

Blue Energy: le tecnologie per la produzione di energia rinnovabile dal mare

Prof. Mauro Reini
reini@units.it

University of Trieste

Summary

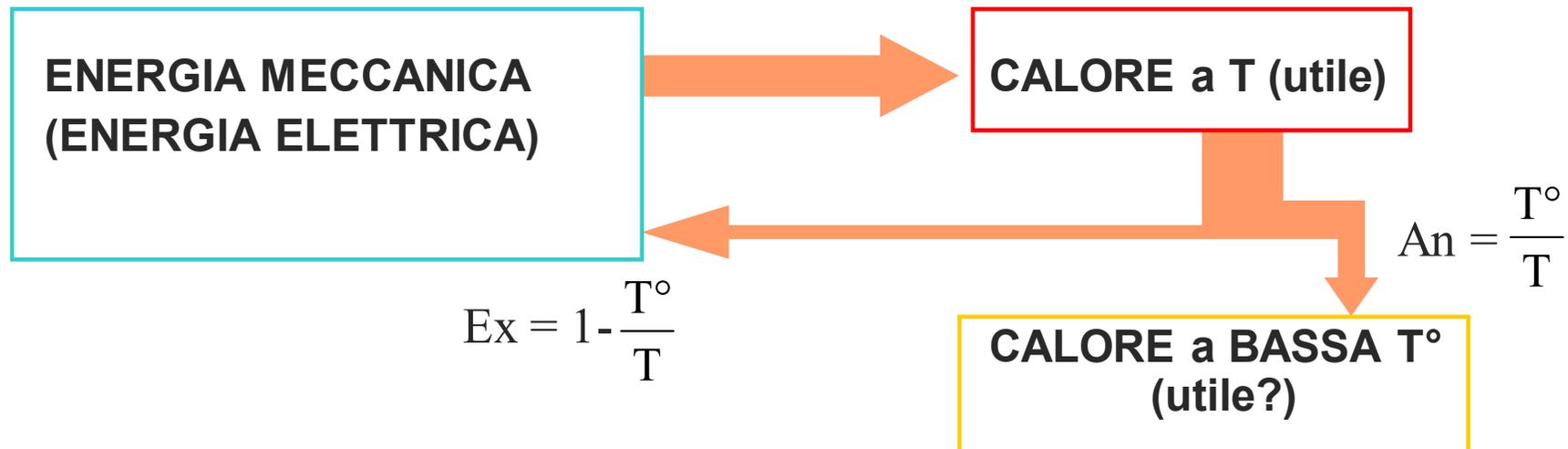
1. Introduzione
2. Tidal energy
3. Wave energy
4. Integrated solutions
5. Conclusioni
6. Bibliografia

Introduzione – 1° & 2° Principio

■ I° Principio

**l'energia NON può essere creata o distrutta
(qual è il “PROBLEMA ENERGETICO”?)**

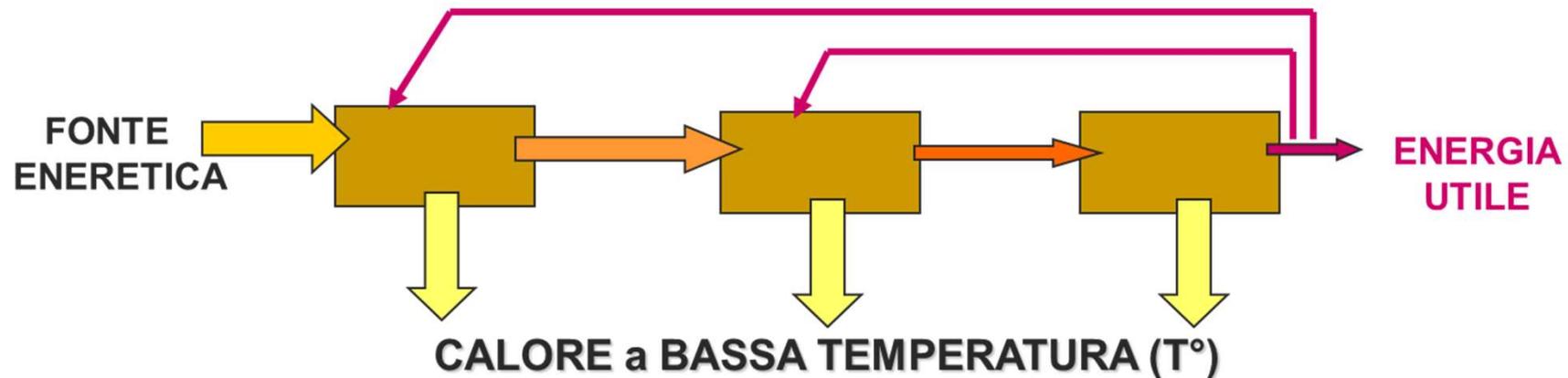
■ II° Principio



Introduzione: la catena di conversione della energia

II° Principio  nei processi FISICI:

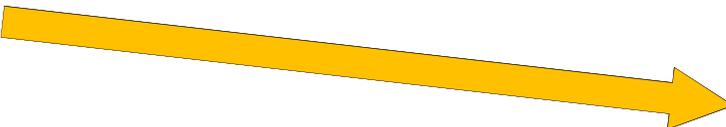
- L'energia meccanica (elettrica, chimica ...) tende a degradarsi ed a “scarseggiare”;
- Ogni processo di conversione produce calore a bassa T;
- Il calore è tanto più facilmente disponibile quanto più la sua T è bassa (prossima a T°).



La produzione di energia rinnovabile in aree marine

✓ **Raccogliere energia rinnovabile in forma meccanica (cinetica, potenziale o elettro-magnetica) è generalmente più efficiente che in forma termica!**

■ Solar PV 

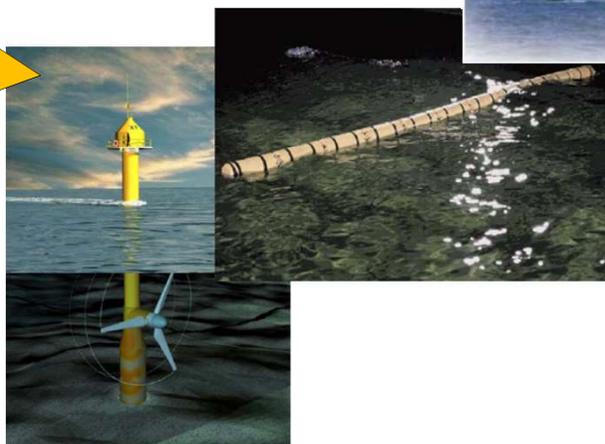
■ Wind 

■ Waves 

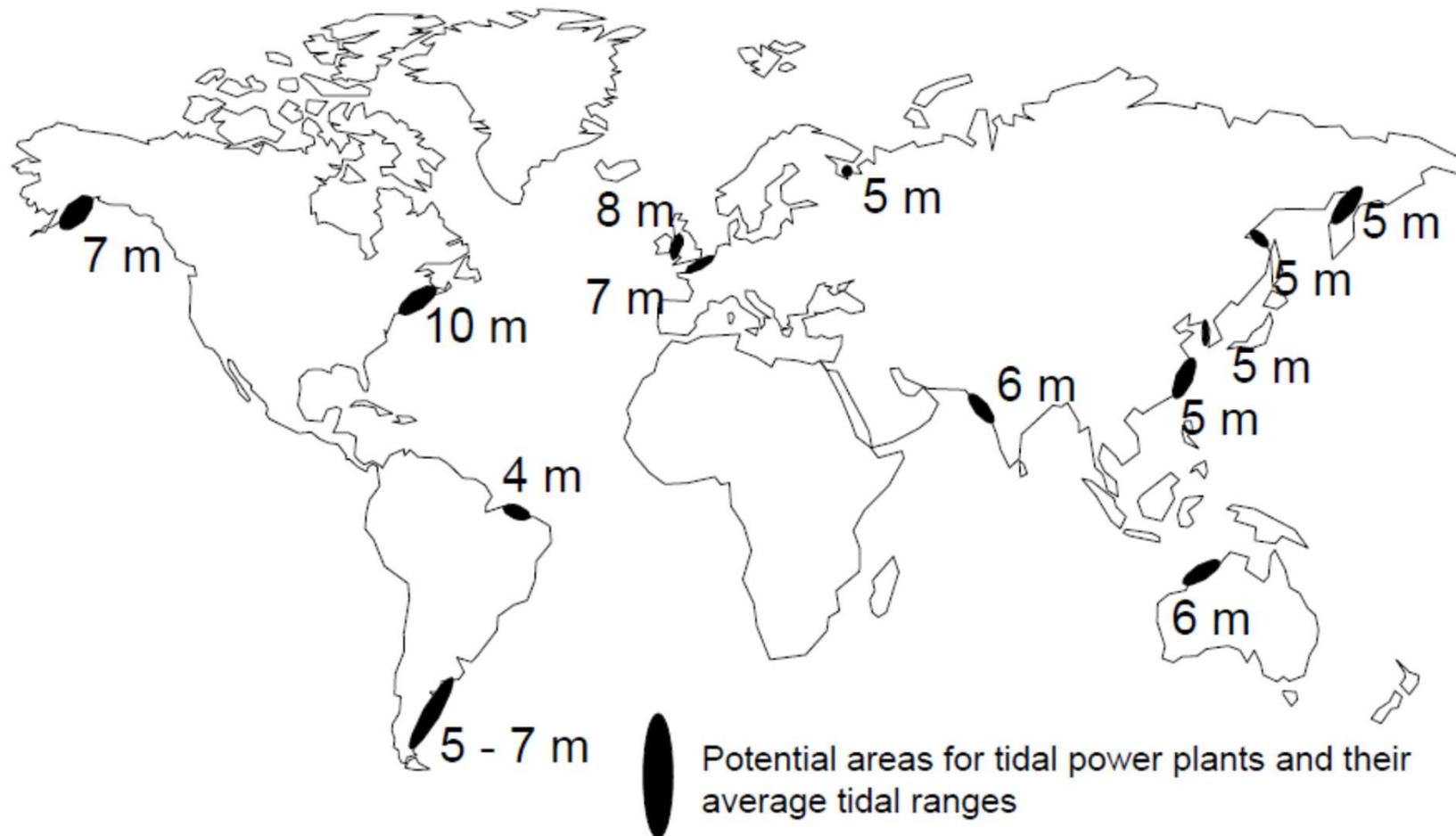
■ Tidal currents 

■ Solar thermal

■ Ocean Thermal (OTEC)

