

DIGITALMED

*BANDO a CASCATA
progetto “Network 4 Energy Sustainable Transition (NEST)”,
Codice progetto PE0000021, CUP D93C22000900001 finanziato nell’ambito del
Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, Missione 4 “Istruzione e ricerca” –
Componente 2 “Dalla ricerca all’impresa” – Investimento 1.3, finanziato dall’Unione
europea – NextGenerationEU.*

REPORT DELLE ATTIVITÀ WP2

**DATA PROCESSING OF EXISTING DATABASE & EXPERIMENTAL
CAMPAIGN AT SITES**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI PARTHENOPE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE

UNIVERSITÀ DELLA CAMPANIA “L. VANVITELLI”

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
PARTHENOPE



Università
degli Studi
della Campania
Luigi Vanvitelli

REPORT TECNICO

relativo al Progetto DIGITALMED - *Digital Platform for Management of Renewable Energies Marine Resource Data in Mediterranean sea* - inserito nel BANDO a CASCATA progetto “Network 4 Energy Sustainable Transition (NEST)”, Codice progetto PE0000021, CUP D93C22000900001 finanziato nell’ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza, Missione 4 “Istruzione e ricerca” – Componente 2 “Dalla ricerca all’impresa” – Investimento 1.3, finanziato dall’Unione europea – NextGenerationEU.

Work Package 2: DATA PROCESSING OF EXISTING DATABASE & EXPERIMENTAL CAMPAIGN AT SITES a cura del Dipartimento di Scienze e Tecnologie dell’Università degli Studi di Napoli “Parthenope” e del Dipartimento di Ingegneria dell’Università degli studi della Campania “Luigi Vanvitelli”.

Draft Version	Gennaio 2026
Released version:	

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	5
2.	PUNTI DELLA GRIGLIA SUL MAR MEDITERRANEO	5
2.1	DATI GREZZI PROVENIENTI DA DATABASE ESTERNI.....	5
2.2	RACCOLTA E PREELABORAZIONE DELLE INFORMAZIONI GEOGRAFICHE PER I PUNTI DELLA GRIGLIA	7
2.3	DEFINIZIONE DI CRITERI E FATTORI PER LA SELEZIONE DEL SITO PER PARCHI ENERGETICI MARINI	7
2.3.3	Fattori	8
2.3.4	Vincoli.....	11
2.3.5	Riferimenti bibliografici della sezione	13
3.	CAMPAGNA SPERIMENTALE.....	15
3.1	SITO DI NAPOLI.....	15
3.1.1	Inquadramento generale e descrizione del sito.....	15
3.1.2	Localizzazione e Caratteristiche dell'Area	16
3.1.3	Sistema di monitoraggio.....	17
3.1.4	Monitoraggio Idrologico, Idrodinamico e Ondoso.....	17
3.1.5	Le misure Monitoraggio Vento	17
3.1.6	Strumentazione impiegata e monitoraggio.....	18
3.1.6.1	Lidar.....	18
3.1.6.2	Boa ondometrica GPS	20
3.1.6.3	Boa ondometrica accelerometrica	21
3.1.6.4	ADCP	23
3.1.6.5	Sonda Parametrica	25
3.1.6.6	Idrofono.....	25
3.1.6.7	Underwater Particle Motion.....	26
3.1.7	Lesson learnt e Criticità riscontrate.....	27
3.2	SITO DI PANTELLERIA.....	28
3.2.3	Inquadramento generale e descrizione del sito.....	28
3.2.4	Localizzazione e Caratteristiche dell'Area	29
3.2.5	Sistema di monitoraggio.....	29
3.2.6	Monitoraggio Idrologico, Idrodinamico e Ondoso.....	30
3.2.7	Monitoraggio Atmosferico (Vento).....	31
3.2.8	Obiettivi del Monitoraggio.....	31
3.2.9	Strumentazione impiegata e monitoraggio.....	32
3.2.10	Lidar	32
3.2.11	Boa ondometrica	33

3.2.12	ADCP	35
3.2.13	Sonda multiparametrica SBE HydroCAT-EP V2	37
3.2.14	Idrofono RTSYS Sylence-LP.....	39
3.2.15	Lesson learnt e Criticità riscontrate	40
3.3	SITO DI CARLOFORTE	41
3.3.1	Inquadramento generale e descrizione del sito.....	41
3.3.2	Localizzazione e Caratteristiche dell' Area.....	41
3.3.3	Sistema di Monitoraggio	42
3.3.4	Monitoraggio Idrologico, Idrodinamico e Ondoso.....	43
3.3.5	Obiettivi del Monitoraggio.....	44
3.3.6	Strumentazione impiegata e monitoraggio.....	44
3.3.7	Sonda Multiparametrica SBE37 SMP.....	44
3.3.8	Boa ondametria.....	45
3.3.8.1	ADCP.....	47
3.3.8.2	Idrofono RTSYS Sylence-LP.....	48
3.3.9	Lesson learnt e Criticità riscontrate.....	50

INDICE DELLE FIGURE

Figura 2.2-1:	Illustrazione della homepage del dataset Copernicus.....	7
Figura 2.3-1:	Curva di potenza e spinta di una turbina eolica da 15 MW [4].....	9
Figura 3.1-1:	Directional wave spectra drifter (DWSD).....	21
Figura 3.1-2:	Profilatore di corrente Doppler acustici (ADCP).....	24
Figura 3.2-1:	Inquadramento geografico sito di Pantelleria.....	28
Figura 3.2-2:	Mappa batimetrica del sito.	29
Figura 3.2-3:	Quadripode come sistema di monitoraggio integrato.....	30
Figura 3.2-4:	Vaisala WindCube® (Modello WCL21).....	32
Figura 3.2-5:	Vaisala WindCube® (Modello WCL21) installato a Pantelleria.	33
Figura 3.2-6:	Boa ondametria DWSD con anemometro WindSonic.	34
Figura 3.2-7:	Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP).	36
Figura 3.2-8:	Sonda multiparametrica SBE HydroCAT-EP V2.	38
Figura 3.2-9:	Idrofono RTSYS Sylence-LP.....	39
Figura 3.3-1:	inquadramento geografico sito di Carloforte.....	41
Figura 3.3-2:	Struttura mooring Carloforte.....	42
Figura 3.3-3:	Sonda multiparametrica SBE 37-SMP.....	45
Figura 3.3-4:	Boa ondametria DWSD.....	46
Figura 3.3-5:	Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP).	47
Figura 3.3-6:	Idrofono RTSYS Sylence-LP.....	49

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1-1:	Descrizione attività WP2.	5
Tabella 2.3-1:	Riepilogo dei criteri di questo studio.....	8
Tabella 3.1-1:	Configurazione ADCP.....	24

Tabella 3.1-2: Parametri di analisi spettrale dell'ADCP.....	24
Tabella 3.2-1: Configurazione boa ondametrica.....	35
Tabella 3.2-2: Configurazione Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP).....	37
Tabella 3.2-3: Configurazione SBE HydroCAT-EP V2.	37
Tabella 3.2-4: Configurazione Idrofono	40
Tabella 3.3-1: Configurazione sonda multiparametrica SBE 37-SMP	45
Tabella 3.3-2: Configurazione boa ondametrica.....	46
Tabella 3.3-3: Configurazione Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP).....	48
Tabella 3.3-4: Configurazione Idrofono	49

1. INTRODUZIONE

Questa relazione ha lo scopo di descrivere i primi passi di integrazione tra i dati provenienti dai database esistenti ed i cui output sono prodotti all'esterno del progetto DIGITALMED con i dati raccolti nei tre siti test di Carloforte, Napoli e Pantelleria.

In accordo con la divisione del progetto in 4 WPs, questo report contiene la descrizione delle attività svolte nel WP2 (Tabella 1-1).

Tabella 1-1: Descrizione attività WP2.

WP2 - Data processing of existing database & Experimental campaign at Site_1 and Site_2					
A2.1	ERA5 Database Management				
A2.2	NEST project partners Database Management				
A2.3	Preprocessing og geographical information				
A2.4	Criteria and factors for site selection				
A2.5	Experimental campaign at Site 1 and Site 2				

2. PUNTI DELLA GRIGLIA SUL MAR MEDITERRANEO

2.1 Dati grezzi provenienti da database esterni

I dati sono stati raccolti dal dataset Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/>). La Figura 2.2 1 illustra il sito web del dataset Copernicus. Copernicus fa parte del Programma Spaziale dell'Unione Europea. Offre servizi informativi derivati dalla suite di satelliti Sentinel e dai dati a terra dell'Agenzia Spaziale Europea. Copernicus offre sei servizi tematici, tra cui: monitoraggio atmosferico, monitoraggio marino, monitoraggio terrestre, cambiamenti climatici, sicurezza e gestione delle emergenze. In questo studio, i dati climatici provengono dal dataset ERA5. ERA5 è la quinta generazione di rianalisi ECMWF per il clima e le condizioni meteorologiche globali degli ultimi 8 decenni. I dati sono disponibili dal 1940 in poi.

Il dataset fornisce stime orarie per un gran numero di grandezze atmosferiche, delle onde oceaniche e della superficie terrestre [1]. In questo senso, ERA5 sostituisce la rianalisi ERA-

Interim. La rianalisi combina i dati del modello con osservazioni da tutto il mondo in un set di dati globalmente completo e coerente utilizzando le leggi della fisica. Questo principio, chiamato assimilazione dei dati, si basa sul metodo utilizzato dai centri di previsione meteorologica numerica, dove ogni tot ore (12 ore presso l'ECMWF) una previsione precedente viene combinata con le nuove osservazioni disponibili in modo ottimale per produrre una nuova migliore stima dello stato dell'atmosfera, chiamata analisi. La rianalisi funziona allo stesso modo, ma a risoluzione ridotta per consentire la fornitura di un set di dati che copre diversi decenni. I dati vengono ri-grigliati su una griglia latitudine-longitudine regolare di 0,25 gradi per la rianalisi e 0,5 gradi per la stima dell'incertezza (rispettivamente 0,5 e 1 grado per le onde oceaniche) [1].

I dati utilizzati come base informativa per la piattaforma webGIS derivano dai prodotti di *reanalysis* del Copernicus Marine Service, organizzati su una griglia regolare con passo di 0.25° sia in latitudine che in longitudine, estesa all'intero bacino del Mar Mediterraneo e del Mar Nero. La risoluzione temporale scelta è esoraria (6 ore), con copertura continua nel periodo 2015–2024. I dati sono forniti nel sistema di riferimento geografico WGS-84 e distribuiti in formato NetCDF, standard di riferimento per la gestione di dati ambientali multi-temporali. I prodotti di *reanalysis* derivano dall'integrazione tra modelli numerici e osservazioni disponibili, consentendo di ottenere una ricostruzione coerente e continua nel tempo delle condizioni meteomarine. Nello specifico, per questo progetto sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- *Significant Wave Height and direction*, rappresentativo dell'altezza significativa dell'onda e della direzione di propagazione del moto ondoso;
- *Wind intensity (componenti U e V a 100 m)*, che descrivono rispettivamente le componenti zonale e meridiana del vento alla quota di 100 m;
- *Mean wave direction*, indicativa della direzione media del campo ondoso;
- *Peak wave period*, che rappresenta il periodo dell'onda associata al picco dello spettro energetico;
- *Mean surface net short wave radiation flux*, relativo al bilancio netto della radiazione solare a onde corte alla superficie.

Prima dell'integrazione nella piattaforma web-GIS, i dataset sono stati sottoposti a operazioni di *pre-processing*, comprendenti la selezione delle variabili di interesse, l'eventuale conversione dei formati e l'ottimizzazione per la visualizzazione e l'interrogazione spaziale. La struttura su griglia regolare ha consentito una gestione efficiente dei dati e una piena interoperabilità con gli altri layer informativi presenti nel sistema. Tali dati sono stati quindi utilizzati come base map del portale web-GIS, costituendo il riferimento principale per la visualizzazione e l'analisi dei parametri meteomarini su scala dell'intero bacino del Mediterraneo.

