



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centrale

Porti di Pesaro, Falconara, Ancona, S. Benedetto, Pescara, Ortona, Vasto

## AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO CENTRALE



### ALLEGATO 1 ANALISI DELLE TECNOLOGIE PER LA DECARBONIZZAZIONE DEL SISTEMA PORTUALE MAC

Per la Direzione Tecnica

RUP Ing. Gianluca PELLEGRINI; DEC Ing. Laura ROTOLONI

Per il supporto tecnico specialistico il Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

MODIMAR – ACQUATECNO – SEACON – ENVIRONMENT PARK- MIGLIACCIO - FRANCALANZA - GEOLOGI ASSOCIATI FANTUCCI E STOCCHI



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centrale

Porti di Pesaro, Falconara, Ancona, S. Benedetto, Pescara, Ortona, Vasto

*ALLEGATO 1 ANALISI DELLE TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DI  
ENERGIE DA FONTI RINNOVABILI NEI PORTI DEL SISTEMA  
PORTUALE MAC*

## Sommario

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>2. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FOTOVOLTAICO.....</b>	<b>6</b>
2.1. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici nei porti del Sistema Portuale MAC	7
2.1.1. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Ancona .....	7
2.1.2. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Pesaro .....	9
2.1.3. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di San Benedetto del Tronto .....	10
2.1.4. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Pescara.....	11
2.1.5. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Ortona.....	12
<b>3. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA EOLICO.....</b>	<b>14</b>
3.1.1. Valutazione anemologica stazione mareografica RMN Ancona .....	19
3.1.2. Valutazione anemologica stazione mareografica RMN San Benedetto del Tronto .....	22
3.1.3. Valutazione anemologica stazione mareografica RMN Ortona.....	25
<b>4. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA MOTO ONDOSO .....</b>	<b>29</b>
<b>5. IL RUOLO DELL'IDROGENO NELL'ECOSISTEMA PORTUALE.....</b>	<b>37</b>
<b>Bibliografia e sitografia.....</b>	<b>41</b>
<b>Indice delle figure .....</b>	<b>41</b>
<b>Indice delle tabelle.....</b>	<b>43</b>



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centrale

Porti di Pesaro, Falconara, Ancona, S. Benedetto, Pescara, Ortona, Vasto

*ALLEGATO 1 ANALISI DELLE TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DI  
ENERGIE DA FONTI RINNOVABILI NEI PORTI DEL SISTEMA  
PORTUALE MAC*

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce ha l'obiettivo di fornire un approfondimento sulle tecnologie presenti a livello nazionale e internazionale per la produzione di energia da fonti rinnovabili, compatibili con le realtà portuali del Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale.

La produzione di energia da fonti rinnovabili risponde a quanto prescritto dal c.2, dell'art. 4Bis della Legge 84/1994 *"le Autorità di Sistema Portuale promuovono la redazione del Documento di Pianificazione Energetica ed Ambientale del Sistema Portuale con il fine di perseguire adeguati obiettivi, con particolare riferimento alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>"*. Ciò si allinea, inoltre, agli obiettivi di decarbonizzazione nel settore trasporti definiti nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC) [2], che stabilisce gli obiettivi nazionali energetici e ambientali al 2030. Rispetto all'energia rinnovabile, l'Italia intende perseguire un obiettivo di copertura al 2030 del 30% del consumo finale lordo di energia da fonti rinnovabili. In particolare, per il 2030 intende perseguire un consumo finale lordo di energia di 111 Mtep, di cui circa 33 Mtep da fonti rinnovabili.

Il presente allegato intende dunque approfondire alcune opportunità per il Sistema Portuale, relative a interventi finalizzati alla produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile che non risultano inclusi nelle categorie degli interventi energetico-ambientali così come sono definite dalle Linee Guida per la redazione del DEASP [1], in quanto su di essi non è stata eseguita un'analisi secondo le prescrizioni della normativa vigente in materia di valutazione di fattibilità e analisi costi-benefici. Gli interventi di cui si propone l'approfondimento sono della tipologia *"interventi attualmente non supportati da progettazione preliminare né da parte di soggetti privati né pubblici di cui si valuta una potenziale implementazione"*.

Nello specifico si analizzano le seguenti opportunità:

- Sviluppo della produzione di energia elettrica da **fotovoltaico**;
- Sviluppo della produzione di energia elettrica da **eolico**;
- Sviluppo della produzione di energia elettrica da **moto ondoso**;
- Il ruolo dell'**idrogeno** nell'ecosistema portuale.

Per ognuna di queste tecnologie è stata realizzata una valutazione estimativa, i cui risultati sono riportati di seguito.

L'obiettivo è quello di fornire una fotografia preliminare sullo sviluppo potenziale di tali interventi, che potranno essere oggetto di ulteriori analisi approfondite per eventuali implementazioni future.

## 2. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FOTOVOLTAICO

L'energia solare per la generazione di potenza elettrica sta assumendo un ruolo sempre più importante a livello nazionale e mondiale per il raggiungimento degli obiettivi di decarbonizzazione. Pertanto, è stata sviluppata una valutazione riguardante l'installazione di impianti fotovoltaici sulle superfici di copertura dei fabbricati, presenti nelle aree portuali, per la captazione dell'irraggiamento solare globale e la produzione di energia elettrica.

L'approccio adottato per l'analisi è stato di tipo territoriale, utilizzando la strumentazione GIS (*Sistema Informativo Geografico*) che ha permesso di realizzare una mappatura dell'irraggiamento solare e della potenziale produzione di energia da fotovoltaico nelle aree considerate.

La produzione delle mappe solari è il risultato di una serie di elaborazioni effettuate a partire dalle mappe dell'orografia del territorio, i DTM (Digital Terrain Model), messi a disposizione dai Geoportali regionali. Tramite l'uso del software *QGIS v.3.22 'Biatowieza'*, dalla distribuzione delle quote è stato possibile calcolare la radiazione solare incidente sulle aree di competenza dell'AdSP del Mare Adriatico Centrale e conseguentemente l'irraggiamento solare cumulato annuale [kWh/m<sup>2</sup>anno] e la potenziale produzione di energia da fotovoltaico annuale [kWh].

Nei successivi capitoli, si riportano i risultati ottenuti e le valutazioni sull'opportunità di installazione di impianti fotovoltaici nelle aree portuali di Ancona, Pesaro, San Benedetto del Tronto, Pescara e Ortona.

Si sottolinea che la presente analisi è finalizzata ad una valutazione preliminare sulla fattibilità di tale intervento, svolta a partire da dati pubblici e da informazioni planimetriche fornite direttamente dall'AdSP, da cui sono state ricavate considerazioni estimative sulla potenziale producibilità di energia elettrica da impianti fotovoltaici nel Sistema Portuale. Un'analisi più puntuale e dettagliata dovrebbe essere svolta in una fase successiva per valutare la reale fattibilità dell'intervento in questione.

## 2.1. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici nei porti del Sistema Portuale MAC

La prima fase di studio per la valutazione dell'intervento fotovoltaico è stata l'analisi solare del territorio a partire dalla mappa orografica del terreno, resa disponibile dalla Regione Marche (mappa DTM<sup>1</sup> rappresentativa di tutta la superficie regionale e utilizzata per l'analisi nei porti di Ancona, Pesaro e San Benedetto del Tronto) e dalla Regione Abruzzo (mappa DTM<sup>2</sup> rappresentativa di tutta la superficie regionale utilizzata per l'analisi dell'area portuale di Pescara e Ortona) Dopo aver ristretto l'area di indagine alle aree demaniali dell'AdSP dei diversi porti, è stato calcolato l'irraggiamento solare medio annuale per superficie, in base alle caratteristiche geomorfologiche e al flusso di radiazione solare incidente sui territori analizzati. È stata calcolata la radiazione solare globale incidente sul territorio per quattro giorni rappresentativi dell'anno, uno per stagione, da cui è stato ricavato un valore di irraggiamento solare cumulato medio annuo (kWh/m<sup>2</sup> anno). Di seguito si riportano i risultati ottenuti, suddivisi per le singole aree portuali.

### 2.1.1. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Ancona

Il valore di irraggiamento solare cumulato annuo ricavato per l'area portuale di Ancona risulta pari a **416.792 kWh/m<sup>2</sup> anno**, mentre il valore medio annuo corrisponde a circa **1.921 kWh/m<sup>2</sup>**. Analizzando gli edifici presenti nell'area portuale, appartenenti ai Concessionari e di competenza dell'AdSP, si stima esserci una superficie complessiva potenziale per l'installazione di impianti fotovoltaici di 62.342 m<sup>2</sup>, pari al 30% delle superfici disponibili. Dai valori di superficie e di irraggiamento solare annuo si è calcolato il potenziale annuale di energia elettrica producibile da fotovoltaico in funzione delle superfici delle coperture degli edifici considerati nel porto di Ancona, rappresentato nella figura seguente.

Dall'analisi risulta che si potrebbe raggiungere un valore di **12.603.249 kWh/anno** di energia elettrica producibile da fotovoltaico.

<sup>1</sup> Il DTM della Regione Marche è stato derivato dalla CTR attenendosi alle Specifiche Tecniche prodotte dal Centro Interregionale e alle linee guida per la produzione di Ortofoto Digitali alla scala nominale 1:10.000 adottate da AGEA con la supervisione dell'IGMI.  
<http://goodpa.regione.marche.it/tr/dataset/dtm-della-regione-marche/resource/35c095e8-4700-4d5e-b47a-39b589860f5a>

<sup>2</sup> Il modello digitale del terreno della Regione Abruzzo è stato realizzato interpolando i dati altimetrici desunti dalla C.T.R.; la dimensione delle celle è pari a 10 metri di lato ed il sistema di riferimento è UTM-WGS84. Il formato del file è GeoTIFF floating point 32bit.  
[http://opendata.regione.abruzzo.it/opendata/Modello\\_digitale\\_del\\_terreno\\_risoluzione\\_10x10\\_metri](http://opendata.regione.abruzzo.it/opendata/Modello_digitale_del_terreno_risoluzione_10x10_metri)

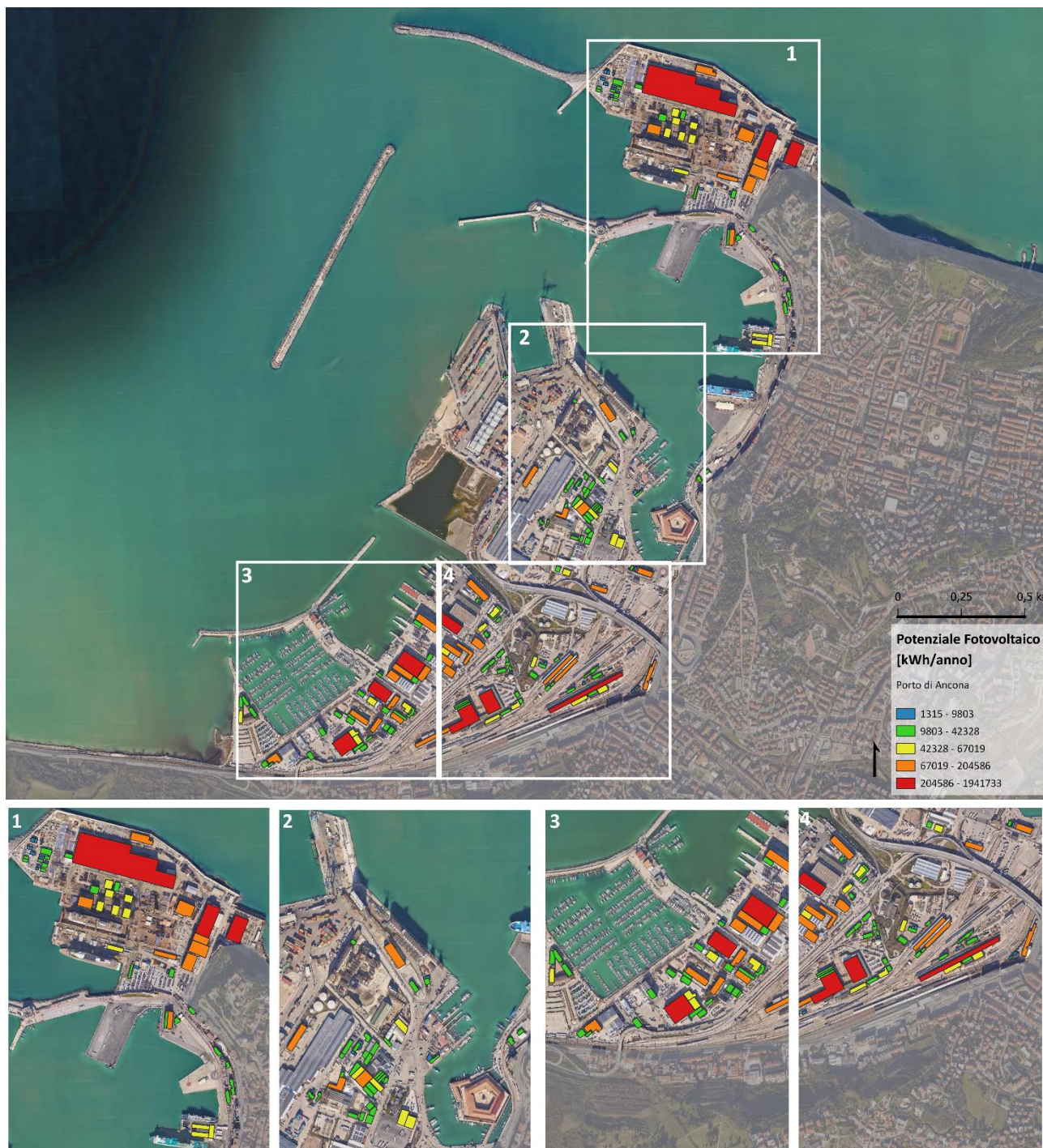


Figura 1 - Elementi di copertura presenti nell'area portuale di Ancona e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica annuale producibile da fotovoltaico



### 2.1.2. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Pesaro

Il valore di irraggiamento solare cumulato annuo ricavato per l'area portuale di Pesaro risulta pari **72.229 kWh/m<sup>2</sup> anno**, mentre il valore medio corrisponde a circa **1.762 kWh/m<sup>2</sup> anno**. Analizzando gli edifici presenti nell'area portuale, appartenenti ai Concessionari e di competenza dell'AdSP, si stima esserci una superficie complessiva potenziale per l'installazione di impianti fotovoltaici di 3.471 m<sup>2</sup>, pari al 30% delle superfici disponibili. Dai valori di superficie e di irraggiamento solare annuo si è calcolato il potenziale annuale di energia elettrica producibile da fotovoltaico, in funzione delle superfici delle coperture degli edifici considerati nel porto di Pesaro, rappresentato nella figura seguente. Dall'analisi risulta che si potrebbe raggiungere un valore di **624.673 kWh/anno** di energia elettrica producibile da fotovoltaico.



