

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

***Relazione per la prova finale  
«Il potenziale energetico degli oceani  
e come sfruttarlo»***

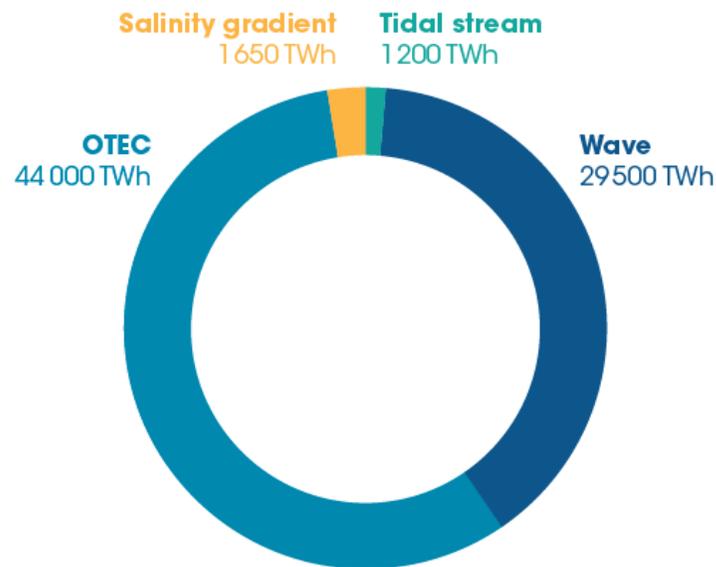
Tutor universitario: Prof. Anna Stoppato

Laureando: Elia Boscolo Contadin

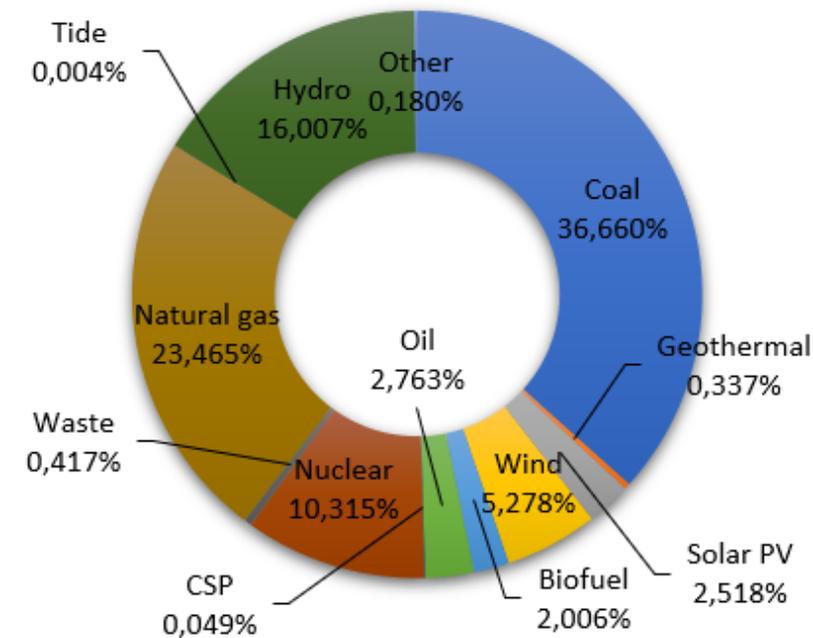
Padova, 21/11/2022

Al 2019, la domanda globale di energia elettrica ammontava a 25027,3 TWh (IEA).

Con energia marina si intende l'energia racchiusa in varie forme nei mari e negli oceani, potenzialmente estraibile mediante tecnologie fluidodinamiche (le quali sfruttano maree, correnti di marea e onde) e di gradiente (termico e salino), il cui potenziale teorico differisce ampiamente tra le diverse tecnologie.



Secondo le stime dell'IRENA il potenziale teorico globale di tale fonte primaria varia da 45.000 TWh/anno a 130.000 TWh/anno.