2.2 Raccolta e preelaborazione delle informazioni geografiche per i punti della griglia

Per i tre siti studio, sono stati estratti dal database ERA5 e analizzati i dati di 9 variabili per il periodo 2015-2024, tra cui: componente u del vento a 100 m, componente v del vento a 100 m, componente u del vento a 10 m, componente v del vento a 10 m, raffica di vento a 10 m dalla precedente post-elaborazione, altezza significativa delle onde del vento e del moto ondoso combinati, periodo di picco dell'onda, direzione media dell'onda, flusso medio di radiazione netta superficiale a onde corte. I dati sono stati poi elaborati nell'ambito delle attività di cui al WP3.

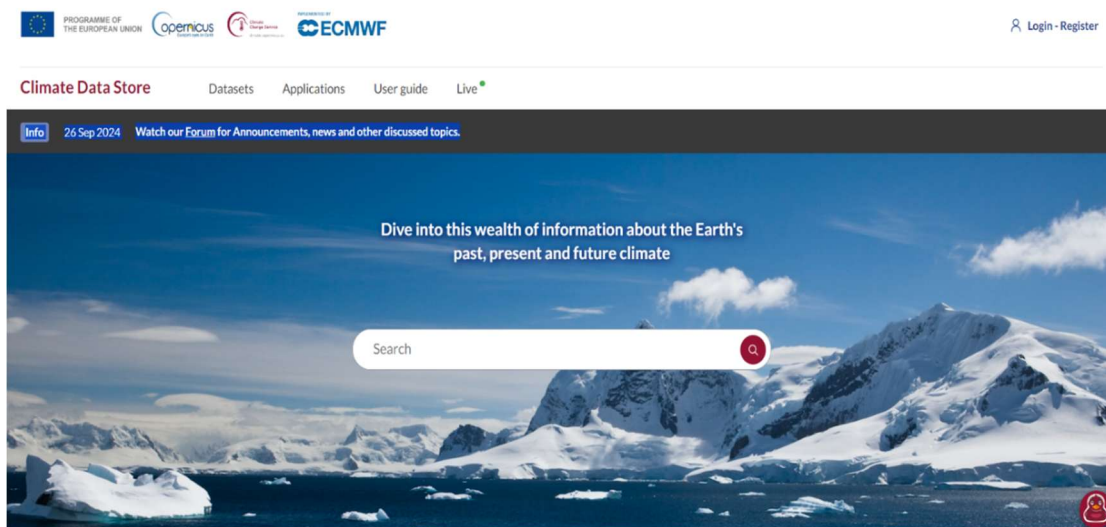


Figura 2.2-1: Illustrazione della homepage del dataset Copernicus

2.3 Definizione di criteri e fattori per la selezione del sito per parchi energetici marini

Per pianificare in modo sostenibile nuove attività in mare, è fondamentale considerare i parametri sociali, tecnici, economici e ambientali effettivi che potrebbero compromettere la fattibilità a lungo termine del progetto. Per la pianificazione di progetti eolici/motoristici e fotovoltaici nel Mar Mediterraneo, i criteri sono stati identificati sulla base della letteratura pertinente, dove sono stati applicati con successo per risolvere problemi simili, e tenendo conto della legislazione vigente in materia di pianificazione delle energie rinnovabili. In generale, i criteri includono fattori e vincoli. La Tabella 2.3-1 riassume i criteri e le relative soglie in questo studio. Una descrizione dei criteri è fornita in due categorie di fattori e vincoli, come segue:

Tabella 2.3-1: Riepilogo dei criteri di questo studio.

#	Criterio	Soglia
1	Velocità media del vento per la produzione di energia all'altezza del mozzo di 150 m	3-25 (m/s)
2	Altezza significativa dell'onda	1-6 (milioni)
3	Periodo di picco dell'onda	5-14 (s)
4	Batimetria	<500 (metri)
5	Irradiazione media a onde corte	>1600 kWh/m ²
6	Distanza dal porto	<250 (km)
7	Distanza dalle rotte di navigazione	>1 (km)
8	Distanza dalle aree marine protette	>500 (metri)
9	Distanza dalle aree militari	Confine dell'area militare
10	Distanza da cavi e condotte	>250 metri

2.3.3 Fattori

Un fattore è un criterio che può essere ponderato e un aumento o una diminuzione del suo peso potrebbe influenzare l'idoneità finale di un'area all'installazione di un dispositivo di energia rinnovabile. In generale, ogni fattore è costituito da un livello della mappa. In questo studio, sono stati considerati i seguenti fattori per l'analisi della ricerca di siti per dispositivi eolici, ondati e fotovoltaici nel Mar Mediterraneo:

1) Velocità del vento: la velocità del vento è il fattore più importante nell'analisi di idoneità del sito per una turbina eolica offshore. In pratica, le aree con bassa velocità media del vento non potrebbero produrre energia in modo economicamente conveniente e pertanto sono considerate inadatte allo sviluppo dell'energia eolica.

A questo proposito, i ricercatori hanno utilizzato diverse soglie di velocità del vento. Tegou et al. (2010) hanno utilizzato un limite di 4 m/s [2] ; Latinopoulos e Kechagia (2015) hanno utilizzato un limite di 4,5 m/s [3] ; Höfer et al. (2016) hanno utilizzato una soglia di velocità del vento di 6,5 m/s per la selezione del sito delle turbine eoliche offshore [4] . In questo studio, le

aree con velocità medie del vento <3 m/s e >25 m/s a 150 m di altezza del mozzo sono considerate inadatte all'installazione di turbine eoliche per quanto riguarda l'intervallo operativo della turbina eolica e le considerazioni di sicurezza. Di conseguenza, la curva di potenza della turbina eolica IEA-15 MW è stata presa in considerazione per la decisione sui limiti di velocità del vento. La Figura 2.3-1 mostra la curva di potenza della turbina eolica IEA-15 MW [5].

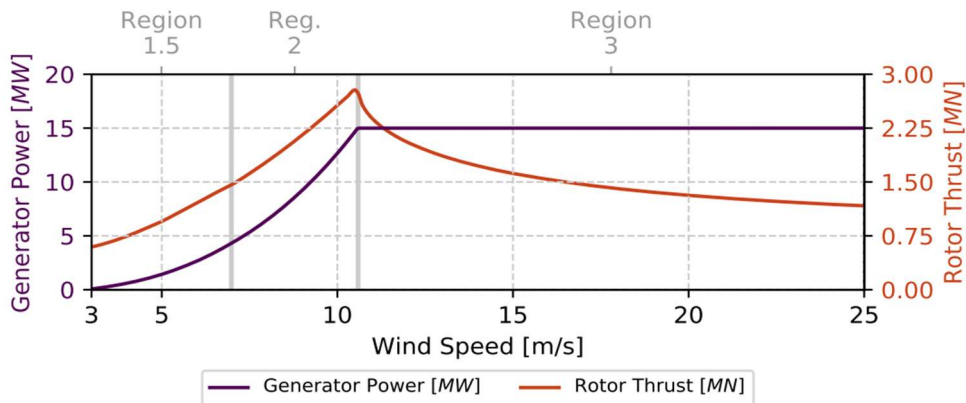


Figura 2.3-1: Curva di potenza e spinta di una turbina eolica da 15 MW [4].

2) Altezza significativa delle onde: l'altezza significativa delle onde (H_s) è un fattore cruciale nella pianificazione del sito per impianti di energia rinnovabile in mare, poiché influisce direttamente sulla progettazione delle strutture e sulle attività di manutenzione. È definita come l'altezza media del terzo più alto delle onde in un dato stato del mare ed è la variabile principale utilizzata per descrivere l'ambiente ondoso. Per garantire la sicurezza e l'efficiente produzione di energia, secondo la letteratura è stata considerata un'altezza significativa delle onde compresa tra 2 e 6 m [6,7].

3) Periodo di picco dell'onda: il periodo di picco dell'onda (T_p) è particolarmente critico per la pianificazione di un sito di un impianto di produzione di energia dalle onde offshore, poiché è il fattore determinante per l'efficienza di un convertitore di energia dalle onde (WEC). A differenza dell'altezza significativa delle onde, che è correlata alla potenza disponibile, il periodo di picco determina la frequenza alla quale tale potenza viene erogata. Infatti, i WEC sono progettati per risuonare a una frequenza specifica, che corrisponde direttamente al periodo di picco dell'onda. Se le onde in arrivo hanno un periodo di picco che corrisponde bene alla frequenza di risonanza del WEC, il dispositivo funzionerà alla sua massima efficienza o quasi. Tuttavia, se i periodi delle onde dominanti sono significativamente diversi, l'assorbimento di energia del WEC diminuisce drasticamente. A questo proposito, non esiste un intervallo di



efficienza unico e universale per i periodi di picco dell'onda, poiché dipende fortemente dalla specifica tecnologia del WEC e dal clima ondoso locale del sito. Tuttavia, la letteratura e la ricerca sui convertitori di energia dalle onde suggeriscono che un sito con un'elevata frequenza di periodi di picco nell'intervallo da 6 a 12 secondi è generalmente considerato altamente auspicabile per la maggior parte dei progetti di WEC. Di conseguenza, in questo studio è stato considerato un intervallo di periodo di picco dell'onda di 5-14 secondi [6,7].

4) Batimetria: uno dei fattori tecnici più importanti per la valutazione dei siti idonei per l'installazione di dispositivi di energia rinnovabile in mare è la profondità dell'acqua. Generalmente, i parchi eolici offshore a base fissa possono essere installati fino a una profondità massima di 60 m. Tuttavia, le turbine eoliche galleggianti possono essere installate in un intervallo più ampio di profondità dell'acqua (> 60 m). Infatti, le caratteristiche del sistema di ormeggio limitano la profondità massima adatta per l'installazione di una turbina eolica offshore [8]. D'altra parte, non vi è alcun limite all'installazione di dispositivi WEC e fotovoltaici ad alte profondità, ad eccezione delle considerazioni tecniche relative ai sistemi di ormeggio. Pertanto, in questo studio si considera una profondità massima dell'acqua di 500 m sulla base di restrizioni tecniche e la legislazione vigente sulla pianificazione dello spazio marino nell'area di studio [6,7,9].

5) Irradiazione media a onde corte: in molti studi relativi alla localizzazione di impianti solari terrestri, la radiazione solare totale incidente su una superficie orizzontale (ovvero l'irradiazione orizzontale globale) è considerata un criterio di valutazione estremamente importante. L'intensità della radiazione di un sistema solare fotovoltaico determina l'entità della sua potenza elettrica. Le aree con un elevato potenziale solare contribuiscono in modo significativo all'efficienza e alla fattibilità economica del progetto. Pertanto, secondo la letteratura, la valutazione dei potenziali siti fotovoltaici nel Mar Mediterraneo è stata considerata idonea se l'irradiazione media a onde corte è $>1600 \text{ kWh/m}^2$ [10].

Vale la pena ricordare che una velocità del vento significativa (periodo di ritorno di 50 anni) e un'altezza delle onde significativa (periodo di ritorno di 50 anni) sono fattori importanti per valutare la sopravvivenza strutturale e le attività di gestione e manutenzione. Tuttavia, nella fase di analisi di fattibilità del sito, questi fattori potrebbero essere esclusi dalla valutazione. È tuttavia fondamentale considerare tali fattori nella fase di selezione del sito.