Figura 2 - Elementi di copertura presenti nell'area portuale di Pesaro e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in una scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica producibile da fotovoltaico

### 2.1.3. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di San Benedetto del Tronto

Il valore di irraggiamento solare cumulato annuo ricavato per l'area portuale di San Benedetto del Tronto risulta pari **123.487 kWh/m<sup>2</sup> anno**, mentre il valore medio corrisponde a circa **1.960 kWh/m<sup>2</sup> anno**. Analizzando gli edifici presenti nell'area portuale, appartenenti ai Concessionari e di competenza dell'AdSP, si stima esserci una superficie complessiva potenziale per l'installazione di impianti fotovoltaici di 11.552 m<sup>2</sup>, pari al 30% delle superfici disponibili. Dai valori di superficie e di irraggiamento solare annuo si è calcolato il potenziale annuale di energia elettrica producibile da fotovoltaico, in funzione delle superfici delle coperture degli edifici considerati nel porto di San Benedetto del Tronto, rappresentato nella figura seguente. Dall'analisi risulta che si potrebbe raggiungere un valore di **2.382.179 kWh/anno** di energia elettrica producibile da fotovoltaico.



Figura 3 - Elementi di copertura presenti nell'area portuale di San Benedetto del Tronto e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in una scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica producibile da fotovoltaico

### 2.1.4. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Pescara

Il valore di irraggiamento solare cumulato annuo ricavato per l'area portuale di Pescara risulta pari **45.023 kWh/m<sup>2</sup> anno**, mentre il valore medio corrisponde a circa **2.046 kWh/m<sup>2</sup> anno**. Analizzando gli edifici presenti nell'area portuale, appartenenti ai Concessionari e di competenza dell'AdSP, si stima esserci una superficie complessiva potenziale per l'installazione di impianti fotovoltaici di 1.758 m<sup>2</sup>, pari al 30% delle superfici disponibili. Dai valori di superficie e di irraggiamento solare annuo si è calcolato il potenziale annuale di energia elettrica producibile da fotovoltaico, in funzione delle superfici delle coperture degli edifici considerati nel porto di Pescara, rappresentato nella figura seguente. Dall'analisi risulta che si potrebbe raggiungere un valore di **377.934 kWh /anno** di energia elettrica producibile da fotovoltaico.



Figura 4 - Elementi di copertura presenti nell'area portuale di Pescara e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica producibile da fotovoltaico

### 2.1.5. Valutazione producibilità energia elettrica da impianti fotovoltaici - Porto di Ortona

Il valore di irraggiamento solare cumulato annuo ricavato per l'area portuale di Ortona risulta pari **28.082 kWh/m<sup>2</sup> anno**, mentre il valore medio corrisponde a circa **2.006 kWh/m<sup>2</sup> anno**. Analizzando gli edifici presenti nell'area portuale, appartenenti ai Concessionari e di competenza dell'AdSP, si stima esserci una superficie complessiva potenziale per l'installazione di impianti fotovoltaici di 4.557 m<sup>2</sup>, pari al 30% delle superfici disponibili. Dai valori di superficie e di irraggiamento solare annuo si è calcolato il potenziale annuale di energia elettrica producibile da fotovoltaico, in funzione delle superfici delle coperture degli edifici considerati nel porto di Ortona, rappresentato nella figura seguente. Dall'analisi risulta che si potrebbe raggiungere un valore di **966.588 kWh /anno** di energia elettrica producibile da fotovoltaico.



Figura 5 - Elementi di copertura presenti nell'area portuale di Ortona e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica producibile da fotovoltaico

L'analisi preliminare mostra che complessivamente, nel Sistema Portuale, l'energia elettrica producibile da fotovoltaico è pari a **16.954.623 kWh/anno**, per la maggior parte riconducibile all'area portuale di Ancona, grazie alla maggiore superficie potenziale disponibile per l'installazione di impianti fotovoltaici.

Complessivamente, per l'intero Sistema Portuale, si stima un valore di producibilità di energia elettrica da fotovoltaico per superficie potenziale di 203 kWh/m<sup>2</sup> anno, con un minimo di 180 kWh/m<sup>2</sup> anno ricavato per il porto di Pesaro e un massimo di 215 kWh/m<sup>2</sup> anno riferito al porto di Pescara.

Area Portuale	Superficie potenzialmente disponibile [m <sup>2</sup> ]	Irradiazione media giornaliera annua [kWh/m <sup>2</sup> anno]	Irradiazione cumulata annua [kWh/m <sup>2</sup> /anno]	Potenziale producibilità fotovoltaico [kWh/anno]	Potenziale producibilità fotovoltaico per superficie disponibile [kWh/m <sup>2</sup> anno]
<b>Porto di Ancona</b>	62.342	5,26	416.792	12.603.249	202
<b>Porto di Pesaro</b>	3.471	4,83	72.229	624.673	180
<b>Porto di San Benedetto del Tronto</b>	11.552	5,37	123.487	2.382.179	206
<b>Porto di Pescara</b>	1.758	5,61	2.047	377.934	215
<b>Porto di Ortona</b>	4.557	5,50	28.082	966.588	212
<b>Totale Sistema Portuale</b>	<b>83.680</b>	<b>5,31</b>	<b>642.636</b>	<b>16.954.623</b>	<b>203</b>

Tabella 1 - Sintesi della valutazione della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico

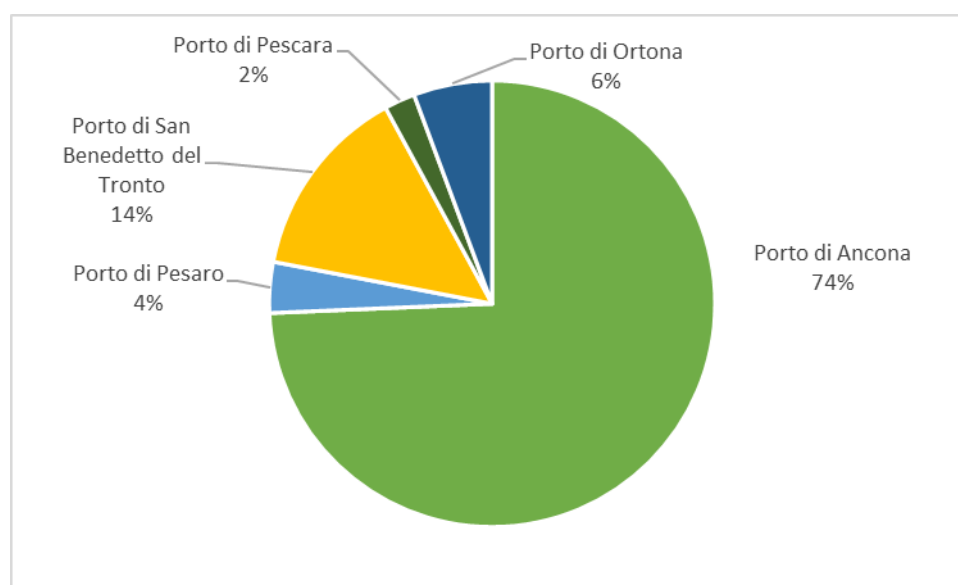


Figura 6 - Ripartizione del potenziale fotovoltaico tra le aree portuali del Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale

### 3. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA EOLICO

I sistemi di generazione di elettricità da energia eolica costituiscono ormai una tecnologia matura con elevati livelli di competitività rispetto ai generatori di potenza da combustibili fossili.

Gli impianti eolici e mini-eolici, sia ad asse orizzontale che verticale, infatti, possono rappresentare una soluzione da implementare anche in ambito portuale in presenza di adeguati valori anemometrici.

Il funzionamento di una turbina eolica per produzione di energia elettrica avviene in un intervallo di velocità del vento compreso tipicamente tra 4 m/s (velocità di *cut-in*) e 25 m/s (velocità di *cut-off*), con potenza crescente fino alla saturazione in corrispondenza del valore nominale intorno a 12-16 m/s.

Turbine eoliche di grandi dimensioni risultano essere più interessanti per installazioni *off-shore* e *near-shore* negli ambiti portuali analizzati nel presente documento.

Gli impianti mini-eolici che utilizzano generatori di altezza inferiore a 30 metri consentono invece di operare con regimi di vento inferiori a quelli richiesti dai grandi impianti e potrebbero essere la tipologia più indicata per installazioni *on-shore* in ambito portuale.

Le tecnologie di turbine mini-eoliche disponibili sul mercato sono estremamente diversificate. Vengono generalmente classificate in base alla disposizione dell'asse di rotazione:

- ad asse orizzontale (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbines)
- ad asse verticale (VAWT – Vertical Axis Wind Turbines).

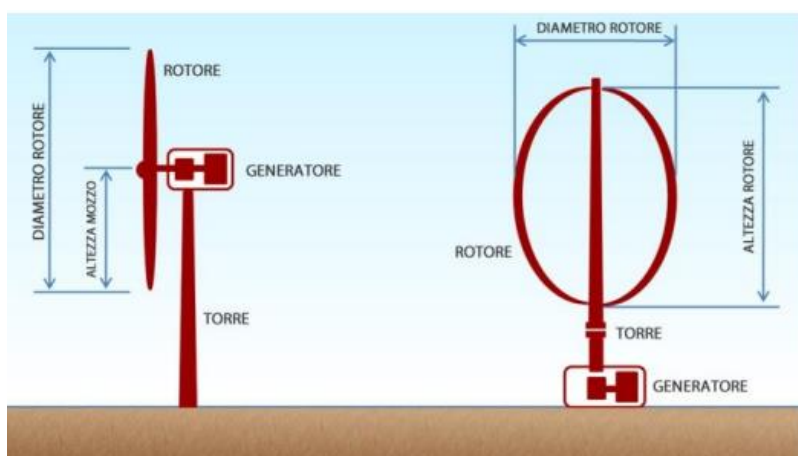


Figura 7 - Esempi turbine ad asse orizzontale e ad asse verticale (Fonte: FIRE)

La prima tipologia è la più nota e diffusa; tuttavia i generatori ad asse verticale ultimamente sono diventati oggetto di studio e ricerche soprattutto in riferimento alle piccole potenze.

Attualmente, infatti, le turbine per il medio e grande eolico (>200 kW) disponibili commercialmente sono quelle ad asse orizzontale, mentre nel minieolico (20 kW-200 kW) e nel microeolico (0-20 kW) troviamo anche una varietà di turbine ad asse verticale. L'ulteriore classificazione delle turbine è basata, per l'eolico orizzontale, su vari elementi (taglia, numero di pale, design, etc.), mentre per l'eolico verticale è basata soprattutto sul design.

Tra i generatori ad asse orizzontale, in base alla posizione del piano rotorico, a seconda che sia a monte o a valle della navicella del generatore, è possibile distinguere:

- HAWT UPWIND: soluzione maggiormente utilizzata, il rotore trovandosi a monte della navicella, viene investito direttamente dal flusso d'aria.
- HAWT DOWNWIND: poiché il piano rotorico è disposto a valle della navicella, la scia della torre e della navicella stessa disturbano il flusso incidente sul rotore. A causa del costante passaggio delle pale davanti alla torre dell'aerogeneratore, esse saranno soggette ad un ciclo di fatica. Il vantaggio è che esse sono auto-allineanti rispetto alla direzione del vento.

La configurazione VAWT presenta il vantaggio che il generatore elettrico è posto nella base e quindi il suo peso non deve essere sostenuto dalla torre.

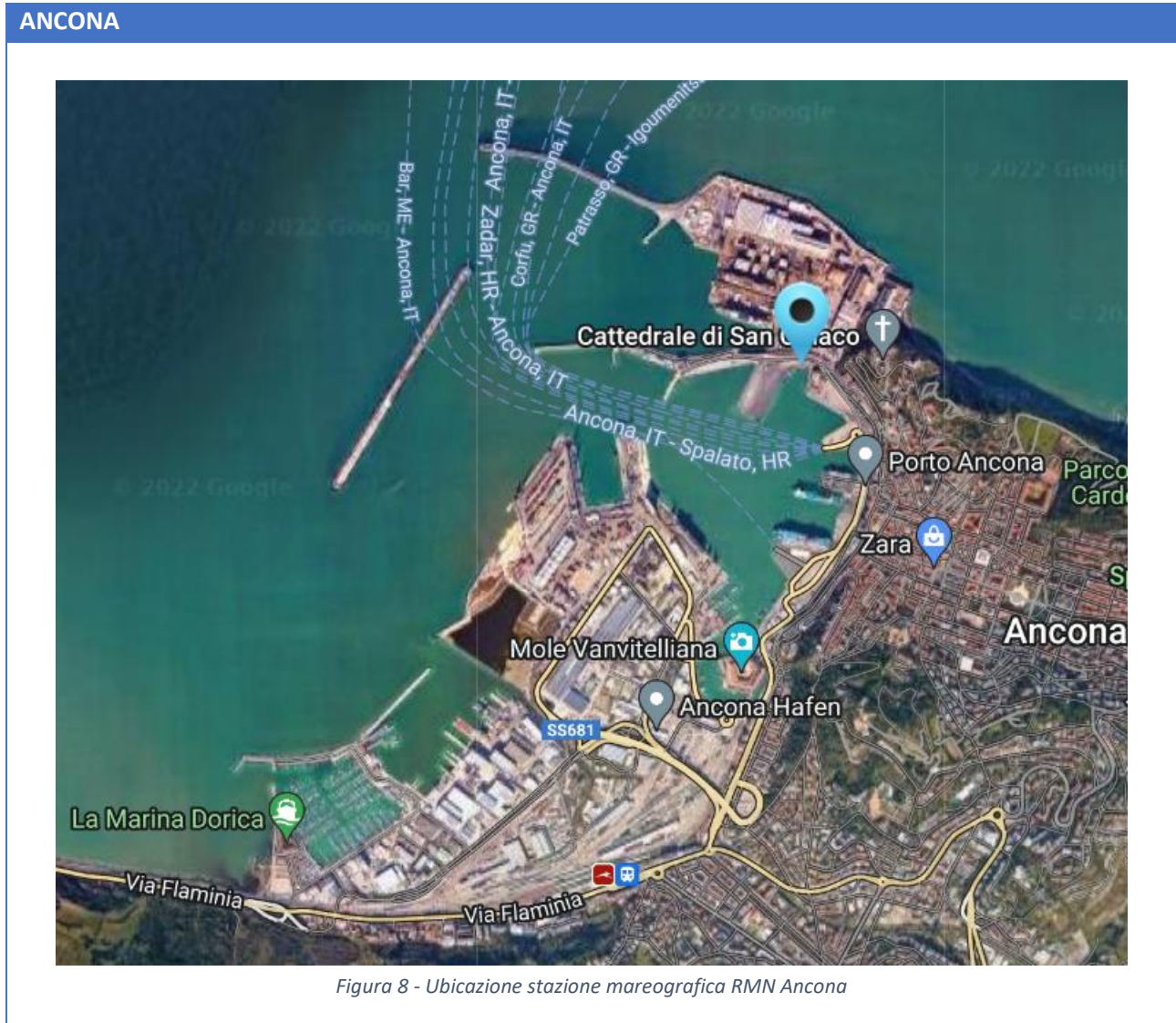
Le pale sono realizzate in materiale composito, rinforzato in fibre di vetro o di carbonio, oppure in alluminio. Le turbine VAWT sono inoltre più adatte a un utilizzo in aree urbane in quanto generano livelli di rumore inferiori a quelli delle HAWT, in genere compresi tra i 35 e i 45 dB.