Generazione di elettricità per fonte

#### VANTAGGI:

- Prevedibilità
- Funzione di carico di base della domanda elettrica
- Dispacciabilità
- Futuri LCOE bassi

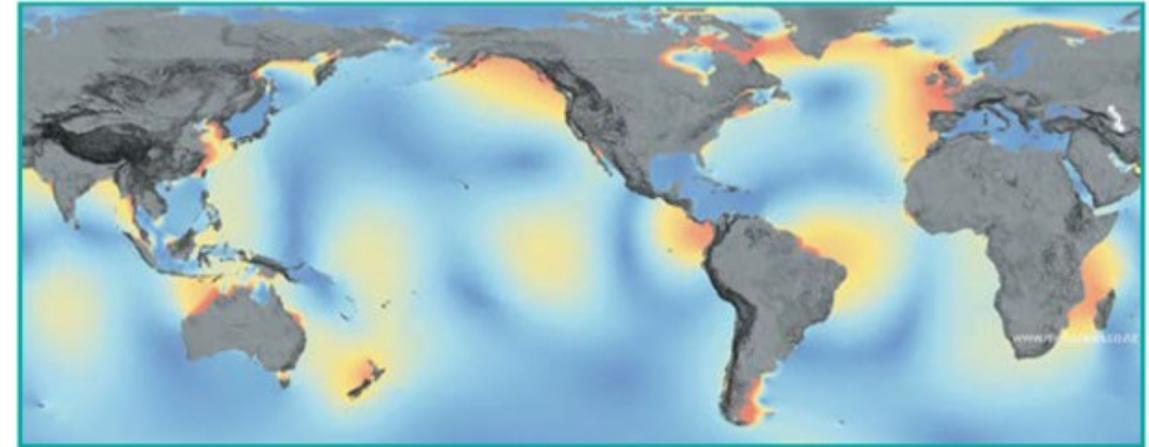
E' un'energia potenziale che deriva da cambiamenti di altezza del livello del mare causati principalmente dalla costante azione dell'interazione gravitazionale della Luna, del Sole sugli oceani terrestri.

La forza di marea è il risultato di due forze:

- la forza centrifuga dovuta alla rotazione della Terra intorno al centro di massa del sistema Terra-Luna
- l'attrazione gravitazionale esercitata dalla Luna

L'escursione di marea è massima (marea sigiziale) quando i tre corpi sono allineati (Luna nuova o Luna piena).

L'escursione di marea è minima (marea di quadratura) quando Sole e Luna sono a  $90^\circ$  l'uno rispetto all'altra (Luna è al primo o al terzo quarto).



Potenziale teorico: 1.200 TWh/anno.

Centrale mareomotrice di La Rance (Francia):

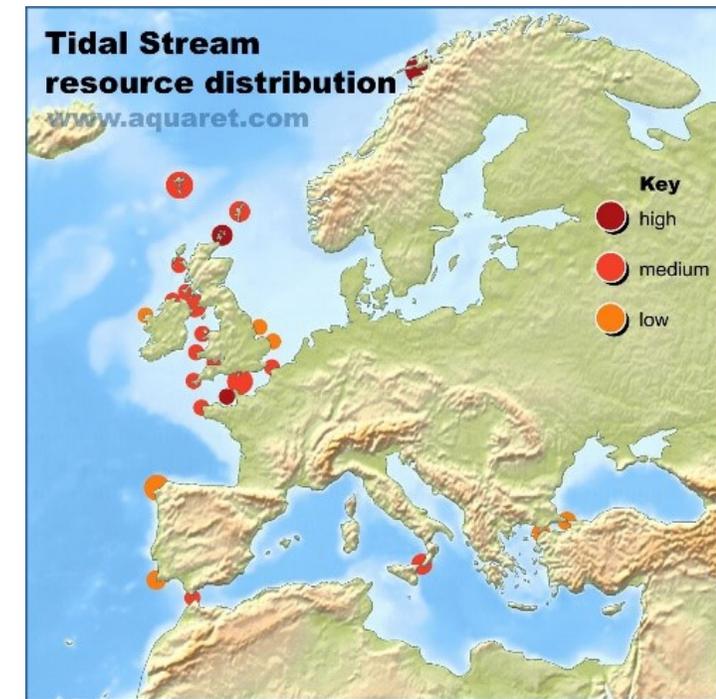
- 24 turbine da 10 MW per una potenza installata di 240 MW
- Variazione di mare di 8,2 metri
- Fattore di carico del 40%
- 600 GWh/anno di energia elettrica

Le maree causano movimenti cinetici dei volumi d'acqua, soprattutto:

- dove la profondità del fondale marino non è elevata
- dove esiste una variazione di marea significativa
- dove la velocità delle correnti è amplificata dall'effetto imbuto

Esistono molte somiglianze tra sistemi di generazione che sfruttano il vento e quelli che sfruttano le correnti di marea sia in termini di dispositivi sia in termini della natura della forza.