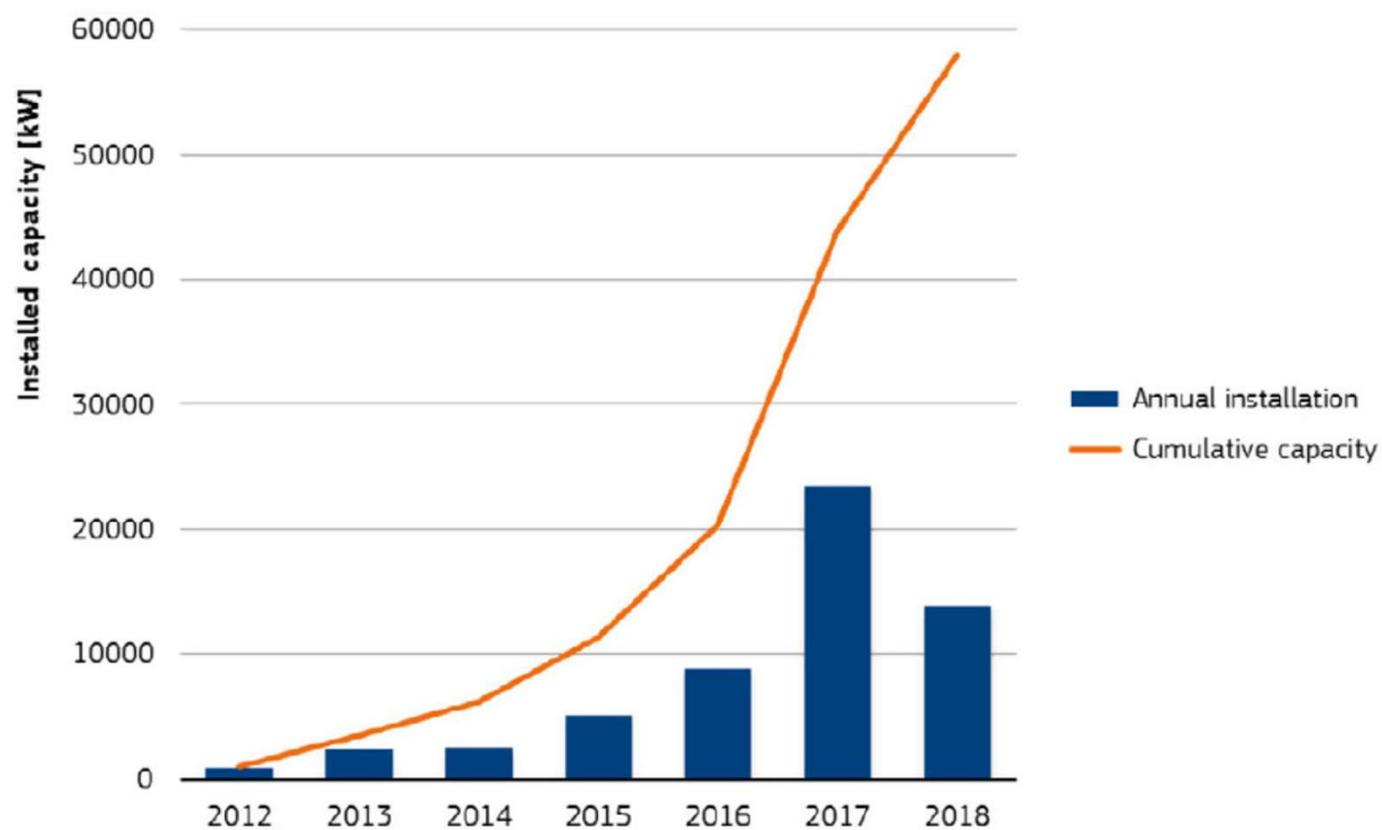


Tidal energy

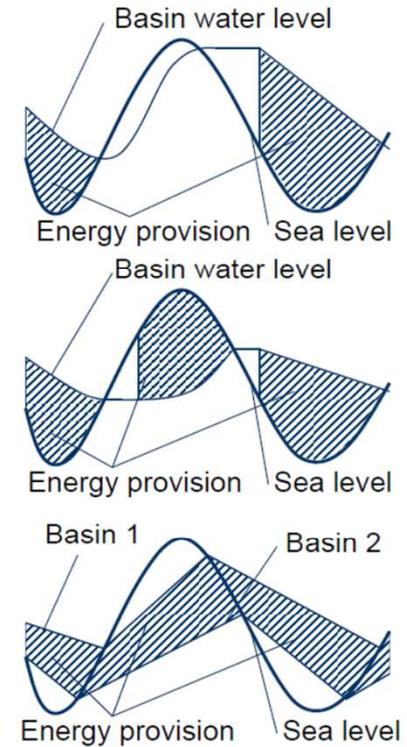
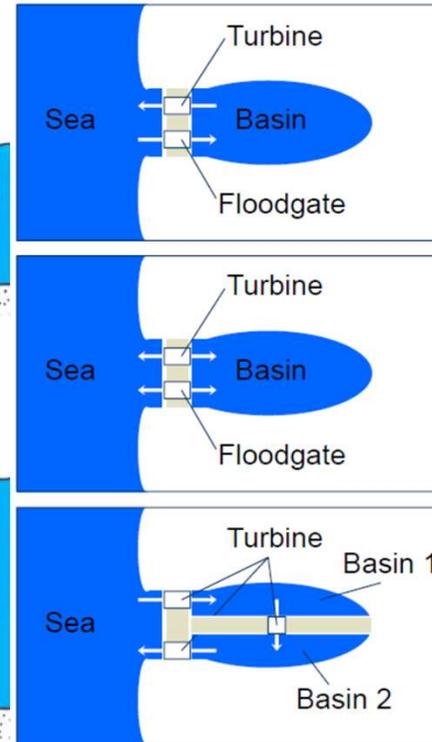
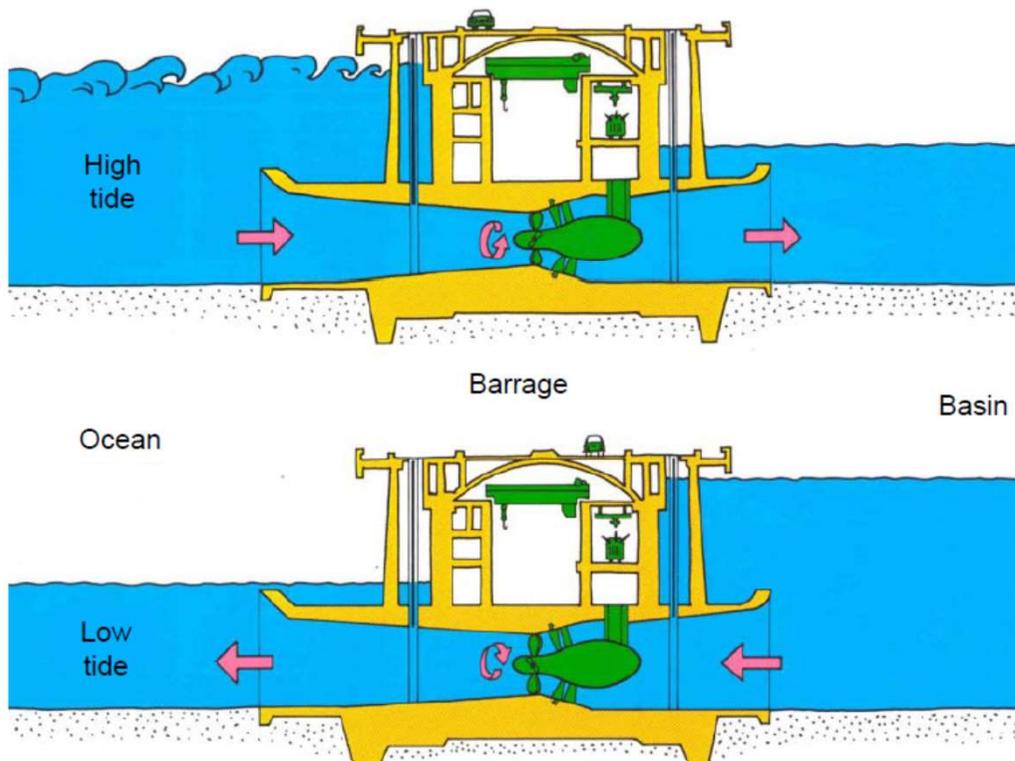


Tidal energy

D. Magagna, A. Uihlein / International Journal of Marine Energy 11 (2015) 84–104



Tidal energy



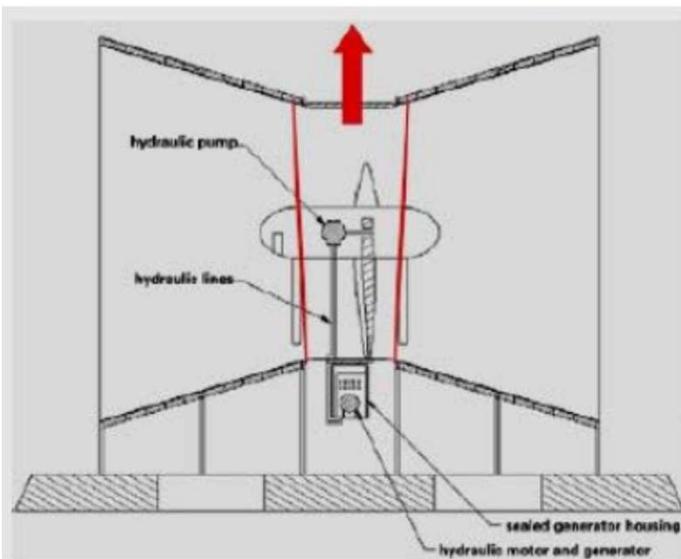
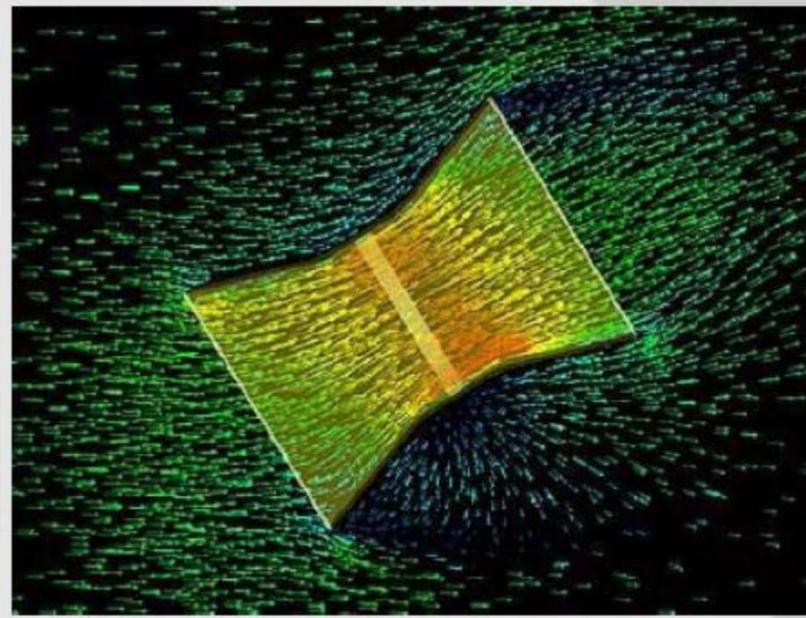
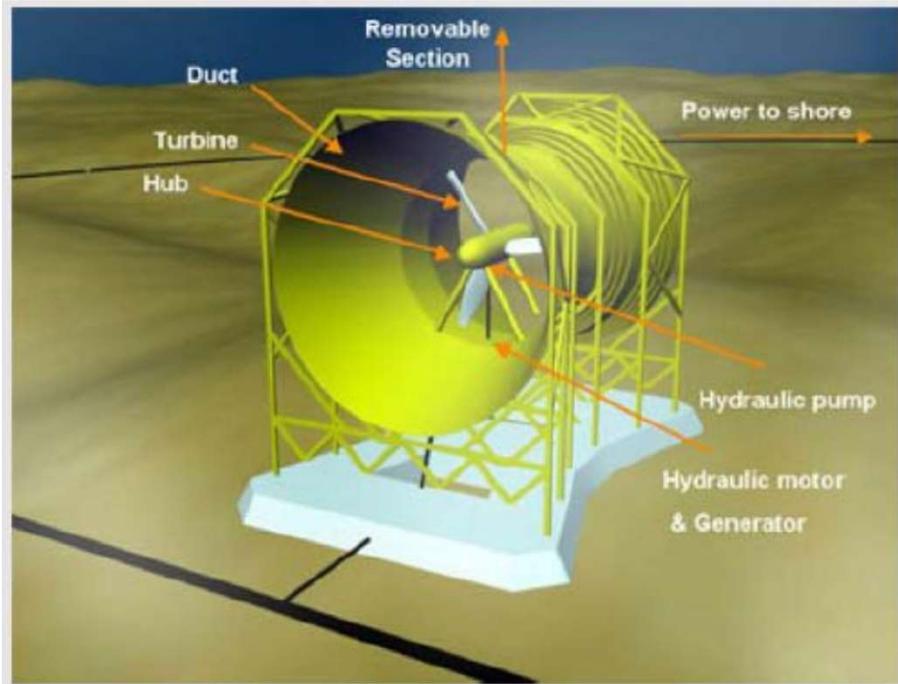
Working principle of tidal power plants