Per quanto concerne le tecnologie potenzialmente installabili nei siti portuali oggetto di analisi, un intervento che potrebbe essere valutato e che potrebbe contribuire alla riduzione di energia prelevata dalla rete consiste nell'installazione di turbine ad asse verticale, eventualmente in corrispondenza delle torri faro.

La producibilità di un impianto eolico è legata alla disponibilità del vento, espressa in funzione della distribuzione di frequenza e della durata della velocità del vento. Non è pertanto sufficiente conoscere la velocità media del vento in un sito per stimare la quantità di energia elettrica producibile; occorre conoscere l'intera distribuzione del vento nel tempo. È possibile affidarsi a un'analisi preliminare e successivamente attivarsi per una campagna anemometrica al fine di comprovare con dati oggettivi le valutazioni preliminari. È il caso di evidenziare che la campagna è inoltre richiesta obbligatoriamente per ottenere autorizzazioni ambientali.

Al fine di valutare l'opportunità di installazione di sistemi di generazione da energia eolica si è proceduto ad effettuare un'analisi preliminare della disponibilità del vento nei diversi ambiti portuali del Sistema Portuale del Mar Adriatico Centrale, analizzando i dati rilevati dalle stazioni anemometriche più prossime ai siti considerati.

Nelle figure seguenti si riporta l'ubicazione delle stazioni anemometriche utilizzate per la caratterizzazione anemologica delle due aree portuali.







## SAN BENEDETTO DEL TRONTO

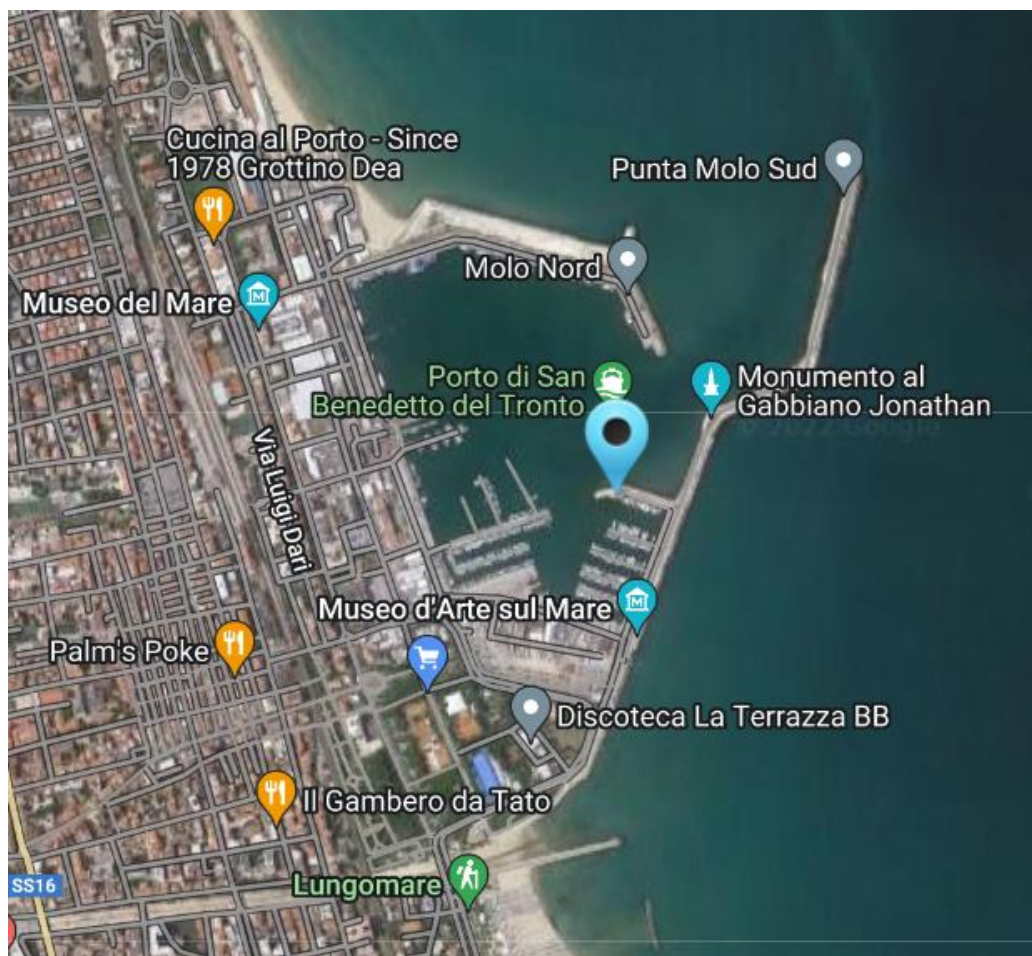


Figura 9 - Ubicazione stazione mareografica RMN San Benedetto del Tronto

## ORTONA



Figura 10 - Ubicazione stazione mareografica RMN San Benedetto del Tronto

Le stazioni considerate appartengono alla Rete Mareografica Nazionale (RMN) e consentono di rilevare i dati relativi alla direzione e velocità media del vento con una risoluzione di 10 min a partire dal 2010 ad un'altezza inferiore ai 10 metri di altezza dal suolo.

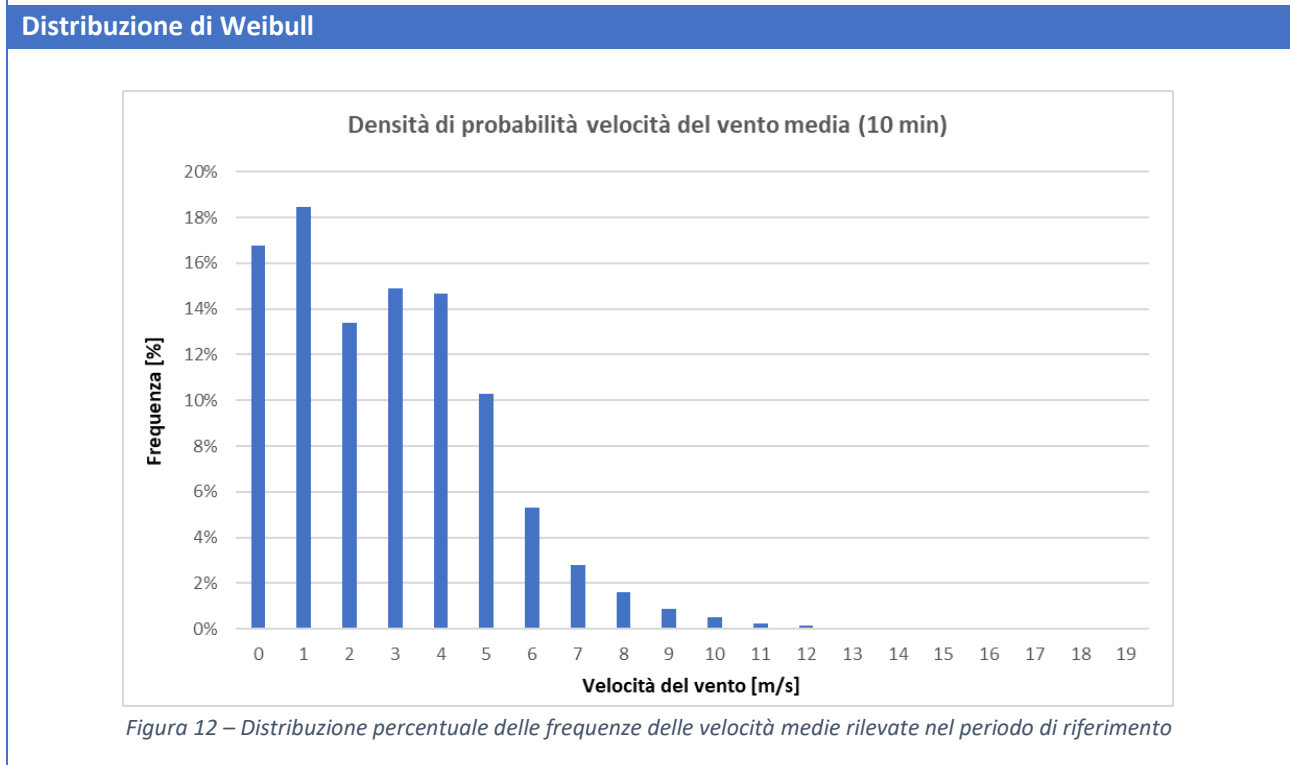
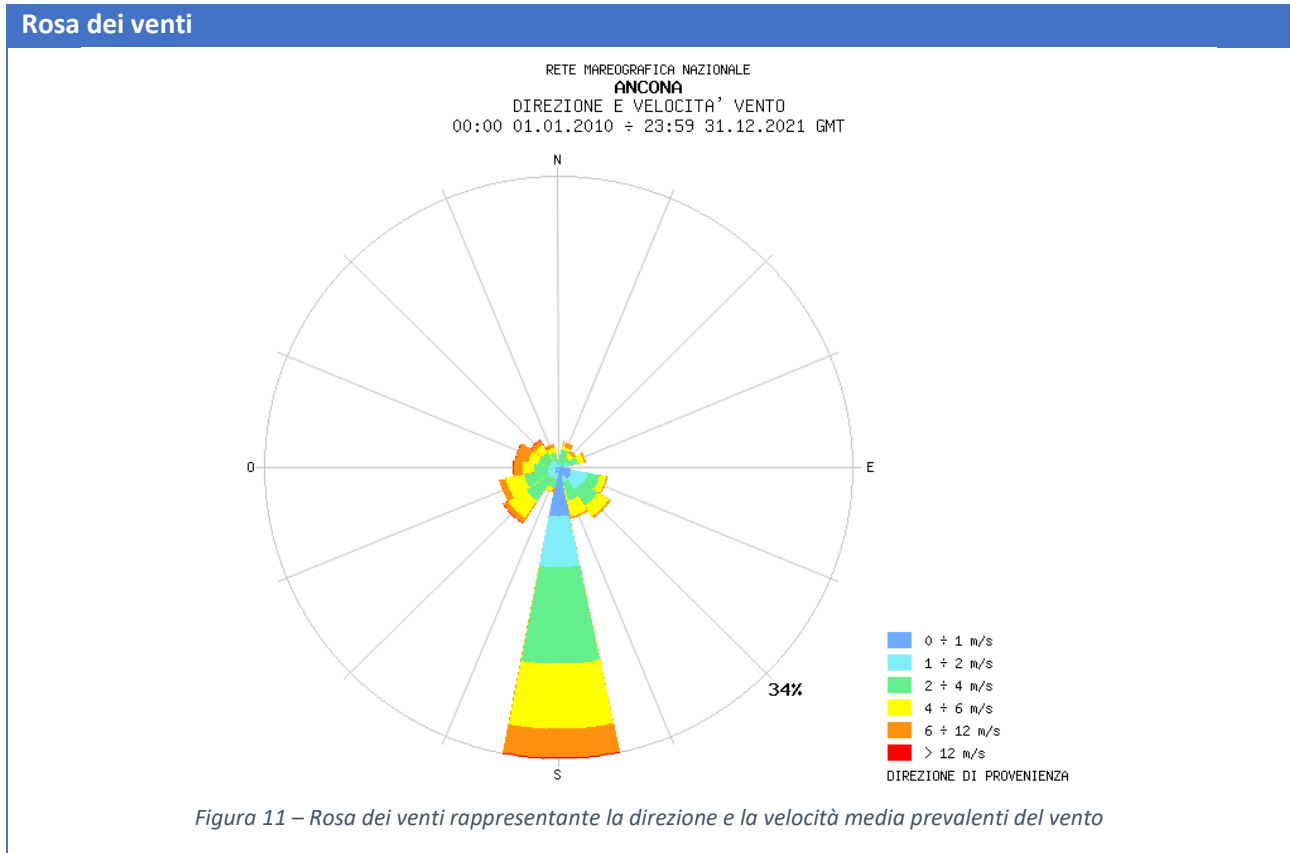
Per ciascuna stazione sono stati analizzati i dati di velocità media e direzione del vento relativi alle seguenti annualità: 2010, 2018, 2019, 2020 e 2021.

Si specifica che sono stati utilizzati i dati rilevati dalla stazione mareografica del Porto di Ancona per gli ambiti portuali di Pesaro, Falconara marittima e Ancona e quelli rilevati dalla stazione di Ortona per gli ambiti portuali di Pescara e Ortona.

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi sopracitata per ciascuna stazione anemometrica, rappresentando la distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità.

Tale distribuzione prende il nome di distribuzione di Weibull ed è ritenuta adeguata alla rappresentazione della statistica delle velocità medie del vento campionato sul breve periodo (campionamenti ogni 10 min) per tempi dell'ordine di anni, in modo da ottenere un campione numericamente significativo.

### 3.1.1. Valutazione anemologica stazione mareografica RMN Ancona



Dall'analisi si evince che nell'ambito portuale di Ancona la direzione prevalente dei venti è quella Sud con intensità medie comprese tra i 2 e i 5 m/s.

Tali velocità medie sono relative ai venti ad una quota inferiore ai 10 metri di altezza dal suolo; pertanto, in caso di installazioni di aerogeneratori ad altezze maggiori si potrebbe beneficiare di venti con maggiore intensità. Si riportano di seguito alcune stime realizzate sul Portale ATLA EOLICO sviluppato dall'RSE utili a quantificare la disponibilità della risorsa eolica ad un'altezza di 50 metri e la producibilità di energia elettrica associata (*on-shore* e *off-shore*).