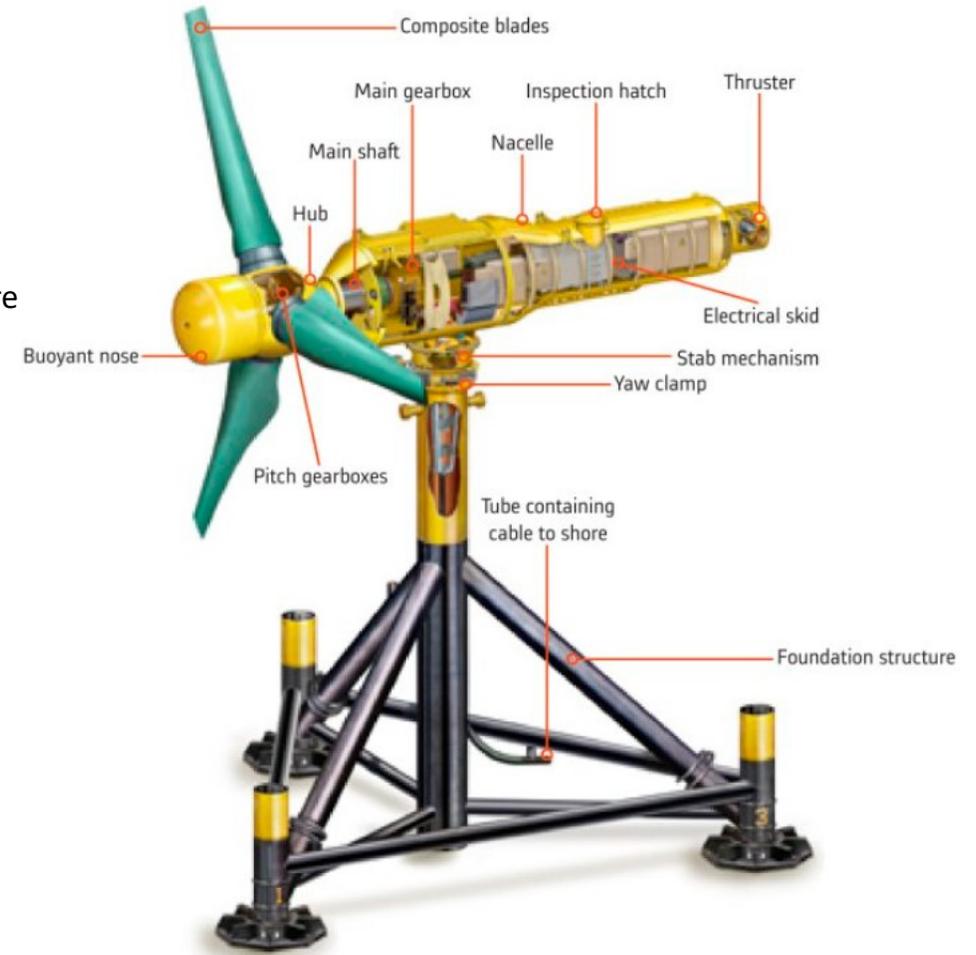
CARATTERISTICHE	TURBINA MARINA	TURBINA EOLICA OFFSHORE
DENSITA' DEL FLUIDO	Circa 1025 kg/m <sup>3</sup>	Circa 1,25 kg/m <sup>3</sup>
VELOCITA' MASSIMA IN FASE OPERATIVA	Circa 2-5 m/s	Circa 25 m/s
VARIAZIONE DELLA VELOCITA' CON IL TEMPO	Per una data località, la variazione in intensità e in direzione è prevedibile per periodi di anno	Stocastica, variabile in intensità e in direzione su scale di tempo che vanno da secondi ad anni
DIAMETRO DEL ROTORE	15-30 m	90-120 m
VELOCITA' DI ROTAZIONE DEL ROTORE	7-20 rpm	<15 rpm



Potenziale teorico: 6.600 TWh/anno

In un convertitore marino:

- Conversione dell'energia associata alla corrente mediante il rotore della turbina
- Adeguamento della velocità di rotazione della turbina a quella del generatore mediante il moltiplicatore di giri
- Trasformazione della potenza meccanica in potenza elettrica mediante il generatore
- Adeguamento della frequenza a quella della rete mediante inverter
- Trasmissione della corrente via cavo alla terraferma

