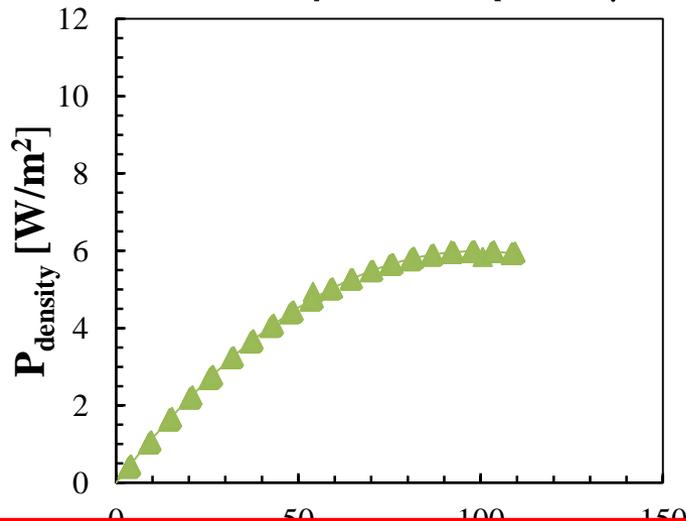
Simulazioni con stack di 50-celle munito di membrane Fujifilm, spaziatori Deukum;
velocità fluido dentro i canali: 1 cm/s; $T=20^\circ\text{C}$. Resistenza comparto elettrodo: 0.4 Ω .

Esperimenti su stack di “seconda generazione”

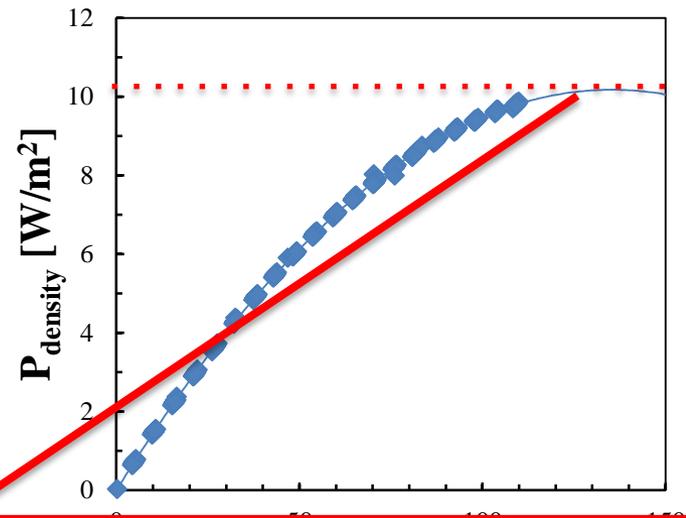
Condizioni di MASSIMA potenza prodotta:

4cm/s, $T = 40^{\circ}\text{C}$ & acqua salmastra nel canale diluito (0.1M)

Membrane spesse ($120\mu\text{m}$)



Membrane sottili ($20\text{-}30\mu\text{m}$)



Sono attesi valori densità di potenza di **15 and 20 W/m^2** con un maggiore numero di celle, che ridurrebbero l'effetto della **resistenza del comparto elettrodoico**

REAPower website

<http://www.reapower.eu/>



Not logged in

Home

Project Scope

Consortium

News

Contact

Internal

The Future

of sustainable energy production



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Dipartimento di Ingegneria Chimica,
Gestionale, Informatica, Meccanica (DICGIM)



GRAZIE
PER LA CORTESE ATTENZIONE