2.3.4 Vincoli

Questa categoria comprende qualsiasi attività/uso che limiti altri usi di una particolare area. Questi limiti possono derivare dalle caratteristiche naturali di un'area o essere il risultato di incompatibilità tra attività umane. Pertanto, queste aree sono considerate aree limitate (ovvero, vincoli). In questo studio, ogni criterio di vincolo è espresso come un livello geospaziale separato per identificare le aree considerate impraticabili dal punto di vista ambientale o che potrebbero presentare conflitti con altri usi per l'installazione di dispositivi eolici, a onde o a pannelli solari. Di conseguenza, i vincoli in questo studio includono [11–13] :

1) Distanza dal porto: l'installazione e la manutenzione di dispositivi di energia rinnovabile richiedono una rete di supporto che includa trasporti, accesso a porti di grandi dimensioni per le navi e una rete di trasmissione di energia per trasferire l'energia generata. Di conseguenza, un parco eolico/solare/ondoso offshore deve essere costruito in un luogo facilmente accessibile per evitare costi eccessivi durante le fasi di costruzione e gestione. In generale, con la riduzione della distanza tra i parchi eolici offshore e i porti esistenti, si riduce anche il costo complessivo di costruzione del parco. Inoltre, la vicinanza di un parco a un porto semplifica la gestione complessiva del progetto di costruzione e delle operazioni. Di conseguenza, i ricercatori hanno suggerito che l'installazione di parchi eolici offshore di energia rinnovabile sia preferibile il più vicino possibile ai porti. In questo studio, una distanza massima dai porti pari a 250 km è stata considerata come soglia sulla base dello studio di fattibilità economica dei F-OWF suggerito in studi precedenti [6] . A tal fine, si suggerisce la distanza euclidea di un parco dai porti per massimizzare l'efficienza dei costi del progetto.

2) Distanza dalle rotte di navigazione: al fine di salvaguardare il trasporto marittimo ed evitare danni alle turbine eoliche, si suggerisce di costruire parchi di energia rinnovabile offshore in aree con bassa densità di traffico marittimo. Per scegliere i siti idonei per i parchi offshore in questo studio, la densità delle rotte di navigazione viene esaminata in tre categorie di navi (ovvero, cargo, petroliere, passeggeri) mentre viene considerata una distanza di sicurezza minima di 1 km dalle rotte di navigazione [14–16] . I dati sulla densità annuale delle rotte (2019-2023) per tutte le navi sono ottenuti dal database EMODnet [17] .

3) Distanza dalle aree marine protette: lo sviluppo di un parco rinnovabile offshore potrebbe alterare gli ecosistemi costieri e i fondali marini, pertanto è necessario identificare habitat sensibili durante la pianificazione di progetti energetici offshore [18] . Al fine di garantire che l'installazione di parchi eolici/ondosi/solari non comprometta la sostenibilità a lungo termine delle aree marine protette, diversi studi hanno suggerito di escludere tali aree e di considerare



una distanza minima da esse come zona cuscinetto. Questo studio considera otto distinte categorie di aree marine protette secondo la letteratura, la Legislazione di Pianificazione Spaziale Marina della Spagna (Legge 42/2007, del 13 dicembre, sul Patrimonio Naturale e la Biodiversità) e in conformità con la Legge 394/91, legge quadro sulle aree protette approvata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, Italia [9,13,19,20] . Le loro zone di copertura potrebbero sovrapporsi in alcune aree. In questo studio, una distanza di sicurezza di 500 m dalle aree marine protette è considerata come vincolo. Le otto categorie di aree marine protette in questo studio includono [13,20] :

- **Parchi nazionali:** sono istituiti per proteggere una regione circostante più ampia di un certo tipo di paesaggio in uno stato in gran parte inalterato o naturale (Legge 30/2014, del 3 dicembre, sui parchi nazionali, Spagna).
- **Riserve naturali** – istituite dalle amministrazioni provinciali con l'obiettivo di preservare la biodiversità e preservare gli ambienti naturali. Lo sfruttamento delle risorse in queste aree è limitato.
- **Riserve marine di interesse ittico** – sono regolate dalla Legge 3/2001, del 26 marzo, sulla pesca marittima statale, Spagna. Le riserve marine sono quelle aree idonee alla rigenerazione delle risorse ittiche grazie alle loro caratteristiche peculiari, che contribuiscono alla preservazione della ricchezza naturale di determinate aree, alla conservazione di diverse specie marine o al recupero degli ecosistemi. Le misure di protezione determinano le limitazioni o il divieto, ove opportuno, dell'esercizio dell'attività di pesca, nonché di qualsiasi altra attività che possa alterare l'equilibrio naturale. Nell'ambito delle riserve marine possono essere delimitate aree o zone con diversi livelli di protezione.
- **Monumenti naturali:** oggetti naturali che necessitano di particolare protezione o cura in quanto rivestono grande importanza per la conservazione della biodiversità.
- **Aree protette ai sensi della Convenzione per la protezione dell'ambiente marino e del litorale del Mediterraneo (Convenzione di Barcellona).**
- **Aree protette, Direttiva Specie e Habitat (Natura 2000):** una rete di aree protette in tutta l'UE, che ospita specie o habitat particolarmente meritevoli di protezione da una prospettiva europea.
- **Due “Parchi Archeologici Sommersi” sommersi**) nella regione Campania, Italia. Nel 2018 sono state create due nuove AMP, aggiunte all'elenco delle AMP italiane.
- **Aree designate a livello nazionale secondo l'Agenzia europea dell'ambiente,** che creano direttamente o indirettamente aree protette.

4) Distanza dalle aree militari: l'installazione di progetti di energia rinnovabile offshore nelle aree di utilizzo prioritario per la difesa nazionale è limitata per motivi di sicurezza. Pertanto, in

questo studio, vengono considerati i confini delle aree militari senza una zona cuscinetto, come suggerito da studi precedenti [16,21] .

5) Distanza da cavi e condotte: la costruzione di parchi di energia rinnovabile è considerata incompatibile con la presenza di cavi e condotte sul fondale marino e nelle aree circostanti [11] . Se un parco venisse sviluppato adiacente ai cavi, questi potrebbero danneggiarli durante la fase di costruzione. Diversi ricercatori hanno suggerito distanze di sicurezza diverse. Ad esempio: Murphy et al., (2011) hanno suggerito una distanza minima di 200 m da cavi e condotte [22] , mentre Diaz e Soares (2020), Hong e Moller (2011) e Jay (2010) hanno suggerito una distanza minima di 500 m [11,15,23] . Una distanza minima di 250 m è stata suggerita da altri ricercatori [16,24–26] . In questo studio, viene considerata una distanza minima di 250 m da cavi e condotte.

È importante sottolineare che esistono diversi altri criteri che potrebbero essere presi in considerazione nella valutazione dell'idoneità del sito per l'energia rinnovabile in base all'obiettivo e al budget del progetto, tra cui: distanza dalle sottostazioni elettriche, distanza dalle zone di pesca, distanza dalla costa, popolazione servita, stato del mare per la sopravvivenza e la manutenzione delle strutture. In questo studio, tuttavia, l'attenzione si è concentrata sulla valutazione primaria dei siti idonei per progetti di energia rinnovabile nell'ampio bacino geografico del Mar Mediterraneo. Pertanto, i principali fattori e criteri significativi sono stati considerati per la valutazione primaria. Si suggerisce pertanto di considerare altri criteri in fase di pianificazione per progetti futuri.

2.3.5 Riferimenti bibliografici della sezione

- [1] Server dati climatici Copernicus nd <https://cds.climate.copernicus.eu/>.
- [2] Tegou LI, Polatidis H, Haralambopoulos DA. Quadro di gestione ambientale per la localizzazione di parchi eolici: metodologia e studio di caso. *J Environ Manage* 2010;91:2134–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.05.010>.
- [3] Latinopoulos D, Kechagia K. Una valutazione multicriterio basata su GIS per la selezione del sito di un parco eolico. Un'applicazione su scala regionale in Grecia. *Renew Energy* 2015;78:550–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.041>.
- [4] Höfer T, Sunak Y, Siddique H, Madlener R. Ubicazione di parchi eolici utilizzando un approccio di processo gerarchico analitico spaziale: uno studio di caso della Städteregion Aquisgrana. *Appl Energy* 2016;163:222–43. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.138>.
- [5] Gaertner, Evan; Rinker, Jennifer; Sethuraman, Latha; Zahle, Frederik; Anderson, Benjamin; Barter, Garrett; Abbas, Nikhar; Meng, Fanzhong; Bortolotti, Pietro; Skrzypinski W. Definizione della turbina eolica offshore di riferimento IEA da 15 megawatt Gaertner. vol. 41. 2017.



- <https://doi.org/https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/238027930/75698.pdf>.
- [6] Weiss CVC, Bonetti J, Scherer MEG, Ondiviela B, Guanche R, Juanes JA. Verso la crescita blu: possibilità multiuso per lo sviluppo di settori emergenti nel mare brasiliano. *Ocean Coast Manag* 2023;243. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106764>.
- [7] Weiss CVC, Ondiviela B, Guinda X, del Jesus F, González J, Guanche R, et al. Opportunità di co-localizzazione per energie rinnovabili e impianti di acquacoltura nell'arcipelago delle Canarie. *Ocean Coast Manag* 2018;166:62–71. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.05.006>.
- [8] Jiang Z. Installazione di turbine eoliche offshore: una revisione tecnica. *Renew Sustain Energy Rev* 2021;139:110576. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110576>.
- [9] Real Decreto 150/2023, Piani MSP delle cinque demarcazioni marine spagnole nd https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-5704.
- [10] Vagona DG, Tzekakis G, Loukogeorgaki E, Karanikolas N. Selezione del sito per l'installazione di un impianto solare offshore nel Mar Egeo, Grecia. *J Mar Sci Eng* 2022;10. <https://doi.org/10.3390/jmse10020224>.
- [11] Díaz H, Guedes Soares C. Un approccio GIS integrato per la selezione del sito di parchi eolici offshore galleggianti nella costa continentale europea atlantica. *Renew Sustain Energy Rev* 2020;134:110328. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110328>.
- [12] Kim CK, Jang S, Kim TY. Selezione del sito per parchi eolici offshore nella costa sud-occidentale della Corea del Sud. *Renew Energy* 2018;120:151–62. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.081>.
- [13] Ministero per la transizione ecologica e la sfida demografica, Spagna nd <https://www.boe.es/eli/es/rd/2023/02/28/150/con>.
- [14] Möller B. Modellazione spaziale continua per analizzare la pianificazione e le conseguenze economiche dell'energia eolica offshore. *Energy Policy* 2011;39:511–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.031>.
- [15] Hong L, Möller B. Potenziale dell'energia eolica offshore in Cina: in base a vincoli tecnici, spaziali ed economici. *Energy* 2011;36:4482–91. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.071>.
- [16] Tercan E, Tapkın S, Latinopoulos D, Dereli MA, Tsiropoulos A, Ak MF. Un modello multicriterio basato su GIS per la selezione del sito di impianti eolici offshore su entrambe le sponde del Mar Egeo. *Environ Monit Assess* 2020;192:652. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08603-9>.
- [17] Visualizzatore di mappe EMODnet e <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>.
- [18] Rezaei F, Contestabile P, Vicinanza D, Azzellino A. Verso la comprensione degli impatti ambientali e cumulativi dei parchi eolici galleggianti: lezioni apprese dai parchi eolici offshore a fondo fisso. *Ocean Coast Manag* 2023;243:106772. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106772>.
- [19] MSP roadmap Spagna e <https://www.mspglobal2030.org/msp-roadmap/msp-around-the->





- world/europe/spain/.
- [20] Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica-Italia nd
https://data.europa.eu/data/datasets/m_amte-299fn3-06c67978-18c8-4da7-ff26-443d4f700c2d?locale=de.
- [21] von Krauland AK, Long Q, Enevoldsen P, Jacobson MZ. Atlante dell'energia eolica offshore degli Stati Uniti: disponibilità, potenziale e approfondimenti economici basati sulla velocità del vento a diverse altitudini e soglie ed esclusioni basate sulle politiche. *Energy Convers Manag X* 2023;20:100410. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100410>.
- [22] Murphy J, Lynch K, Serri L, Airdoldi D, Lopes M. Analisi della selezione del sito per progetti di risorse combinate offshore in Europa. 2011.
- [23] Jay S. Planners in soccorso: la pianificazione spaziale che facilita lo sviluppo dell'energia eolica offshore. *Mar Pollut Bull* 2010;60:493–9.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.11.010>.
- [24] Saleous N, Issa S, Al Mazrouei J. MODELLO DI SELEZIONE DEL SITO PER UN PARCO EOLICO BASATO SU GIS AL LARGO DELL'EMIRATO DI ABU DHABI, EMIRATI ARABI UNITI. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci* 2016;XLI-B8:437–41.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B8-437-2016>.
- [25] Karipoğlu F, Ozturk S, Efe B. Un framework di analisi FAHP e FEDAS basato su GIS per la selezione del sito adatto per un impianto ibrido eolico e solare offshore. *Energy Sustain Dev* 2023;77. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2023.101349>.
- [26] Qubaisi AA Al, Dol SS, Khan MS, Azeez AA. Studio di fattibilità e progettazione di un parco eolico offshore galleggiante negli Emirati Arabi Uniti. 2018 *Adv Sci Eng Technol Int Conf* 2018:1–5.