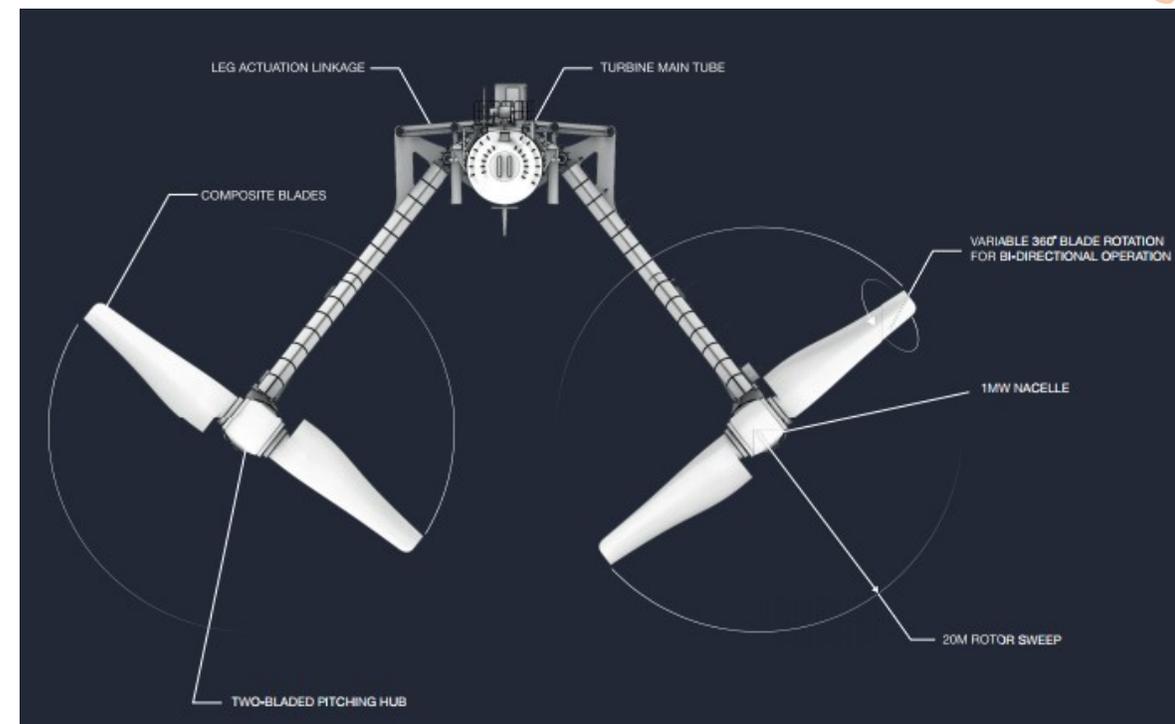


Tecnologia alla base di turbine galleggianti sviluppata dalla compagnia scozzese Orbital Marine Power Ltd.

- Struttura galleggiante lunga 72 metri con due bracci
- Due navicelle dal peso di 100 tonnellate l'una
- Capacità di generazione di potenza di a 1 MW
- Due turbine con un diametro di 20 metri in grado di spazzare un'area totale di 600 m<sup>2</sup>
- Sistema di controllo ad angolo di calettamento variabile che consente di ottimizzare l'estrazione di energia mentre la marea cambia in velocità
- Sistema di rotazione che consente l'estrazione di energia mentre la marea cambia in direzione
- Costi di installazione e di manutenzione ridotti

PROGETTO FORWARD: *Fast-tracking Offshore Renewable energy With Advanced Research to Deploy 2030MW*

