



Ricerca di Sistema elettrico

LA1.4: Analisi della risorsa ondosa nei siti di interesse

A. Sirigu Sergej, P. Dafnakis, G. Cervelli

LA1.4: Analisi della risorsa ondosa nei siti di interesse

A. Sirigu Sergej, P. Dafnakis, G. Cervelli

Agosto 2019

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo: *Tecnologie*

Progetto: 1.8 Energia elettrica dal mare

Work package: Energia elettrica dal mare

Linea di attività: LA1.4: Analisi della risorsa ondosa nei siti di interesse

Responsabile del Progetto: Gianmaria Sannino ENEA

Responsabile del Work package: Gianmaria Sannino ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Piano triennale di realizzazione 2019-2021 della ricerca di sistema elettrico nazionale*"

Responsabile scientifico ENEA: Gianmaria Sannino

Responsabile scientifico Politecnico di Torino: Giuliana Mattiazzo

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
2.1 ANALISI DELLA RISORSA ONDOSA IN SITI MEDITERRANEI DI INTERESSE.....	6
2.1.1 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – Isola d’Elba</i>	8
2.1.2 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – N-O Sardegna</i>	11
2.1.3 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – N Baleari</i>	15
2.1.4 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – S-O Sardegna</i>	18
2.1.5 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – N-O Sicilia</i>	21
2.1.6 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – Pantelleria</i>	24
2.1.7 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – S-O Sicilia</i>	27
2.1.8 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – S Sicilia</i>	30
2.1.9 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – Malta</i>	33
2.1.10 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – Creta</i>	36
2.1.11 <i>Caratteristiche della risorsa ondosa – Israele</i>	39
3 CONCLUSIONI.....	42
4 BIBLIOGRAFIA.....	42
5 APPENDICE.....	43

Sommario

Il report riassume il lavoro di simulazione effettuato nell'ambito della linea di attività LA1.4 del progetto, con lo scopo di caratterizzare energeticamente distinti siti all'interno del Mediterraneo, per quantificare la produttività e ottimizzare il disegno del PeWEC, sia dal punto di vista strutturale che della massimizzazione della produzione.

Lo studio si è basato sui dati del moto ondoso ad alta risoluzione spaziale e temporale ottenuti grazie al modello WAVES sviluppato da ENEA nell'ambito del PAR-2013 [1], il quale ha permesso di stimare il potenziale energetico nei mari Italiani e in alcune zone di particolare interesse nel Mediterraneo dal 2014, anno di inizio delle simulazioni.

Nonostante la grande stagionalità della risorsa, le simulazioni hanno confermato un discreto potenziale in tutti i siti scelti, confermando quindi la necessità di avanzare nello sviluppo di tecnologie per lo sfruttamento di questa risorsa. Questa caratteristica di stagionalità ha evidenziato un duplice effetto: da un lato la necessità di progettare dispositivi strutturalmente robusti, in modo da garantire l'affidabilità durante gli eventi estremi con altezze $H_s > 7\text{m}$, dall'altro, il vantaggio della complementarità con altri fonti rinnovabili come l'eolico e il fotovoltaico. Quest'ultimo fattore, infatti, permetterebbe di raggiungere una miglior integrazione in territori insulari con infrastrutture elettriche generalmente più sensibili alle variazioni elettriche.

I due siti di maggior interesse risultano essere la costa Ovest della Sardegna e l'isola di Pantelleria, dove si osservano potenze medie annuali di circa 7 kW/m e 5 kW/m rispettivamente, con valori di H_s di circa 1m e $T_e = 5\text{s}$. La successiva ottimizzazione strutturale e massimizzazione dell'efficienza del dispositivo verrà dunque effettuata a partire dalle caratteristiche identificate per questi due siti.

1 Introduzione

La valutazione della risorsa energetica marina è fondamentale per identificare i siti idonei all'installazione di impianti di conversione dell'energia da moto ondoso e fornire una stima quantitativa dell'energia disponibile e una valutazione delle caratteristiche operative e di sopravvivenza di un convertitore di energia.

Questo processo può essere eseguito attraverso una combinazione di misurazioni in situ e modellazione numerica in funzione della fase di progettazione e del livello di dettaglio necessario:

- La caratterizzazione delle risorse nella fase iniziale si occupa di fornire una valutazione di primo ordine della risorsa disponibile su una particolare area (scala geografica). Questo processo si basa principalmente su dati esistenti come atlanti delle onde e programmi di misurazione storica. Il risultato del processo è una stima di alto livello della risorsa annuale con un'ampia copertura spaziale e, in genere, bassa risoluzione spaziale e fornisce una stima della variabilità stagionale e interannuale della risorsa.
- In una fase più avanzata di sviluppo del progetto, è fondamentale la caratterizzazione dettagliata del sito attraverso campagne sperimentali di misurazione. L'output del processo include una caratterizzazione dettagliata degli stati del mare.
- Durante la fase operativa del progetto, è necessario ottenere dati di monitoraggio per le attività specifiche di operazione e manutenzione.

Esistono tre obiettivi principali da considerare nella valutazione della risorsa energetica marina:

- (i) Identificazione della risorsa energetica: valutare il livello della risorsa per fornire la base di informazioni necessarie per uno studio di fattibilità iniziale e l'identificazione di siti preferenziali.
- (ii) Progettazione ingegneristica: ottimizzazione del disegno strutturale e dei sistemi di controllo per la massimizzazione della produzione.
- (iii) Operazioni marittime: per un progetto operativo, è necessario prevedere le caratteristiche onde / vento e marea per la strategia di installazione e manutenzione.

L'analisi condotta in questa fase di sviluppo del progetto è volta a stabilire le caratteristiche generali di possibili siti di interesse nel bacino del Mediterraneo e, in particolare, del territorio italiano, in modo da identificare aree di maggiore risorsa, sia ai fini delle stime di produzione sia per la fase di progettazione e ottimizzazione del convertitore. L'alta risoluzione spaziale e temporale dei dati provenienti dal modello validato di simulazione dell'ENEA [2], ampiamente descritto nel report LA 1.2 di questo progetto, ha permesso di effettuare un benchmarking dei siti, identificando i due di maggiore interesse e corrispondenti al Nord Ovest della Sardegna e Pantelleria.

Il dispositivo PeWEC verrà quindi ottimizzato nell'ambito di questo progetto, in analogia con esperienze anteriori del PoliTO [3] in funzione delle caratteristiche energetiche di questi due siti, rispondendo sia al requisito di massimizzazione della produzione, sia a quello di riduzione dei costi dell'infrastruttura a terra, essendo entrambi forniti di una rete di distribuzione accessibile.

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

2.1 Analisi della risorsa ondosa in siti mediterranei di interesse

L'ENEA ha realizzato nell'ambito del PAR 2013 [1] un sistema operativo per la previsione del moto ondoso che è nato con lo scopo principale di costituire un supporto alla gestione dei convertitori di energia dal moto ondoso. Il modello è descritto in dettaglio nell'ambito della Linea di Attività 1.2 di questo PAR2019-2021 [2], [1], [4] e [5], che ne ha garantito la continuità delle simulazioni. Per completezza, si riportano brevemente le caratteristiche principali di questo modello.

Il sistema operativo è stato messo a punto per l'intera area Mediterranea ad una risoluzione di $1/32^\circ$ (circa 3.5 Km) comunque non sufficiente per fini ingegneristici e la catena operativa è quindi completata da una serie di modelli realizzati ad una risoluzione di circa $1/128^\circ$, corrispondente a distanze dell'ordine di 700-800 m, nelle zone ritenute interessanti. Le informazioni derivate dal modello a risoluzione minore sono comunque utilizzate come condizioni al contorno ai vari modelli dei sottobacini, fornendo i dati relativi alle onde provenienti dalle regioni limitrofe, che possono rappresentare una importante componente rispetto a quelle generate localmente.

I dati atmosferici utilizzati sono attualmente quelli prodotti dal sistema SKIRON sviluppato dall'Atmospheric Modelling and Weather Forecasting Group dell'Università di Atene alla risoluzione orizzontale di $0.05^\circ \times 0.05^\circ$. Le previsioni del moto ondoso per l'intera area mediterranea sono state eseguite utilizzando una versione parallela del modello WAM ciclo 4.5.3.

La batimetria del modello è stata calcolata a partire dalla Carta Batimetrica Generale degli Oceani (GEBCO) disponibile alla risoluzione di 30 secondi di arco e le simulazioni a più alta risoluzione sono invece effettuate mediante il codice SWAN (Simulating WAVes Nearshore) ad una risoluzione di $1/128^\circ$ che corrisponde nell'area di interesse a distanze di circa 700 - 800 m.

La scelta dei siti geografici di interesse (Figura 1 e Tabella 1) si è basata principalmente sui territori nazionali insulari, seguita da alcune siti internazionali di particolare interesse dal punto di vista della risorsa energetica, dell'infrastruttura disponibile e dei possibili impatti positivi dovuti a una maggior popolazione. L'installazione di convertitori di energia marina può infatti supplire, se non addirittura sostituire del tutto, al fabbisogno energetico di isole medio-piccole non autosufficienti che basano il proprio approvvigionamento energetico su impianti a combustibili fossili, con notevoli ricadute sulla qualità della vita e ambientale. A livello sociale, i benefici in questi territori sono principalmente basati sulla sicurezza acquisita grazie a una continuità della produzione di energia e quindi una riduzione della dipendenza energetica a alla creazione di posti di lavoro grazie al coinvolgimento nella manutenzione dei sistemi.

Per i siti in questione si è proceduto con una valutazione per tutta la finestra temporale a disposizione (2014-2019) per identificare il livello di risorsa e per analizzare le sue variazioni interannuali e stagionali e riportate con diagrammi a dispersione delle occorrenze e della densità di potenza in funzione dei parametri H_s e T_e , rispettivamente altezza significativa e periodo energetico, derivati dall'analisi spettrale e definiti come [6]:

$$T_e = \frac{m_{-1}}{m_0}; H_s = 4\sqrt{m_0} \text{ con } m_n \text{ momento spettrale di ordine } n$$

$$P = 0.49H_s^2T_e$$

Per quanto concerne la direzionalità, in ogni sito è stata calcolata la rosa delle onde e riportata in funzione dell' H_s .

Successivamente è stata calcolata la stagionalità della potenza, del periodo energetico e dell'altezza d'onda ed infine, solamente per i due siti identificati di maggiore interesse, N-O della Sardegna e Pantelleria, il flusso energetico con le rispettive coppie $H_s - T_p$ utilizzate per l'attività di ottimizzazione ingegneristica del PeWEC riportata nel deliverable LA 1.12. In Tabella 2 sono riportati i valori medi delle potenze del moto ondoso calcolate nei 6 anni di simulazione; come visibile, i punti 2, 4, 6 e 9, rispettivamente N-O Sardegna, S-O Sardegna, Pantelleria e Malta risultano essere i più energetici. Per ampliare la variabilità geografica dei siti, sia dal punto di vista della risorsa che delle caratteristiche infrastrutturali, i due siti di maggiore interesse per la successiva ottimizzazione del PeWEC sono stati dunque il N-O della Sardegna e Pantelleria.

Tabella 1: Siti di interesse selezionati per l'analisi del potenziale ondoso

n	località	anno	risoluzione spaziale	risoluzione temporale	Profondità [m]	long (E) [°]	lat (N) [°]
1	Isola d'Elba	2014-2019	1/128°	1h	17	10.19531	42.72344
2	Sardegna N-O	2014-2019	1/128°	1h	50	8.119497	40.72055
3	Baleari	2014-2019	1/32°	1h	38	2.625	39.7625
4	Sardegna S-O	2014-2019	1/128°	1h	19	8.355346	39.21761
5	Sicilia N-O	2014-2019	1/128°	1h	6	12.41554	37.78965
6	Pantelleria	2014-2019	1/128°	1h	62	11.91406	36.81719
7	Sicilia S-O	2014-2019	1/32°	1h	59	14.21875	36.95
8	Sicilia S	2014-2019	1/32°	1h	14	15.0625	36.6375
9	Malta	2014-2019	1/32°	1h	187	14.15625	36.04375
10	Creta O	2014-2019	1/32°	1h	194	23.53125	35.3875
11	Israele	2014-2019	1/32°	1h	31	34.375	31.5750

Figura 1: Distribuzione geografica dei siti selezionati per l'analisi della risorsa ondosa