Head: 5.6 m
 Capacity: 240 MW
 Year of construction: 1967



Tidal power plant in St. Malo - mouth of the river Rance France

Tidal energy



- flow casing
- hydrodynamic drive train
- 1 MW plant being designed/implemented



- Lunar Energy

Tidal energy

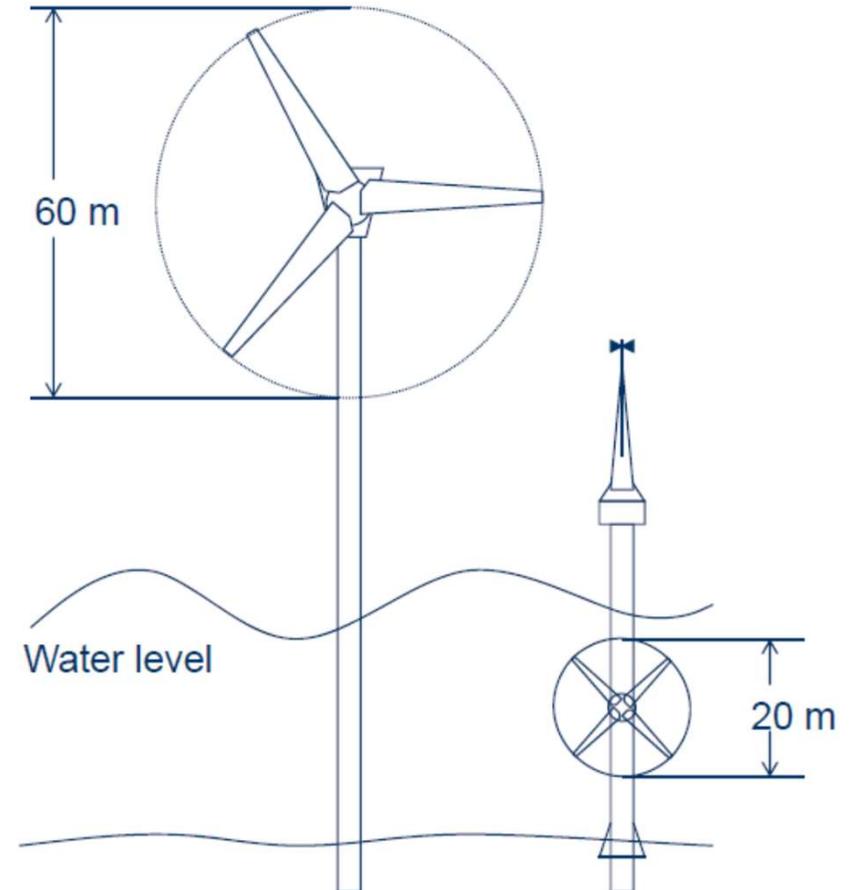
- Seaflow

Rotor diameter: 11 m
Hub depth: approx. 15 m

Nominal capacity: 300 kW at
2.7 m/s

Number of revolutions:
approx 15 r/min

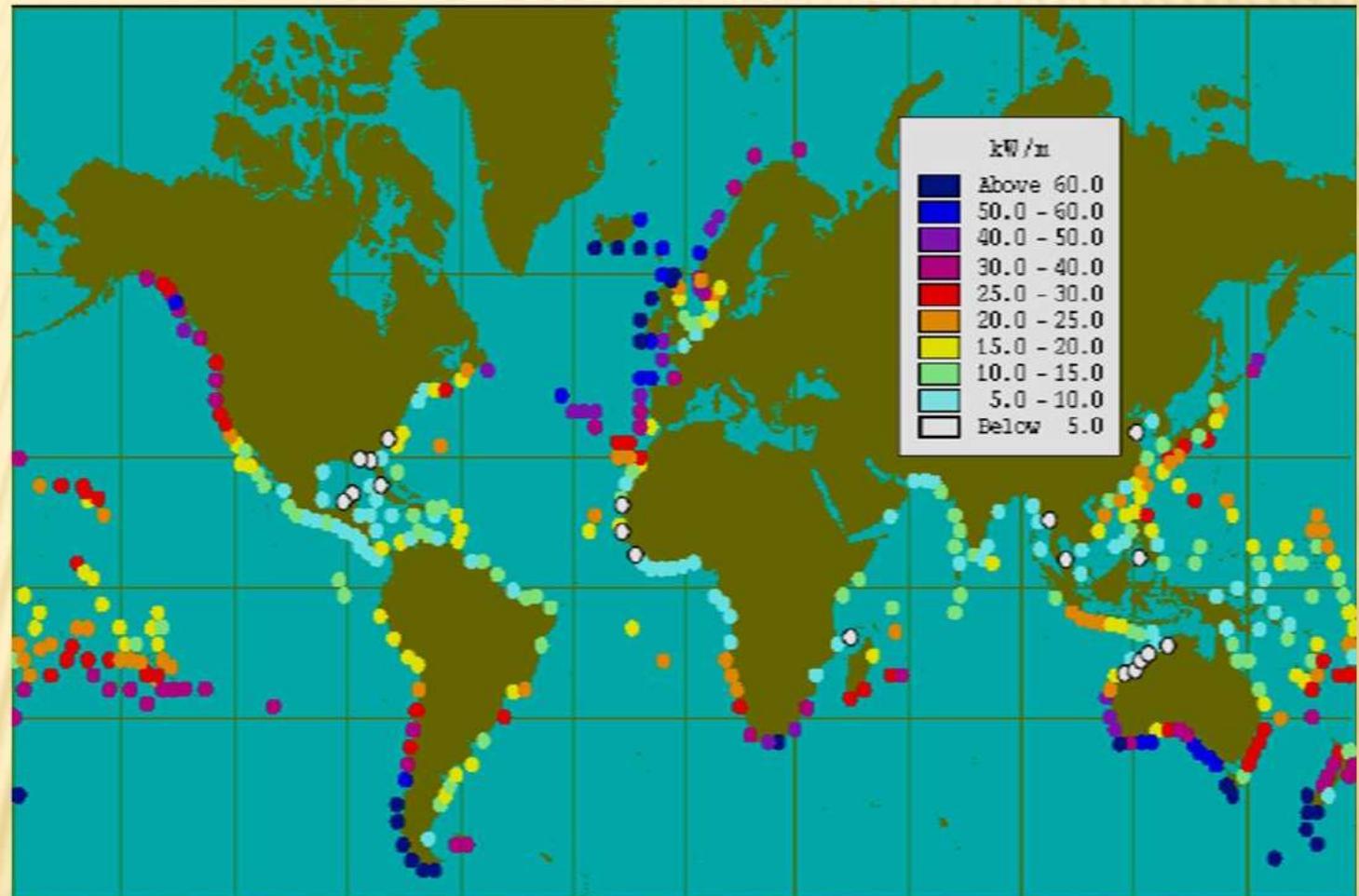
Blade pitch mechanism
Variable speed
Rotor lift



Wave energy

The strongest winds blow between 30° and 60° in latitude.

Western coastlines at these latitudes experience the most powerful waves.



Global Wave Energy Resource Distribution

(measuring the amount of power in kW contained in each linear meter of wave front)

$$P = \frac{\rho g^2 h^2 T}{64\pi} \quad [W/m]$$

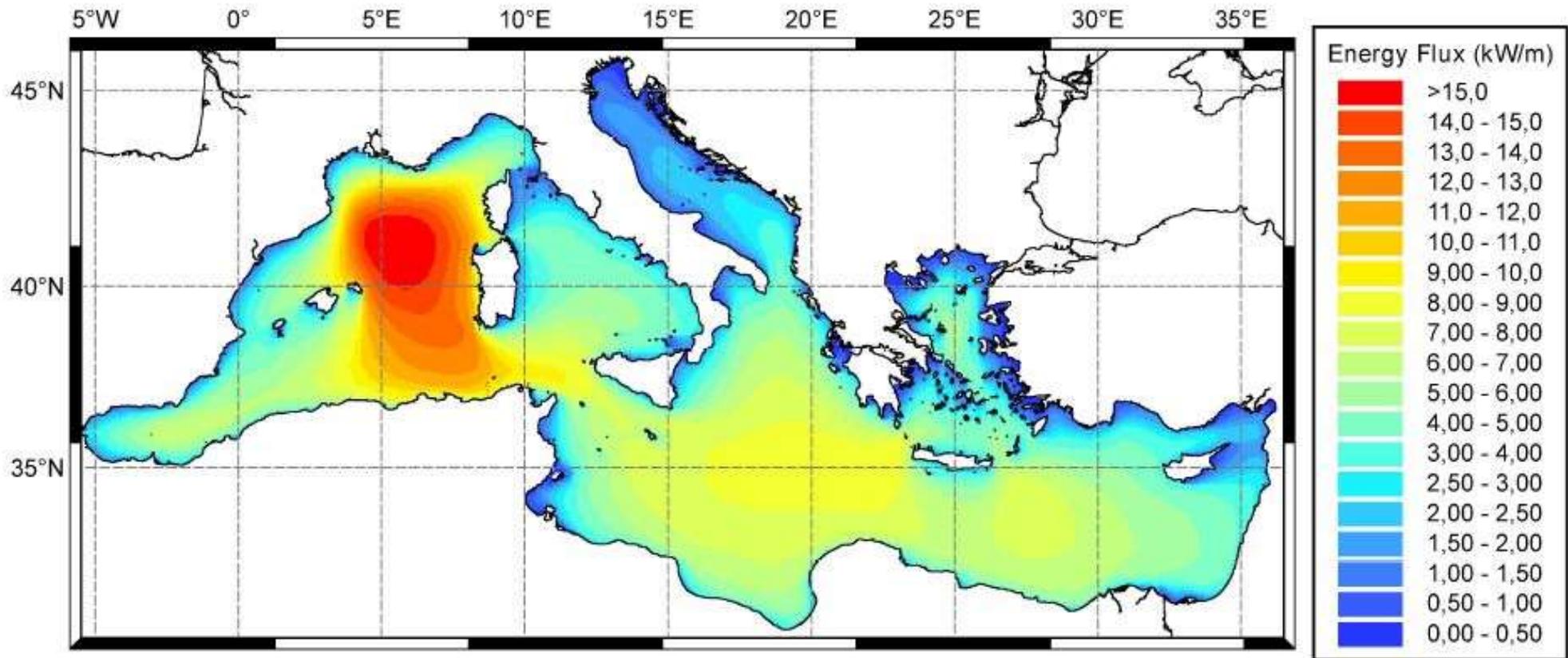
Wave energy

La potenza dell'onda, per onde regolari e per una cresta dell'onda larga 1 metro è:

$$P = \frac{\rho g^2 h^2 T}{64\pi} \quad [W/m]$$

- ✓ ρ è la densità dell'acqua in kg/m^3 , g è la costante di gravità, h è l'ampiezza dell'onda e T è il periodo.
- ✓ Il "livello di energia dell'onda" è solitamente espresso come potenza per unità di lunghezza (lungo la cresta dell'onda o lungo la direzione della costa); i valori medi tipici per "buone" località offshore sono 20-70 kW/m e si presentano principalmente a latitudini moderate o alte.
- ✓ Nel bacino del Mediterraneo, P al largo delle coste dei paesi europei varia tra 4 e 11 kW/m. L'intera risorsa annuale lungo le coste europee nel Mediterraneo è di circa 30 GW, quella totale per l'Europa risulta quindi 320 GW.
- ✓ Quando si confronta l'energia delle onde con altre importanti fonti di energia rinnovabile (energia eolica e fotovoltaica), il suo più grande vantaggio è che offre la massima densità energetica. Un altro fattore importante è che rappresenta una fonte di energia più costante e prevedibile.