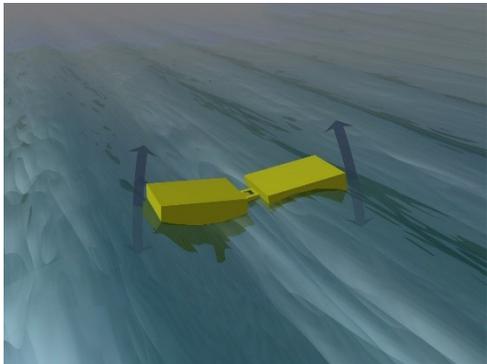
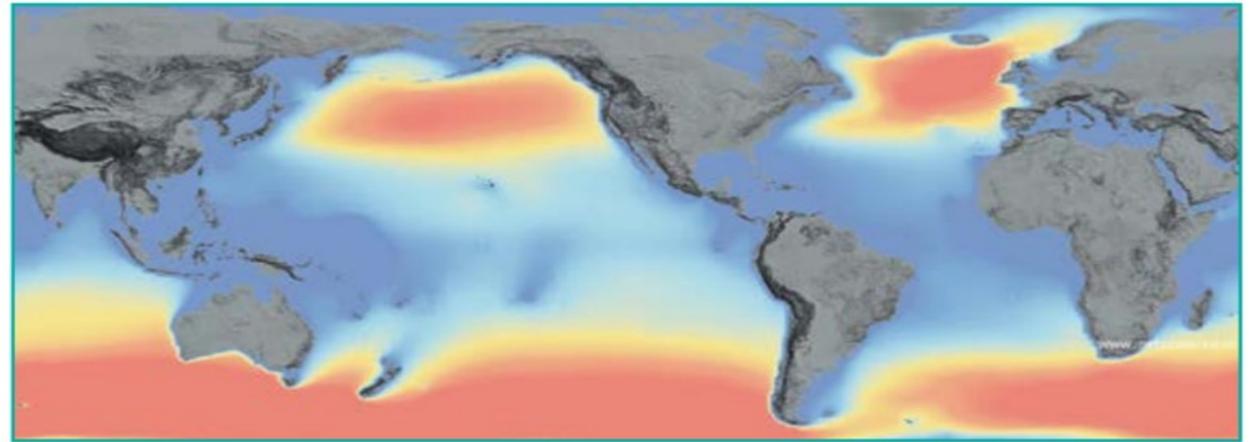
- Incentivare lo sviluppo di tecnologie che sfruttano le correnti di marea che consentano di generare 2030 MW di potenza elettrica
- Progettare macchine con capacità di generazione di 10 MW e superiori
- Ridurre i costi necessari allo sviluppo di queste tecnologie
- Ridurre il costo attualizzato dell'energia elettrica del 25%
- Ridurre le emissioni di carbonio del ciclo di vita da 18 gCO<sub>2</sub> eq/kWh a 12 gCO<sub>2</sub> eq/kWh



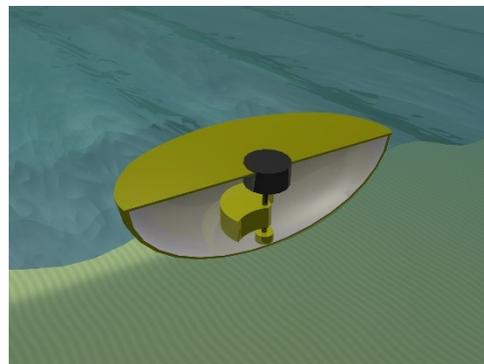
Il movimento della massa d'acqua, sotto l'azione del vento, risulta in un'onda alla quale è associata energia cinetica ed energia potenziale che possono essere immagazzinate.

Il meccanismo che trasferisce energia dalle onde al convertitore si chiama Power Take-Off system: applica una forza frenante variabile nel tempo mentre il convertitore è in risonanza con le onde.

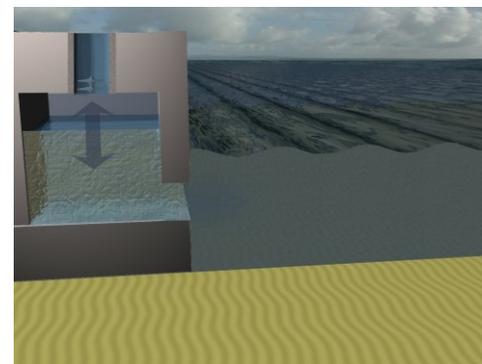
Potenziale teorico: 29.500 TWh/anno



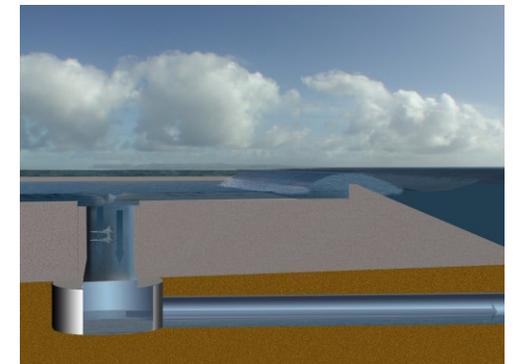
**ATTENUATOR**  
Conversione del moto orizzontale dell'onda mediante moto relativo dei due bracci



**ROTATING MASS - ISWEC**  
Conversione del moto oscillatorio del dispositivo mediante bilanciamento del centro di gravità



**OSCILLATING WATER COLUMN**  
Conversione dell'aria intrappolata dall'onda mediante turbina



**OVERTOPPING DEVICE**  
Conversione dell'energia potenziale dell'acqua in riserva mediante turbina

Il potenziale di energia termica oceanica nasce dalla differenza di temperatura tra le acque che si trovano ad una profondità superiore ai 1000m ad una temperatura relativamente costante pari a 4°C e le acque superficiali ad una temperatura maggiore di 22°C per tutta la durata dell'anno.