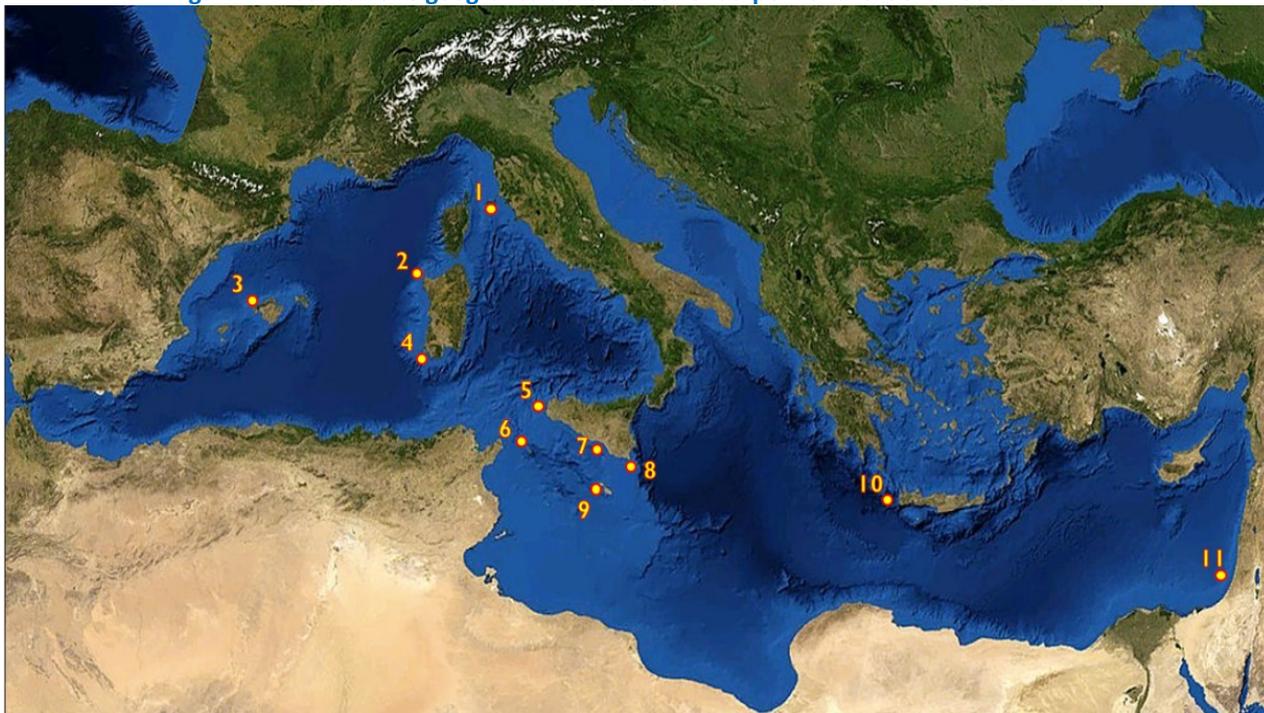


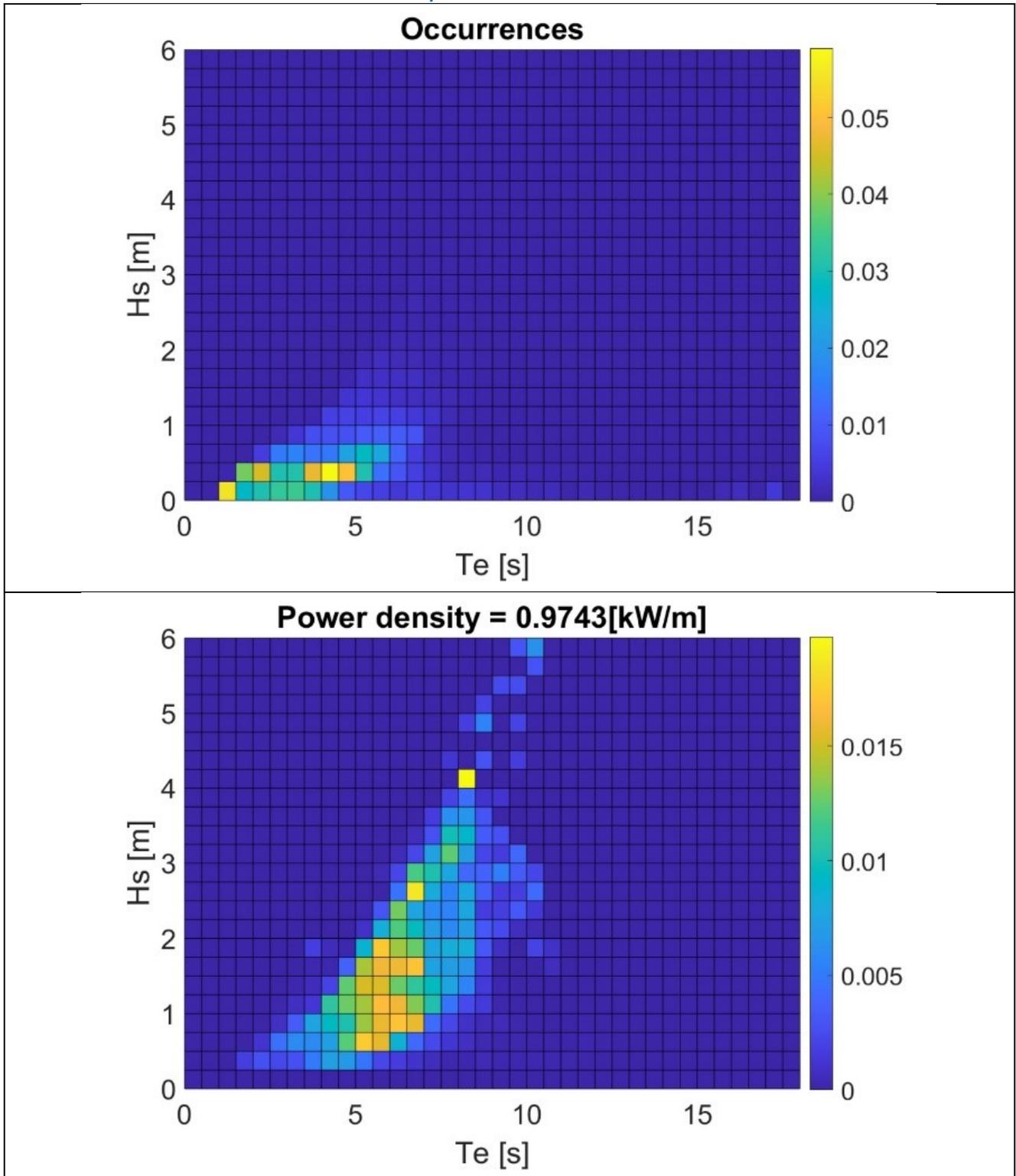
Tabella 2: Potenza annuale media calcolata nei differenti siti di analisi e per gli anni di calcolo

Power density kW/m							
Anno	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014 - 2019
P01 Isola D Elba	0.94	0.66	1.03	0.90	1.10	1.19	0.97
P02 N O Sardegna	6.15	6.83	6.50	8.36	6.23	9.10	7.20
P03 N Baleari	1.52	2.03	1.60	2.25	1.68	2.19	1.88
P04 S O Sardegna	4.54	5.70	4.62	6.18	4.48	7.26	5.46
P05 N O Sicilia	2.70	2.79	2.82	2.56	3.20	3.63	2.95
P06 Pantelleria	4.12	5.42	3.88	4.40	4.46	5.96	4.71
P07 S O Sicilia	2.09	2.40	2.19	1.97	2.48	2.74	2.31
P08 S Sicilia	2.69	2.86	3.00	2.26	2.92	3.56	2.89
P09 Malta	3.98	5.08	4.15	4.31	4.84	5.84	4.71
P10 O Creta	2.55	3.75	3.60	2.91	4.11	5.23	3.70
P11 Israele	1.24	2.35	2.61	1.73	2.48	2.43	2.15

2.1.1 Caratteristiche della risorsa ondosa – Isola d’Elba

Questo nodo di calcolo localizzato presso l’Isola d’Elba mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio, in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 6\text{ m}$ e $T_e = 10\text{ s}$, con direzione principale di provenienza del moto ondoso da SSW. Tuttavia, le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie vicine allo zero da maggio a settembre e a 2 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 1kW/m, principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 0.5 m e a periodi $T_e = 4\text{ s}$.

Figure 2: Isola d'Elba – Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



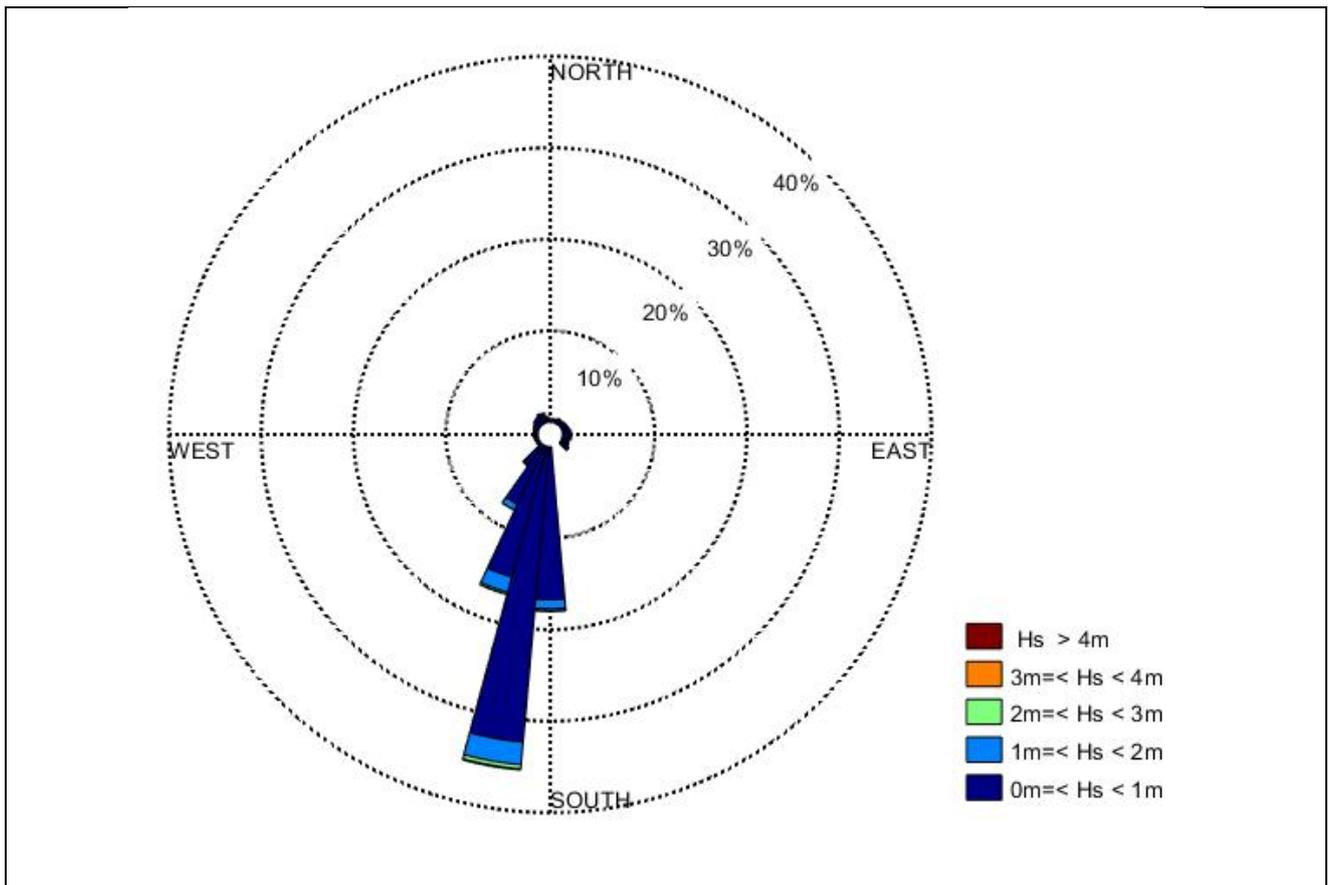
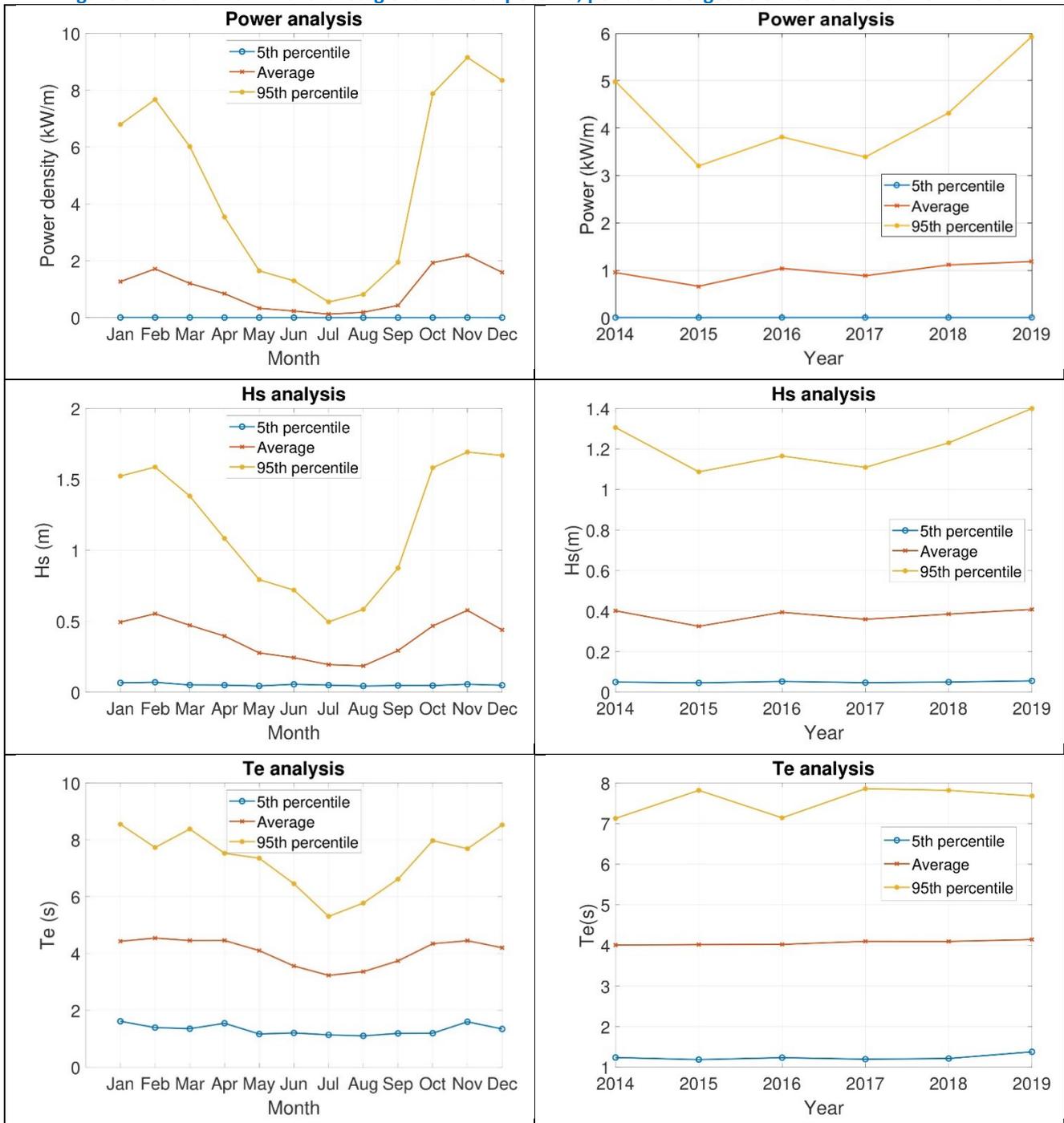