Wave energy

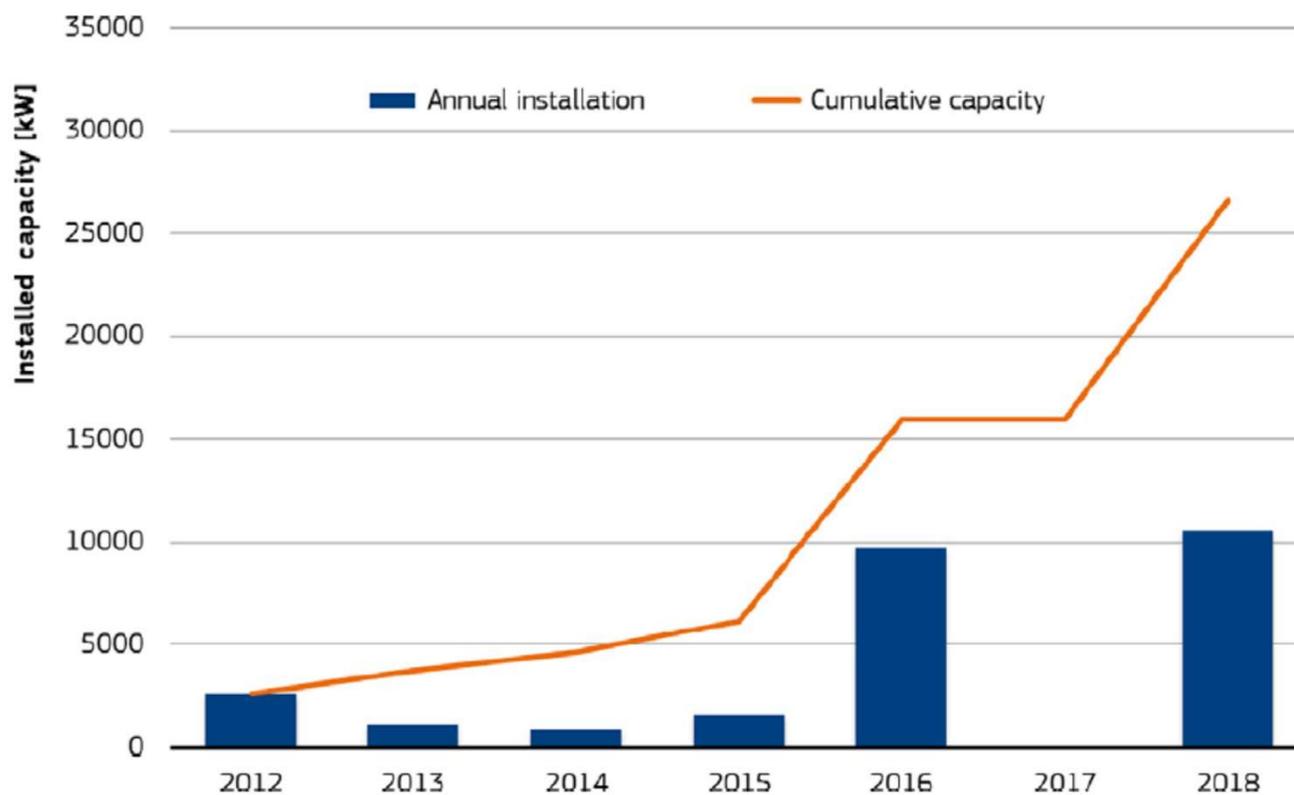


N.B.:

- A causa della fisica della propagazione delle onde, i piccoli convertitori di energia possono estrarre, in linea di principio, energia da un fronte d'onda molto più grande della propria dimensione.
- Inoltre alcune tecnologie consentono di disporre i convertitori su più fronti, analogamente a quanto avviene nei parchi eolici.

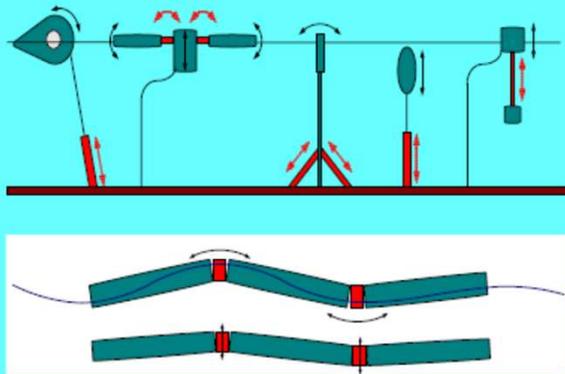
Wave energy

D. Magagna, A. Uihlein/International Journal of Marine Energy 11 (2015) 84–104



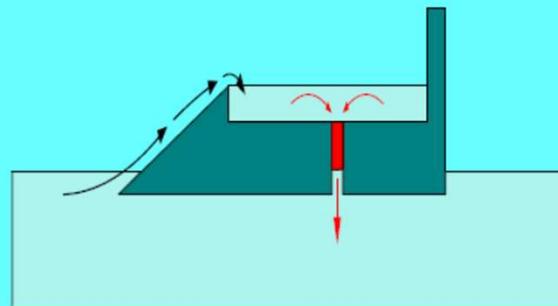
Wave energy

Hydrodynamic movement



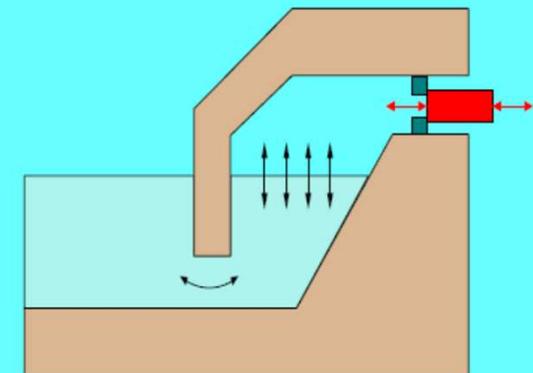
I moti relativi tra segmenti di corpi galleggianti o immersi vengono utilizzati da sistemi meccanici/idraulici per convertire energia meccanica in elettrica. Esempi: Point Absorbers (oscillazione verticale), Rotating Mass, Submerged Pressure Differential (pompaggio).

Wave induced head



Strutture galleggianti rigide che focalizzano le onde in modo da far riempire un serbatoio con un livello dell'acqua superiore a quello naturale. Il differenziale di energia potenziale che si stabilisce è il salto idraulico che mette in rotazione una turbina a bassa prevalenza.

Oscillating water column (OWC)



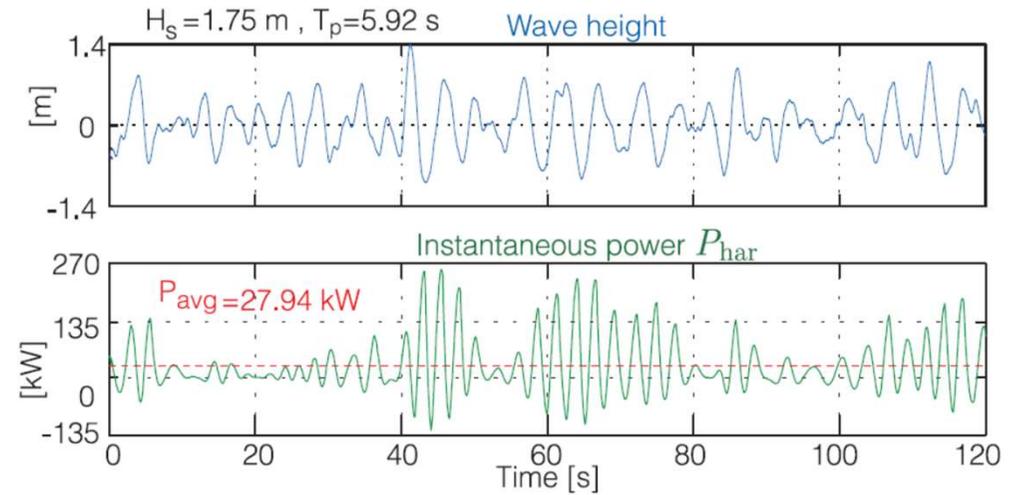
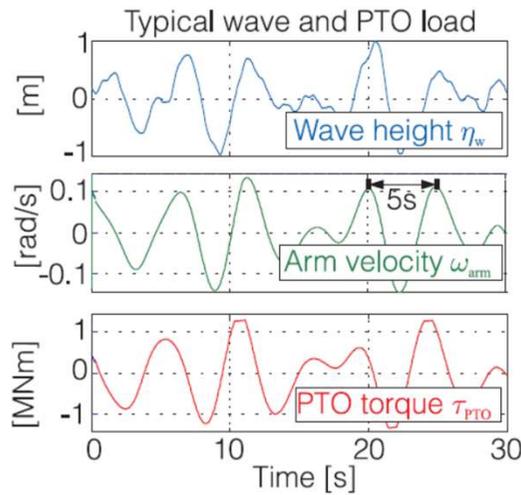
Il livello dell'acqua varia nella camera esterna e induce una analoga variazione nella camera interna, dove una massa d'aria viene, alternativamente, compressa ed espansa, mettendo in movimento una turbina Wells.

Wave energy

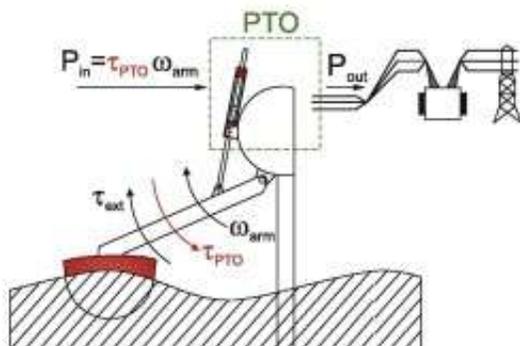
System	Energy extractor	Structure types	Example	Remarks
Oscillating water column	Air turbine	Fixed structure	Pico	Isolated
			LIMPET	
			Sakata	Breakwater
			Mutriku	
		Floating	Mighty Whale	-----
			Sperboy	
Oceanlinx				
Oscillating bodies	Hydraulic motor, hydraulic turbine and linear electrical generator	Floating	AquaBuoy	Essentially translation
			IPS Buoy	
			FO3	
			Wavebob	
			PowerBuoy	
			Pelamis	Essentially rotation
		PS Frog		
		SEAREV		
		Submerged	AWS	Essentially translation
WaveRoller	Rotation with bottom hinged			
Oyster				
Overtopping	Low head hydraulic turbine	Fixed structure	TAPCHAN	Shoreline
			SSG	Breakwater
		Floating	Wave Dragon	-----