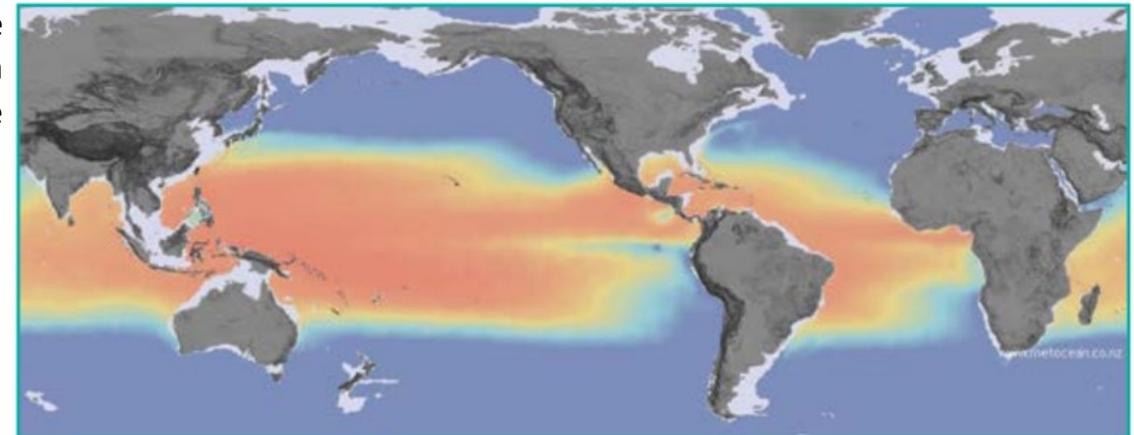
Trasferimento di acqua fredda da profondità a superficie più calda



Scambio di energia termica



Estrazione di energia da parte di un convertitore



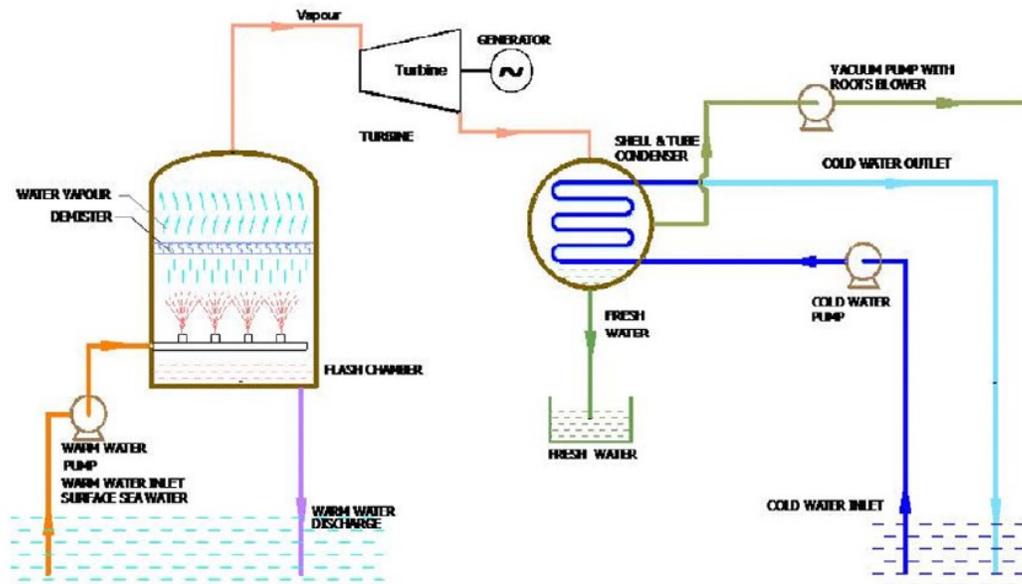
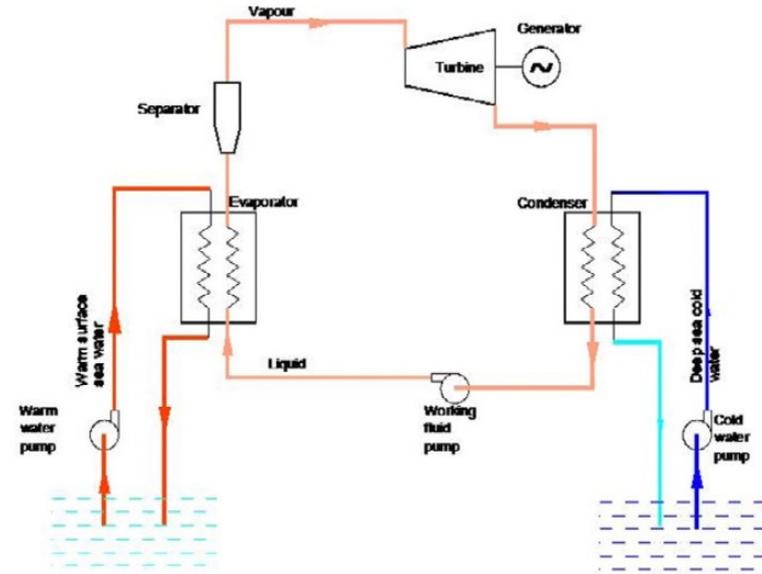
Potenziale teorico: 44.000 TWh/anno