3. CAMPAGNA SPERIMENTALE

3.1 SITO DI NAPOLI

3.1.1 Inquadramento generale e descrizione del sito.

Il sito sperimentale di Napoli è perlopiù coincidente con uno spazio marittimo che definisce il campo sperimentale denominato “MaRELab” (Marine Renewable Energy Laboratory), situato nei pressi del Porto di Napoli. E’ stato creato per aiutare gli sviluppatori di tecnologie nei settori delle energie rinnovabili offshore a testare e migliorare, su scala medio-grande, le più recenti generazioni di turbine eoliche galleggianti (FWT) e convertitori di energia dal moto ondoso (WEC).



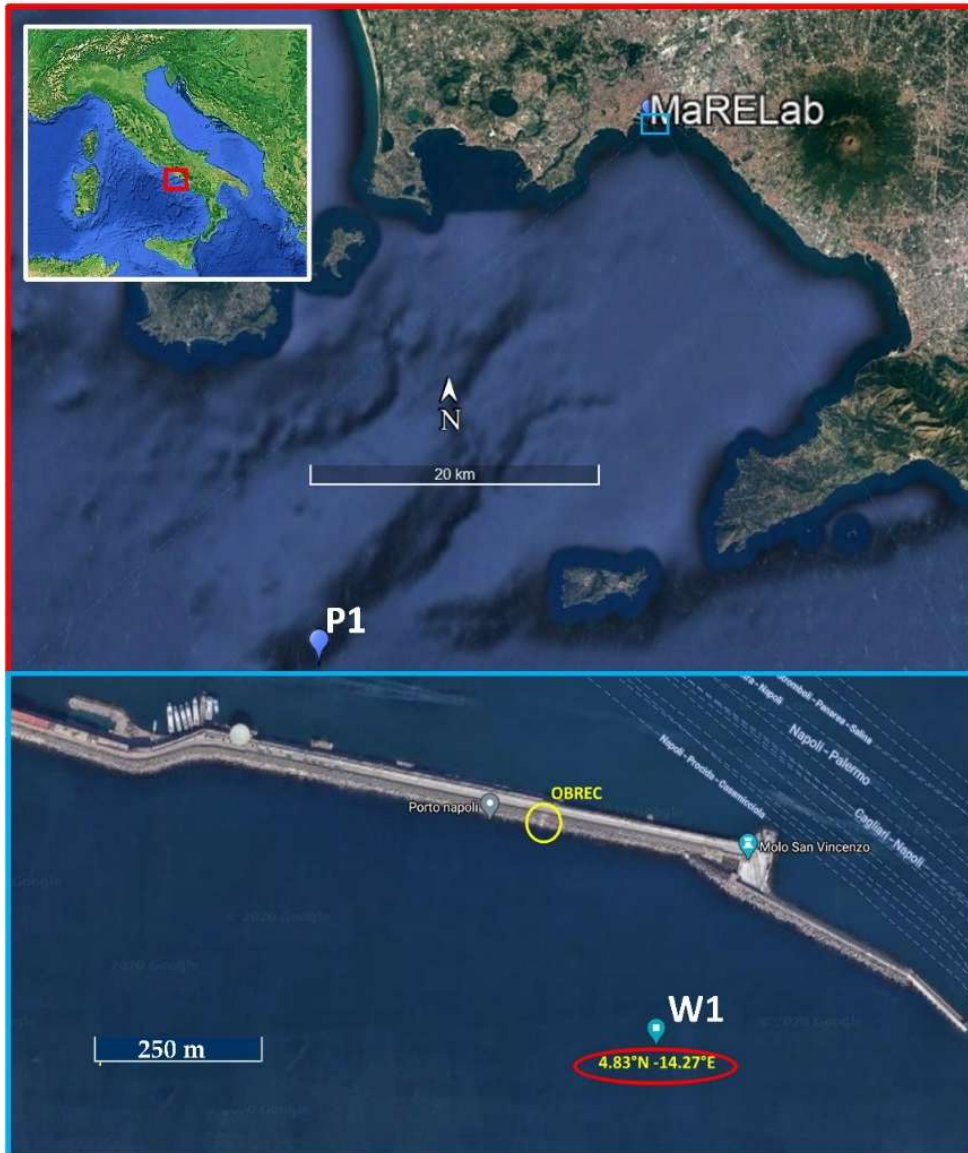


Figura 3.1: Inquadramento geografico sito di Napoli

3.1.2 Localizzazione e Caratteristiche dell'Area

Il MaRELab si trova nel Golfo di Napoli (Italia), nel Mar Tirreno centrale (Figura 3.2-1). Questa Le coordinate geografiche del sito sono $40^{\circ}49'58.68''$ N e $14^{\circ}16'03.64''$ E, corrispondenti alla parte centrale del molo San Vincenzo.

La scelta del sito deriva da considerazioni sia logistiche (per la vicinanza alla città e al porto di Napoli) sia ambientali. Infatti, gli stati di mare calmo sono concentrati nella stagione estiva e il clima ondoso è caratterizzato da un settore direzionale ristretto. La profondità dell'acqua di

25 m al piede del molo evita condizioni di frangimento anche per onde estreme nel periodo da novembre a marzo.

Queste caratteristiche sono considerate positive per soddisfare i requisiti del monitoraggio in campo, sia per dispositivi di energia eolica che da moto ondoso. Infatti, un'attività di monitoraggio efficace richiede, a intervalli, condizioni di mare calmo per consentire l'installazione e la manutenzione in sicurezza degli strumenti.

L'obiettivo principale del MaRELab è dimostrare sistemi di energia marina in scala media/completa in un ambiente rilevante/operativo. Un campo sperimentale di questo tipo è interessante sia per la valutazione delle prestazioni energetiche sia di quelle strutturali di dispositivi innovativi, poiché le condizioni meteo-climatiche "mediterranee" locali sono molto diverse da quelle tipicamente riscontrate negli oceani o nei mari del Nord.

3.1.3 Sistema di monitoraggio

3.1.4 Monitoraggio Idrologico, Idrodinamico e Ondoso

Per il monitoraggio meteomarinico, correntometrico ed idrologico, sono state impiegate due tipologie di BOE ondometriche [una boa GPS da Drifter ed una Boa accelerometrica (dotata di stazione idrologica)] e un **ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)** completo di tripode di installazione per la misura di onde e correnti.

L'impiego combinato di questi strumenti consente di adottare tecniche statistiche avanzate per l'eliminazione di buona parte delle incertezze di misura.

3.1.5 Le misure Monitoraggio Vento

idrologiche contemplano anche misure di parametri ambientali e rumore sottomarino.

Il monitoraggio eolico è principalmente ottenuto mediante un sistema LiDAR (modello Zx300). Il dispositivo utilizza la tecnologia Doppler LIDAR a onda continua (Continuous Wave). Il sistema emette un raggio laser nell'atmosfera che viene diffuso dalle particelle presenti nell'aria (aerosol o polveri). Analizzando lo spostamento Doppler della luce retro-diffusa, lo strumento determina:

- velocità del vento
- direzione del vento
- profilo verticale del vento



Queste misure vengono effettuate a diverse altezze sopra il suolo, creando un profilo verticale della velocità del vento da 10 a 300 m.

3.1.6 Strumentazione impiegata e monitoraggio

3.1.6.1 Lidar

Il ZX300 è un profilatore verticale del vento basato su tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging). Utilizza un fascio laser continuo per misurare velocità e direzione del vento a diverse altezze, senza bisogno di torri anemometriche tradizionali.

È considerato uno strumento “bancabile”, cioè i suoi dati sono certificati e accettati da istituzioni finanziarie per lo sviluppo di parchi eolici. Il funzionamento del dispositivo si basa sull'emissione di impulsi laser nell'atmosfera e sull'analisi del segnale retrodiffuso dalle particelle in sospensione, come aerosol e polveri. Attraverso l'effetto Doppler, il sistema determina la velocità del vento lungo la linea di vista del fascio laser, ricostruendo poi il profilo verticale del vento grazie a una sequenza di misurazioni effettuate secondo diverse direzioni di puntamento.

Il modello ZX300M si distingue per la sua elevata affidabilità operativa e per la capacità di fornire dati continui e di qualità anche in condizioni ambientali variabili. È progettato per essere facilmente trasportabile e installabile, con requisiti logistici relativamente contenuti rispetto alle tradizionali torri anemometriche. Inoltre, il sistema integra funzionalità avanzate di acquisizione e gestione dei dati, consentendo il monitoraggio in tempo reale e la successiva analisi delle informazioni raccolte.

Tabella 3.1.6.1: Configurazione LiDAR per il sito di Napoli.



Performance	ZX 300
Range (min.)	10 metres
Range (max.)	300 metres
Probe length @ 10 m	± 0.07 metres
Probe length @ 100 m	± 7.70 metres
Heights measured	10 (user-configurable)
Sampling rate	50Hz
Averaging period	user configurable (1 second as standard)
Scanning cone angle	30° (other angles available)
Wind speed accuracy*	0.1 m/s
Wind speed range	< 1 m/s to 70 m/s
Direction accuracy variation*	< 0.5°

Operations	ZX 300
Temp range (min.)	-40°C
Temp range (max.)	+50°C
Power consumption	55 Watts**
Power input	12 V
Weight (excluding flight casing)	55 kg
Service interval	60 months

Data	ZX 300
10-minute averaging	90Kb / day
1 second data	3MB / day
On board storage	36 months
Data transfer	LAN; MODBUS; WiFi; Global SIM; Iridium Sat Comms
Timestamp / Location	GPS





Figura 3.1: LiDAR installato al sito di Napoli

3.1.6.2 Boa ondametria GPS

La boa DWSD utilizza il pacchetto di sensori GPS per misurare $w(t)$, $u(t)$ e $v(t)$, che rappresentano rispettivamente le componenti di velocità della boa verticale, orizzontale E-W e orizzontale S-N, dai cambiamenti nella frequenza del GPS segnale [86,93,107–108]. Le misurazioni vengono effettuate per un campione di $u(t)$, $v(t)$ e $w(t)$ lungo 17 minuti ogni ora, diviso in segmenti sovrapposti di 4 minuti con 1 Hz di frequenza di campionamento. I parametri di densità spettrale di potenza, co-spettri e spettri di quadratura sono derivati da una trasformata di Fourier delle funzioni di correlazione relative a ciascuna coppia dei tre segnali sopra

menzionati, fornendo i primi cinque coefficienti di Fourier indipendenti (a_0 , a_1 , a_2 , b_1 , b_2) e quindi gli spettri delle onde per ciascuno stato orario del mare. Per ogni stato del mare misurato, le tre componenti di velocità, i primi cinque coefficienti di Fourier calcolati e i principali parametri dei dati delle onde vengono trasmessi in tempo reale attraverso il sistema satellitare Iridium. Tutti questi dati sulle onde, compresi i dati sulla tensione della batteria e sulla pressione, temperatura e umidità dello scafo, sono accessibili in tempo reale da un sito web dedicato. La boa DWSD (Figura 3.1) ha una geometria sferica semplice con un diametro di 0,39 m e un peso di 12 daN, riducendo in questo modo i costi di installazione e manutenzione, essendo molto facile da maneggiare e da installare.



Figura 3.1: Directional wave spectra drifter (DWSD) poco prima del varo.