Wave energy

- Wave Star

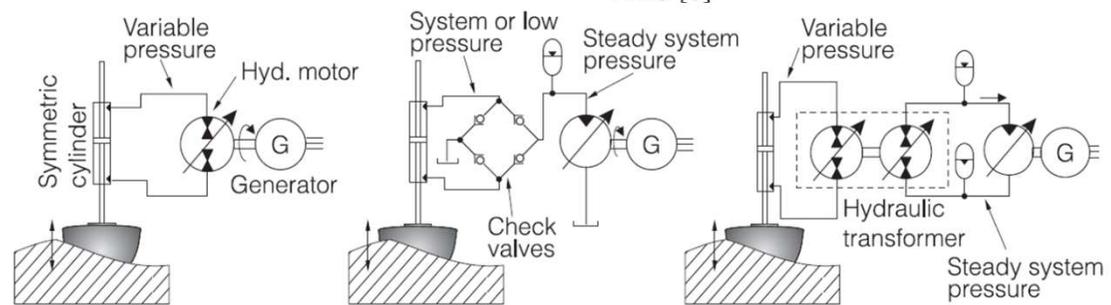
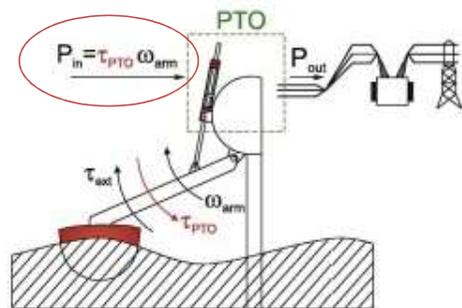
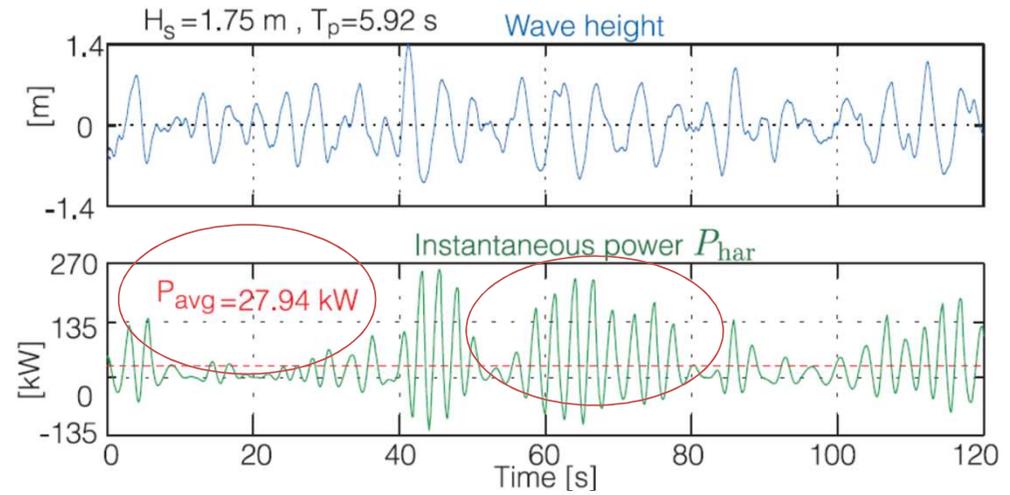
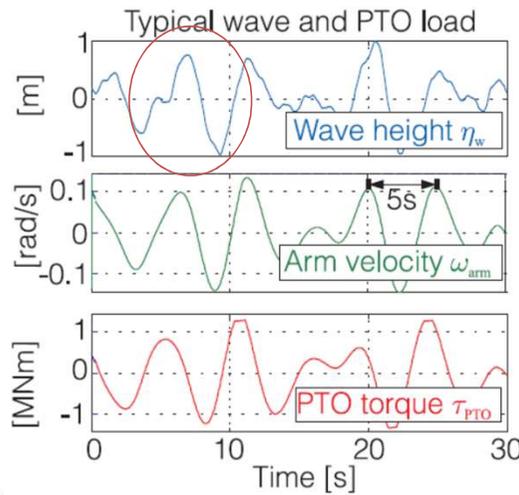


Wave Star WEC 2-section prototype



Wave energy

- Wave Star



- ✓ Un sistema PTO (Power Take-Off) efficiente e affidabile rappresenta la sfida principale.
- ✓ Le oscillazioni dei corpi causati dalle onde sono molto lenti, bidirezionali e irregolari.
- ✓ Pertanto, la densità di coppia per la potenza dell'onda è molto grande. Inoltre, esiste un fattore maggiore di 10 tra potenza media e potenza di picco.
- ✓ Il picco contribuisce fortemente alla produzione complessiva e non dovrebbe essere semplicemente scartato.
- ✓ L'energia dell'onda è raggruppata pacchetti. Di conseguenza, è necessario accumulare energia per immagazzinare i picchi e usarli per mantenere la produzione tra gruppi di onde.

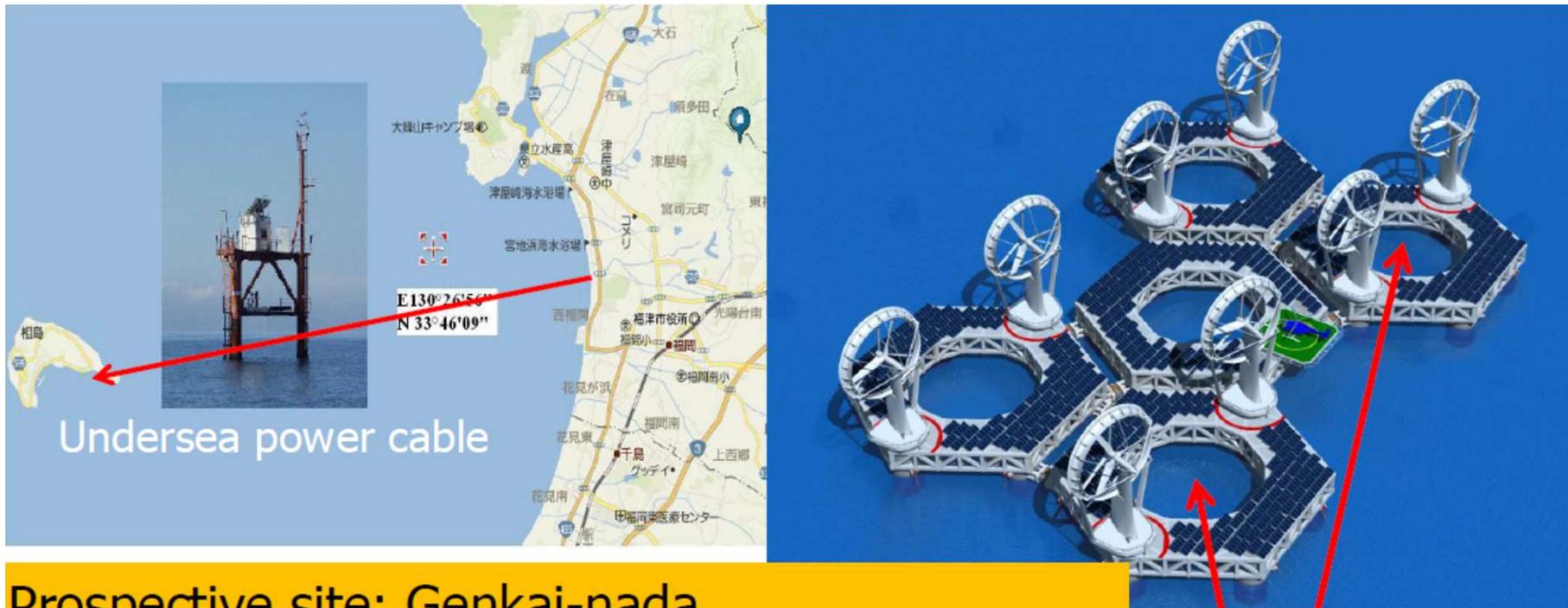
Integrated Ocean energy

- Wave Star+Wind turbine



Integrated Ocean energy

- Multiple 100m-class Floating Bodies and 300kW Wind Lens turbines



Prospective site: Genkai-nada
Fisherman's unions give us a positive response

Annual mean wind speed on the sea is larger than that on land of 1-2 m/s
→ Twofold total power output will be expected

marine farm

PRIME CONCLUSIONI

- ✓ Raccogliere energia rinnovabile in forma meccanica è generalmente più efficiente che in forma termica, DUNQUE correnti e onde marine sono certamente sorgenti rinnovabili di interesse;
- ✓ I dispositivi di conversione (in particolare i WEC) richiedono la progettazione e lo sviluppo di componenti «ad hoc» non presenti sul mercato della componentistica idraulica / elettrica standard:
 - I ricevitori devono trasmettere grandi coppie, lavorando con velocità basse,
 - La potenza ha un andamento periodico, con grande variabilità tra picco e gola,
 - È generalmente necessaria l'integrazione con dispositivi di accumulo e «appiattimento» della potenza,
 - La progettazione cinematica e fluidodinamica dei dispositivi deve essere specifica per la densità di potenza delle onde / correnti de sito che si considera.
 - È fortemente auspicabile la integrazione con altre fonti rinnovabili off-shore (eolico e fotovoltaico).



Wave energy



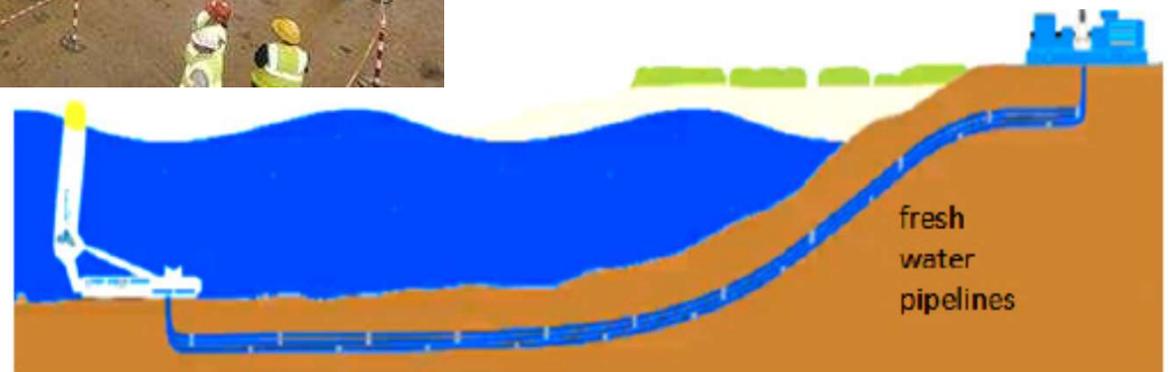
Oyster energy converter



Sistema di produzione:
È un motore idraulico,
accoppiato col captatore,
basato a terra.

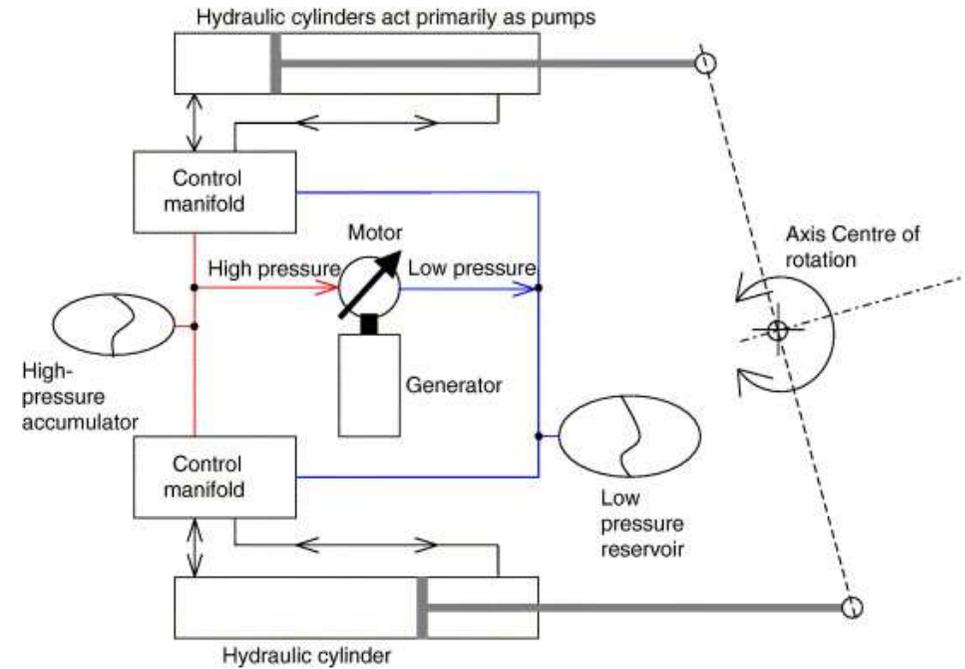
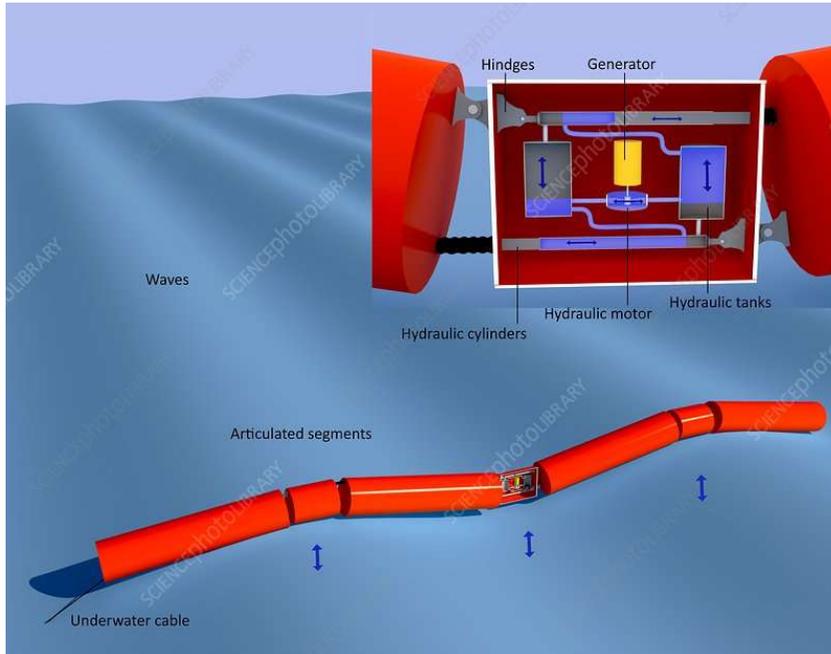
Sistema captatore:

È un oscillatore a ribalta incernierato sul fondo, Un sistema idraulico pompa acqua ad alta pressione in una condotta che raggiunge la riva.