## IMPIANTI DI CONVERSIONE TERMICA OCEANICA A CICLO CHIUSO

- Evaporazione, mediante acqua superficiale calda, di un fluido operativo allo stato liquido
- Espansione del fluido allo stato di vapore in turbina con generazione di potenza
- Condensazione, mediante acqua fredda, del vapore espanso e successivo pompaggio all'evaporatore

Tali impianti hanno efficienza ridotta poiché sono necessari:

- condotti di diametro elevato per minimizzare le perdite di pompaggio
- grandi ed efficienti scambiatori di calore per soddisfare le portate volumetriche di acqua oceanica fredda e calda

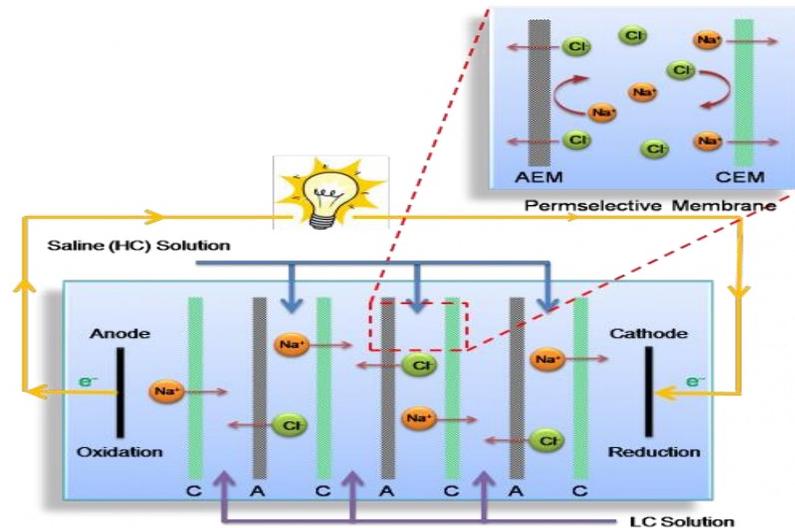


## IMPIANTI DI CONVERSIONE TERMICA OCEANICA A CICLO APERTO

- Abbassamento della pressione del flusso di acqua calda al di sotto della pressione di saturazione del liquido alla temperatura di immissione mediante separatore flash
- Trasformazione del liquido in una miscela liquido-vapore
- Rimozione dell'eventuale umidità residua nella corrente gassosa mediante denebulizzatore
- Espansione del vapore in turbina con generazione di potenza
- Condensazione del vapore espanso, mediante acqua fredda del mare, in un condensatore