### Disponibilità della risorsa eolica *on-shore*

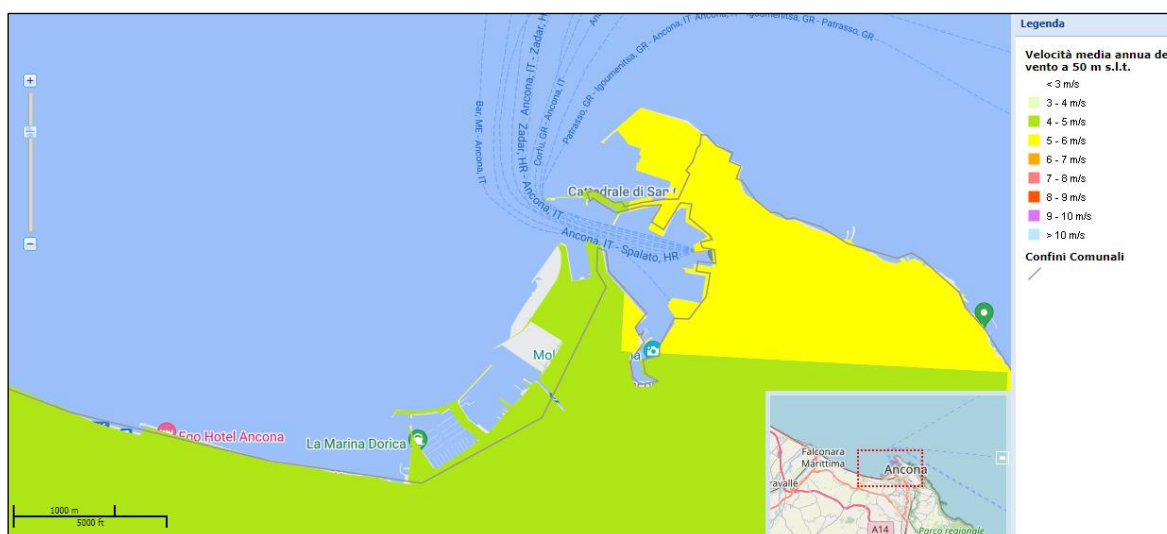


Figura 13 – Velocità media annua del vento a 50 m s.l.t

### Disponibilità della risorsa eolica *off-shore*

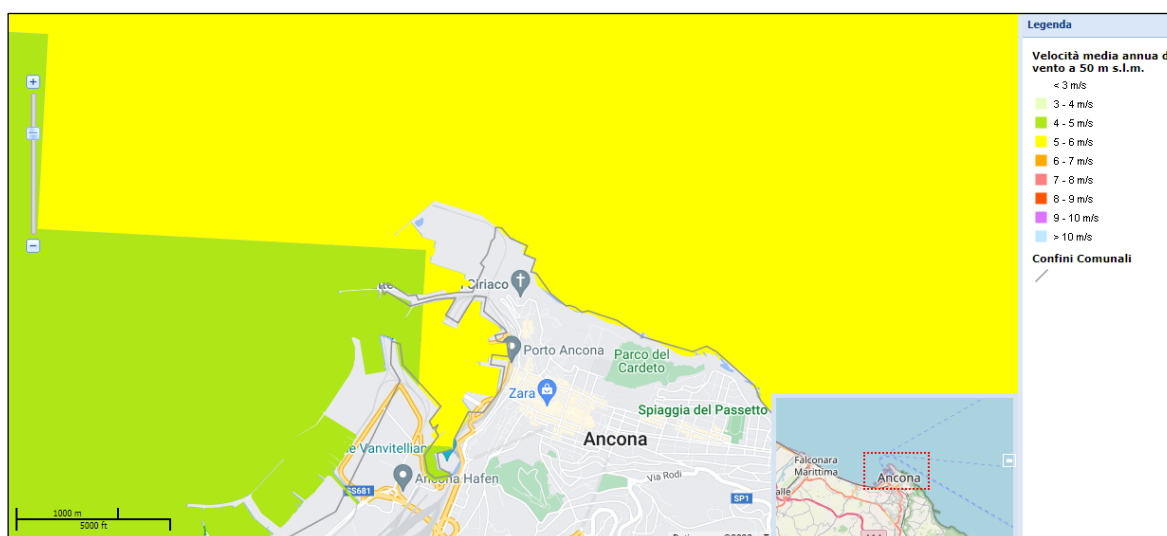


Figura 14 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento

## Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici on-shore

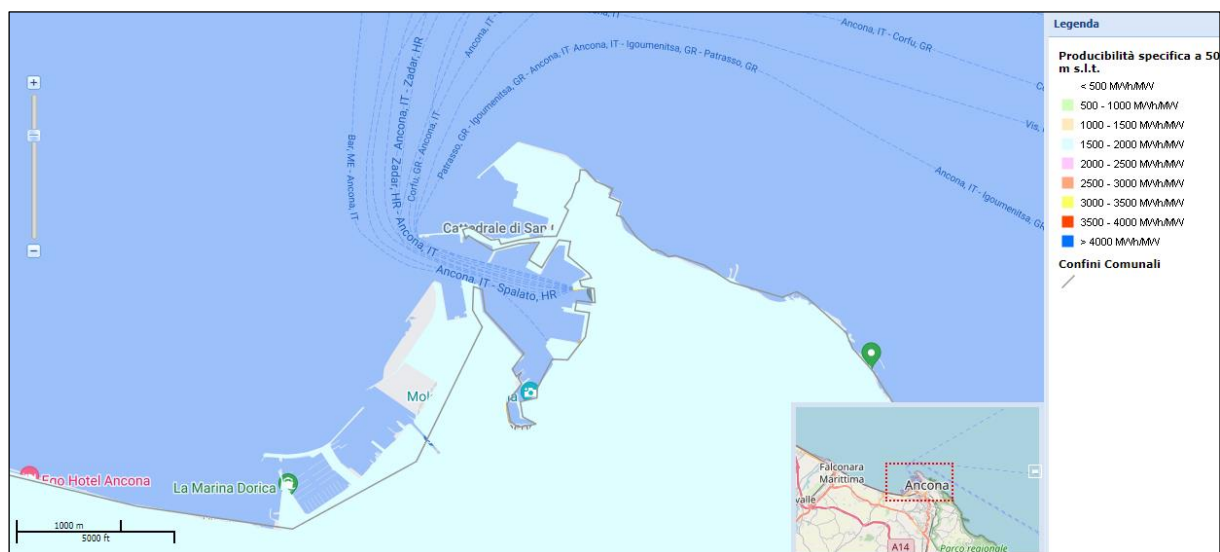


Figura 15 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t

## Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici off-shore

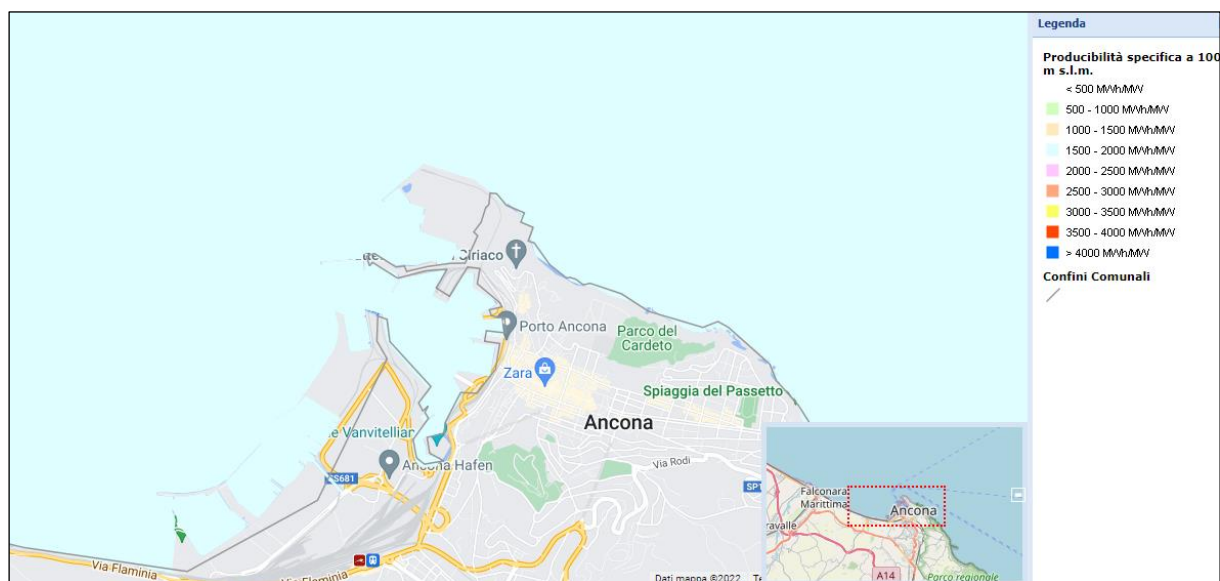


Figura 16 – Producibilità specifica off-shore a 50 s.l.m

### 3.1.2. Valutazione anemologica stazione mareografica RMN San Benedetto del Tronto

#### Rosa dei venti

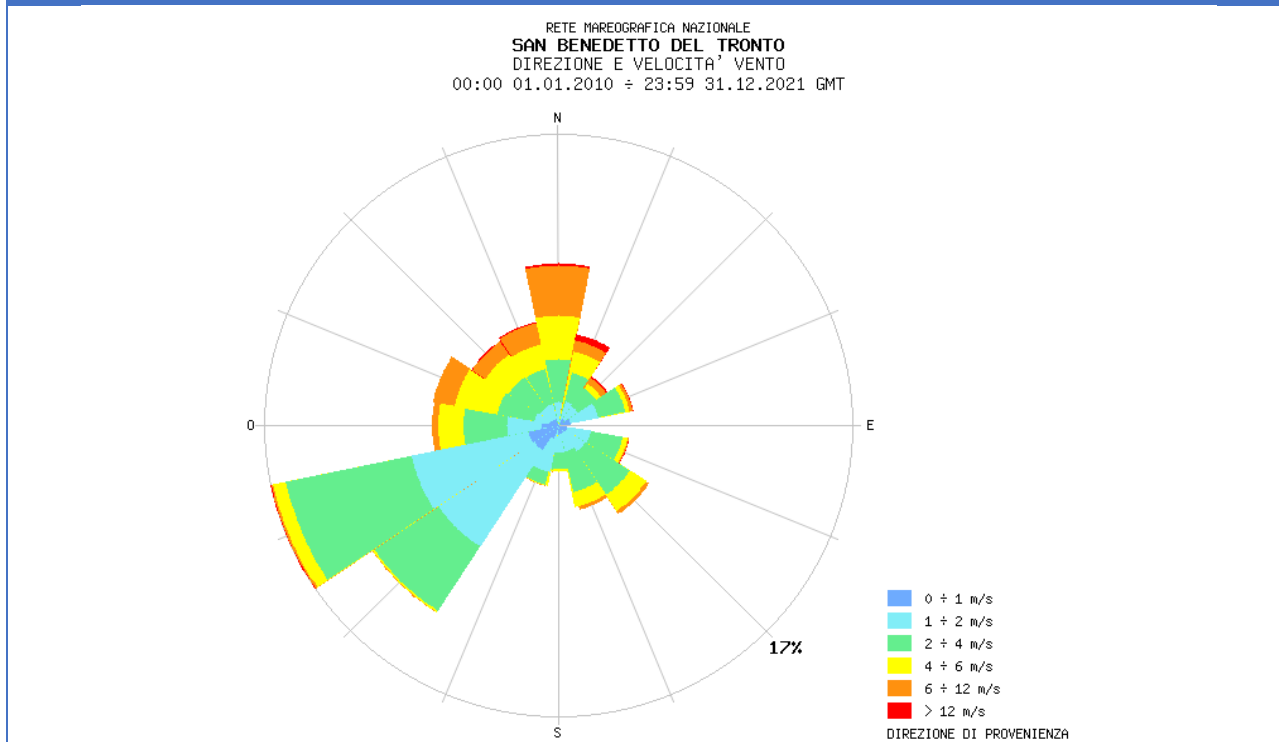


Figura 17 – Rosa dei venti rappresentante la direzione e la velocità media prevalenti del vento

#### Distribuzione di Weibull

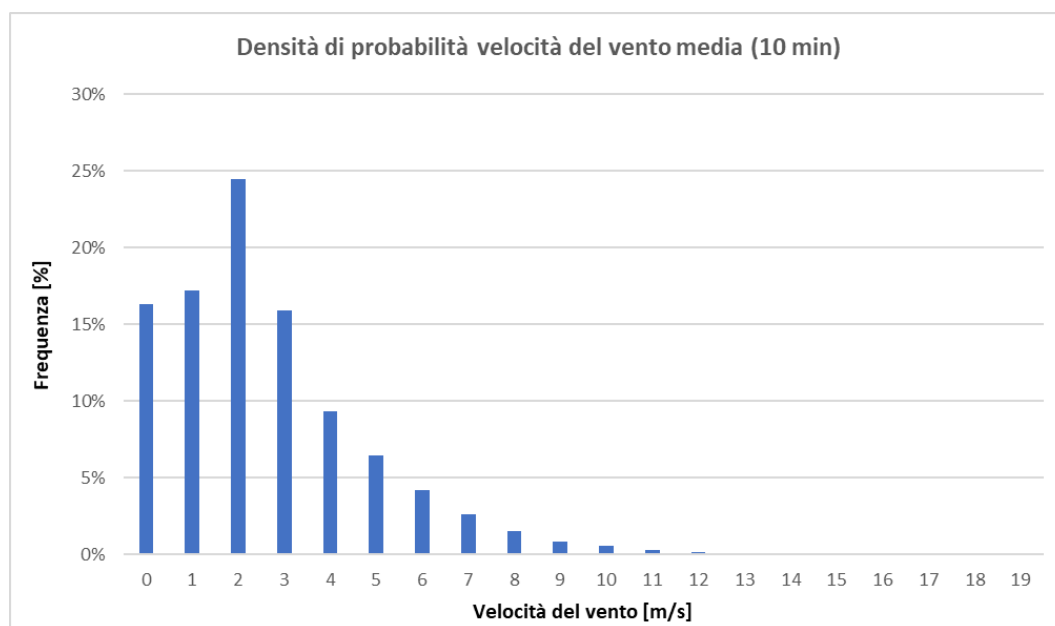


Figura 18 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento

Dall'analisi si evince che nell'ambito portuale di San Benedetto del Tronto la direzione prevalente dei venti è quella Sud-Ovest con intensità medie comprese tra i 1 e i 4 m/s.

Tali velocità medie sono relative ai venti ad una quota inferiore ai 10 metri di altezza dal suolo; pertanto, in caso di installazioni di aerogeneratori ad altezze maggiori si potrebbe beneficiare di venti con maggiore intensità. Si riportano di seguito alcune stime realizzate sul Portale ATLA EOLICO sviluppato dall'RSE utili a quantificare la disponibilità della risorsa eolica ad un'altezza di 50 metri e la producibilità di energia elettrica associata (*on-shore* e *off-shore*).

### Disponibilità della risorsa eolica *on-shore*

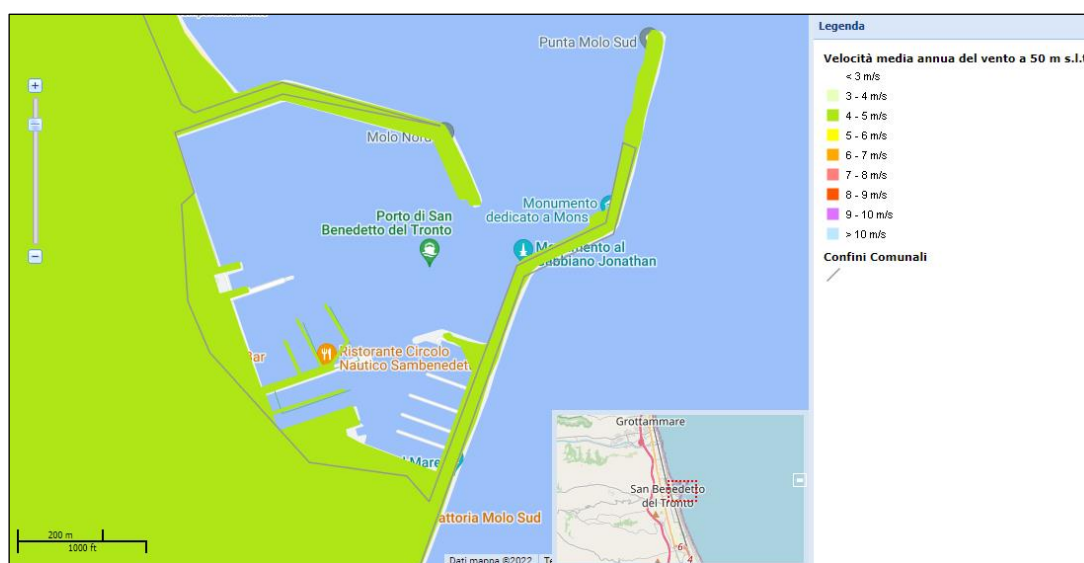


Figura 19 – Velocità media annua del vento a 50 m s.l.t.