Figure 3: Isola d'Elba - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019

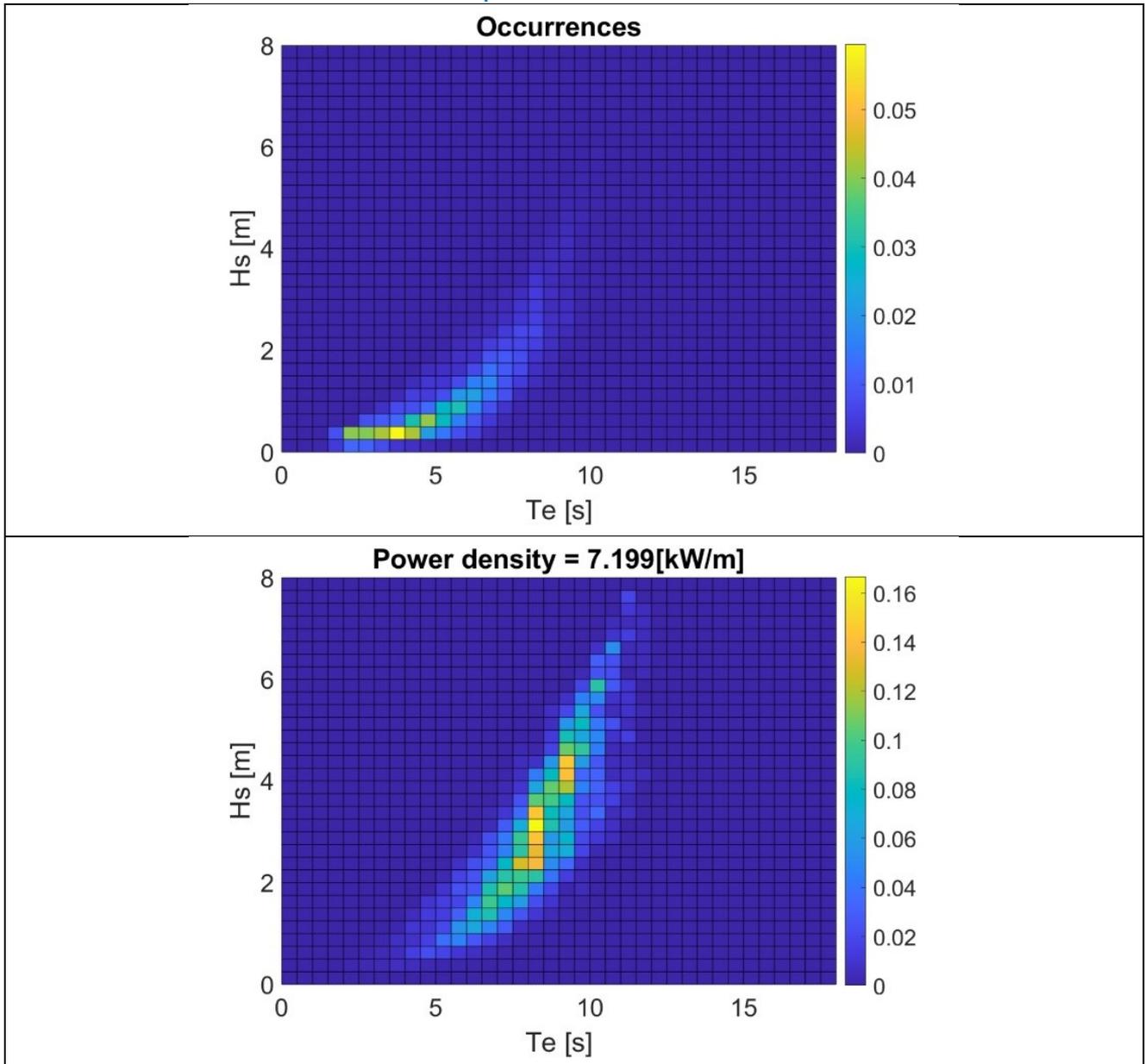


2.1.2 Caratteristiche della risorsa ondosa – N-O Sardegna

Questo nodo di calcolo localizzato presso il NO della Sardegna risulta essere tra i siti maggiormente energetici nel mediterraneo, in cui si osservano non poco frequenti mareggiate con caratteristiche energetiche simili a quelle oceaniche, principalmente dovuto alle frequenti incursioni di Maestrale. Il sito mostra comunque una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio, in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s > 7m$ e $T_e > 10s$, con direzione principale di provenienza del moto ondoso da NW. Le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie tra i 2-5 kW/m da maggio a ottobre e tra 5 e 15 kW/m nei

mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 7 kW/m, principalmente dovuto a valori medi di Hs vicini a 1 m e a periodi Te = 5s.

Figure 4: N-O Sardegna Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



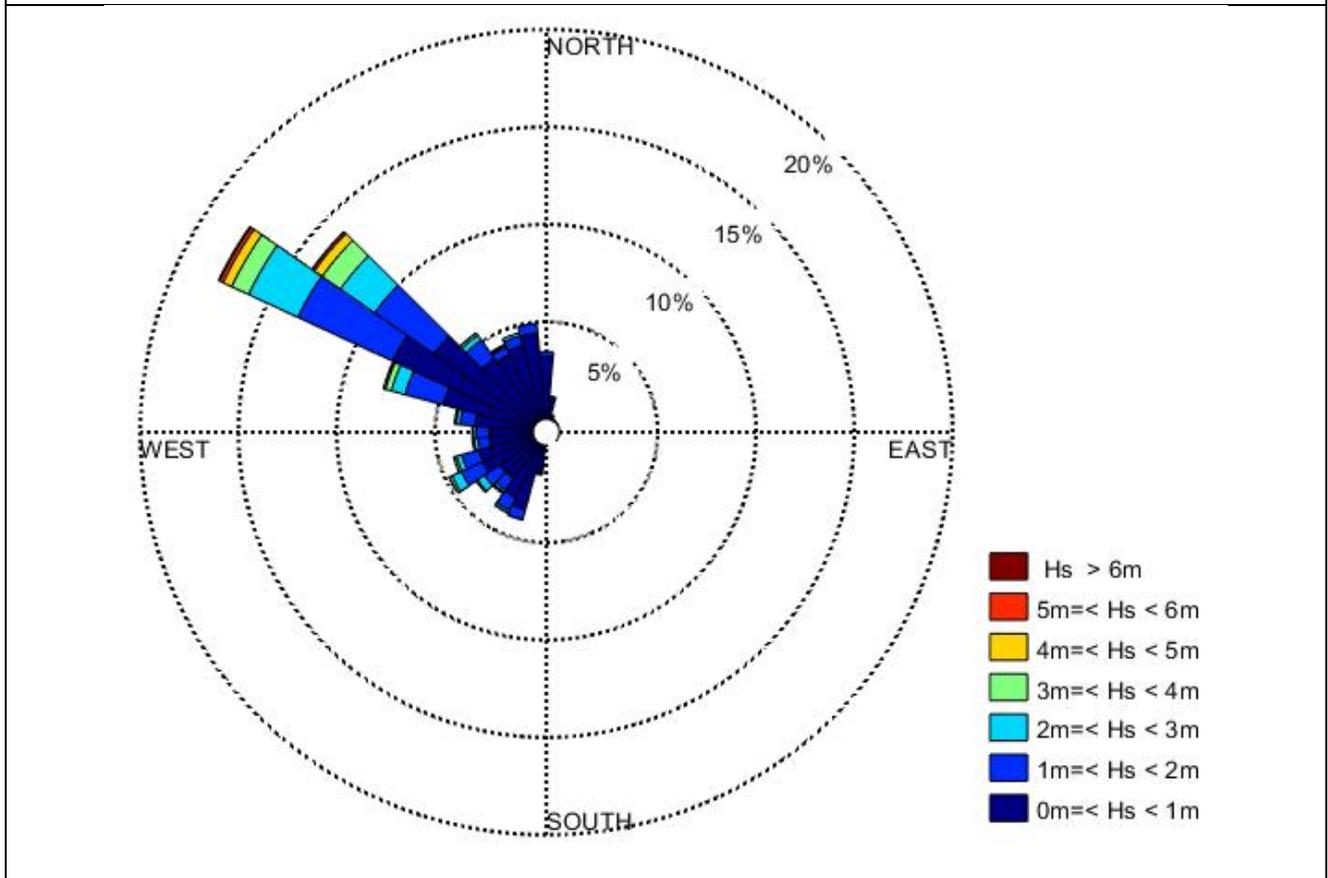
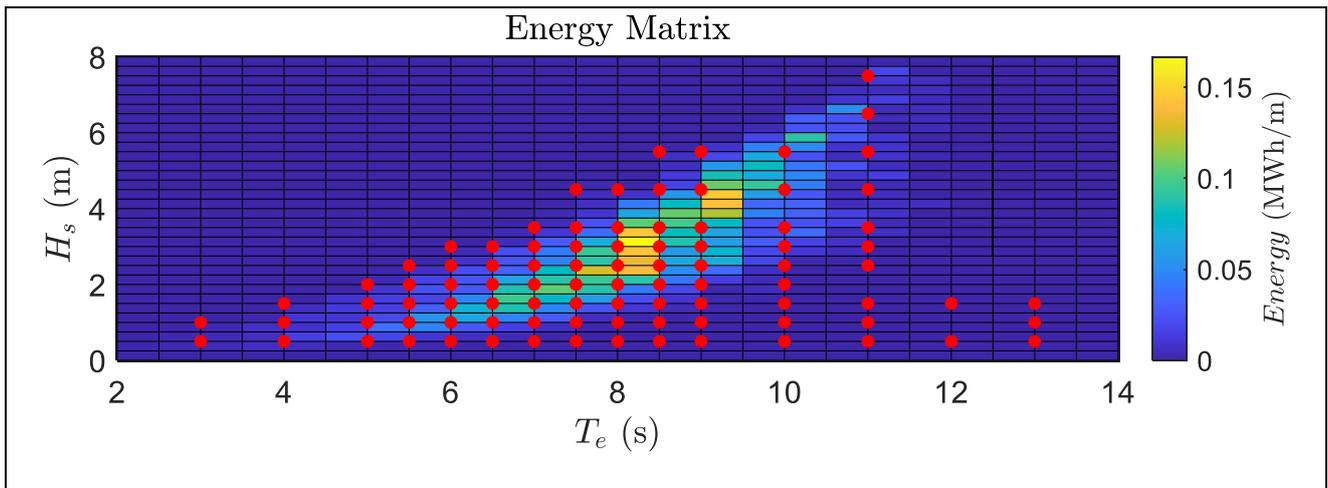
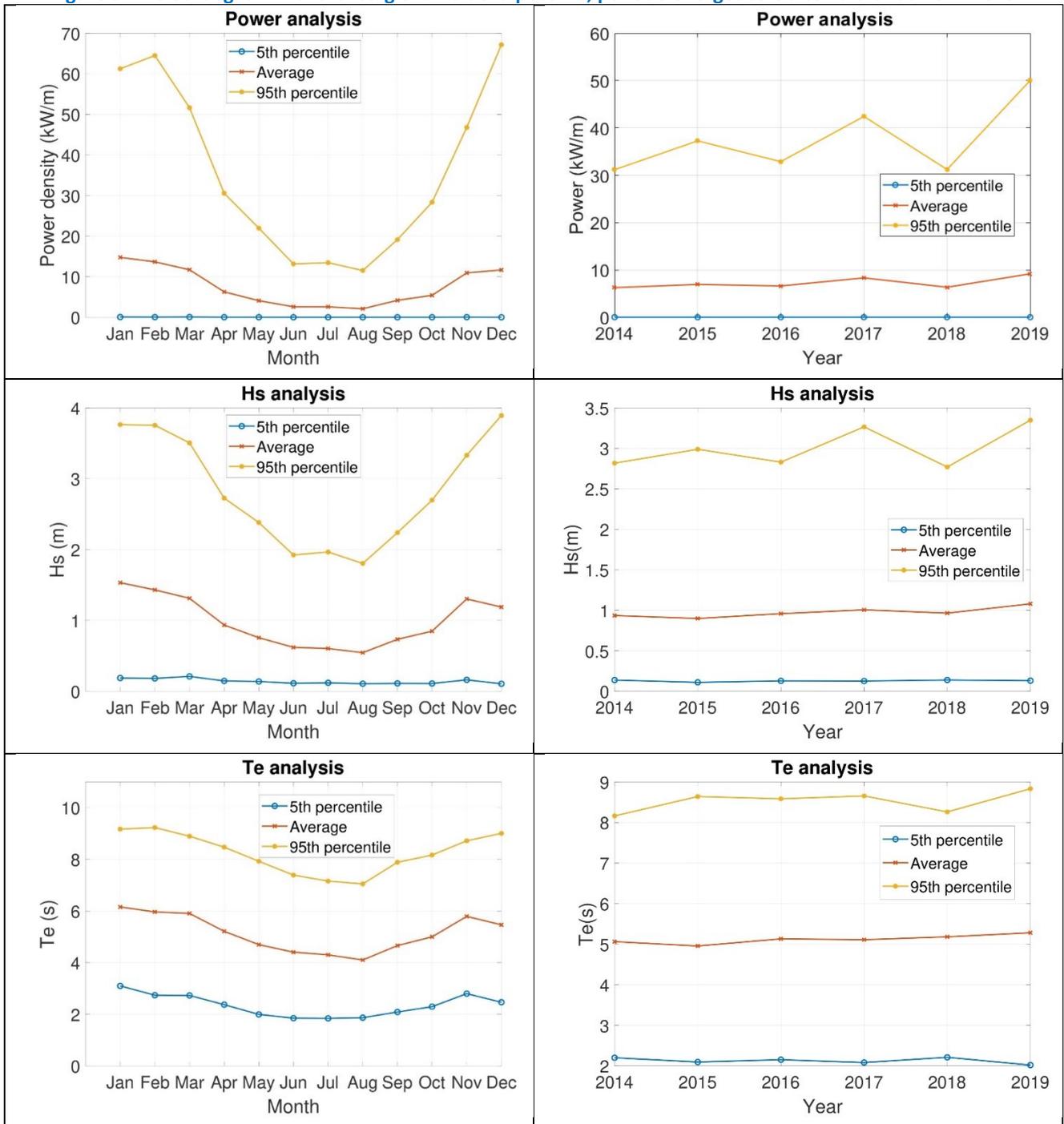


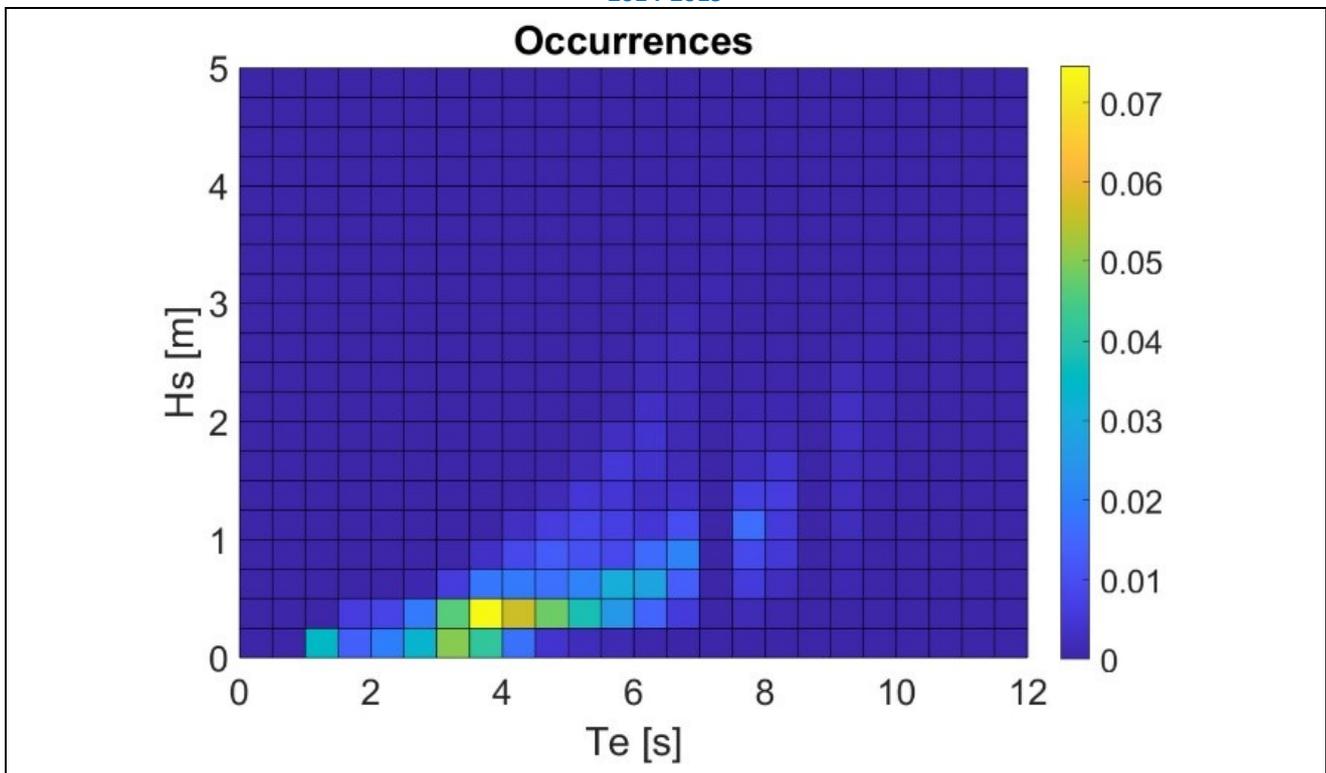
Figure 5: N-O Sardegna - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



2.1.3 Caratteristiche della risorsa ondosa – N Baleari

Questo nodo di calcolo localizzato presso l'Isola d'Elba mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 5\text{m}$ e $T_e = 12\text{s}$, con direzione principale di provenienza del moto ondoso da NNE. Tuttavia, le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie vicine allo zero da maggio a settembre e sotto i 5 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 2 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 0.5 m e a periodi $T_e = 4\text{ s}$. I grafici delle occorrenze e densità di potenza mostrano bande di azzeramento di dati dovuto alle frequenze del modello che risultano essere in progressione logaritmica e non sempre rientrano in una discretizzazione regolare.