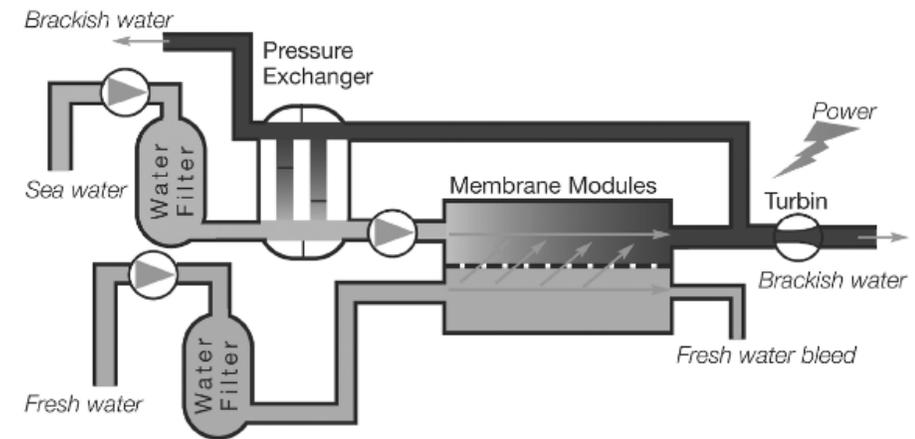
L'efficienza di tali impianti risulta essere del 50% superiore rispetto a impianti tradizionali a ciclo Rankine.

L'elevata salinità o concentrazione salina dell'acqua marina rappresenta un'energia potenziale chimica che può essere sfruttata per generare elettricità.



## ELETTRODIALISI INVERSA

- formazione di un gradiente salino ai capi della membrana
- migrazione di ioni dalla soluzione concentrata a quella diluita
- generazione di una differenza di potenziale elettrico
- conversione della corrente ionica in elettrica mediante reazioni redox

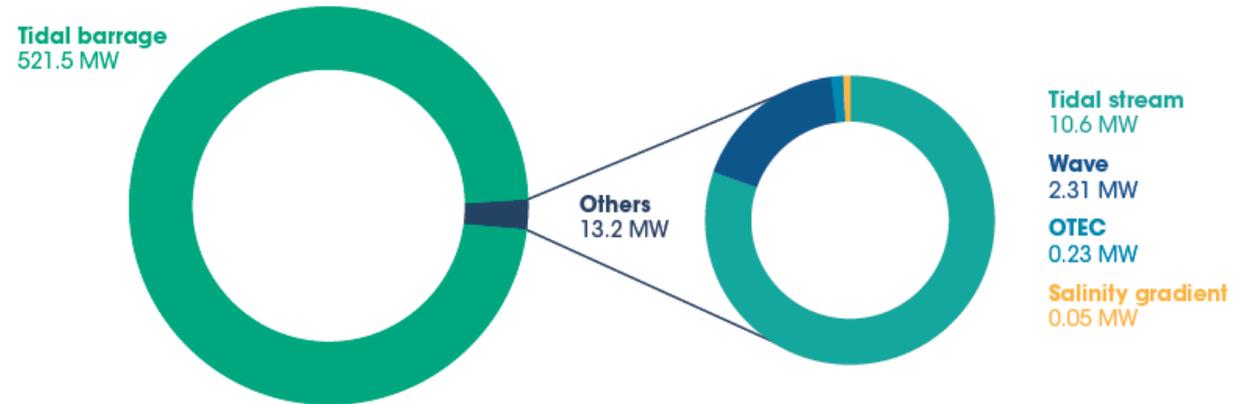


## OSMOSI A PRESSIONE RITARDATA

- Flusso spontaneo, attraverso membrana semipermeabile, di acqua a basso grado di concentrazione salina al settore contenente acqua salata: si ottiene un'acqua diluita e salmastra
- 1/3 di acqua salmastra viene impiegata per generare potenza meccanica
- 2/3 vengono riciclati in scambiatori di pressione per pressurizzare l'acqua salata in arrivo dal mare

Potenziale teorico: 1.650 TWh/anno

Al 2021, la totale potenza netta installata di tutte le tecnologie marine è di 535 MW.



Per via del precoce stadio di commercializzazione in cui si trovano le tecnologie dell'energia marina, il costo attualizzato dell'energia elettrica da esse prodotta è incerto e difficile da prevedere:

- l'LCOE per l'energia delle correnti di marea è stimato essere compreso tra 0.20 USD/kWh e 0.45 USD/kWh,
- l'LCOE per l'energia del moto ondoso è stimato essere compreso tra 0.30 USD/kWh e 0.55 USD/kWh.

Sebbene i prezzi dell'energia marina non siano ancora competitivi con quelli di fonti rinnovabili più mature (fotovoltaico ed eolico off-shore) e con quelli di fonti fossili, si prevede che lo saranno in futuro.