### Disponibilità della risorsa eolica *off-shore*

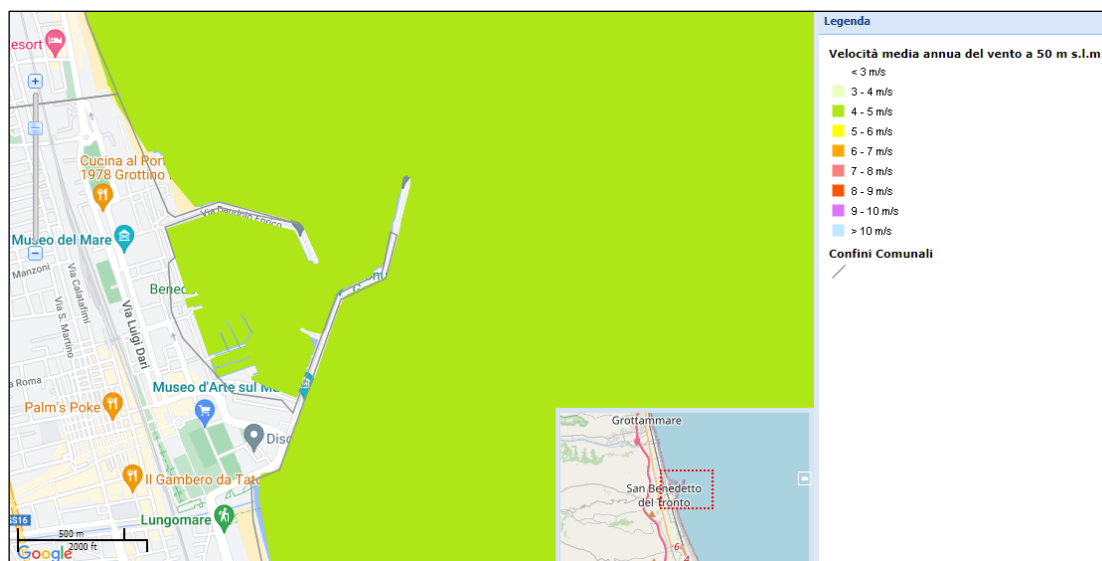


Figura 20 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *on-shore*

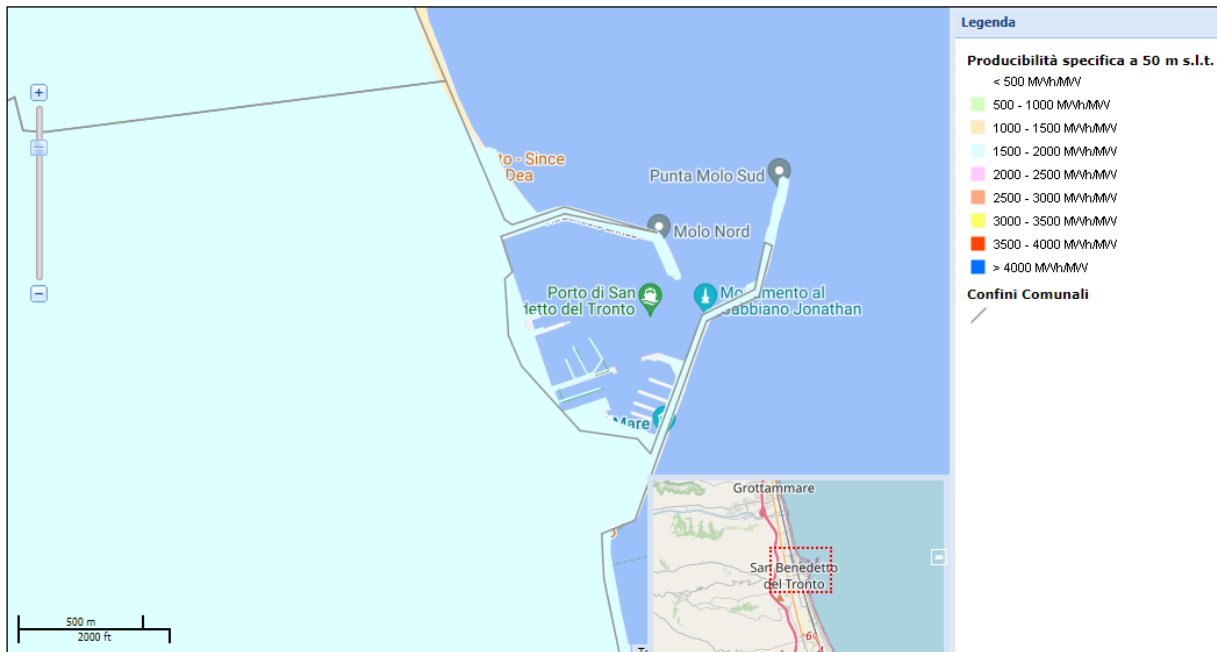


Figura 21 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *off-shore*

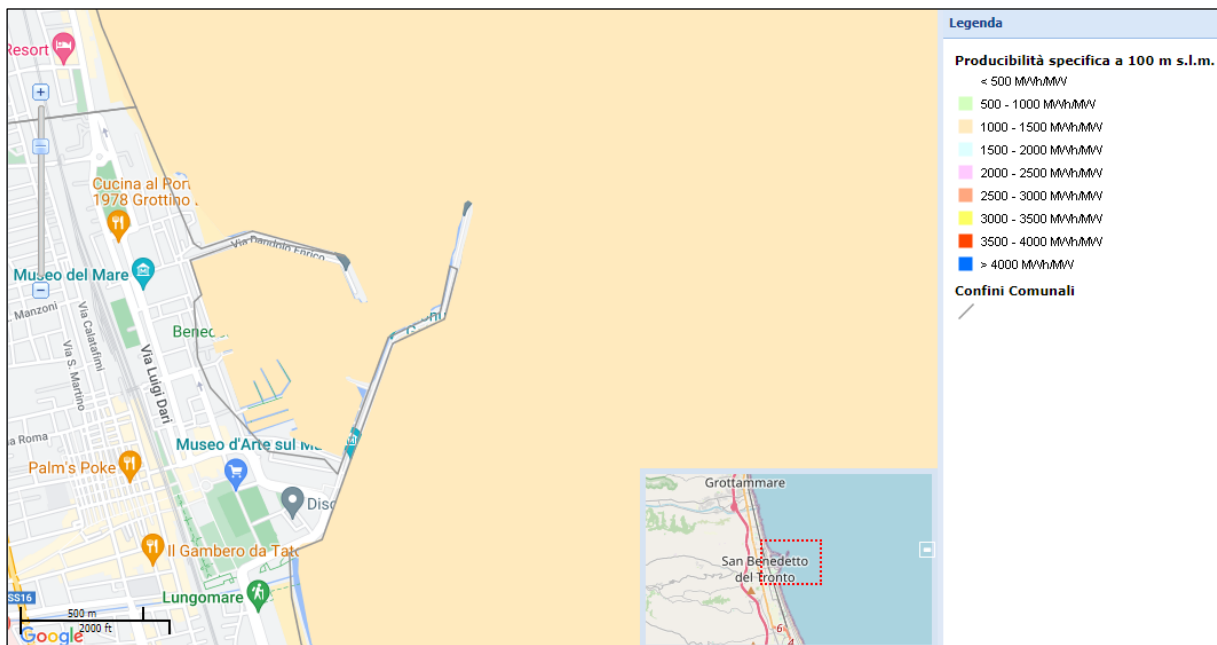
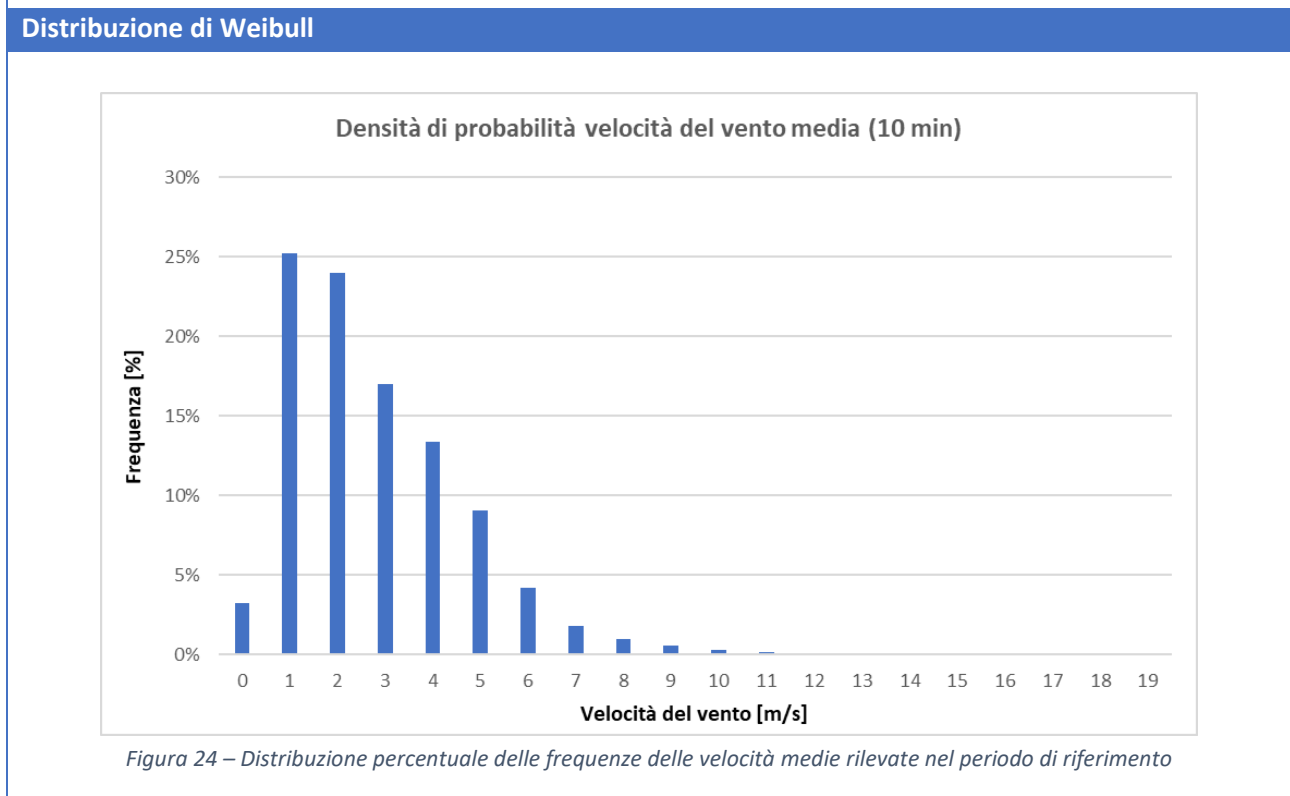
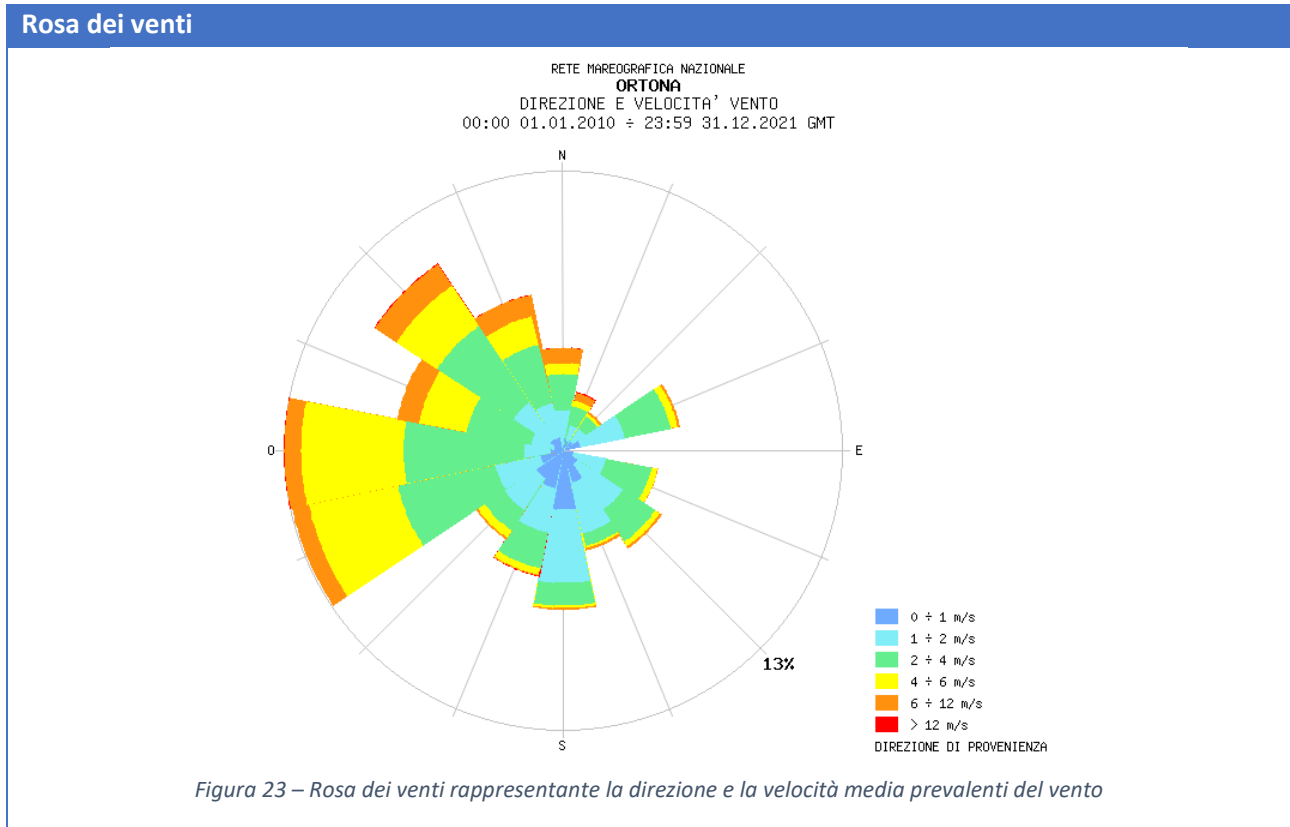


Figura 22 – Producibilità specifica off-shore a 50 s.l.m



### 3.1.3. Valutazione anemologica stazione mareografica RMN Ortona



Dall'analisi si evince che nell'ambito portuale di Ortona la direzione prevalente dei venti è quella Sud-Ovest con intensità medie comprese tra i 2 e i 5 m/s.

Tali velocità medie sono relative ai venti ad una quota inferiore ai 10 metri di altezza dal suolo; pertanto, in caso di installazioni di aerogeneratori ad altezze maggiori si potrebbe beneficiare di venti con maggiore intensità. Si riportano di seguito alcune stime realizzate sul Portale ATLA EOLICO sviluppato dall'RSE utili a quantificare la disponibilità della risorsa eolica ad un'altezza di 50 metri e la producibilità di energia elettrica associata (*on-shore* e *off-shore*).