Wave energy

- **PELAMIS – P2**



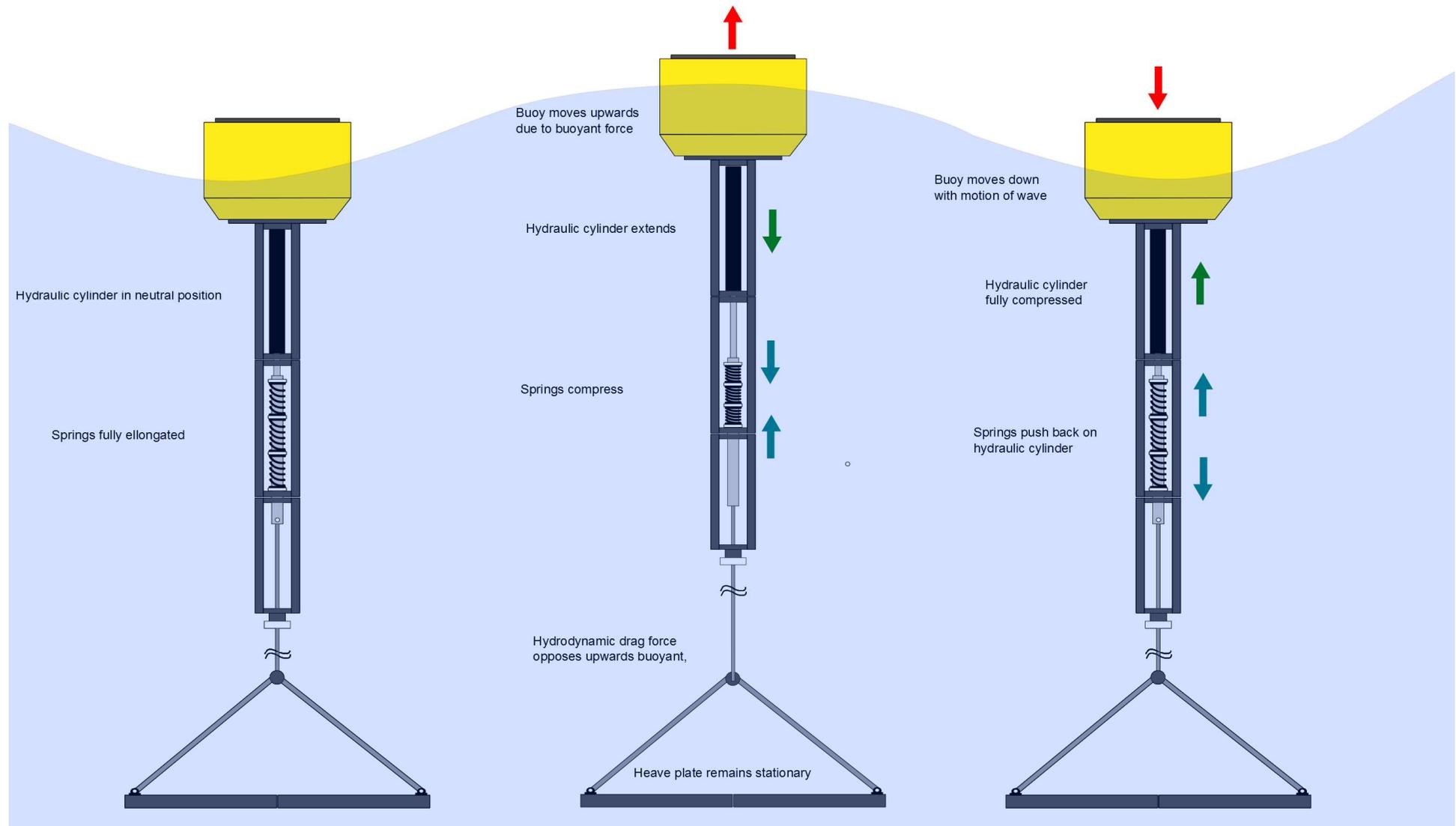
Wave energy

- Buoy**

Fase 1: la boa inizia a muoversi dalla gola

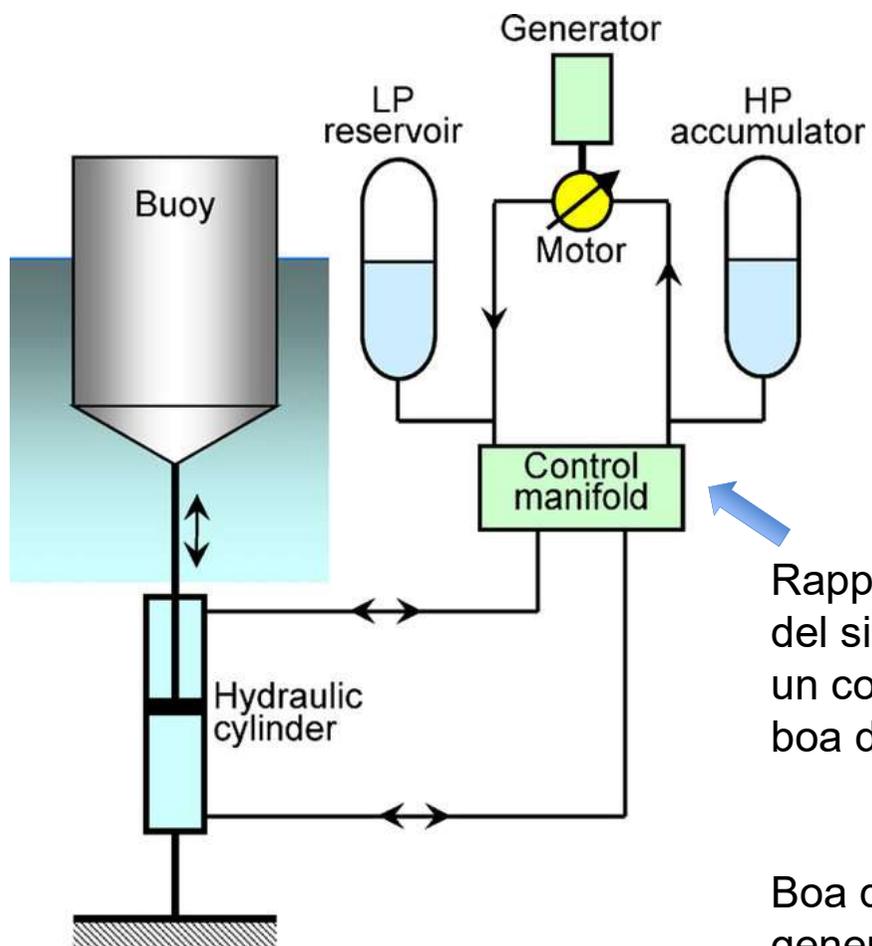
Fase 2: la boa si muove verso la cresta, la piastra di contrasto resta in posizione