Figure 6: N Baleari Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



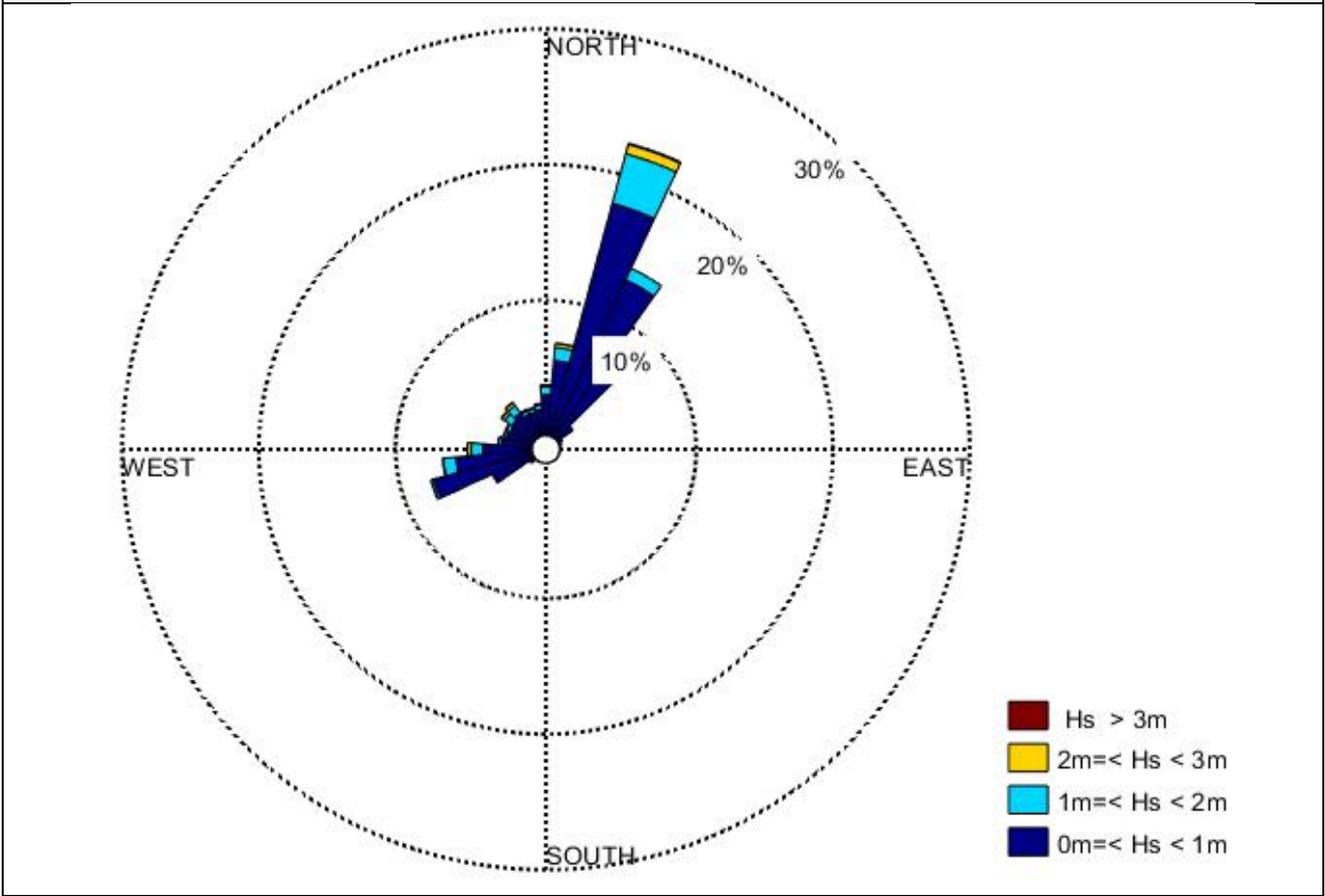
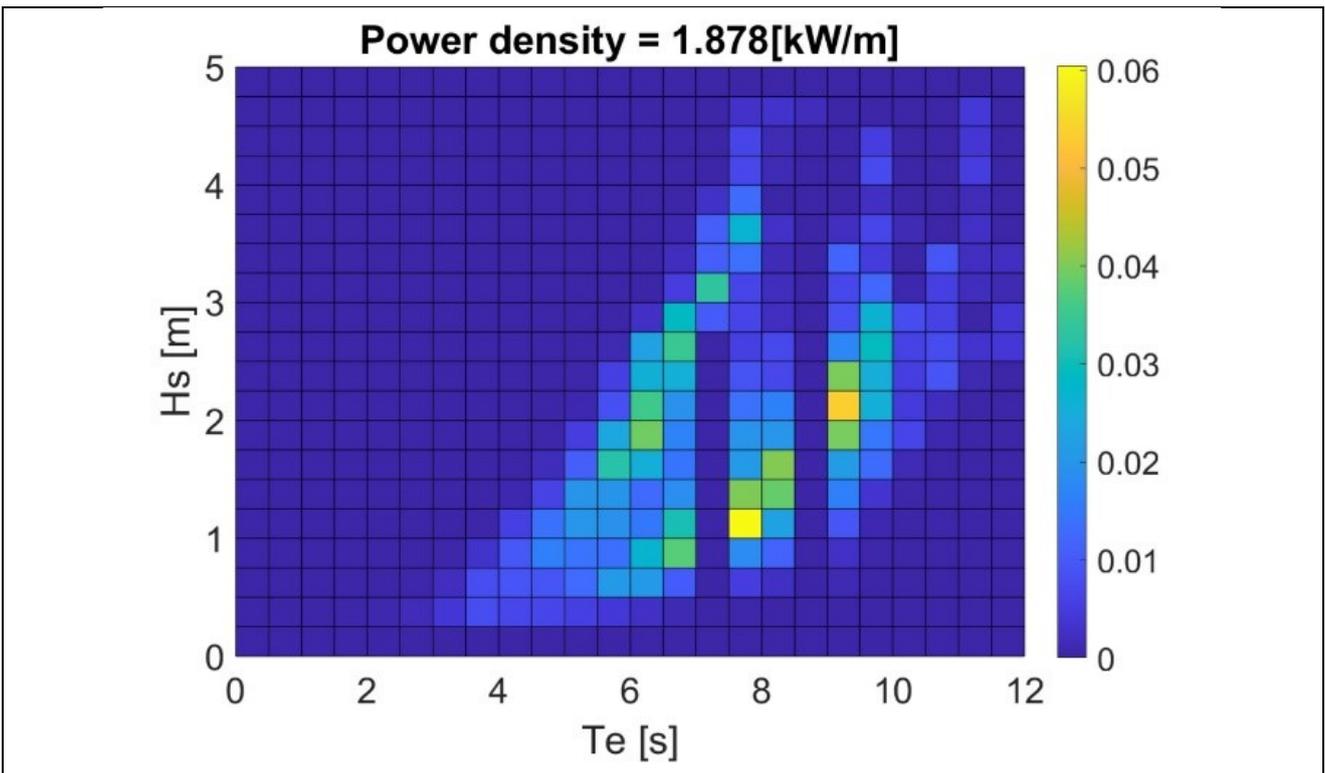
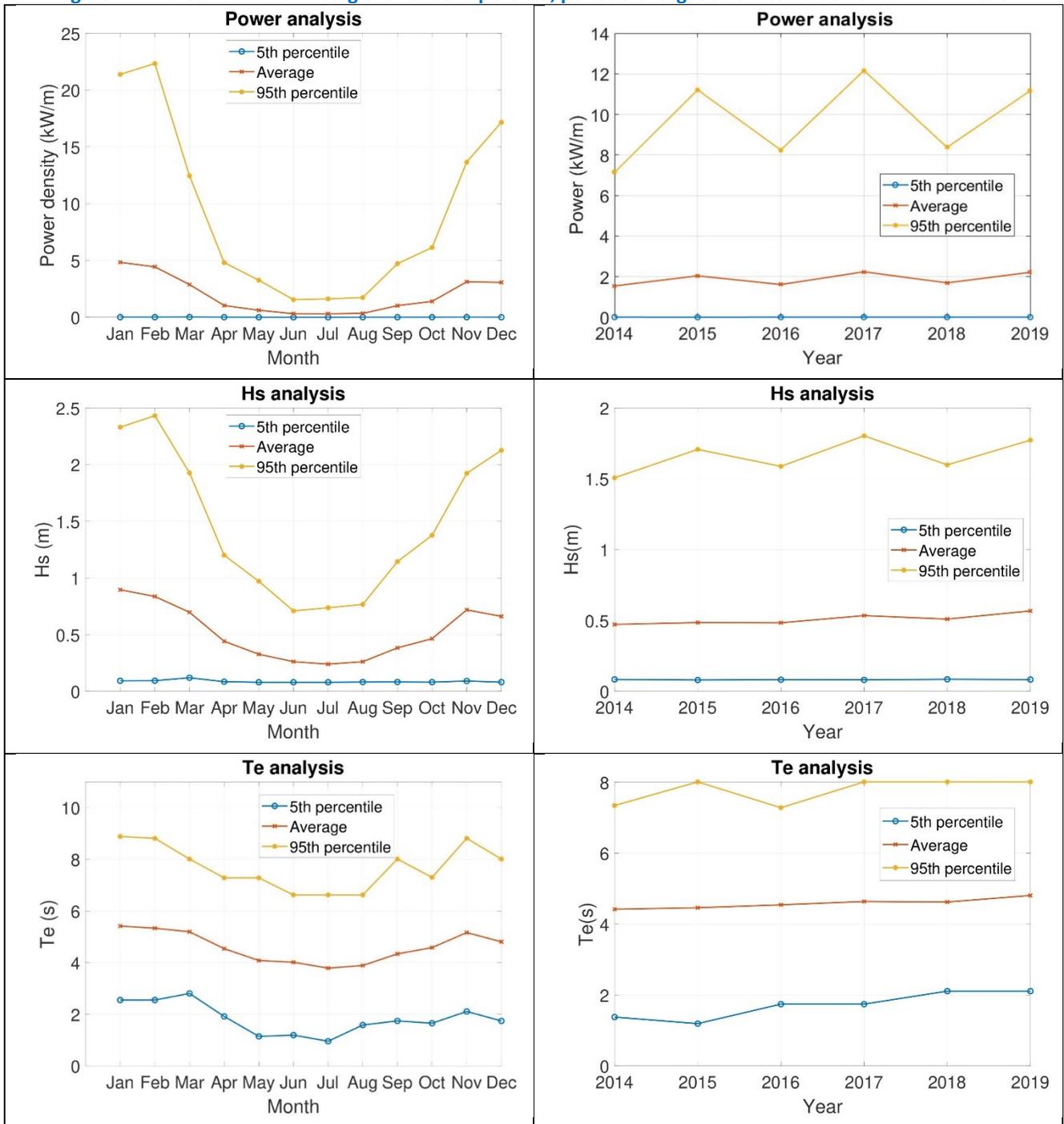


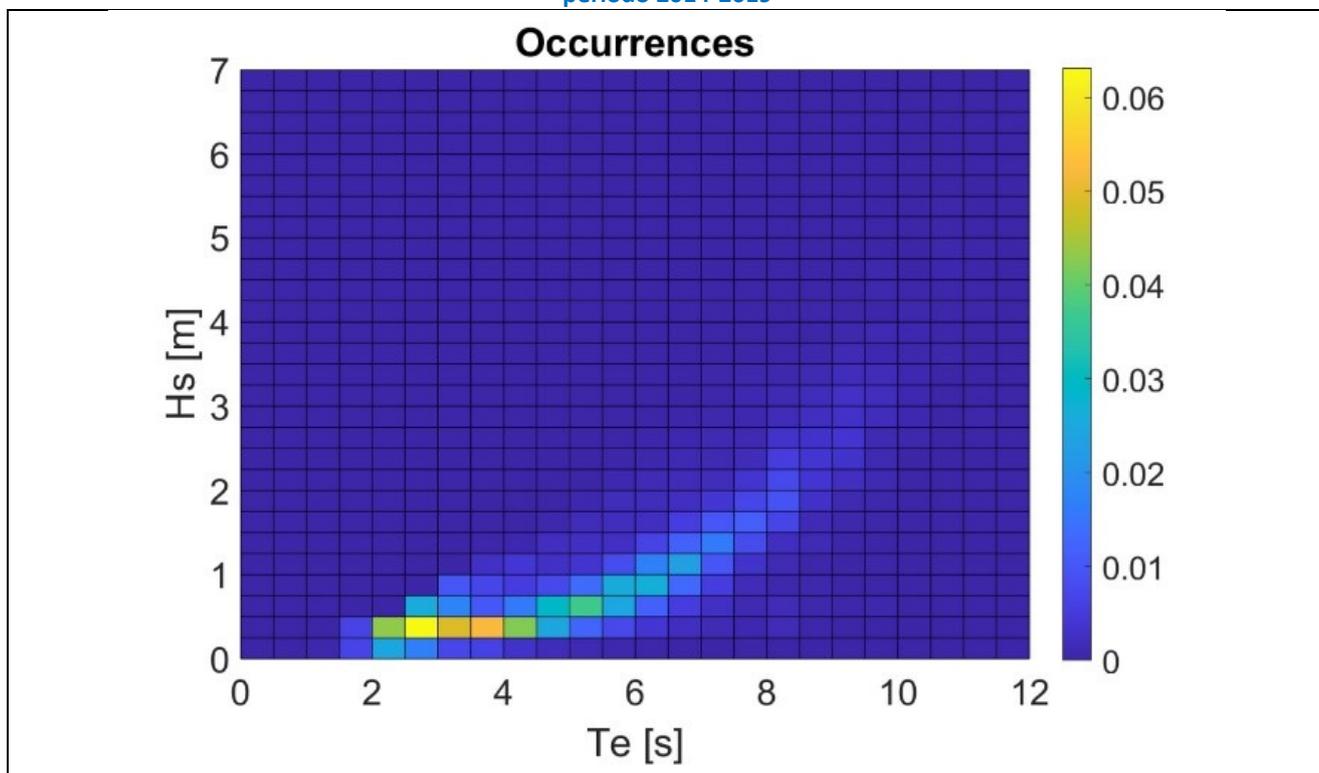
Figure 7: N Baleari - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza dell'onda 2014 - 2019



2.1.4 Caratteristiche della risorsa ondosa – S-O Sardegna

Questo nodo di calcolo localizzato presso il SO della Sardegna risulta essere tra i siti maggiormente energetici nel Mediterraneo, in cui si osservano non poco frequenti mareggiate con caratteristiche energetiche simili a quelle oceaniche, principalmente dovuto alle frequenti incursioni di Maestrone, in analogia con il punto di calcolo 2 corrispondente al NO della Sardegna. Il sito mostra comunque una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio, in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s > 7\text{m}$ e $T_e > 10\text{s}$, con direzione principale di provenienza del moto ondoso da NW. Le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie pari 4 kW/m da maggio a ottobre e tra 5 e 11 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 5 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 1 m e a periodi $T_e = 5\text{ s}$.