### Disponibilità della risorsa eolica *on-shore*

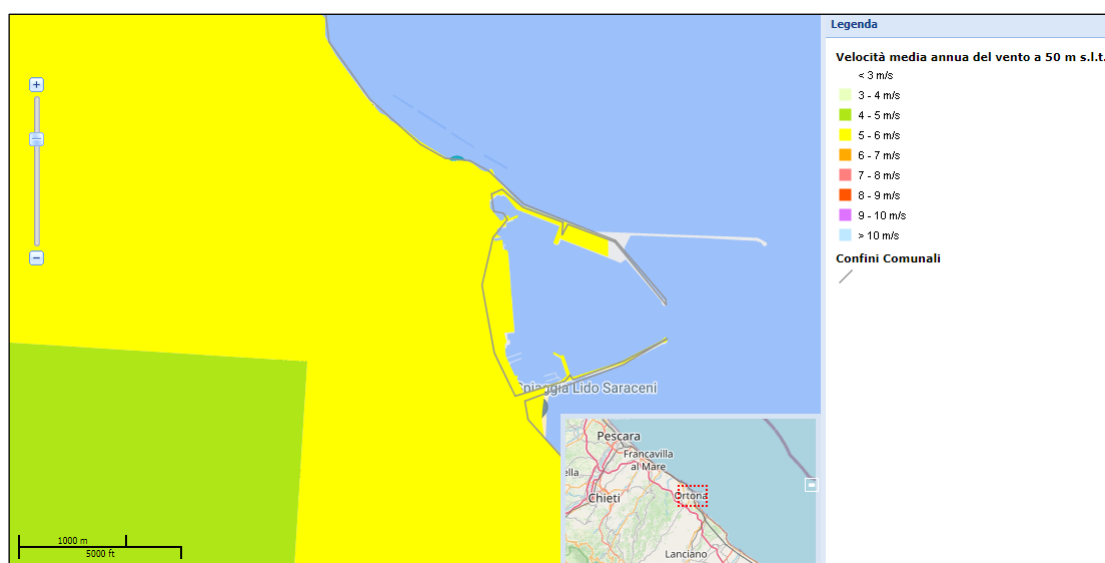


Figura 25 – Velocità media annua del vento a 50 m s.l.t

### Disponibilità della risorsa eolica *off-shore*

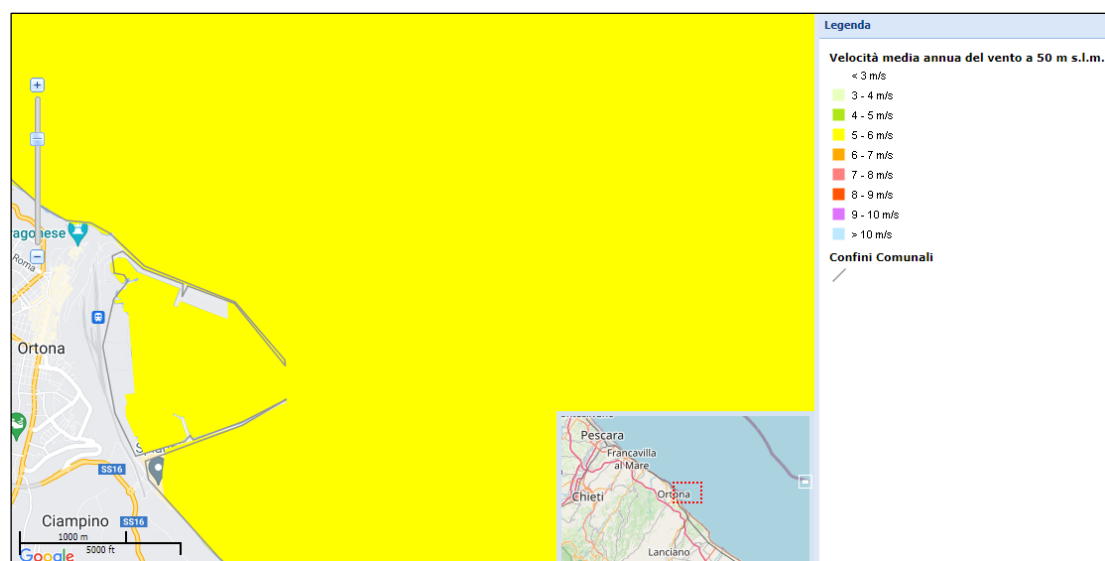


Figura 26 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *on-shore*

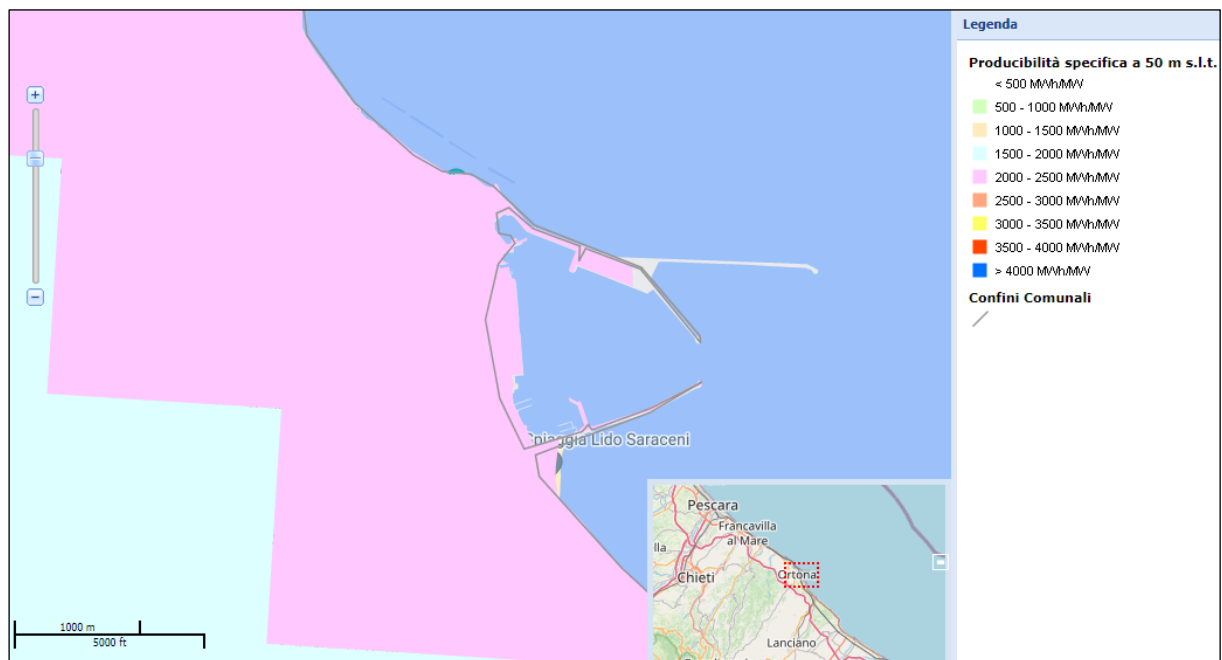


Figura 27 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t

Producibilità specifica energia elettrica da impianti eolici *off-shore*

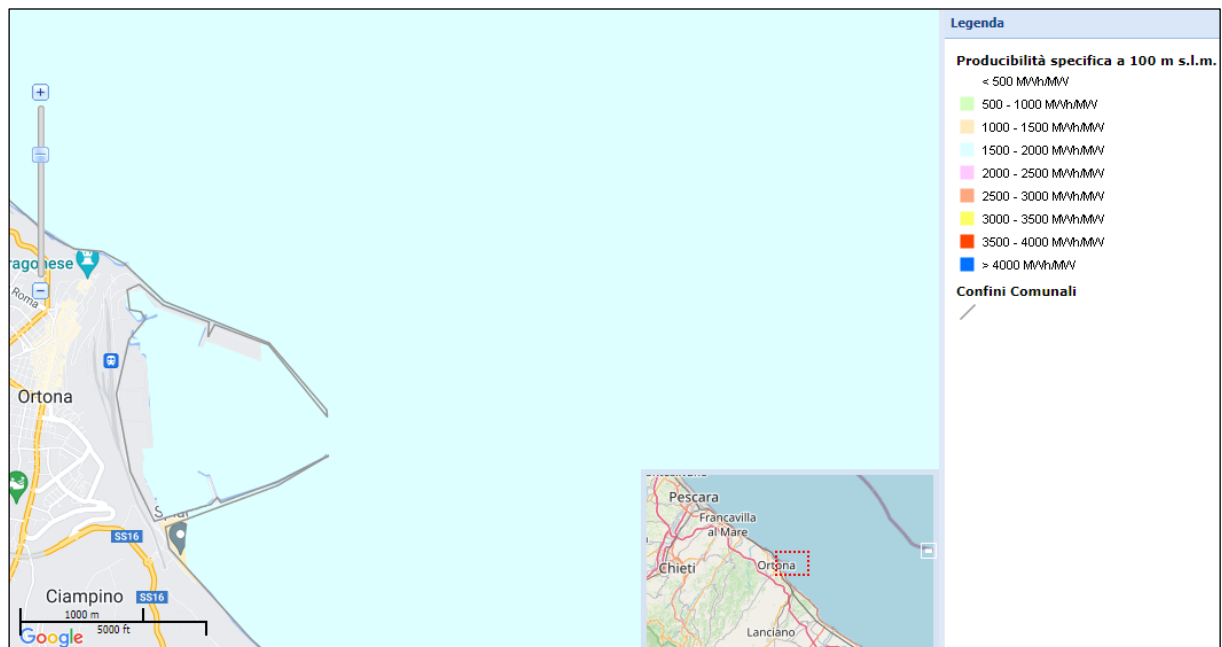


Figura 28 – Producibilità specifica off-shore a 50 s.l.m

Dall'analisi anemologica delle aree portuali del Sistema Portuale MAC emerge una disponibilità modesta della risorsa eolica, maggiore in prossimità di Ortona e minore nei settori marchigiani.

Si precisa, tuttavia, che tale valutazione preliminare è puramente estimativa e andrebbe supportata da una campagna anemologica completa, eseguita mediante strumenti installati all'altezza a cui si intende posizionare l'aerogeneratore ed in prossimità della sua eventuale ubicazione.

#### 4. SVILUPPO DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA MOTO ONDOSI

La realizzazione nei porti di impianti di produzione di energia da fonte rinnovabile di piccola taglia può contribuire alla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> e dei prelievi di energia dalla rete elettrica nazionale.

Lo sfruttamento di energia da moto ondoso risulta essere particolarmente interessante in Italia sia per il suo sviluppo costiero e per il ridotto impatto ambientale di queste tecnologie sia per le incentivazioni finanziarie di cui gode l'energia prodotta da moto ondoso rispetto alle altre tecnologie di fonti rinnovabili.

Si riportano di seguito i principali sistemi in via di sperimentazione indirizzati allo sfruttamento energetico delle onde [3]:

- **Oscillating Water Column (OWC):** strutture parzialmente sommerse con una camera esterna e una interna comunicanti. Il livello dell'acqua varia nella camera esterna per l'azione del moto ondoso e induce un'analogha variazione nella camera interna dove una massa d'aria viene compressa e mette in movimento una turbina collegata ad un generatore elettrico.
- **Overtopping Devices o sistemi a tracimazione:** strutture galleggianti rigide che focalizzano le onde in modo da far riempire appositi serbatoi con un livello dell'acqua superiore a quello naturale. Il differenziale di energia potenziale che si stabilisce viene sfruttato con un flusso d'acqua forzato che mette in rotazione una turbina collegata ad un generatore elettrico.
- **Oscillating bodies o corpi galleggianti:** le onde incidenti provocano moti relativi tra segmenti di corpi galleggianti o immersi. I moti relativi sono impiegati da opportuni sistemi meccanici/idraulici per convertire energia meccanica in elettrica. Rientrano in questa classe i cosiddetti assorbitori puntuali (point absorbers), in cui il moto ondoso induce moti verticali che vengono convertiti con appositi generatori.

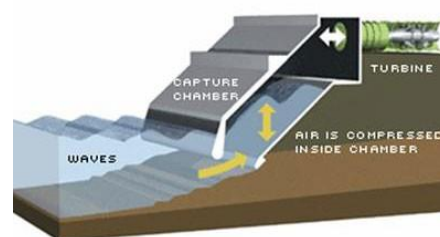


Figura 29 - Schema funzionamento Oscillating Water Columns

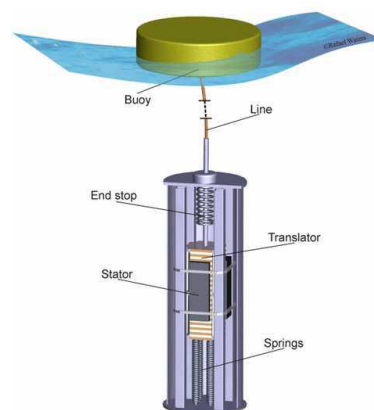


Figura 30 - Schema funzionamento Oscillating Bodies

Le strutture di tipo OWC sono installate a ridosso di strutture costiere sia naturali (scogliere) che da opere umane (es. barriere frangiflutti, dighe foranee), mentre le altre operano in mare aperto, vicino la costa oppure lontano da questa, dove la risorsa energetica è più regolare e prevedibile.

Altre tecnologie oggi in fase di field test sono:

- **ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter):** piattaforme galleggianti oscillanti (floating pitching converters, FPC), e le derivate IOWEC (Intentium Offshore Wave Energy Converter), PEWEC (Pendulum Wave Energy Converter). Si tratta di dispositivi flottanti, installati con ormeggio lasco al fondale marino e auto-orientanti rispetto alla principale direzione di propagazione delle onde del mare. L'azione meccanica del moto ondoso induce un movimento oscillante dello scafo. Grazie alla presenza di un sistema di tipo inerziale, non vincolato alla struttura all'interno del galleggiante, si sviluppa un moto relativo che consente la conversione di energia meccanica in elettrica.
- **REWEC3:** dispositivo appartenente alla famiglia OWC (Oscillating Water Column), che rispetto ai tradizionali OWC, presenta migliorie sostanziali nella resa energetica dell'impianto e nella sua risposta all'azione delle onde che lo investono.
- **R115/H24:** dispositivo sviluppato dalla società italo/inglese 40 South Energy. Nel corso del 2015 un prototipo è stato varato nel Tirreno settentrionale.



Figura 31 - ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter)

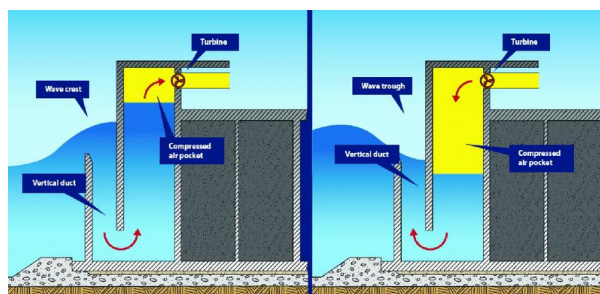


Figura 32 - Progetto REWEC3

Il potenziale energetico del moto ondoso lungo le coste italiane è molto vario con differenze significative anche in aree limitrofe, come evidenziato nel documento “Valutazione del potenziale energetico del moto ondoso lungo le coste italiane” [4]. Tale potenziale è massimo lungo la costa ovest della Sardegna (Flusso medio energia: 12 kW/m) e Nord-occidentale della Sicilia (Flusso medio energia: 7 kW/m), mentre la costa Adriatica ha un potenziale minore compreso tra i 2 e 3 kW/m.