3.1.6.3 Boa ondametria accelerometrica

La piattaforma di monitoraggio del progetto Digitalmed include una boa accelerometrica Poseid1, prodotta da SIAP+MICROS. E' una boa altamente specializzata per il monitoraggio meteomarinò, progettata per garantire misurazioni continue e affidabili anche in ambienti marino-costieri particolarmente difficili.

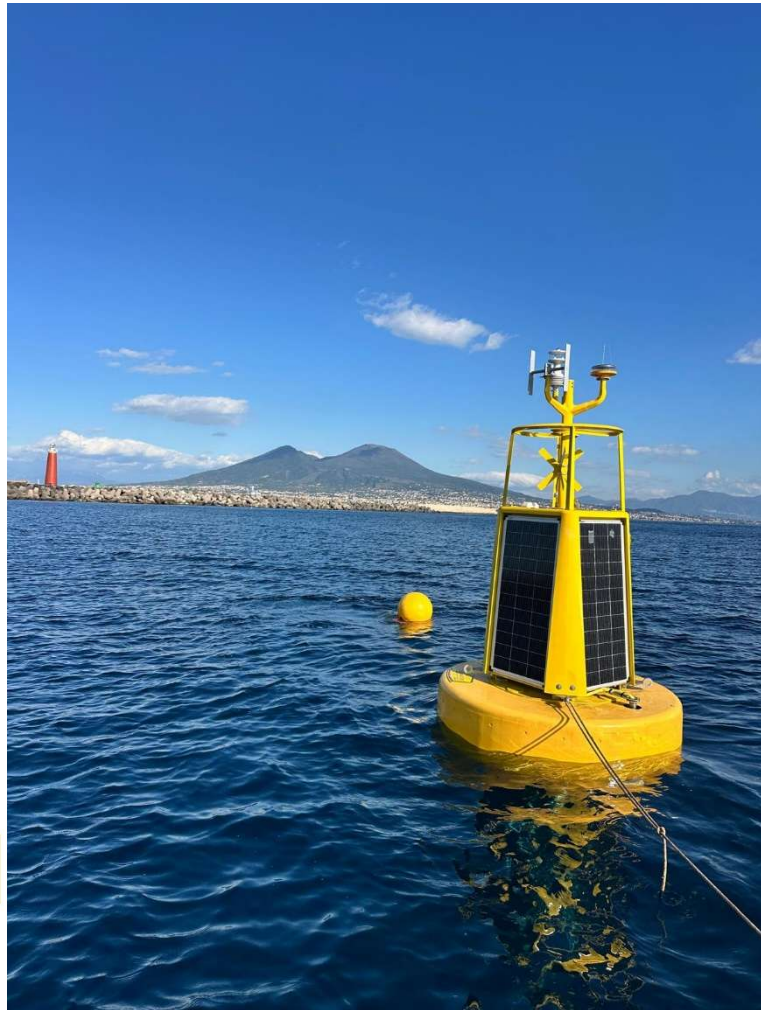


Figura 3.1: Boa Ondametrica POSEID1.

Prima della sua commercializzazione, Poseid1 è stata analizzata, validata e caratterizzata da diversi enti di ricerca qualificati nel settore del monitoraggio meteomarinario, tra cui ISPRA, CNR-ISMAR e alcune Università. Il progetto nasce infatti per rispondere a esigenze avanzate di ricerca, espresse dal mondo scientifico e non completamente soddisfatte dalle soluzioni disponibili sul mercato.

Gli investimenti in ricerca e sviluppo hanno reso possibile la industrializzazione del sistema, con una configurazione base capace di soddisfare la maggior parte delle necessità operative e con numerose opzioni di personalizzazione per adattarsi a diversi contesti applicativi.

Nella sua configurazione standard, la boa include:

- Segnalamento luminoso IALA luce lampeggiante (3 NM) e miraglio radarabile;



- Sensore meteo combinato (Temperatura e umidità dell'aria, direzione e velocità vento, pressione atmosferica e radiazione solare);
- Sonda per il monitoraggio della qualità dell'acqua (Temperatura e conducibilità come misure dirette e salinità derivata);
- Ondametro accelerometrico;
- Correntometro;
- Comunicazione IRIDIUM e GSM/UMTS/LTE;
- Calcolatore con sistema operativo embedded Linux per la gestione l'acquisizione e l'elaborazione dei dati e allarmi.

La boa è dotata di sistemi che permettono la trasmissione remota continua dei dati e la segnalazione dello stato operativo e di eventuali allarmi direttamente alla centrale di controllo dell'utente.

Per garantire elevata affidabilità e continuità operativa, Poseid1 è stata progettata con un sistema di alimentazione ridondante, costituito da due coppie di pannelli fotovoltaici da 100 W ciascuno (per una potenza totale di 400 W) e da due pacchi di batterie LiFePO₄, capaci di assicurare il funzionamento anche nelle condizioni ambientali più impegnative.

3.1.6.4 ADCP

Lo strumento "ADCP" utilizzato per la campagna di test rappresenta uno degli strumenti più utilizzati nella ricerca oceanografica per misurare il profilo di velocità delle onde. Tali strumenti sono anche in grado di fornire informazioni sulle onde. L'ADCP (Figura 3.1:) è uno strumento montato sul fondo e rivolto verso l'alto, che effettua le misurazioni delle onde utilizzando sostanzialmente tre tecniche indipendenti.

Il primo metodo è la misurazione delle onde utilizzando il principio base dello spostamento Doppler per valutare le velocità orbitali delle onde, sull'intera colonna d'acqua lungo quattro raggi inclinati. La velocità orbitale misurata dall'ADCP lungo ciascun raggio distante fornisce informazioni al di sopra dello spettro delle onde direzionali e non direzionali. Oltre alla misurazione della velocità orbitale delle onde, l'ADCP misura anche gli spettri non direzionali attraverso l'eco (traccia di superficie) e la pressione del fondo con un trasduttore di pressione, fornendo misurazioni ridondanti dell'altezza delle onde e della profondità dell'acqua.

Nella Tabella 3.1.6.4 e nella Tabella 3.1-1 sono descritte le specifiche ADCP e i parametri utilizzati per l'analisi spettrale.





Figura 3.1: Profilatore di corrente Doppler acustici (ADCP).

Tabella 3.1.6.4-1: Configurazione ADCP.

Time between full ensemble records	(15 min)
Frequency	(600 kHz)
Size of the depth cell	(50 cm)
Number of bins in the current profile	(49 bins)
ADCP altitude above bottom	(50 cm)
Number of beams	(4 beams)

Tabella 3.1-1: Parametri di analisi spettrale dell'ADCP.

Frequency band width	(0.0078 Hz)
Maximum upper cutoff frequency	(0.5 Hz)



Sea-swell transition frequency	(0.11 Hz)
Minimum lower cutoff	(0.039 Hz)
Number of direction frequency bands	(128 bands)
Number of frequency bands	(128 bins)

3.1.6.5 Sonda Parametrica

La stazione è equipaggiata con una sonda multiparametrica SEABIRD SBE37SMP-ODO. Il sistema è in grado di registrare in autonomia valori di Conducibilità, Temperatura, Pressione e Ossigeno Disciolto Ottico (ODO) a flusso controllato con interfaccia seriale RS232. Una pompa interna garantisce un flusso di ricambio di acqua costante all'interno della cella di misura (cella di conducibilità inserita all'interno del flusso controllato al fine di prevenire il biofouling).



Figura 3.1: Sonda multiparametrica e sua installazione presso il sito di Napoli.

3.1.6.6 Idrofono

Per il rumore sottomarino, sono stati impiegati un Microfono sottomarino mobile (cListen HF - Ethernet, 900m Depth Rating, 10 Hz - 200 kHz, ALTA Sensor. Includes case, test cable and power adapter), impiegato in superficie e portato in differenti punti dell'area sperimentale mediante un natante. Il microfono è accoppiato con un computer portatile "rugged", adatto alle spedizioni in mare.



Figura 3.1: Idrofono impiegato presso il sito di Napoli

3.1.6.7 Underwater Particle Motion

Durante la campagna sperimentale, è stato installato un “Underwater Particle Motion”, un dispositivo progettato per rilevare il movimento delle particelle d’acqua causato dalla propagazione delle onde sonore nel mezzo marino.

A differenza degli idrofoni tradizionali, che misurano solo la pressione acustica, questi strumenti registrano anche la velocità o l’accelerazione delle particelle dell’acqua, fornendo una descrizione più completa del campo acustico subacqueo. Il funzionamento dello strumento si basa sull’uso di sensori inerziali che rilevano i movimenti generati dalle onde sonore nell’acqua. Quando un’onda acustica attraversa il sensore:

- le particelle d’acqua oscillano attorno alla loro posizione di equilibrio;
- il sensore rileva queste oscillazioni come variazioni di velocità o accelerazione;
- i dati vengono convertiti in segnali elettrici e registrati o trasmessi a un sistema di acquisizione.



Figura 3.1: Sistema UPM dopo la campagna di misura presso il sito di Napoli.

3.1.7 Lesson learnt e Criticità riscontrate

Nel corso dell'attività di monitoraggio marino condotta nell'area di Napoli sono emersi alcuni elementi di particolare rilevanza, utili per orientare future campagne di misura e ottimizzare le scelte operative. In primo luogo, l'esperienza ha confermato quanto sia cruciale una corretta selezione del sito di installazione, che deve garantire un'esposizione adeguata rispetto ai fenomeni che si intendono osservare.

Dal punto di vista operativo, il sistema di monitoraggio ha dimostrato una buona affidabilità complessiva, senza evidenziare criticità rilevanti né nella fase di installazione né durante l'acquisizione dei dati. Questo aspetto sottolinea la robustezza della strumentazione impiegata e l'efficacia delle procedure adottate. Tuttavia, è emersa l'importanza di pianificare con congruo

anticipo il posizionamento degli strumenti con riferimento agli iter istruttori di autorizzazione da parte degli enti competenti.

Un ulteriore insegnamento riguarda la necessità di integrare le misure con un'analisi preliminare approfondita del sito, che includa sia dati storici sia simulazioni modellistiche, al fine di individuare le configurazioni più idonee al monitoraggio. Inoltre, si è rivelato utile prevedere una fase iniziale di test e validazione, durante la quale verificare la qualità dei dati e, se necessario, apportare correzioni al setup strumentale.

Complessivamente, l'attività ha evidenziato come il successo di una campagna di monitoraggio marino non dipenda esclusivamente dalla qualità della strumentazione, ma anche da una pianificazione accurata e da una piena comprensione delle dinamiche ambientali locali, elementi fondamentali per massimizzare l'efficacia e l'affidabilità delle misure raccolte.

3.2 Sito di Pantelleria

3.2.3 Inquadramento generale e descrizione del sito

Il sito di monitoraggio è situato nel settore marino antistante l'abitato di Pantelleria (TP), nel cuore del Canale di Sicilia (Figura 3.2-1). Questa localizzazione è di primario interesse strategico e scientifico a causa delle caratteristiche meteo-marine uniche dell'area, caratterizzata da un elevato potenziale energetico derivante sia dalla risorsa eolica che da quella idrodinamica.



Figura 3.2-1: Inquadramento geografico sito di Pantelleria



Il quadripode (Figura 3.2-3) fornisce alloggio per l'ADCP ed ha consentito anche il posizionamento della restante strumentazione. Le strumentazioni e la struttura, opportunamente zavorrata sono state adagiate su un fondale di circa 30 metri di profondità. Nello stesso sito, sfruttando un ulteriore sistema di ancoraggio al fondale, è stata installata la boa per il rilievo dei parametri d'onda e i parametri meteorologici a mare come di seguito descritti.