Figure 8: S-O Sardegna Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



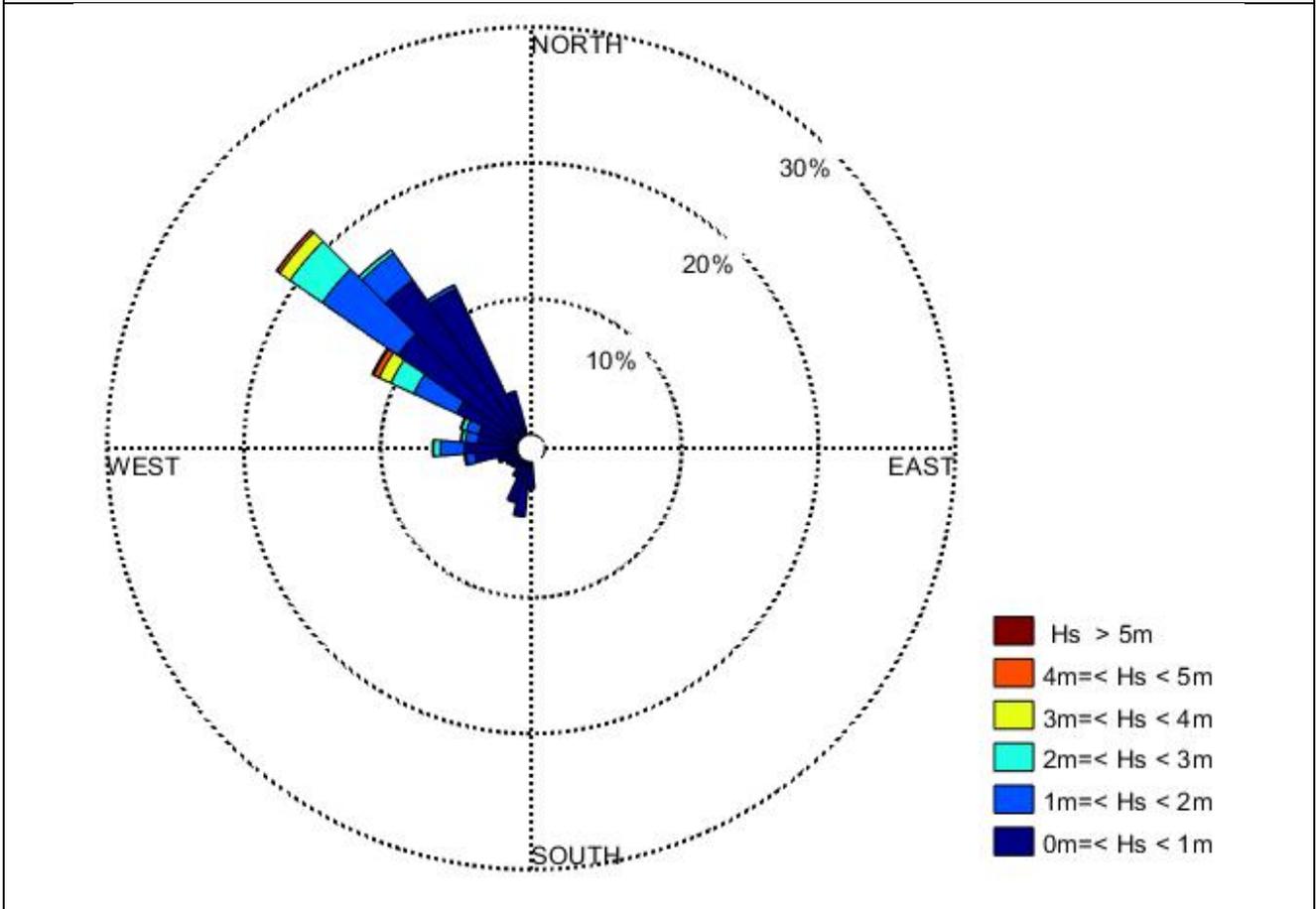
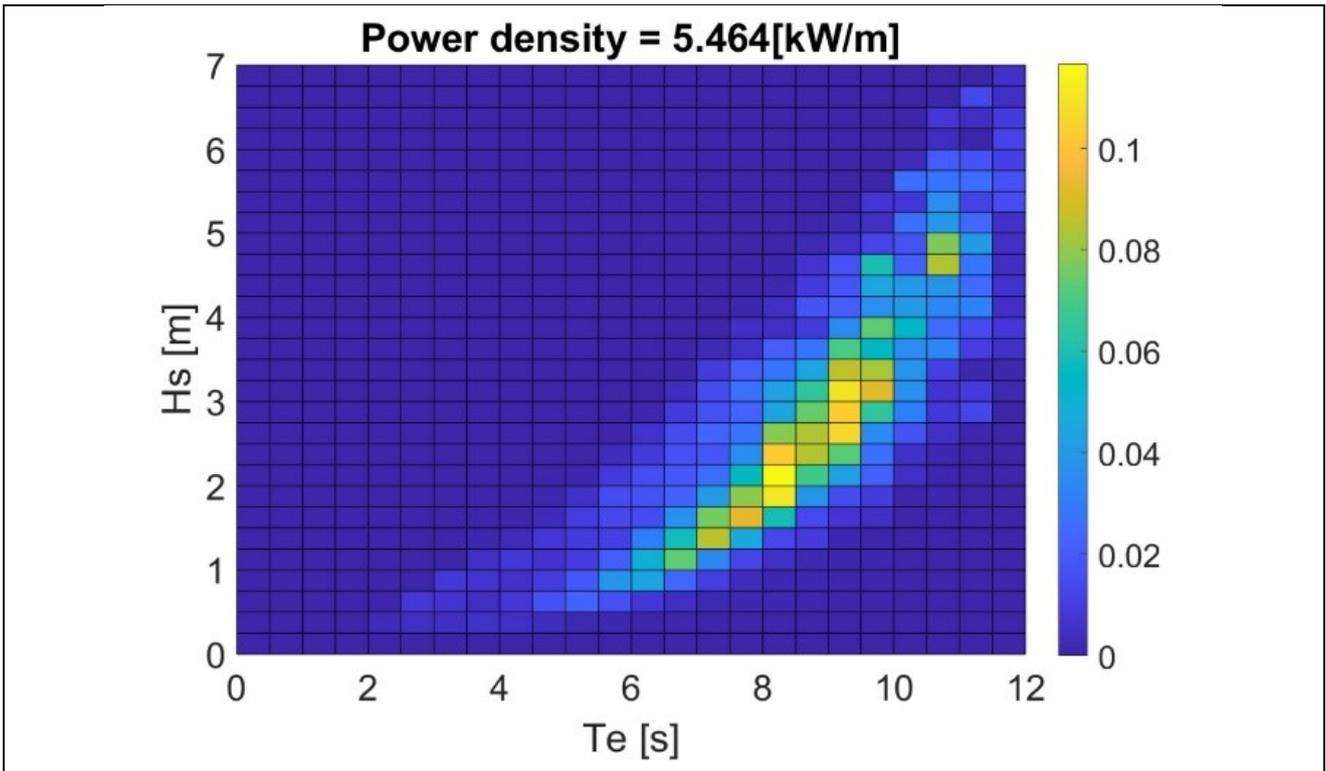
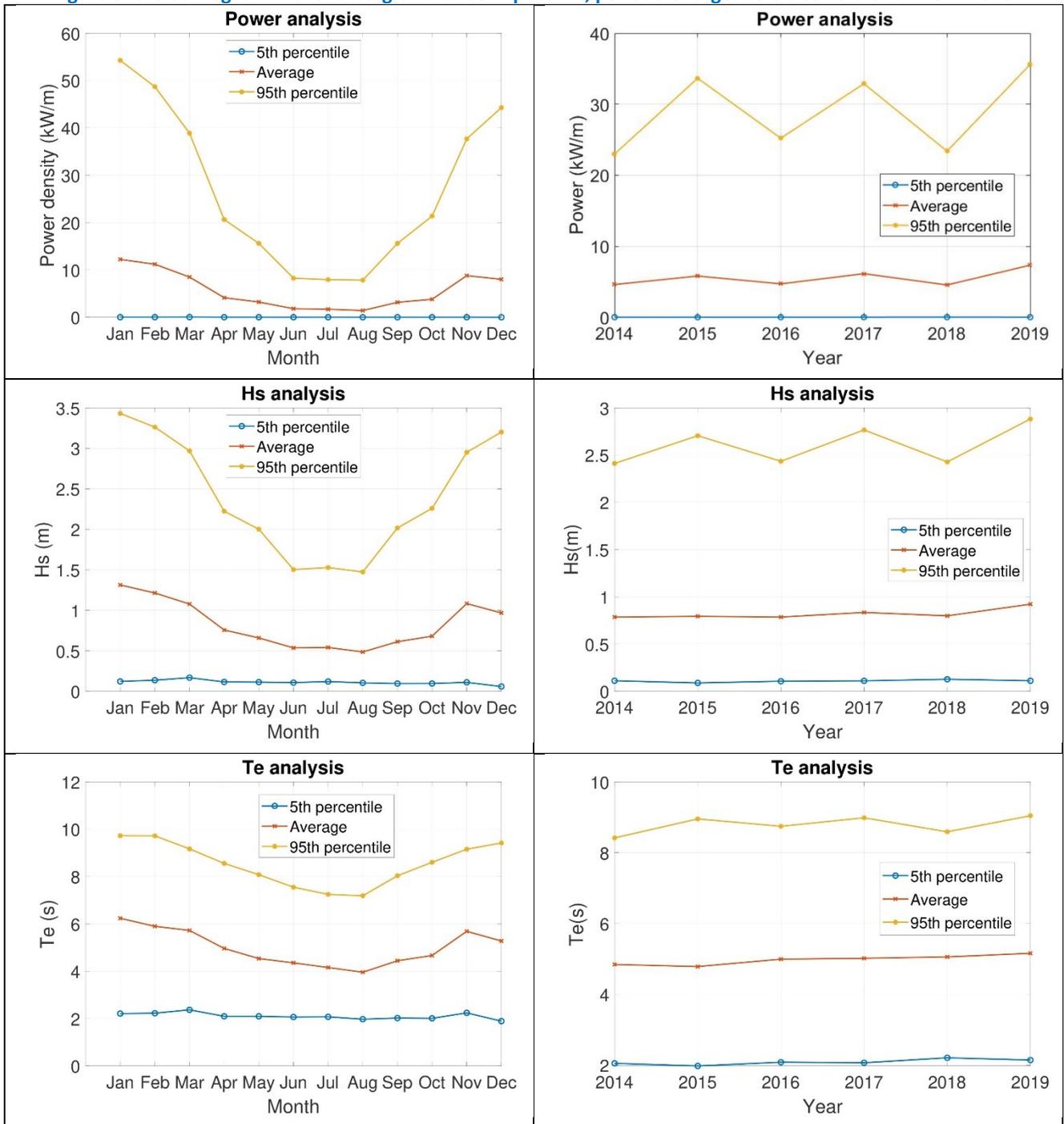


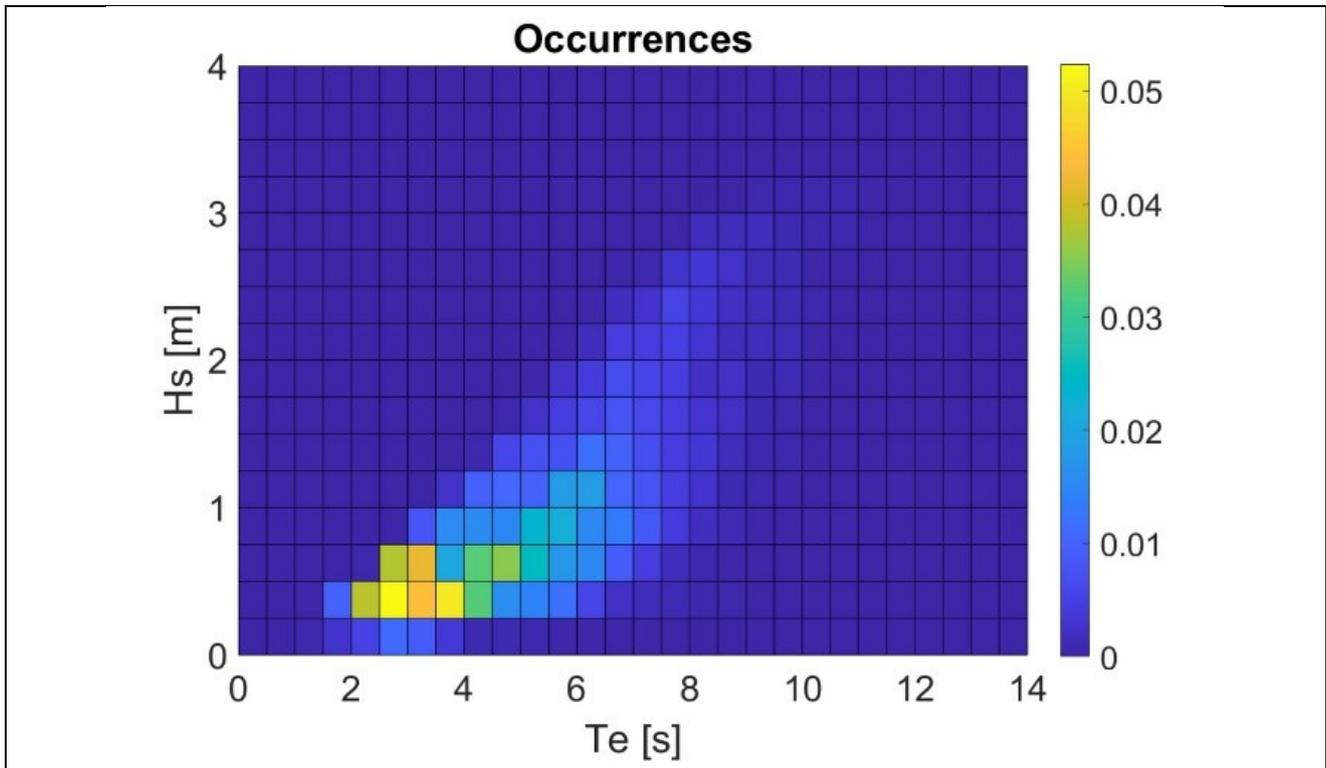
Figure 9: S-O Sardegna - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



2.1.5 Caratteristiche della risorsa ondosa – N-O Sicilia

Questo nodo di calcolo localizzato presso il NO della Sicilia mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 3\text{m}$ e $T_e = 10\text{s}$ con due direzioni principali di provenienza del moto ondoso da W e SSW. Tuttavia, le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie vicine allo zero da maggio a settembre e sotto i 6 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 3 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 0.6 m e a periodi $T_e = 5\text{ s}$.