Fase 3: la boa ritorna nella gola



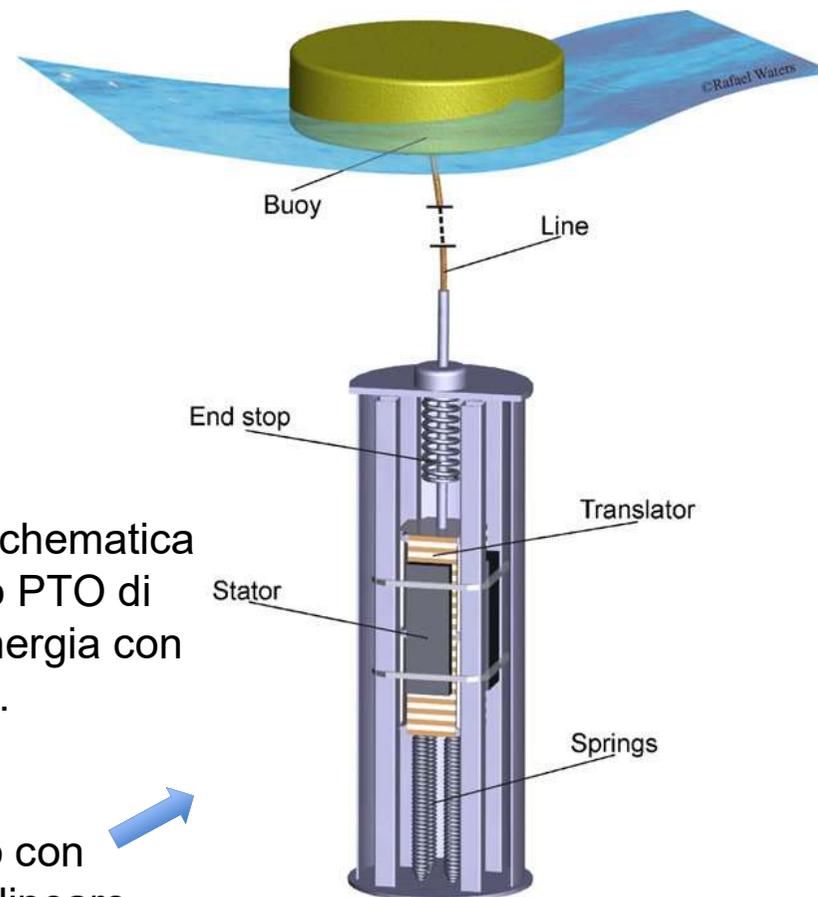
Wave energy

- Buoy



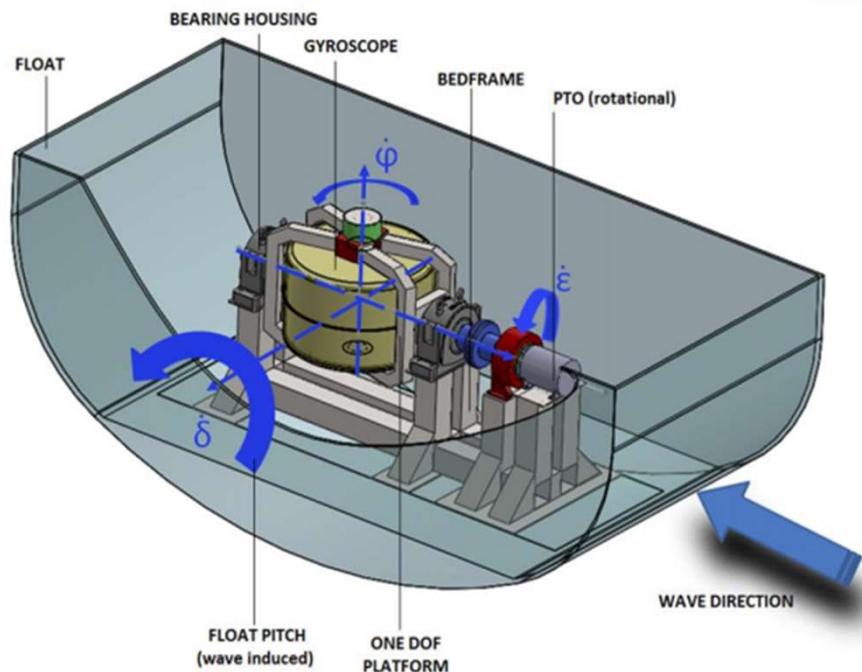
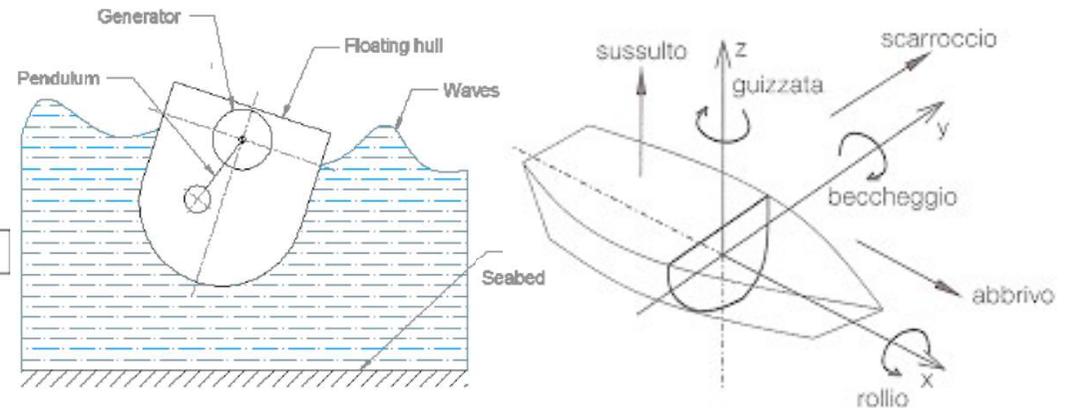
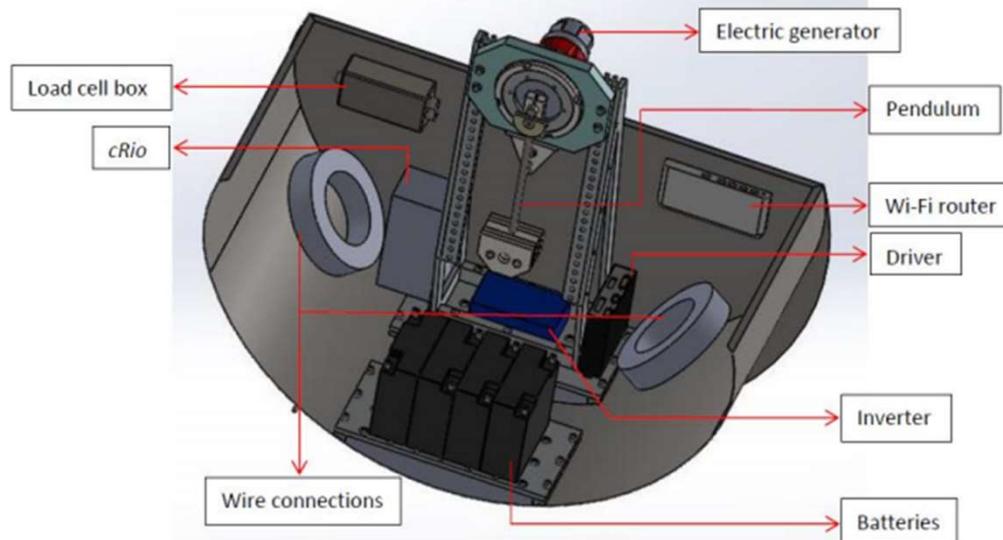
Rappresentazione schematica del sistema idraulico PTO di un convertitore di energia con boa di sollevamento.

Boa di sollevamento con generatore elettrico lineare.



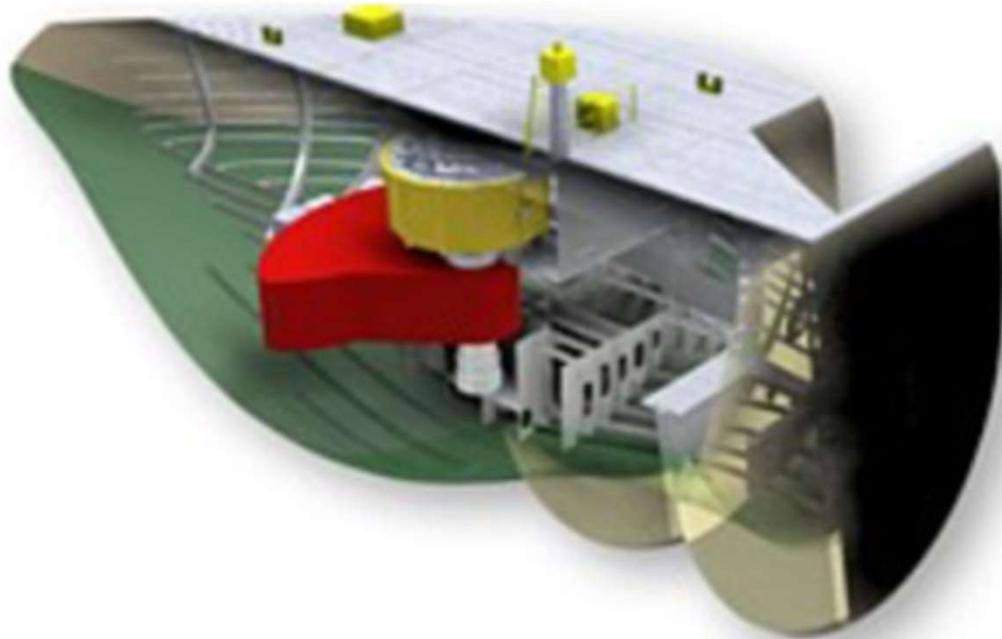
Wave energy

- PEWEC Pendulum Wave Energy Converter



- ISWEC Inertial Sea Wave Energy Converter
- ✓ Il telaio del giroscopio, che è vincolato al generatore elettrico (1 grado di libertà ϵ) e può ruotare (rollare) attorno all'asse longitudinale.
- ✓ il rotore (o volano) è lasciato libero di girare ϕ (ma è comandato da un apposito motore elettrico).
- ✓ Il galleggiante, quando viene investito dall'onda è soggetto a beccheggio δ , mentre il rotore ha una propria velocità angolare di rotazione.
- ✓ La combinazione delle due velocità angolari genera una coppia, detta coppia giroscopica, in grado di mettere in oscillazione il giroscopio attorno all'asse di rollio ϵ fornendo energia meccanica al generatore
- ✓ Il funzionamento è pertanto basato su un sistema inerziale risonante con il moto ondoso.

Wave energy

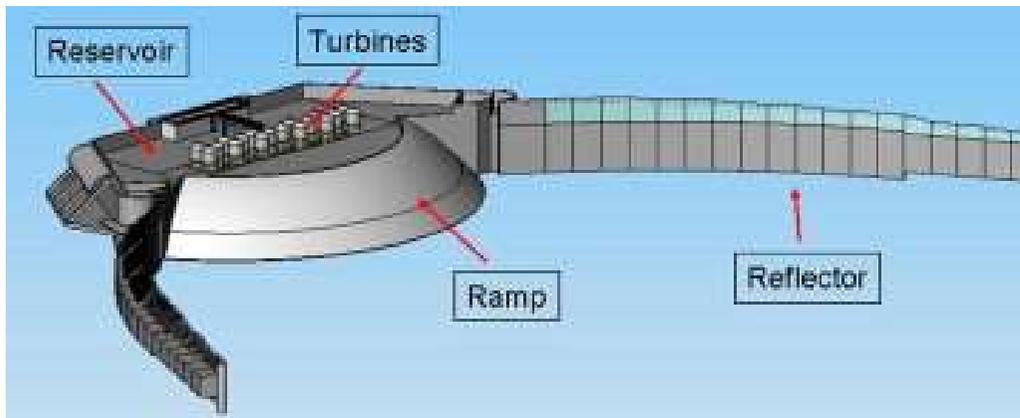


- PENGUIN WELLO OY
- ✓ È un dispositivo galleggiante, a massa rotante, con la caratteristica di avere il collegamento diretto tra il rotore (in rosso) e il generatore (in giallo).
- ✓ Lo scafo è modellato per ottimizzare la conversione di energia in base alle condizioni delle onde del sito locale.
- ✓ Esiste una versione che può sostituire lo stabilizzatore giroscopico sulle grandi imbarcazioni.



Wave energy

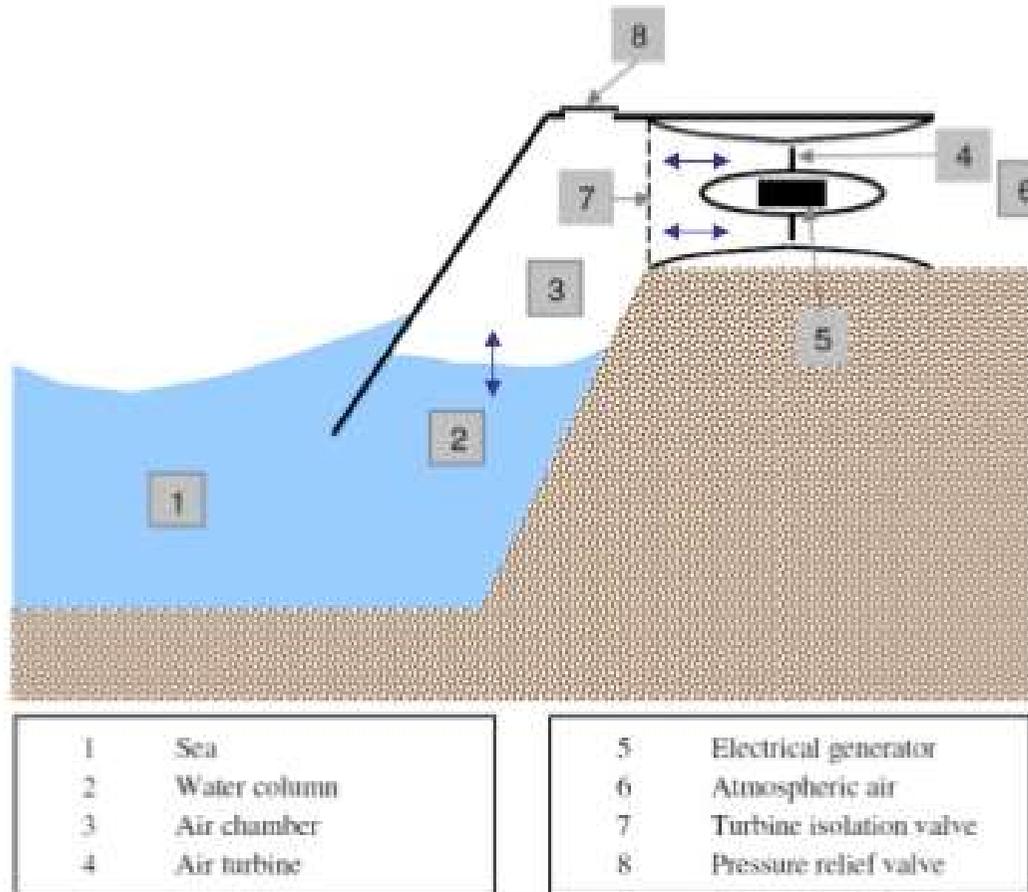
- Wave Dragon



	Prototype 1 : 4.5	Large-scale implementation
Distance between the wave reflectors	57 m	260 m
Length of the wave reflector	28 m	125 m
Width of the ramp	27 m	120 m
Width of the reservoir	55 m ³	5 000 m ³
Weight	237 t	21 750 t
Nominal capacity	20 kW	4 000 kW
Head	0.7 m	3.0 m
Turbine efficiency	87 %	91 %