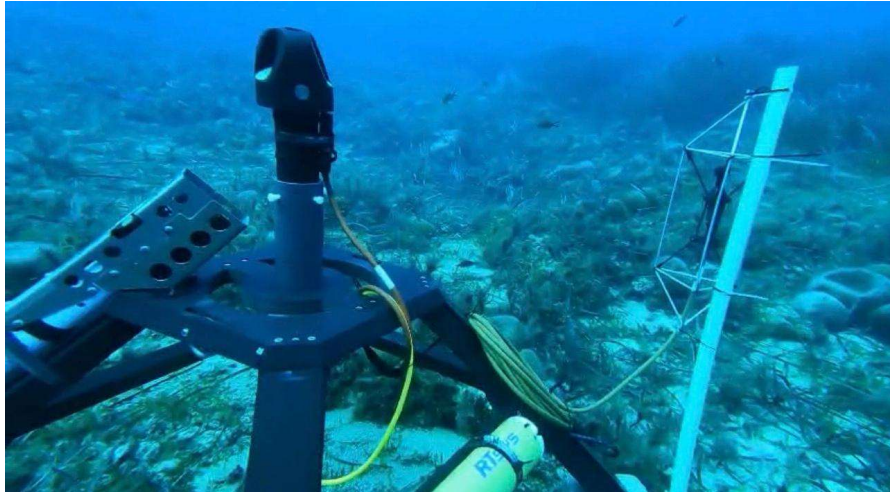


Figura 3.2-3: Quadripode come sistema di monitoraggio integrato

3.2.6 Monitoraggio Idrologico, Idrodinamico e Ondoso

Per la caratterizzazione dello stato del mare, sono stati posizionati strumenti specifici in acqua:

- *Boa Ondametrica e meteorologica*: situata in un punto strategico al largo per evitare fenomeni di rifrazione costiera eccessiva, misura l'altezza significativa, il periodo e la direzione del moto ondoso oltre ai principali parametri meteorologici in mare ed alla temperatura superficiale delle acque
- *ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)*: per il monitoraggio delle correnti lungo tutta la colonna d'acqua, fondamentale per comprendere il trasporto di massa e l'energia cinetica del sito.
- *Sonda multiparametrica*: la stazione è equipaggiata con una sonda multiparametrica, corredata di sensori ausiliari per l'analisi della qualità e delle caratteristiche fisiche e chimiche dell'acqua:
 - Salinità e Temperatura per il monitoraggio delle caratteristiche termoaline delle masse d'acqua in prossimità del fondale;



- Torbidità, Clorofilla e Ossigeno Disciolto per il monitoraggio di parametri base della variabilità biochimica del sito e della torbidità delle acque, anche in relazione ai parametri dinamici della colonna d'acqua.
- *Idrofono RTSYS*: per il monitoraggio del rumore sottomarino poiché le attività antropiche (come cantieri offshore, traffico navale, trivellazioni, costruzioni sottomarine e operazioni di pile-driving) generano segnali acustici che interferiscono con la comunicazione, l'orientamento e il comportamento di molte specie marine sensibili al suono.

3.2.7 Monitoraggio Atmosferico (Vento)

Il cuore del monitoraggio eolico è affidato a tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging).

- *Funzione*: A differenza dei comuni anemometri, il LiDAR permette di misurare il profilo del vento a diverse altezze (fino a 300 metri), simulando la presenza di un palo anemometrico virtuale.
- *Dati raccolti*: Velocità e direzione del vento, intensità della turbolenza e wind shear.

3.2.8 Obiettivi del Monitoraggio

L'integrazione di questi strumenti mira a:

1. Valutare il potenziale energetico dell'area tramite una analisi della fattibilità per l'installazione di impianti eolici offshore o dispositivi per l'energia dal moto ondoso (Blue Energy).
2. Sperimentazione in ambito Blue Energy: Testare la resistenza e l'efficienza di convertitori di energia dalle onde in un ambiente con carichi idrodinamici elevati.
3. Characterization for Floating Wind: Fornire i dati necessari per il dimensionamento delle turbine eoliche galleggianti di nuova generazione.
4. Sicurezza della navigazione: Fornire dati in tempo reale per le operazioni portuali e il traffico marittimo.
5. Ricerca Scientifica: Studiare le interazioni aria-mare in un hotspot climatico come il Canale di Sicilia.
6. Sicurezza Ambientale: Monitorare i parametri idrologici in un'area vicina ad aree protette e zone di pregio naturalistico.



3.2.9 Strumentazione impiegata e monitoraggio

3.2.10 Lidar

Lo strumento impiegato presso il sito di Pantelleria è un Vaisala WindCube® (Modello WCL21), un sistema LIDAR (Light Detection and Ranging) di precisione, progettato per il monitoraggio remoto del profilo del vento. Le caratteristiche principali dello strumento sono:

- *Tecnologia di Misurazione:* il WindCube utilizza impulsi laser infrarossi per misurare l'effetto Doppler causato dal movimento degli aerosol nell'aria. Questo permette di rilevare la velocità e la direzione del vento con una precisione paragonabile a quella di un anemometro meccanico, ma senza la necessità di installare torri anemometriche fisiche;
- *Profilazione Verticale:* lo strumento è in grado di campionare simultaneamente la colonna d'aria sopra il sito a diverse altezze (a Pantelleria è stato configurato per campionare fino a 300 metri), fornendo dati dettagliati su:
 - a) Velocità del vento (scalare e vettoriale);
 - b) Direzione del vento;
 - c) Componente verticale (W);
 - d) Intensità della turbolenza (TI).
- *Affidabilità e Robustezza:* trattandosi di un'unità Vaisala, lo strumento è progettato per operare in ambienti complessi (come quello isolano e salino di Pantelleria), garantendo un'elevata disponibilità del dato anche in condizioni meteorologiche avverse.



Figura 3.2-4: Vaisala WindCube® (Modello WCL21).

L'utilizzo del WindCube WCL21 in questo contesto è strategico per:

- 1) **Caratterizzazione del Recurso:** mappare con precisione il potenziale eolico del sito a diverse quote.
- 2) **Analisi del Wind Shear:** comprendere come varia la velocità del vento all'aumentare dell'altezza dal suolo.
- 3) **Supporto Operativo:** fornire dati in tempo reale per la gestione di infrastrutture energetiche o per studi di micrometeorologia locale.



Figura 3.2-5: Vaisala WindCube® (Modello WCL21) installato a Pantelleria.

3.2.11 Boa ondametrica

Per il monitoraggio del moto ondoso è stato impiegata una boa del tipo Directional Wave Spectra Drifter, DWSD, (Figura 3.2-6) realizzata dallo Scripps Institution of Oceanography, basata su tecnologia GPS. Il DWSD è costituito da una boa sferica di superficie (diametro 35 cm) equipaggiata con un "Wave Engine" ad alte prestazioni. A differenza dei sistemi inerziali tradizionali, questo strumento utilizza algoritmi avanzati applicati al segnale GPS per determinare con precisione lo spettro direzionale delle onde. L'unità è stata configurata (Tabella 3.2-1) per operare in modalità ormeggiata, data la specifica collocazione geografica dello studio, garantendo al contempo la misura della temperatura superficiale del mare (SST) con un'accuratezza di ± 0.05 K. La particolare boa utilizzata per il sito di Pantelleria è stata corredata con una particolare stazione meteorologica in grado di raccogliere dati relativi alla pressione atmosferica, alla velocità e alla direzione del vento. L'elaborazione dei dati avviene in tempo reale direttamente a bordo (onboard processing). Lo strumento calcola i primi cinque coefficienti di Fourier (a_0 , a_1 , b_1 , a_2 , b_2), che permettono di ricavare i parametri fondamentali del moto ondoso:

- Altezza significativa;
- Periodo di picco e periodo medio;
- Direzione di provenienza dello swell;
- Spostamento direzionale (directional spread).

Per la parte meteorologica la boa DWSD è stata equipaggiata con un anemometro sonico biassiale Gill WindSonic (Figura 3.2-6).

Il WindSonic è un sensore allo stato solido che misura la velocità e la direzione del vento basandosi sul tempo di volo di impulsi ultrasonici. A differenza degli anemometri meccanici a coppe, questo strumento offre significativi vantaggi in ambiente marino:

- *Assenza di parti mobili:* Elimina l'usura meccanica e l'inerzia, garantendo una risposta immediata anche a basse velocità del vento (soglia di avvio pari a 0,01 m/s).
- *Resistenza alla corrosione:* Costruito in policarbonato caricato, è immune alla salsedine e non richiede calibrazioni periodiche sul campo.
- *Affidabilità del dato:* Lo strumento fornisce misure accurate anche in presenza di raffiche improvvise, senza i tipici errori di "over-speeding" dei sensori tradizionali.

Il sensore è integrato nel sistema di acquisizione della boa, permettendo di sincronizzare i dati di velocità e direzione del vento con i parametri spettrali delle onde e la temperatura superficiale (SST).

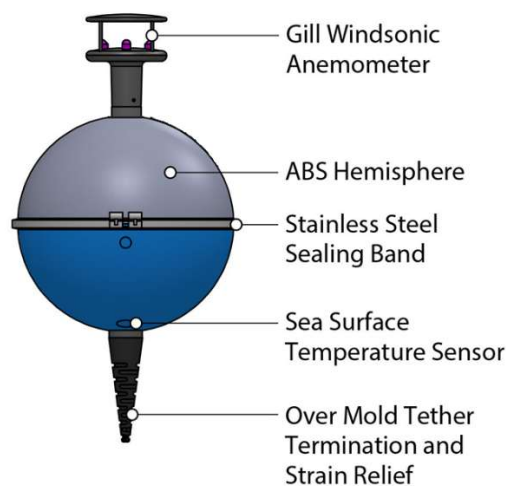


Figura 3.2-6: Boa ondometrica DWSD con anemometro WindSonic.

Tabella 3.2-1: Configurazione boa ondamettrica

Sistema/Sensore	Parametro	Specifica Tecnica
Boa DWSD	Diametro / Peso	35 cm / ~7 kg
	Motore d'onda	GPS-based (Fourier Coefficients)
	Telemetria	Iridium SBD (Satellitare)
Anemometro	Modello	Gill WindSonic (Option 1)
	Tipo di misura	Ultrasonica Biassiale (2D)
	Range Velocità	0 – 60 m/s
	Accuratezza Velocità	± 2% (@12 m/s)
	Risoluzione Direzione	1°
Termometro	Temperatura (SST)	Precisione ± 0.05 K

3.2.12 ADCP

Per l'acquisizione dei dati correntometrici, è stato impiegato un profilatore di corrente a effetto Doppler acustico Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP). Lo strumento è stato installato su un quadripode di materiale plastico adagiato sul fondale alla profondità operativa di 31 metri (Figura 3.2-7).

Il sistema è stato configurato per monitorare la colonna d'acqua sovrastante con una risoluzione verticale di 2 metri (cell size), coprendo un intervallo compreso tra 1 m (blanking distance/inizio profilo) e 31 m dalla testa trasduttrice. Tale impostazione permette di intercettare l'intera colonna d'acqua fino alla superficie (Tabella 3.2-2).

I parametri di campionamento temporale sono stati definiti come segue:

- *Intervallo di misura*: 600 secondi (10 minuti), per la determinazione della variabilità a medio termine.
- *Intervallo di media (Average interval)*: 41 secondi, per filtrare le fluttuazioni ad alta frequenza e il rumore indotto dal moto ondoso superficiale.

A completamento del set di sensori, il profilatore è stato equipaggiato con un torbidimetro Seapoint STM-S (Sensore di Torbidità Scattering). Il Seapoint STM-S è un sensore ottico ad alte prestazioni progettato per misurare la torbidità dell'acqua rilevando la luce diffusa dalle particelle in sospensione. Il sensore utilizza ottiche focalizzate e una sorgente luminosa a infrarossi (880 nm), che permette di:

- *Minimizzare l'interferenza della luce solare esterna;*
- *Garantire un'elevata sensibilità anche in ambienti con basse concentrazioni di particolato;*
- *Fornire una risposta lineare su un ampio range di torbidità, rendendolo ideale per il monitoraggio del trasporto dei sedimenti e della qualità dell'acqua in accoppiamento ai dati di corrente.*



Figura 3.2-7: Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP).

Tabella 3.2-2: Configurazione Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP).