Figure 10: N-O Sicilia Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



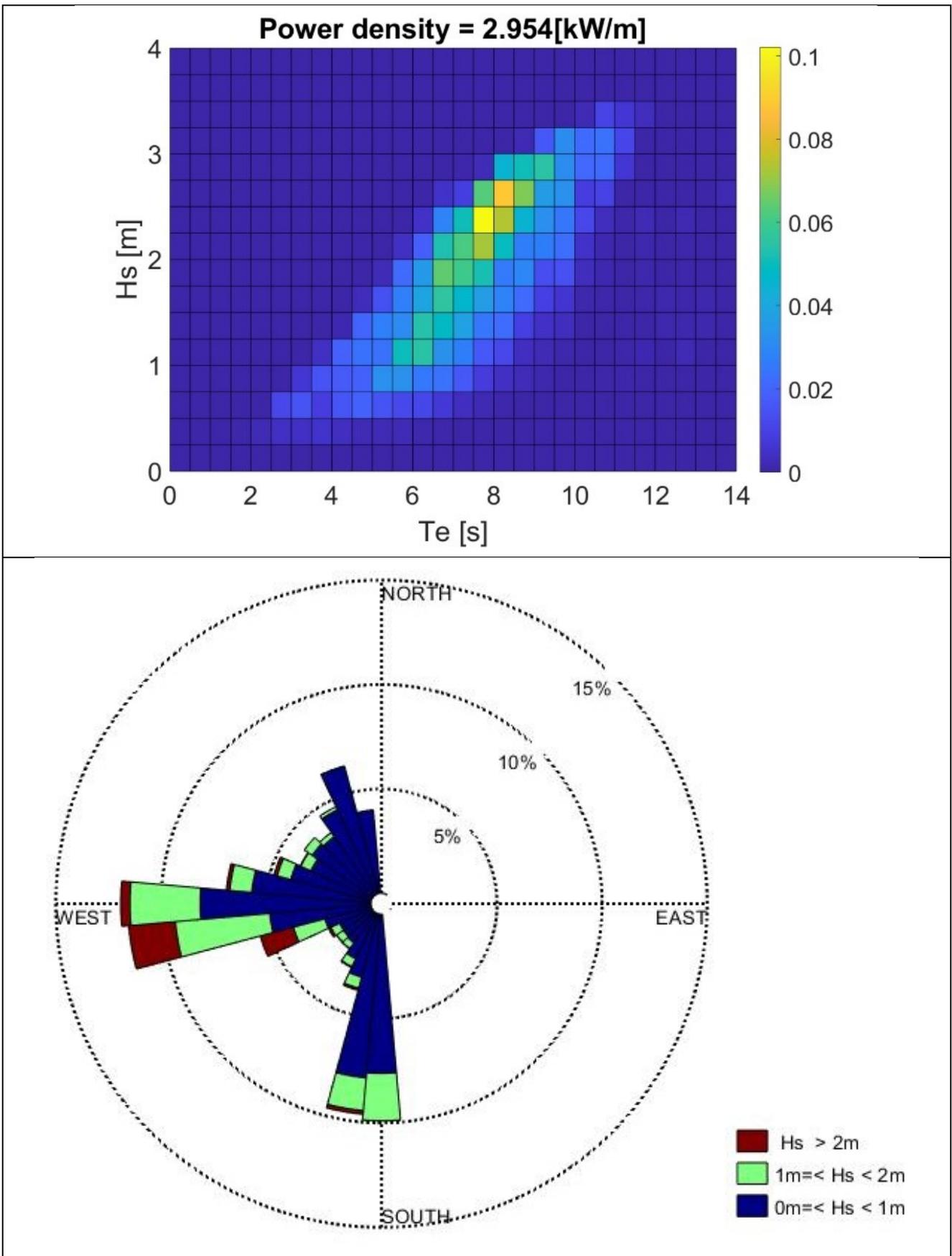
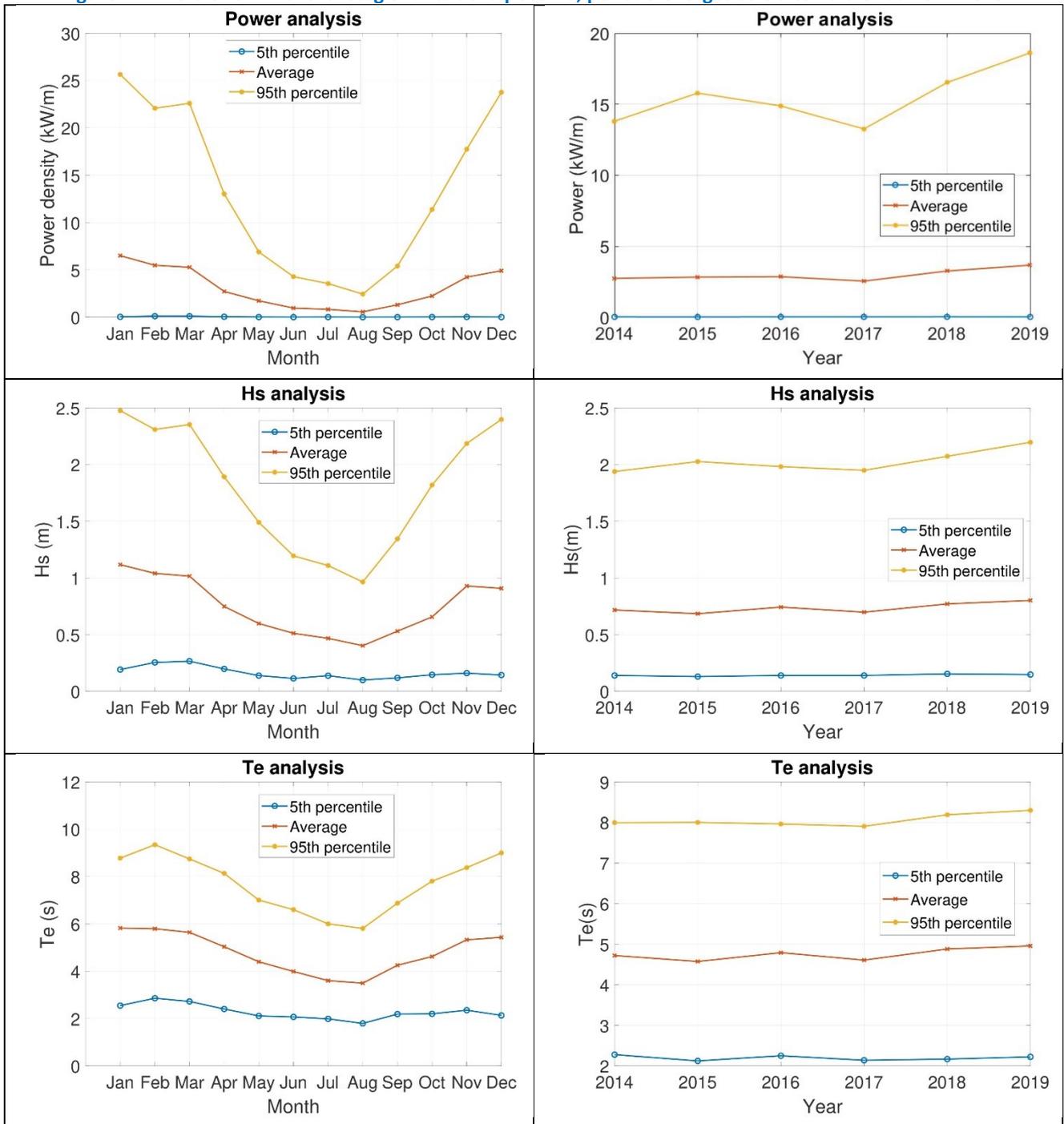


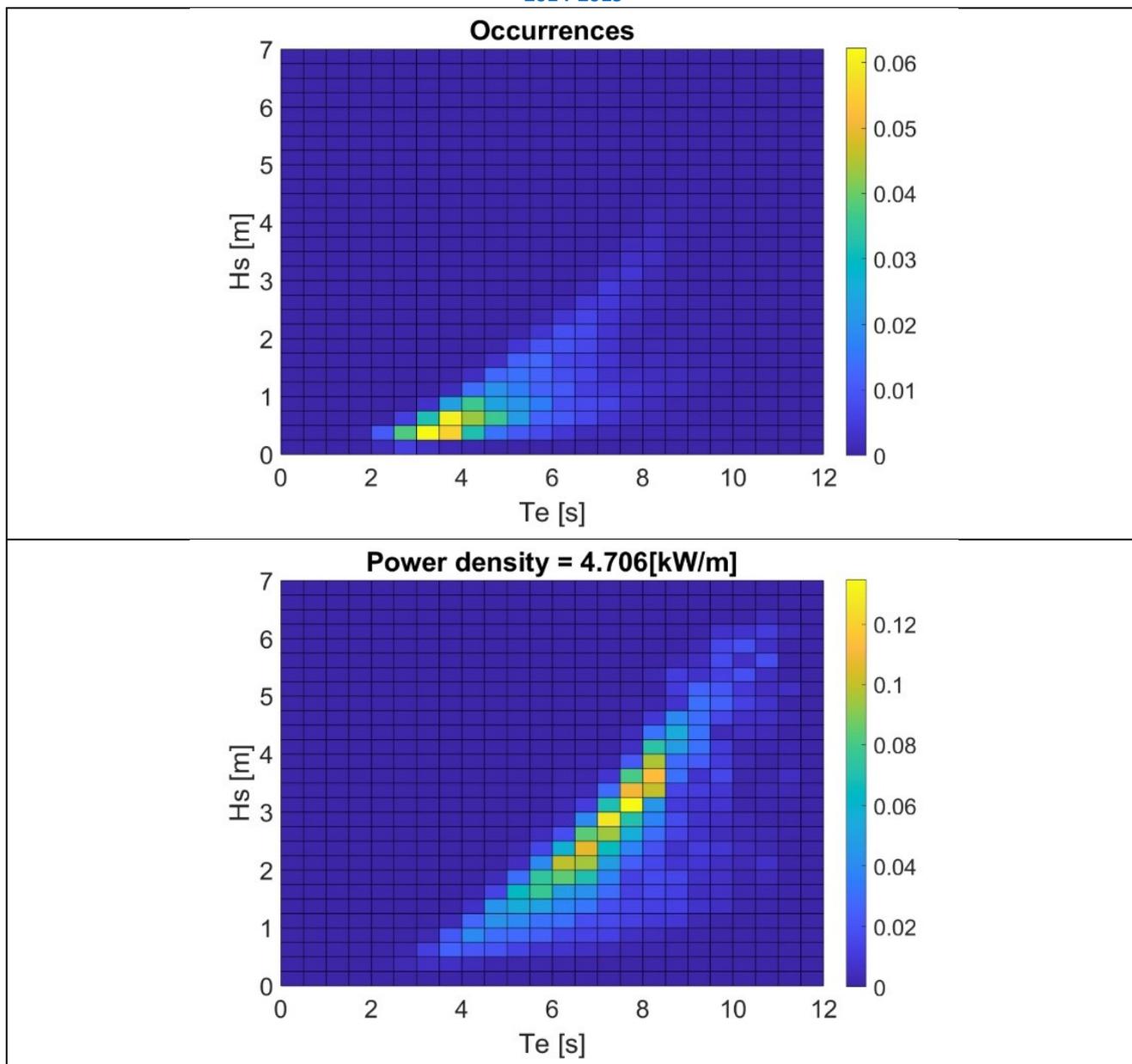
Figure 11: N-O Sicilia - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



2.1.6 Caratteristiche della risorsa ondosa – Pantelleria

Questo nodo di calcolo localizzato presso l’isola di Pantelleria mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 6\text{m}$ e $T_e = 11\text{s}$ con due direzioni principali di provenienza del moto ondoso da NW per i fenomeni più intensi e SSW per quelli più lievi. Le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie di circa 2 kW/m da maggio a settembre e sotto i 10 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 5 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 1 m e a periodi $T_e = 5\text{ s}$.