Wave energy

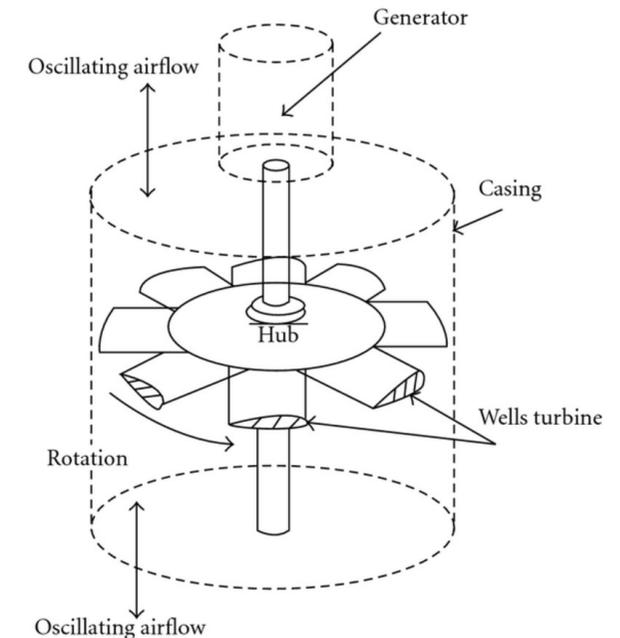
- **Oscillating water column + Well Turbine**



I dispositivi OWC convenzionali sono posizionati sul litorale, ad esempio:

- Limpet, Scozia
- Pico Azzorre
- Sanze, Giappone

Lo sfruttamento delle onde riduce l'energia che investe il litorale.

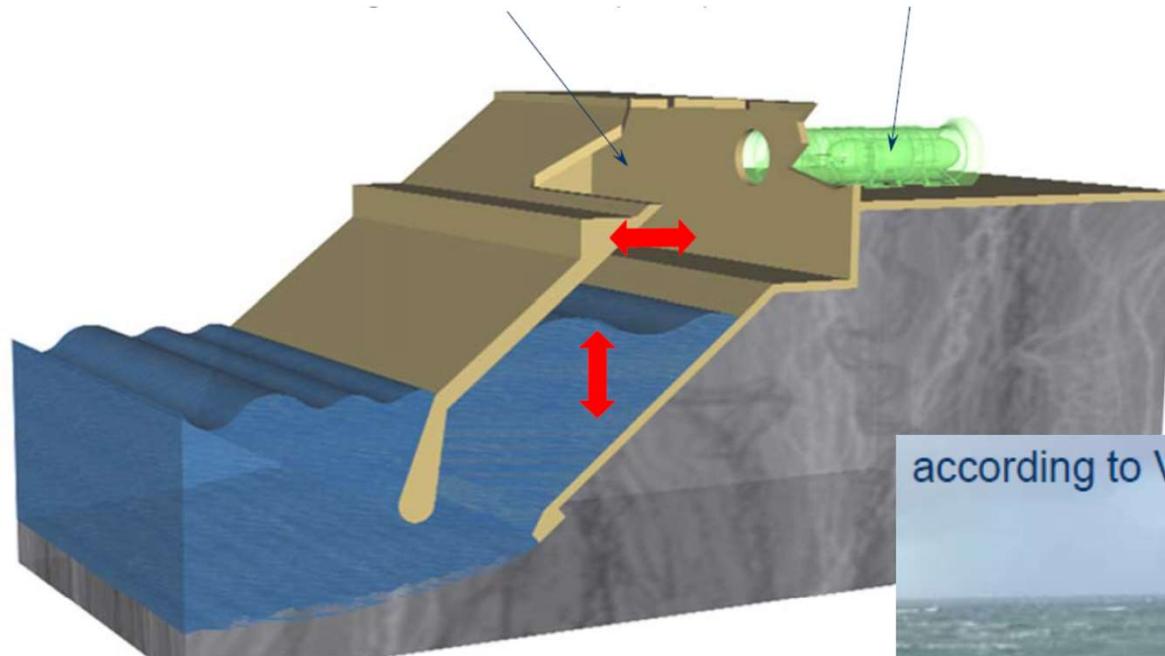


Wave energy

- Oscillating water column + Well Turbine

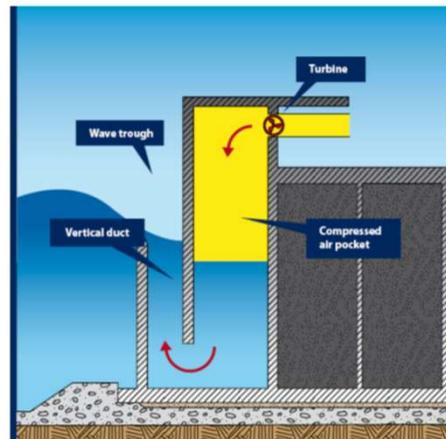
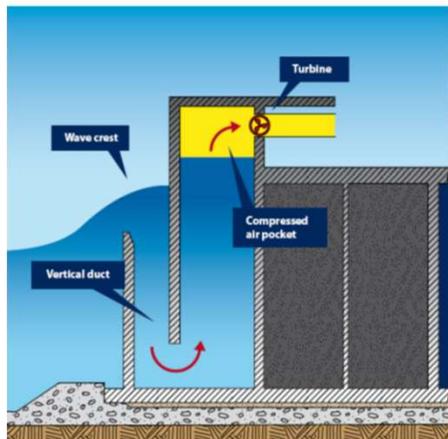
REWEC3

La presenza di una doppia camera permette alla colonna d'aria di oscillare in RISONANZA con la frequenza delle onde incidenti, massimizzando la estrazione di potenza.



Wave crest

Wave trough

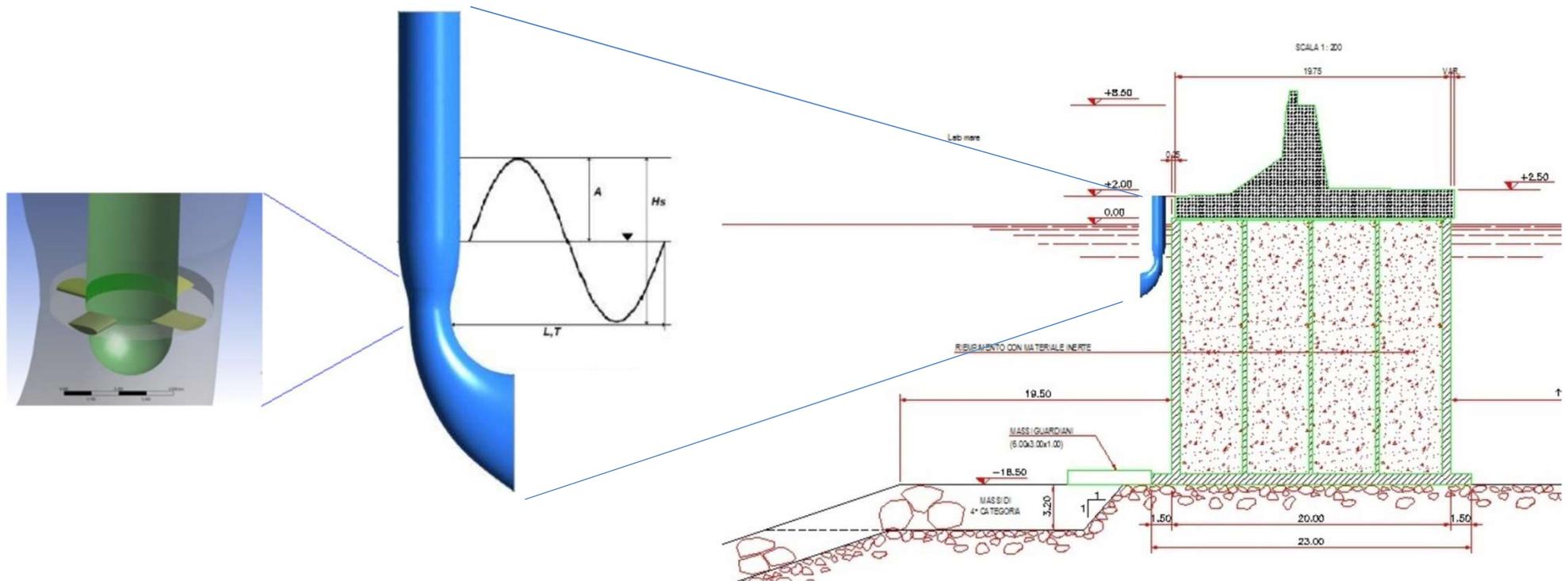


according to Voith/Siemens



Wave energy

- WaveSAX (Oscillating water column)



- ✓ Si basa sul principio della colonna d'acqua oscillante con una configurazione innovativa in cui l'acqua può seguire un movimento verticale ascendente e discendente all'interno di un tubo, trasformando l'energia idraulica in elettricità attraverso una turbina e un generatore posizionati nella fase liquida.
- ✓ WaveSax potrà essere installato nei pressi di strutture costiere tipiche, come moli dei porti, banchine, antimurali e frangiflutti, evitando ogni impatto sull'ambiente marino.

Wave energy

- Sommario dei progetti recentemente realizzati

POINT ABSORBER

- Mar Mediterraneo → 10÷50 kW/unit

PELAMIS

- Scozia → 750 kW/unit
- **Potenzialità futura:** 3 MW, 4 unità

OWC Oscillating Water Column

- Scozia → 500 kW
- Azzorre → 400 kW
- India → 150 kW
- Giappone → 60 kW

WEST DRAGON

- Danimarca → 4÷11 MW
- **Potenzialità futura:** 50 MW

REWEC 3 (OWC)

- Civitavecchia → 20 kW/turbina
- **Potenzialità futura:** 135 turbine, 2.7 MW
- Considerato 1 km di costa, si producono:
 - 6÷9 GWh/anno nel Mediterraneo;
 - 40 GWh/anno nell'Oceano Atlantico;
 - 66 GWh/anno in California.

PENGUIN WELLO OY

- Scozia → 600 kW

ISWEC Inertial Sea Wave Energy Converter

- Pantelleria → 100 kW
- **Potenzialità futura:** 10 unità, 1 MW

PEWEC PEndulun Wave Energy Converter

- Mar Mediterraneo → 400 kW
- **Potenzialità futura:** 3 MW

ULTERIORI CONCLUSIONI

- ✓ Esistono e sono allo studio un gran numero di dispositivi WEC per l'estrazione di energia rinnovabile dalle onde del mare, basati su diversi principi;
- ✓ La potenzialità installata sta crescendo rapidamente (8-10.000 kW/anno);
- ✓ L'attesa è che prevarranno i sistemi in grado di operare con diverse densità di energia delle onde con minimi adattamenti e quelli in grado di integrarsi in strutture costiere esistenti, o comunque da realizzare, quali banchine e frangiflutti;
- ✓ Una larga diffusione dei dispositivi WEC sarebbe decisamente favorita dalla possibilità di produrli in grande serie, avvantaggiandosi delle economie di scala e riducendo i costi unitari della singola installazione (è quello che ci insegna la storia della diffusione del fotovoltaico a base silicio!)



Bibliography

- <https://ourworldindata.org/renewables>
- <https://www.weforum.org/agenda/2017/06/china-worlds-largest-floating-solar-power/>
- <https://www.tudelft.nl/ocean-energy/research/wave-energy/>
- <https://www.nrel.gov/docs/gen/fy07/40462.pdf>
- [http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Deep Water.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Deep_Water.pdf)