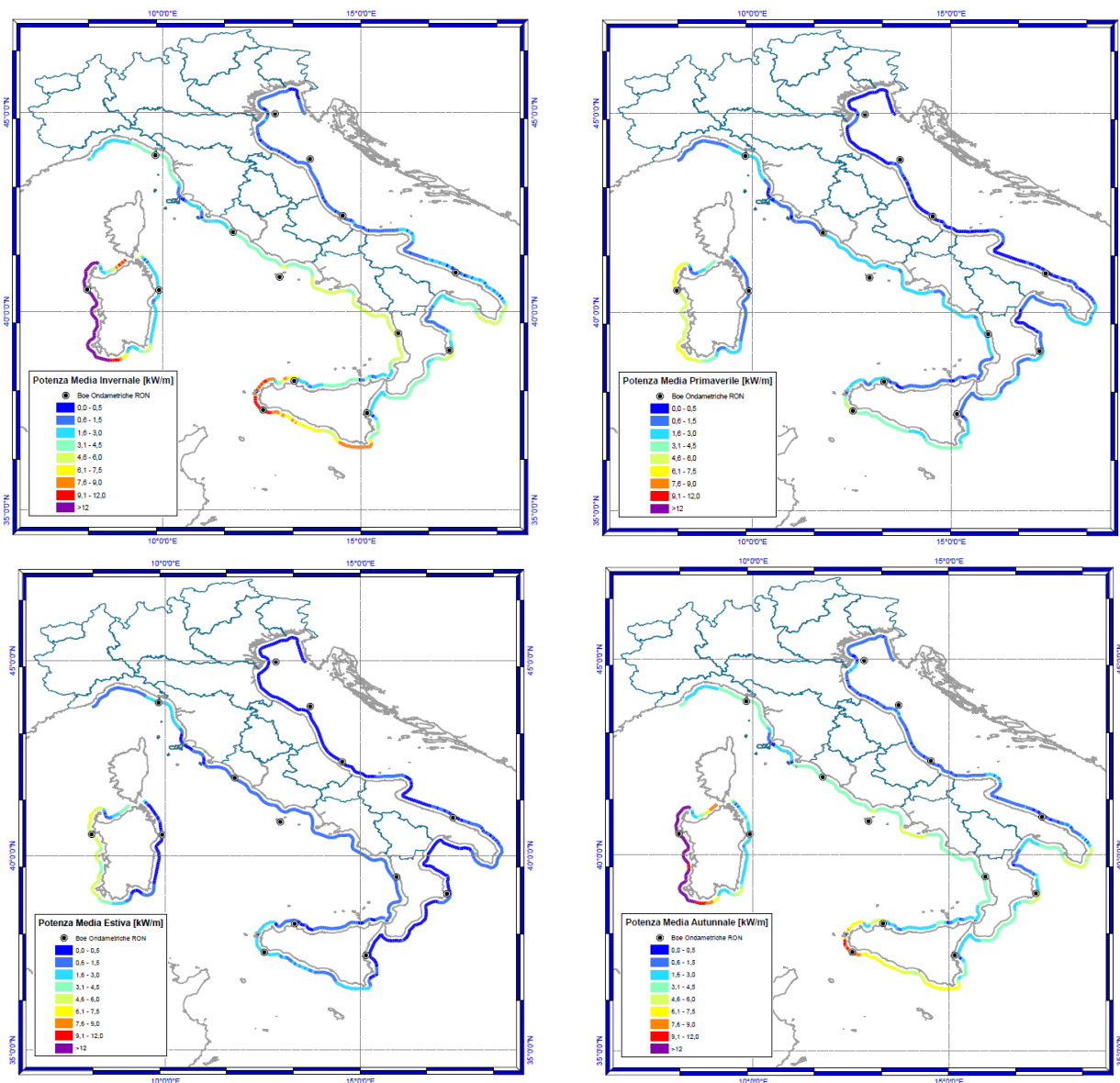


Figura 33 - Potenziale energetico medio calcolato (in kW/m). Medie effettuate su tutto il periodo 2001-2010 (Fonte: ENEA)

In particolare, si riportano di seguito le simulazioni implementate nello studio di ENEA relativamente agli ambiti portuali di Ancona e Ortona.

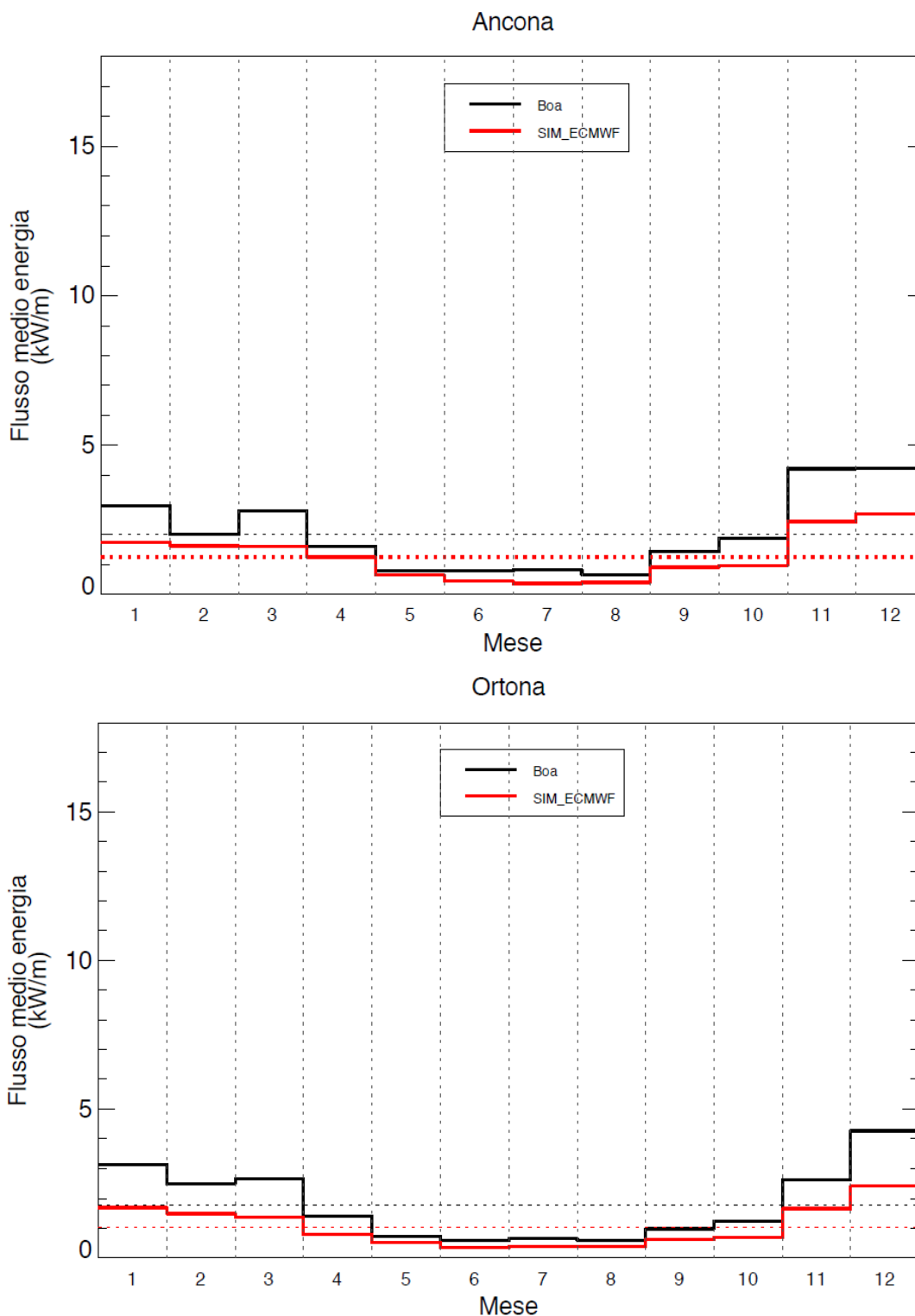


Figura 34 - Flusso medio di energia in funzione del mese tra il valore misurato dalla boa (linea nera) e la simulazione SIM\_ECMWF (linea rossa) per la stazione di Ancona e Ortona. Medie effettuate su tutto il periodo 2001-2010. Le linee orizzontali tratteggiate corrispondono al flusso medio annuale. (Fonte ENEA)



Dai dati sopra-riportati si evince che il potenziale energetico degli ambiti portuali oggetti di analisi risulta essere piuttosto limitato.

Si potrebbe, tuttavia, valutare l'installazione di sistemi di generazione di energia da moto ondoso integrati nelle dighe foranee e nelle strutture di difesa costiera delle aree portuali. Tali integrazioni potrebbero costituire una valida soluzione per ridurre gli elevati costi delle tecnologie da moto ondoso ed essere implementati contestualmente ad altri interventi da realizzarsi sulle opere di sbarramento e difesa costiera.

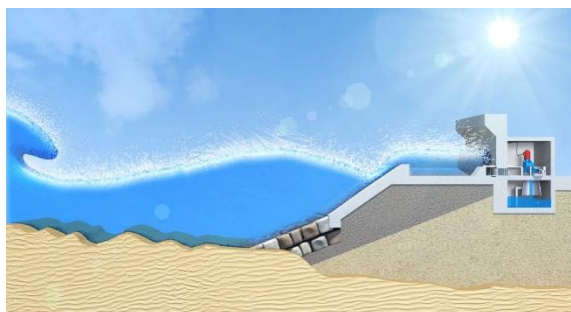


Figura 35 - Progetto DIMEMO (Diga Marittima per l'Energia del Moto Ondoso)

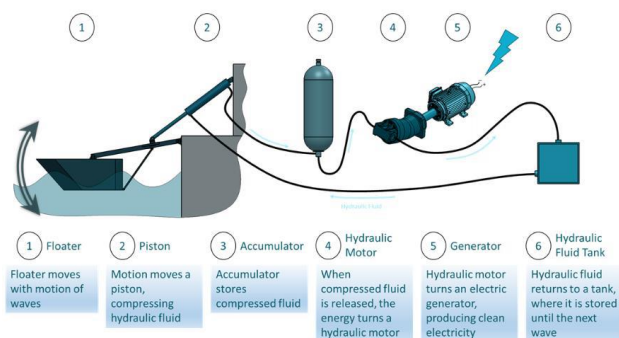
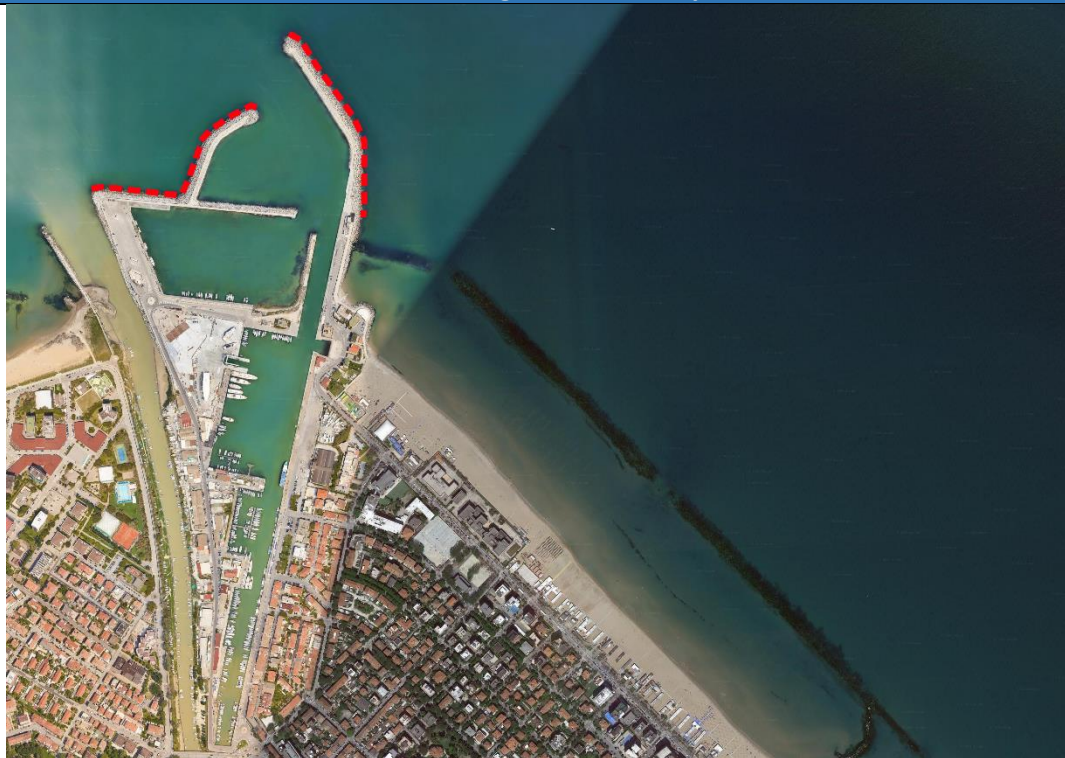


Figura 36 - Componenti del sistema Eco Wave Power

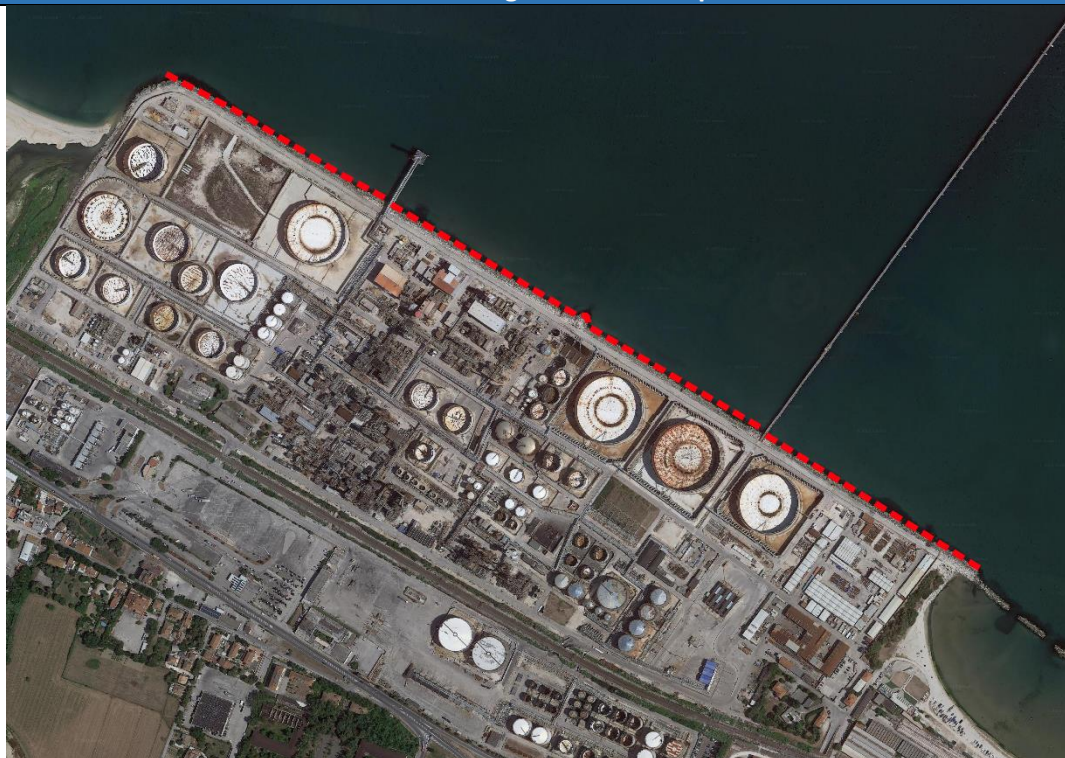
A tale scopo, si riportano di seguito le aree portuali oggetto di analisi con evidenziate le strutture che potrebbero essere valutate idonee all'integrazione di sistemi di generazione di energia da moto ondoso. Si riporta inoltre l'indicazione della lunghezza dell'infrastruttura costiera esposta al moto ondoso e utilizzabile per fini energetici.