Figure 12: Pantelleria Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



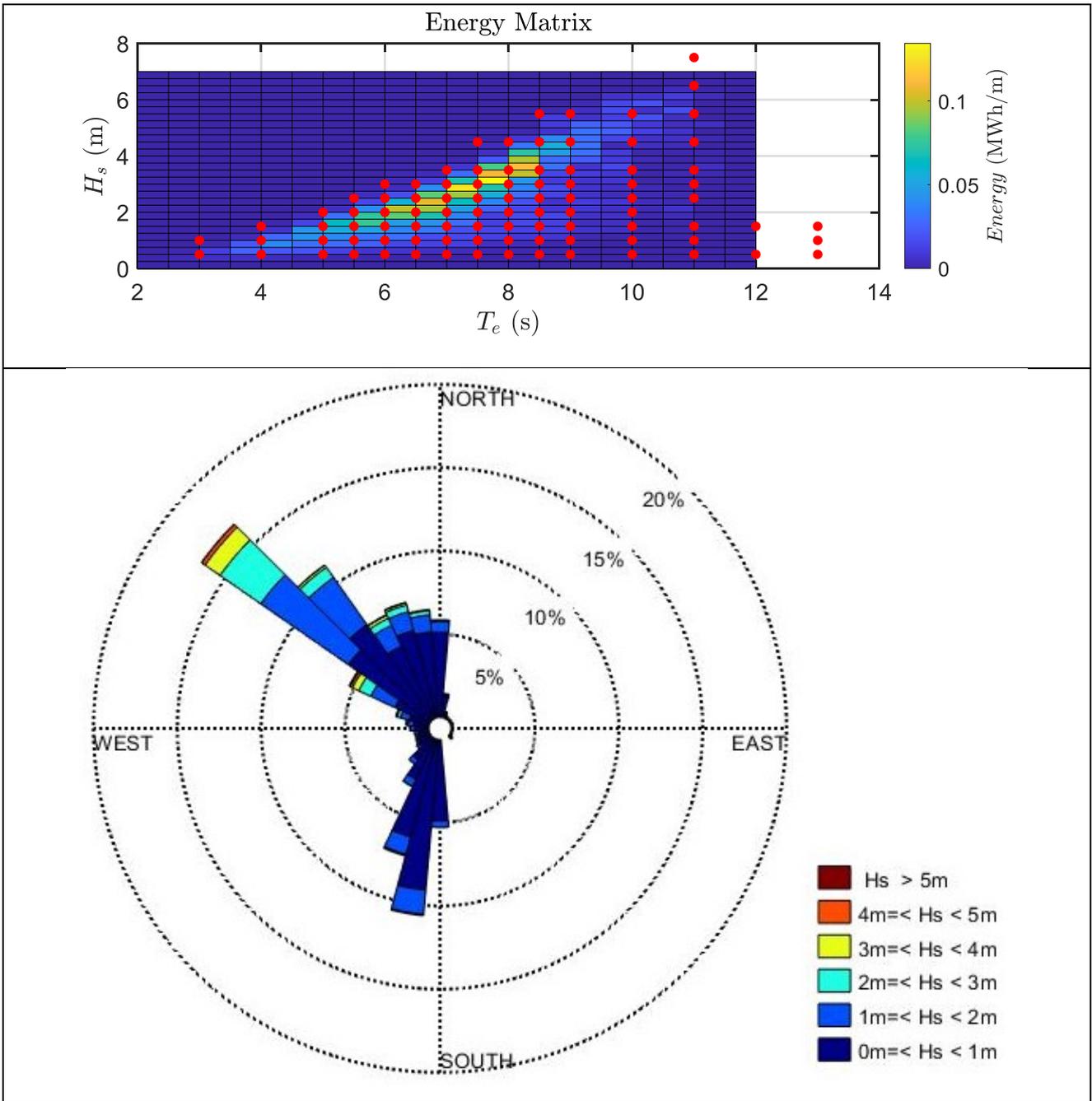
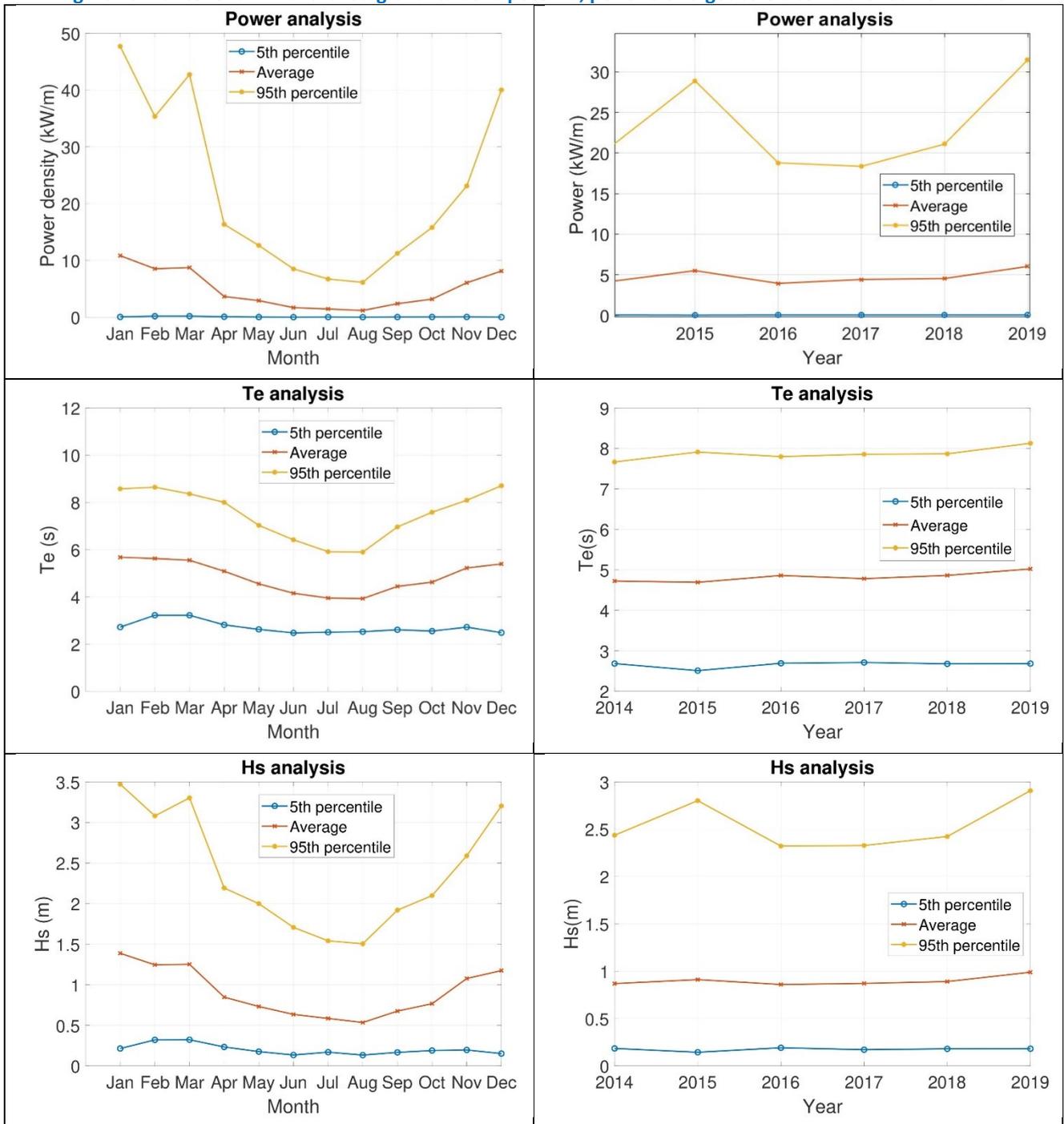


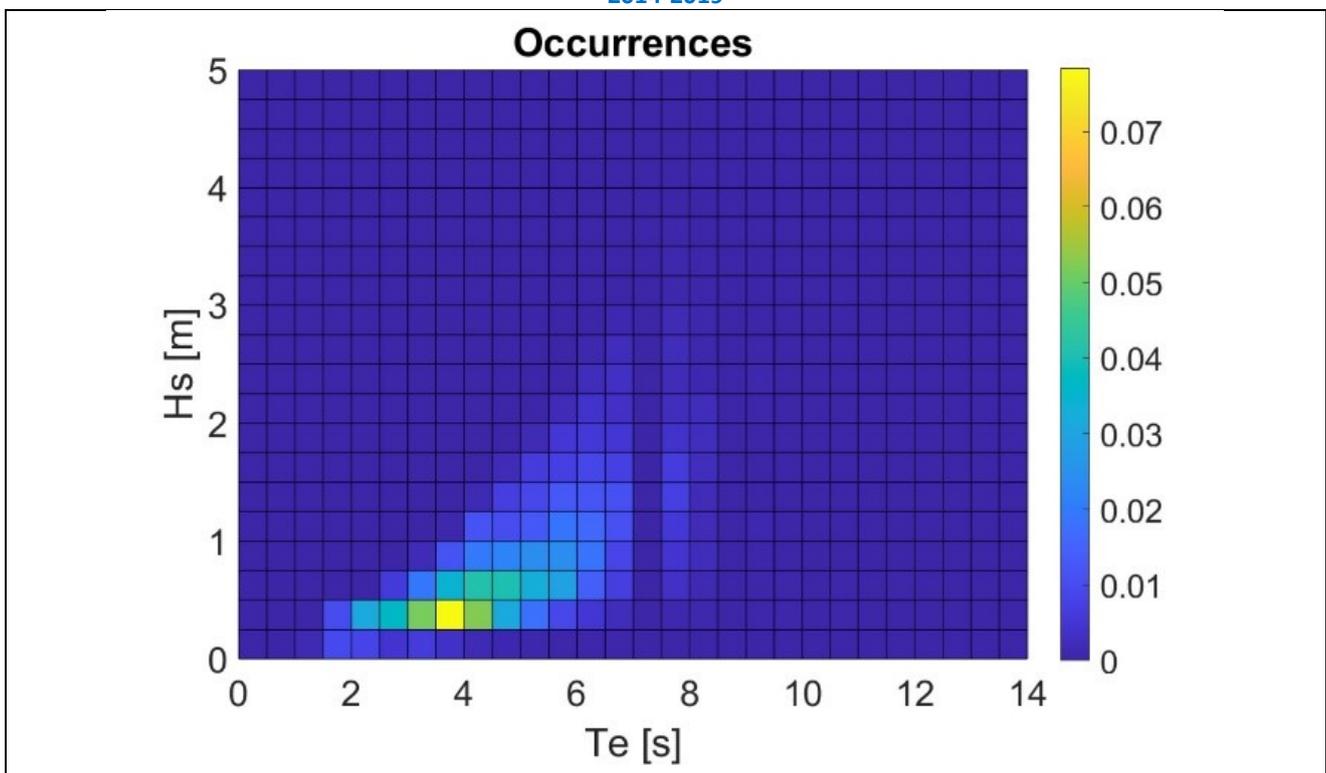
Figure 13: Pantelleria - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



2.1.7 Caratteristiche della risorsa ondosa – S-O Sicilia

Questo nodo di calcolo localizzato presso il SO della Sicilia mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 5\text{m}$ e $T_e = 9\text{s}$ con direzione principale di provenienza del moto ondoso da W. Le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie di circa 1 kW/m da maggio a settembre e sotto i 5 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 2 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 0.6 m e a periodi $T_e = 4\text{--}5\text{ s}$. I grafici delle occorrenze e densità di potenza mostrano bande di azzeramento di dati dovuto alle frequenze del modello che risultano essere in progressione logaritmica e non sempre rientrano in una discretizzazione regolare.

Figure 14: S-O Sicilia Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



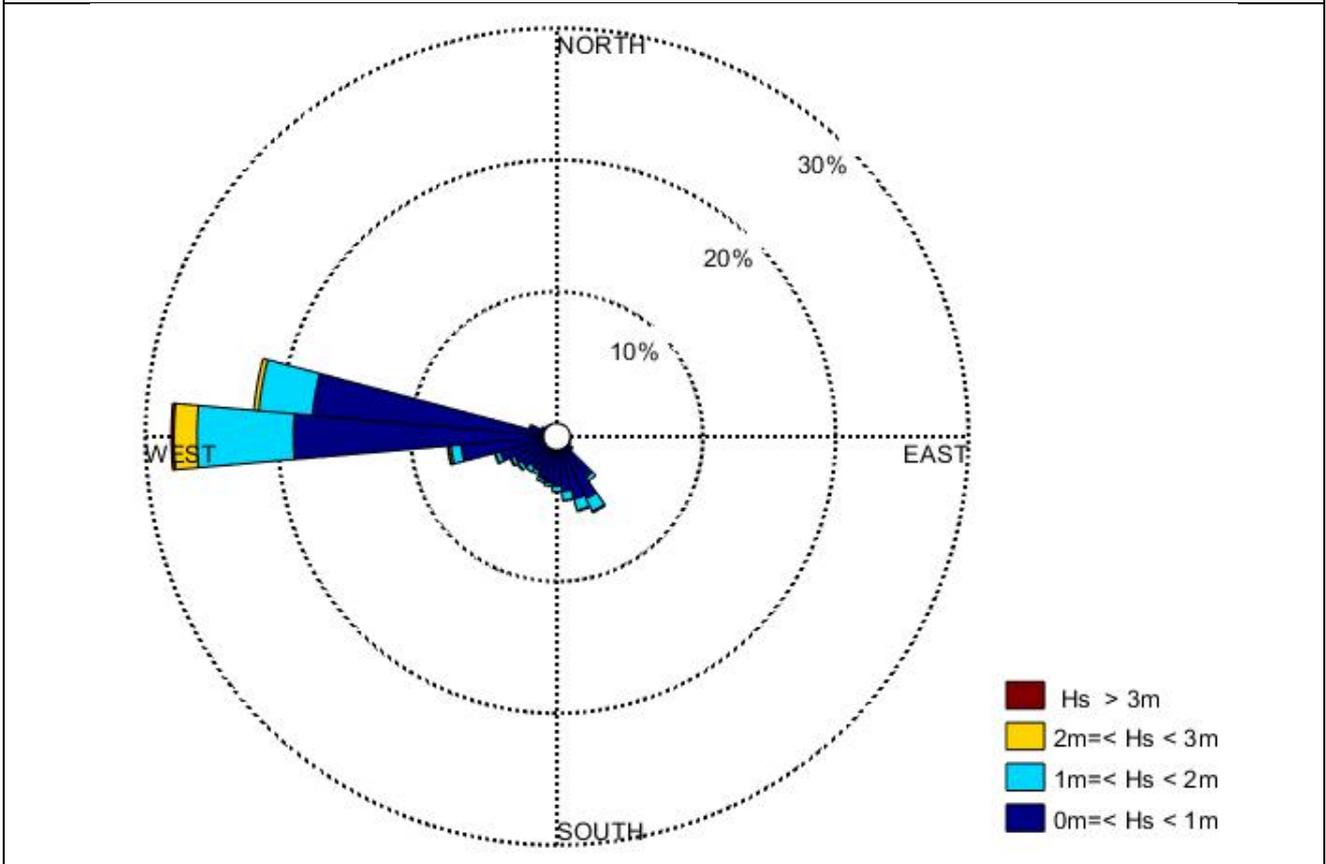
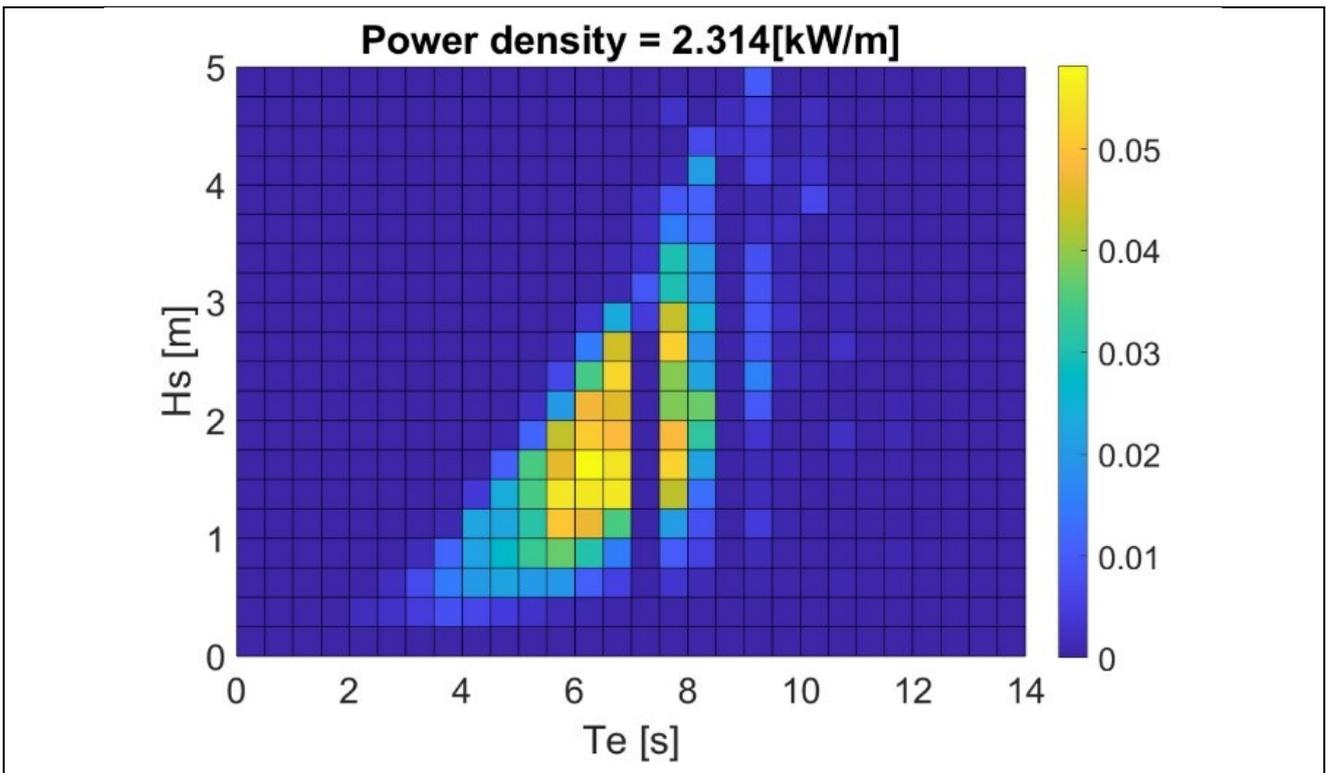
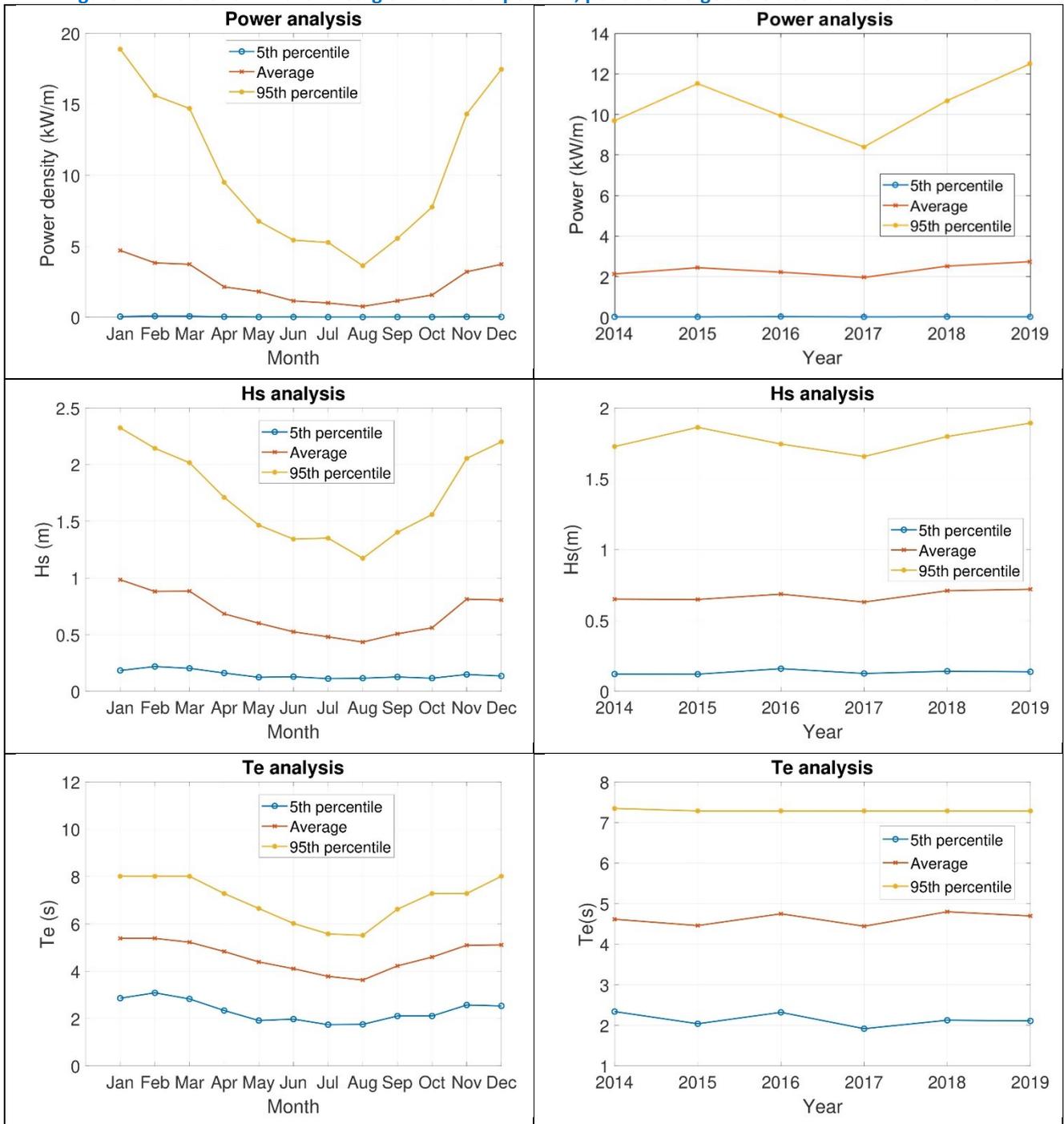