Sistema	Parametro	Valore / Specifiche
Posizionamento	Supporto	Tripode a fondo
	Profondità operativa	31 m
Configurazione ADCP	Profondità Inizio Profilo	1 m (dal trasduttore)
	Profondità Fine Profilo	38 m
	Dimensione della cella (Cell size)	2 m
	Intervallo di misura	600 s (10 min)
	Intervallo di media	41 s
Sensore Torbidità	Modello	Seapoint STM-S
	Sorgente luminosa	LED Infrarosso (880 nm)
	Angolo di scattering	15–150 gradi
	Accuratezza	± 2% della lettura
	Profondità massima	6000 m

3.2.13 Sonda multiparametrica SBE HydroCAT-EP V2

Per l'acquisizione dei parametri idrologici è stata utilizzata una sonda HydroCAT-EP V2 (Figura 3.2-8) della Sea Bird Scientific. Questo CTD è uno strumento multiparametrico ad alta precisione progettato proprio per il monitoraggio continuo in acque costiere. La serie "EP" si distingue per la capacità di misurare non solo i parametri fisici (CTD), ma anche quelli chimici e biologici in un unico corpo compatto.

Inoltre, è dotato di un sistema Anti-Fouling attivo che utilizza un sistema di pompaggio interno che fa circolare l'acqua attraverso i sensori e inietta una piccola quantità di biocida (EPA-approved) per evitare che alghe e piccoli crostacei crescano all'interno della cella di misura. Nello specifico lo strumento integra la tecnologia dei sensori Sea-Bird, standard mondiale per l'oceanografia, con la configurazione tecnica mostrata in Tabella 3.2-3.

Tabella 3.2-3: Configurazione SBE HydroCAT-EP V2.

Parametro	Tecnologia	Range di Misura	Precisione
Conducibilità	Cella a flusso (Elettrodo)	0–70 mS/cm	±0.003 mS/cm

Temperatura	Termistore alta stabilità	-5 a +45 °C	±0.002 °C
Pressione	Trasduttore a quarzo/estensimetro	Fino a 20 m / 100 m	±0.1% fondo scala
Ossigeno (DO)	Ottico (SBE 63)	120% della saturazione	±0.1 ml/l (o 2%)
pH	Elettrodo combinato Ag/AgCl	2-12 pH	±0.1 pH
Torbidità	Ottica (Scattering)	0-1000 NTU	Secondo configurazione
Clorofilla	Fluorescenza	0-400 µg/L	Secondo configurazione

Inoltre, il corpo dello strumento è in plastica ad alta resistenza (PET) e può raggiungere i 350 metri di profondità, ha una memoria interna di oltre 8 MB di dati ed è alimentato con 12 batterie al Litio (AA) o Alcaline. I protocolli Supportati sono RS-232, SDI-12 e RS-485 e l'interfaccia Software utilizza è la Sea-Bird UCI (Universal User Interface) per le configurazioni del caso, le calibrazioni dei sensori e lo scaricamento dati in formato hex o csv.



Figura 3.2-8: Sonda multiparametrica SBE HydroCAT-EP V2.



3.2.14 Idrofono RTSYS Sylence-LP

Il rumore sottomarino rappresenta oggi uno dei principali fattori di pressione sull'ambiente marino, poiché le attività antropiche — come cantieri offshore, traffico navale, trivellazioni, costruzioni sottomarine e operazioni di pile-driving — generano segnali acustici che interferiscono con la comunicazione, l'orientamento e il comportamento di molte specie marine sensibili al suono. Lo strumento utilizzato durante la campagna, per le misurazioni di rumore sottomarino, è un idrofono RTSYS Sylence-LP (Figura 3.2-9) la cui configurazione è elencata in Tabella 3.2-4.

Gli idrofoni RTSYS sono progettati per misurare con precisione questo tipo di rumore grazie alla loro ampia banda di frequenze, che permette di rilevare sia segnali a bassa frequenza prodotti da grandi navi o attività industriali, sia segnali ad alta frequenza tipici di strumenti tecnici o processi di costruzione, sfruttando una larghezza di banda che può arrivare a oltre 500 kHz con un rapporto dinamico superiore ai 100 dB, garantendo un'elevata qualità del segnale anche in presenza di rumori molto intensi o, al contrario, estremamente deboli. Grazie a questa sensibilità e alla capacità di operare in modo autonomo per periodi prolungati, i sistemi RSYS consentono di monitorare in continuo l'evoluzione del rumore ambientale, un aspetto fondamentale per valutare l'impatto delle attività antropiche.



Figura 3.2-9: Idrofono RTSYS Sylence-LP

Tabella 3.2-4: Configurazione Idrofono

Idrofono RTSYS - S/N: EA-SDALP_2304007	
Sampling Rate	64000 S/s
Hydrophone SH	-164 dBV
Bits per Sample	16
Amplification Factor	0.00 dB (1.00)
Hydrophone Supply Voltage	Low (3V)
Recording Duration	0h45m00s
Sleep Duration	0h15m00s

In particolare, per le acquisizioni è stato scelto un piano di campionamento che prevedeva una durata della registrazione di 45 minuti ogni 15 minuti di quiescenza. Il corpo batterie è stato alloggiato sul quadripode mentre la testa dell'idrofono è stata posizionata verticalmente su un supporto, come mostrato in Figura 3.2-3.

3.2.15 Lesson learnt e Criticità riscontrate

L'esperienza ha evidenziato l'importanza di scegliere un'area sufficientemente esposta per massimizzare la capacità del sistema di intercettare eventi energetici significativi. Il sito ha dimostrato una buona stabilità operativa, senza generare problematiche né nell'acquisizione dei dati né nelle procedure di installazione e posizionamento.

L'unico elemento critico emerso riguarda il punto scelto per il posizionamento, risultato probabilmente troppo ridossato, rispetto all'interesse del progetto DIGITALMED. Questa condizione ha verosimilmente ridotto la capacità di rilevare eventi energetici più intensi.



3.3 Sito di Carloforte

3.3.1 Inquadramento generale e descrizione del sito

Il sito di monitoraggio è posizionato nel settore marino a Nord-Ovest dell'Isola di San Pietro, Carloforte, (Figura 3.3-1). Questa specifica area rappresenta uno dei punti di maggiore interesse energetico dell'intero bacino Mediterraneo essendo direttamente esposta ai flussi atmosferici provenienti dal Golfo del Leone.

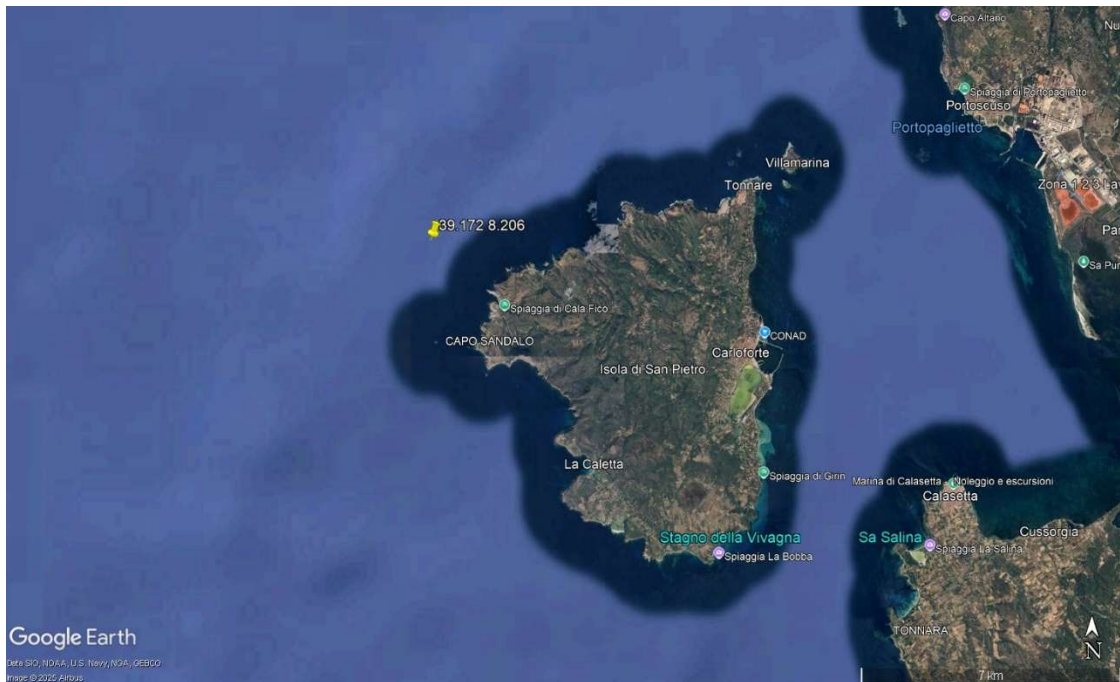


Figura 3.3-1: inquadramento geografico sito di Carloforte.

3.3.2 Localizzazione e Caratteristiche dell'Area

L'area di studio si colloca in un tratto di mare caratterizzato da un'elevata energia cinetica. A differenza del Canale di Sicilia, il mare a largo di Carloforte è interessato da un "fetch" (spazio di mare su cui soffia il vento) molto ampio, che permette lo sviluppo di moti ondosi significativi e costanti. Il sito è stato individuato per le seguenti caratteristiche:

- *Geomorfologia*: La piattaforma continentale in questo settore è relativamente stretta, con batimetrie che aumentano rapidamente verso il largo, rendendo il sito ideale per test su tecnologie offshore galleggianti.
- *Esposizione*: Il sito è "frontale" rispetto ai venti di Maestrale (NW), che qui raggiungono frequenze e intensità tra le più alte d'Italia.

3.3.3 Sistema di Monitoraggio

L'infrastruttura di misura è configurata per operare in un ambiente marino altamente energetico, garantendo la continuità del dato anche in condizioni di mare estremo. Nel caso del sito di Carloforte, il posizionamento degli strumenti è avvenuto attraverso la messa a mare di un ancoraggio profondo (mooring) con boa di segnalazione superficiale (Figura 3.3-2). Lungo la struttura congiungente boa ed ancoraggio, sono stati collocati i diversi strumenti per la misura dei parametri della colonna d'acqua. Il corpo morto, costituito da una zavorra in cemento di 500 kg, è stato adagiato su un fondale di circa 60 metri (Figura 3.3-3).



Figura 3.3-2: Struttura mooring.

Mooring con BOA - Carloforte

Prof. (m)	Tipo componente	Lung.Parz. (m)	Grafico	Pesi (kg)	Spinte (kg)
sup	Boa di segnalazione gialla ed Ondametro distanziato da un cavo nero intrecciato galleggiante da 16mm di 15 m ca	1,3			
	Catena ammiraglia da 22 + maniglione 20	15,0		150,0	
	nodo + Cavo Americano da 20mm + nodo	40,0			
	Jumper da 25 kg - Bianco				25,0
23,5	IDROFONO con gabbia su cavo (a 25m ca) legato in 3 punti	0,0			
23,5	nodo + Cavo America da 20mm + sul cavo con blocchetti in deflon e cimetta SBE37 a 46 m ca cioè a due metri dal correntometro. Dopo 5 m (a 40 m ca) c'è il corpo dell'Idrofono, legato con cima in tre punti. Il cavo di collegamento all'idrofono è legato sul cavo americano con fascette ogni metro circa	25,0			1,0
48,5	Grillo 18 + Corr. Aquadopp Profiler+Torbidimetro + Grillo 18	1,0			2,0
49,5	nodo a doppino + Cavo Americo da 20mm + nodo	3,0			1,0
52,5	maniglione 18 + catena da 18	4,0			30,0
56,5	Zavorra cemento ca 500	0,5			500,0
57,0	Fondo				
TOTALI:		88,5		534,0	25,0
				<small>strumenti peso</small>	4,0
Spinta netta al recupero (kg):					21,0

Figura 3.3-3: Schema riepilogativo mooring di Carloforte con indicazione delle quote degli strumenti.