Porto di Pesaro – Lunghezza tratto esposto 740 m



Porto di Falconara – Lunghezza tratto esposto 1.300 m





**Porto di Ancona – Lunghezza tratto esposto 3.600 m**



**Porto San Benedetto del Tronto – Lunghezza tratto esposto 1.380 m**





Porto di Pescara – Lunghezza tratto esposto 1.400 m



Porto di Ortona – Lunghezza tratto esposto 2.500 m



## 5. IL RUOLO DELL'IDROGENO NELL'ECOSISTEMA PORTUALE

Attualmente il 2,5% delle emissioni annue globali di CO<sub>2</sub> è generato dal trasporto marittimo e si stima che questo dato possa aumentare del 50% entro il 2050. Una quota significativa di queste emissioni viene generata durante la permanenza delle navi in porto e dalle operazioni di carico e scarico: nello specifico, le emissioni annue di CO<sub>2</sub> associate a queste fasi sono pari a circa 20 Mton e si prevede che possano raggiungere le 70 Mton entro il 2050 [5]. Appare quindi evidente come la decarbonizzazione delle aree portuali attraverso l'adozione di soluzioni low-carbon per il trasporto marittimo e la movimentazione delle merci rappresenti senza dubbio una delle tappe fondamentali per il raggiungimento degli obiettivi climatici fissati per il 2030 e il 2050.

In questo scenario, l'idrogeno verde potrà fornire un contributo fondamentale al processo di transizione energetica grazie alla sua notevole versatilità e alla possibilità di realizzare il cosiddetto *sector coupling*, cioè l'integrazione tra diverse fonti di energia e molteplici usi finali.

Infatti, secondo quanto riportato dall'International Energy Agency (IEA) nel report "*Global Hydrogen Review 2022*", i porti possono rappresentare degli *hydrogen hubs*, cioè delle realtà in cui coesistono diversi potenziali utilizzi dell'idrogeno quali ad esempio il trasporto stradale heavy-duty, il trasporto navale, la movimentazione dei carichi (cargo handling equipment) e l'alimentazione di altre attrezzature portuali [6].

In un'ottica ancora più ampia, i porti possono diventare anche uno dei fulcri delle *hydrogen valleys*, cioè aree territoriali più estese in cui si concentrano produzione, distribuzione e utilizzo di idrogeno in applicazioni industriali (e.g., industria chimiche, siderurgiche e raffinerie) e mobilità (e.g., trasporto pubblico locale, logistica, cargo handling e mezzi privati) [6].

In questo contesto, i porti potranno sfruttare l'energia elettrica rinnovabile prodotta dagli impianti installati on-shore ed off-shore per alimentare degli elettrolizzatori e generare idrogeno verde on-site. Inoltre, i porti potranno ricoprire un ruolo chiave anche nello sviluppo delle tratte per l'import-export di grandi quantità di idrogeno che potrà essere prodotto in aree geografiche caratterizzate da un elevato potenziale di energie rinnovabili (i.e., eolico e fotovoltaico) e trasportato via nave verso le aree di maggior consumo, ad esempio i grandi poli dell'industria chimica.

Tra i potenziali utilizzi dell'idrogeno nel settore portuale citati in precedenza, i cargo handling equipment (CHE) e il trasporto pesante a lunga percorrenza rappresentano senza dubbio i più promettenti, mentre le applicazioni nel trasporto marittimo sono ancora in fase dimostrativa e non esistono soluzioni disponibili in commercio [7].

Nello specifico, i mezzi per la movimentazione delle merci (e.g., yard trucks, forklifts, container movers e rubber-tyred gantry cranes), che attualmente utilizzano combustibili fossili e generano notevoli emissioni di CO<sub>2</sub> ed altri inquinanti, possono essere alimentati da sistemi a fuel cell ad idrogeno in grado di garantire elevata autonomia e affidabilità. A conferma di ciò, l'IEA riporta che alla fine del 2021 è entrata in funzione nel porto di Shanghai la prima mobile crane ad idrogeno alimentata da una fuel cell. Inoltre, entro la fine del 2022 è prevista la consegna di una rubber tyre gantry crane alimentata ad idrogeno al Kobe International Container Terminal (Giappone) e un'altra dovrà essere consegnata al porto di Los Angeles (USA) con l'obiettivo di entrare in funzione a partire dalla seconda metà del 2024 [6].

Il porto di Valencia, nell'ambito del progetto H2PORTS, testerà un reach stacker e un terminal tractor alimentati ad idrogeno e riforniti da una stazione di ricarica mobile opportunamente progettata per garantire un servizio continuo ai mezzi [8].



Figura 37 - Sito dimostrativo nel porto di Valencia e terminal tractor sviluppato nel progetto H2PORTS

ENEA, partner del progetto H2PORTS, afferma che i terminal tractors impiegati in un terminal portuale di medie dimensioni sono in funzione per 19.800 ore annue e consumano quasi 190.000 litri di diesel: considerando un fattore emissivo medio di 2.7 kg di CO<sub>2</sub> per litro di diesel, l'utilizzo di mezzi ad idrogeno permetterebbe di evitare l'emissione di circa 500 ton di CO<sub>2</sub>.

Infine, l'IEA riporta che il porto di Anversa prevede di iniziare ad utilizzare un terminal tractor ad idrogeno nel 2023 e che più di 100 veicoli a fuel cell (tra cui container stacker, camion e van) dovranno entrare in funzione nel porto di Amburgo per raggiungere gli ambiziosi target di decarbonizzazione [6].

I veicoli heavy-duty alimentati ad idrogeno sono caratterizzati da elevate autonomie, tempi di ricarica paragonabili ai mezzi convenzionali e payload notevolmente superiori rispetto ai veicoli alimentati a batterie. Queste caratteristiche li rendono particolarmente adatti per lo spostamento di merci su lunghe distanze e per applicazioni nel settore della logistica. È quindi ragionevole ipotizzare che in futuro esisterà una stretta connessione tra le diverse modalità di trasporto (e.g., navale e stradale) con un numero considerevole di veicoli ad idrogeno in circolazione nelle aree portuali.

Infine, per quanto riguarda l'utilizzo dell'idrogeno nel trasporto marittimo, la Getting to Zero Coalition ha identificato numerosi progetti in corso: 45 prototipi ad idrogeno sono attualmente utilizzati in applicazioni dimostrative principalmente su brevi distanze [6,7].

Appare quindi evidente come in futuro i porti debbano essere dotati di un'opportuna infrastruttura per il rifornimento dei mezzi pesanti in transito nell'area portuale, dei cargo handling equipment impiegati nelle fasi di carico, scarico e trasferimento delle merci ed eventualmente dei prototipi di imbarcazioni a fuel cell. Proprio per tale ragione alcuni porti hanno già iniziato a dotarsi di stazioni di rifornimento (Hydrogen Refuelling Stations, HRS). Nello specifico, CMB.TECH ha inaugurato nel 2021 la prima stazione di rifornimento multimodale nel porto di Anversa, Air Products sta costruendo nel porto di Rotterdam una stazione di rifornimento per camion che entrerà in funzione nel 2023 e Shell ha realizzato due high-capacity HRS nel porto di Los Angeles [6].

La decarbonizzazione delle aree portuali si configura come un processo complesso che richiede di implementare in modo sinergico diverse soluzioni low-carbon: tra queste l'idrogeno potrà giocare un ruolo fondamentale viste le caratteristiche peculiari dei porti e in modo specifico la simultanea presenza di diversi usi finali.



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Adriatico Centrale

Porti di Pesaro, Falconara, Ancona, S. Benedetto, Pescara, Ortona, Vasto

*ALLEGATO 1 ANALISI DELLE TECNOLOGIE PER LA PRODUZIONE DI  
ENERGIE DA FONTI RINNOVABILI NEI PORTI DEL SISTEMA  
PORTUALE MAC*



## Bibliografia e sitografia

- [1] Linee guida per la redazione dei Documenti di Pianificazione Energetica e Ambientale dei Sistemi Portuali (DEASP), D.lgs. 17 dicembre 2018 n.408, Direzione Generale per il Clima e l’Energia (CLE) – MATTM - Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, MIT – Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.
- [2] PIANO NAZIONALE INTEGRATO PER L’ENERGIA E IL CLIMA (PNIEC), Ministero dello Sviluppo Economico Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Dicembre 2019.
- [3] “*DECARBONIZZAZIONE DELL’ECONOMIA ITALIANA - Il Catalogo delle tecnologie energetiche*”, 2017 a cura di ENEA, CNR e RSE in Appendice – Parte 9)
- [4] G. Sannino, A. Carillo, A. Bargagli, E. Caiaffa, E. Lombardi (ENEA), P. Monti, G. Leuzzi (Università di Roma La Sapienza, DICEA), “*Valutazione del potenziale energetico del moto ondoso lungo le coste italiane*”, Report Ricerca Sistema Elettrico (ENEA), settembre 2011
- [5] G. di Ilio, P. di Giorgio, L. Tribioli, V. Cigolotti, G. Bella, and E. Jannelli, “*Assessment of a Hydrogen-Fueled Heavy-Duty Yard Truck for Roll-On and Roll-Off Port Operations,*” in *SAE Technical Papers*, Sep. 2021, no. 2021. doi: 10.4271/2021-24-0109.
- [6] International Energy Agency (IEA), “*Global Hydrogen Review 2022,*” 2022. [Online]. Available: [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/)
- [7] International Energy Agency (IEA), “*Global Hydrogen Review 2021.*” [Online]. Available: [www.iea.org/t&c/](http://www.iea.org/t&c/)
- [8] “*H2PORTS.*” <https://h2ports.eu/> (accessed Nov. 28, 2022).

## Indice delle figure

Figura 1 - Elementi di copertura presenti nell’area portuale di Ancona e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in scala di colore graduata, dove il rosso e l’arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica annuale producibile da fotovoltaico ..... 8

Figura 2 - Elementi di copertura presenti nell’area portuale di Pesaro e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in una scala di colore graduata, dove il rosso e l’arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica producibile da fotovoltaico ..... 9

Figura 3 - Elementi di copertura presenti nell’area portuale di San Benedetto del Tronto e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in una scala di colore graduata, dove il rosso e l’arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica producibile da fotovoltaico ..... 10

Figura 4 - Elementi di copertura presenti nell’area portuale di Pescara e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in scala di colore graduata, dove il rosso e l’arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica producibile da fotovoltaico ..... 11

Figura 5 - Elementi di copertura presenti nell'area portuale di Ortona e corrispondente potenziale annuo di energia elettrica producibile da fotovoltaico per edificio. Il dato del potenziale fotovoltaico è rappresentato in scala di colore graduata, dove il rosso e l'arancione corrispondono a valori alti di energia elettrica producibile da fotovoltaico .....	12
Figura 6 - Ripartizione del potenziale fotovoltaico tra le aree portuali del Sistema Portuale del Mare Adriatico Centrale.....	13
Figura 7 - Esempi turbine ad asse orizzontale e ad asse verticale (Fonte: FIRE).....	14
Figura 8 - Ubicazione stazione mareografica RMN Ancona .....	16
Figura 9 - Ubicazione stazione mareografica RMN San Benedetto del Tronto .....	17
Figura 10 - Ubicazione stazione mareografica RMN San Benedetto del Tronto .....	18
Figura 11 – Rosa dei venti rappresentante la direzione e la velocità media prevalenti del vento .....	19
Figura 12 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento .....	19
Figura 13 – Velocità media annua del vento a 50 m s.l.t .....	20
Figura 14 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento .....	20
Figura 15 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t .....	21
Figura 16 – Producibilità specifica off-shore a 50 s.l.m.....	21
Figura 17 – Rosa dei venti rappresentante la direzione e la velocità media prevalenti del vento .....	22
Figura 18 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento .....	22
Figura 19 – Velocità media annua del vento a 50 m s.l.t .....	23
Figura 20 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento .....	23
Figura 21 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t.....	24
Figura 22 – Producibilità specifica off-shore a 50 s.l.m.....	24
Figura 23 – Rosa dei venti rappresentante la direzione e la velocità media prevalenti del vento .....	25
Figura 24 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento .....	25
Figura 25 – Velocità media annua del vento a 50 m s.l.t .....	26
Figura 26 – Distribuzione percentuale delle frequenze delle velocità medie rilevate nel periodo di riferimento .....	26
Figura 27 – Producibilità specifica on-shore a 50 s.l.t.....	27
Figura 28 – Producibilità specifica off-shore a 50 s.l.m.....	27
Figura 29 - Schema funzionamento Oscillating Water Columns .....	29
Figura 30 - Schema funzionamento Oscillating Bodies .....	29
Figura 31 - ISWEC (Inertial Sea Wave Energy Converter).....	30
Figura 32 - Progetto REWEC3 .....	30
Figura 33 - Potenziale energetico medio calcolato (in kW/m). Medie effettuate su tutto il periodo 2001-2010 (Fonte: ENEA).....	31

Figura 34 - Flusso medio di energia in funzione del mese tra il valore misurato dalla boa (linea nera) e la simulazione SIM\_ECMWF (linea rossa) per la stazione di Ancona e Ortona. Medie effettuate su tutto il periodo 2001-2010. Le linee orizzontali tratteggiate corrispondono al flusso medio annuale. (Fonte ENEA) 32

Figura 35 - Progetto DIMEMO (Diga Marittima per l'Energia del Moto Ondoso) ..... 33

Figura 36 - Componenti del sistema Eco Wave Power ..... 33

Figura 37 - Sito dimostrativo nel porto di Valencia e terminal tractor sviluppato nel progetto H2PORTS..... 38

## Indice delle tabelle

Tabella 1 - Sintesi della valutazione della producibilità di energia elettrica da fotovoltaico ..... 13