3.3.4 Monitoraggio Idrologico, Idrodinamico e Ondoso

Per la caratterizzazione dello stato del mare, sono stati posizionati strumenti specifici in acqua:

- *Boa Ondametrica*: Una boa ondametrica direzionale è ancorata al largo per intercettare il treno d'onda prima che subisca i fenomeni di shoaling (innalzamento) dovuti al basso fondale costiero. Registra l'altezza significativa, ovvero la direzione di provenienza e lo spettro di energia ondosa e ha l'obiettivo di validare i modelli numerici per la previsione delle mareggiate;
- *ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)*: per lo studio del regime delle correnti locali, includendo anche la componente verticale di queste per le osservazioni delle correnti di risalita (upwelling) tipiche della costa occidentale sarda, fondamentali per la produttività biologica locale.



- *Sonda multiparametrica*: la stazione è equipaggiata con una sonda multiparametrica che effettua misure di salinità e temperatura per il monitoraggio delle caratteristiche termoaline delle masse d'acqua in prossimità del fondale;
- *Idrofono RTSYS*: per il monitoraggio del rumore sottomarino poiché le attività antropiche (come cantieri offshore, traffico navale, trivellazioni, costruzioni sottomarine e operazioni di pile-driving) generano segnali acustici che interferiscono con la comunicazione, l'orientamento e il comportamento di molte specie marine sensibili al suono.

3.3.5 Obiettivi del Monitoraggio

L'installazione a Nord-Ovest di Carloforte persegue obiettivi analoghi a quelli degli altri siti osservativi:

1. Valutare il potenziale energetico dell'area tramite una analisi della fattibilità per l'installazione di impianti eolici offshore o dispositivi per l'energia dal moto ondoso (Blue Energy).
2. Sperimentazione in ambito Blue Energy: Testare la resistenza e l'efficienza di convertitori di energia dalle onde in un ambiente con carichi idrodinamici elevati.
3. Characterization for Floating Wind: Fornire i dati necessari per il dimensionamento delle turbine eoliche galleggianti di nuova generazione.
4. Sicurezza della navigazione: Fornire dati in tempo reale per le operazioni portuali e il traffico marittimo.
5. Ricerca Scientifica: Studiare le interazioni aria-mare in un hotspot climatico come il Canale di Sicilia.
6. Sicurezza Ambientale: Monitorare i parametri idrologici in un'area vicina ad aree protette e zone di pregio naturalistico.

3.3.6 Strumentazione impiegata e monitoraggio

3.3.7 Sonda Multiparametrica SBE37 SMP

Per l'acquisizione dei parametri idrologici è stata utilizzata una sonda SBE 37-SMP della Sea-Bird Scientific (Figura 3.3-4). Questa sonda è uno strumento oceanografico ad alta precisione e stabilità, progettato per misurare Conducibilità e Temperatura (opzionalmente Pressione) in installazioni fisse a lungo termine (mooring).

La sigla SMP indica che la sonda è dotata di interfaccia Seriale (RS-232 o RS-485), memoria interna e, fondamentale, una pompa integrata per il flusso continuo dei sensori. Quest'ultima è importantissima per migliorare la risposta della conducibilità e prevenire il bio-fouling



(incrostazioni biologiche) all'interno della cella di conducibilità, poiché l'acqua non ristagna tra un campionamento e l'altro. Inoltre, ha una capacità di 530000 campionamenti e un pacco batterie interno al Litio (12 pile AA Saft LS 14500) con una durata di oltre 2 anni con campionamento ogni 2,5 minuti.

La sonda include i software Seasoft V2 (SeatermV2 per configurazione/scarico dati e SBE Data Processing per l'elaborazione) e ha una uscita/dati in unità ingegneristiche (ASCII) e permette anche la misura diretta delle grandezze derivate come la salinità e la velocità del Suono. La configurazione tecnica dello strumento è schematizzata in Tabella 3.3-1.



Figura 3.3-4: Sonda multiparametrica SBE 37-SMP

Tabella 3.3-1: Configurazione sonda multiparametrica SBE 37-SMP

Parametro	Range di Misura	Accuratezza Iniziale	Risoluzione
Conducibilità	0 – 70 mS/cm	0,003 mS/cm	0,0001 mS/cm
Temperatura	-5°C a +45°C	0,002°C	0,0001°C

3.3.8 Boa ondometrica

Per il monitoraggio del moto ondoso è stato impiegata una boa del tipo Directional Wave Spectra Drifter, DWSD, (Figura 3.3-5) realizzata dallo Scripps Institution of Oceanography, basata su tecnologia GPS.

Il DWSD è costituito da una boa sferica di superficie (diametro 35 cm) equipaggiata con un "Wave Engine" ad alte prestazioni. A differenza dei sistemi inerziali tradizionali, questo

strumento utilizza algoritmi avanzati applicati al segnale GPS per determinare con precisione lo spettro direzionale delle onde. La boa è stata configurata (Tabella 3.3-2) per operare in modalità ormeggiata, data la specifica collocazione geografica dello studio, garantendo al contempo la misura della temperatura superficiale del mare (SST) con un'accuratezza di ± 0.05 K.

L'elaborazione dei dati avviene in tempo reale direttamente a bordo (onboard processing). Lo strumento calcola i primi cinque coefficienti di Fourier (a_0, a_1, b_1, a_2, b_2), che permettono di ricavare i parametri fondamentali del moto ondoso:

- Altezza significativa;
- Periodo di picco e periodo medio;
- Direzione di provenienza dello swell;
- Spostamento direzionale (directional spread).

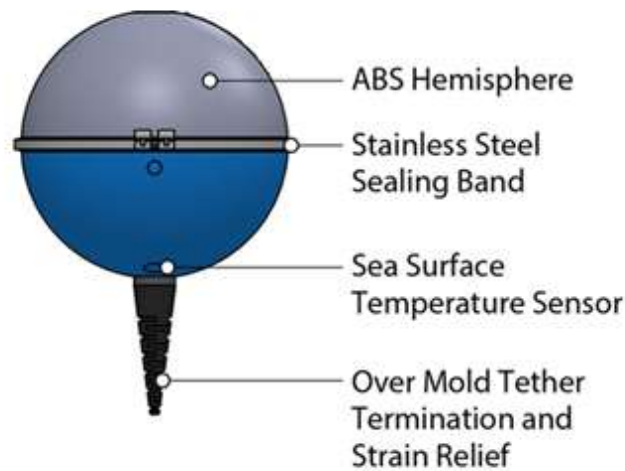


Figura 3.3-5: Boa ondometrica DWSD

Tabella 3.3-2: Configurazione boa ondometrica

Sistema / Sensore	Parametro	Specifica Tecnica
Boa DWSD	Diametro / Peso	35 cm / ~7 kg
	Motore d'onda	GPS-based (Fourier Coefficients)
	Telemetria	Iridium SBD (Satellitare)
Termometro	Temperatura (SST)	Precisione ± 0.05 K

3.3.8.1 ADCP

Per l'acquisizione dei dati correntometrici, è stato impiegato un profilatore di corrente a effetto Doppler acustico Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP). Lo strumento è stato installato su un mooring alle profondità di ca 48 m (Figura 3.3-6).

Il sistema è stato configurato per monitorare la colonna d'acqua sovrastante con una risoluzione verticale di 2 metri (cell size), coprendo un intervallo compreso tra 1 m (blanking distance/inizio profilo) e 31 m dalla testa trasduttrice. Tale impostazione permette di intercettare l'intera colonna d'acqua fino alla superficie (Tabella 3.3-3).

I parametri di campionamento temporale sono stati definiti come segue:

- *Intervallo di misura*: 600 secondi (10 minuti), per la determinazione della variabilità a medio termine.
- *Intervallo di media (Average interval)*: 41 secondi, per filtrare le fluttuazioni ad alta frequenza e il rumore indotto dal moto ondoso superficiale.

A completamento del set di sensori, il profilatore è stato equipaggiato con un torbidimetro Seapoint STM-S (Sensore di Torbidità Scattering). Il Seapoint STM-S è un sensore ottico ad alte prestazioni progettato per misurare la torbidità dell'acqua rilevando la luce diffusa dalle particelle in sospensione. Il sensore utilizza ottiche focalizzate e una sorgente luminosa a infrarossi (880 nm), che permette di:

- *Minimizzare l'interferenza della luce solare esterna;*
- *Garantire un'elevata sensibilità anche in ambienti con basse concentrazioni di particolato;*
- *Fornire una risposta lineare su un ampio range di torbidità, rendendolo ideale per il monitoraggio del trasporto dei sedimenti e della qualità dell'acqua in accoppiamento ai dati di corrente.*



Figura 3.3-6: Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP).

Tabella 3.3-3: Configurazione Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz (ADCP).

Sistema	Parametro	Valore / Specifiche
Posizionamento	Supporto	Mooring
	Profondità operativa	48 m
Configurazione ADCP	Profondità Inizio Profilo	1 m (dal trasduttore)
	Profondità Fine Profilo	56 m
	Dimensione della cella (Cell size)	2 m
	Intervallo di misura	600 s (10 min)
	Intervallo di media	41 s
Sensore Torbidità	Modello	Seapoint STM-S
	Sorgente luminosa	LED Infrarosso (880 nm)
	Angolo di scattering	15–150 gradi
	Accuratezza	± 2% della lettura
	Profondità massima	6000 m

3.3.8.2 Idrofono RTSYS Sylence-LP

Il rumore sottomarino rappresenta oggi uno dei principali fattori di pressione sull'ambiente marino, poiché le attività antropiche — come cantieri offshore, traffico navale, trivellazioni, costruzioni sottomarine e operazioni di pile-driving — generano segnali acustici che interferiscono con la comunicazione, l'orientamento e il comportamento di molte specie marine sensibili al suono. Lo strumento utilizzato durante la campagna, per le misurazioni di rumore sottomarino, è un idrofono RTSYS Sylence-LP (Figura 3.3-7) la cui configurazione è elencata in Tabella 3.3-4. Gli idrofoni RTSYS sono progettati per misurare con precisione questo tipo di rumore grazie alla loro ampia banda di frequenze, che permette di rilevare sia segnali a bassa frequenza prodotti da grandi navi o attività industriali, sia segnali ad alta frequenza tipici di strumenti tecnici o processi di costruzione, sfruttando una larghezza di banda che può arrivare a oltre 500 kHz con un rapporto dinamico superiore ai 100 dB, garantendo un'elevata qualità del segnale anche in presenza di rumori molto intensi o, al contrario, estremamente deboli. Grazie a questa sensibilità e alla capacità di operare in modo autonomo per periodi prolungati, i sistemi RSYS consentono di monitorare in continuo l'evoluzione del rumore ambientale, un aspetto fondamentale per valutare l'impatto delle attività antropiche.



Figura 3.3-7: Idrofono RTSYS Sylence-LP

Tabella 3.3-4: Configurazione Idrofono

Idrofono RTSYS - S/N: EA-SDALP_2304006	
Sampling Rate	64000 S/s
Hydrophone SH	-164 dBV
Bits per Sample	16
Amplification Factor	0.00 dB (1.00)
Hydrophone Supply Voltage	Low (3V)
Recording Duration	0h45m00s
Sleep Duration	0h15m00s

In particolare, per le acquisizioni è stato scelto un piano di campionamento che prevedeva una durata della registrazione di 45 minuti ogni 15 minuti di quiescenza. Per il sito di Carloforte, sia il corpo batterie che la testa dell'idrofono sono stati alloggiati sul mooring ad una profondità di circa 23 m.



3.3.9 Lesson learnt e Criticità riscontrate

La zona di Carloforte ed in particolare il punto scelto per l'installazione sono soggetti ad intenso traffico navale, nonostante l'interdizione specifica emanata dalla Capitaneria per il sito di installazione.

Questo fattore ha probabilmente portato al disancoramento della parte superficiale del mooring avvenuta a pochi giorni dall'installazione nell'ottobre 2025.

Successivamente è stato possibile recuperare la parte emersa del mooring, mentre il recupero della parte sommersa e presumibilmente adagiata sul fondale è in via di pianificazione.