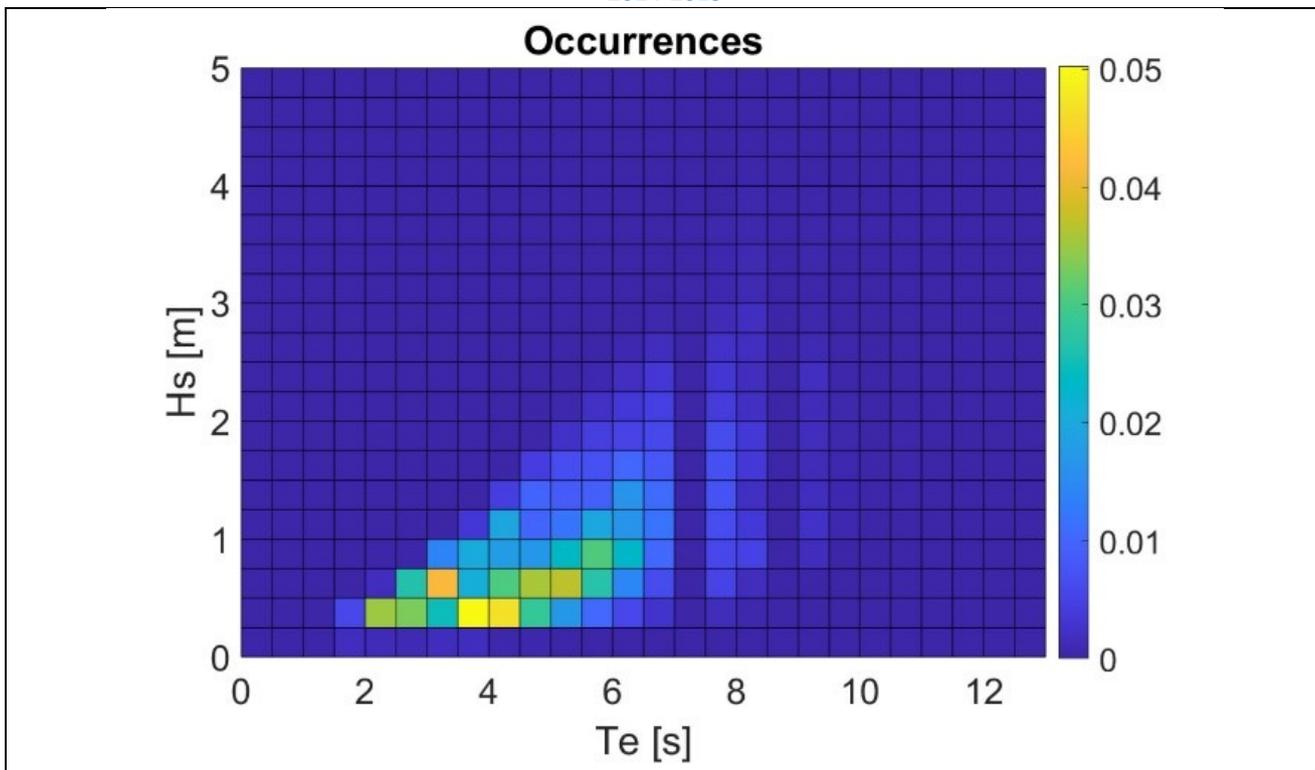
Figure 15: S-O Sicilia - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



2.1.8 Caratteristiche della risorsa ondosa – S Sicilia

Questo nodo di calcolo localizzato presso il S della Sicilia mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 5\text{m}$ e $T_e = 10\text{s}$ con direzione principale di provenienza del modo ondoso da W. Le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie di circa 1 kW/m da maggio a settembre e sotto i 5 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 3 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 0.7 m e a periodi $T_e = 5\text{ s}$. I grafici delle occorrenze e densità di potenza mostrano bande di azzeramento di dati dovuto alle frequenze del modello che risultano essere in progressione logaritmica e non sempre rientrano in una discretizzazione regolare.

Figure 16: S Sicilia Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



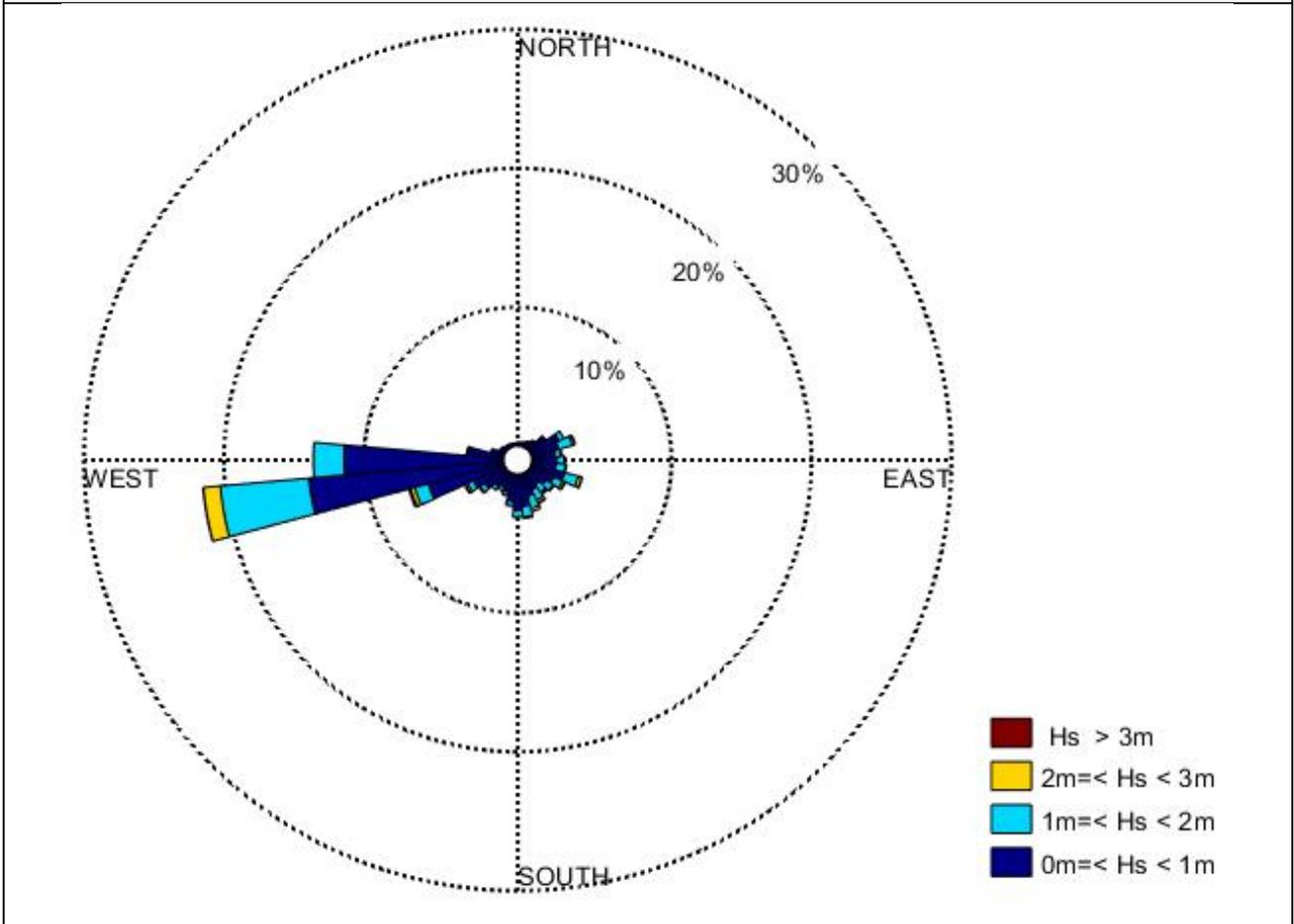
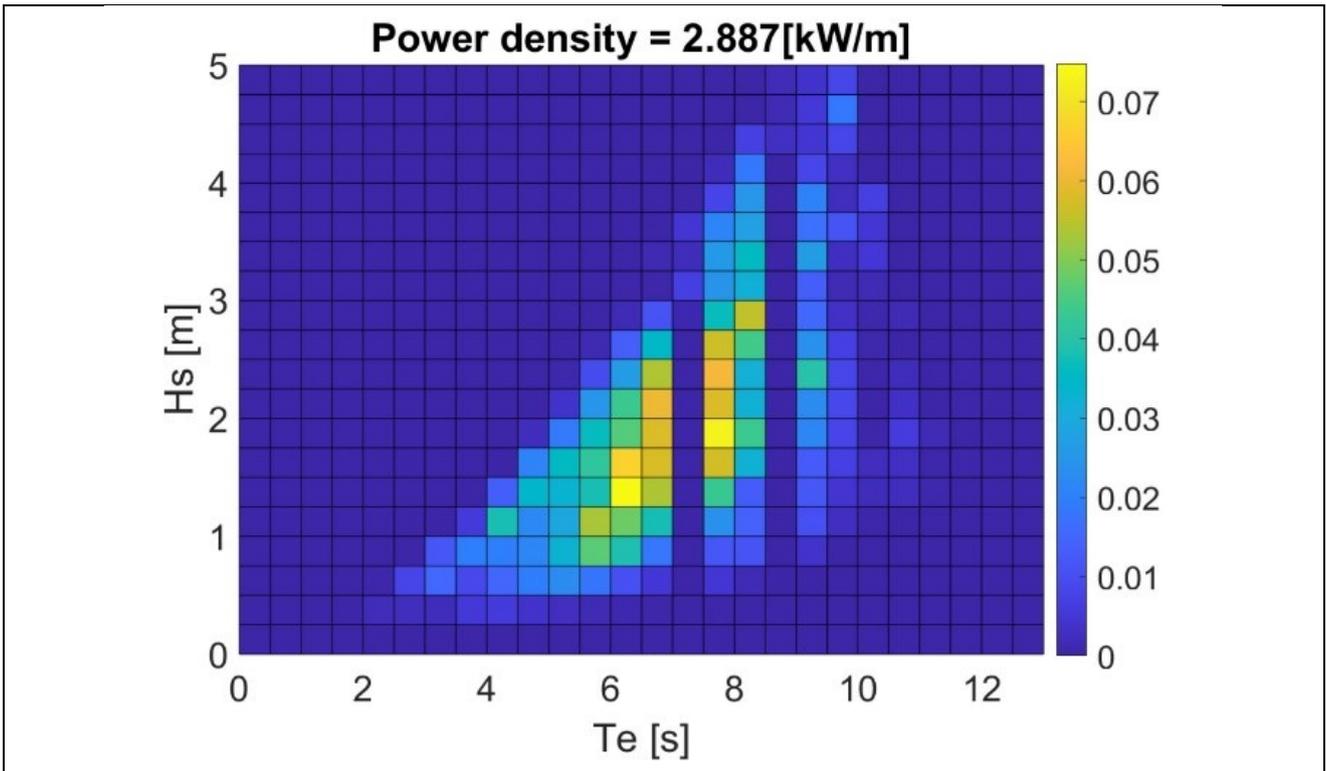
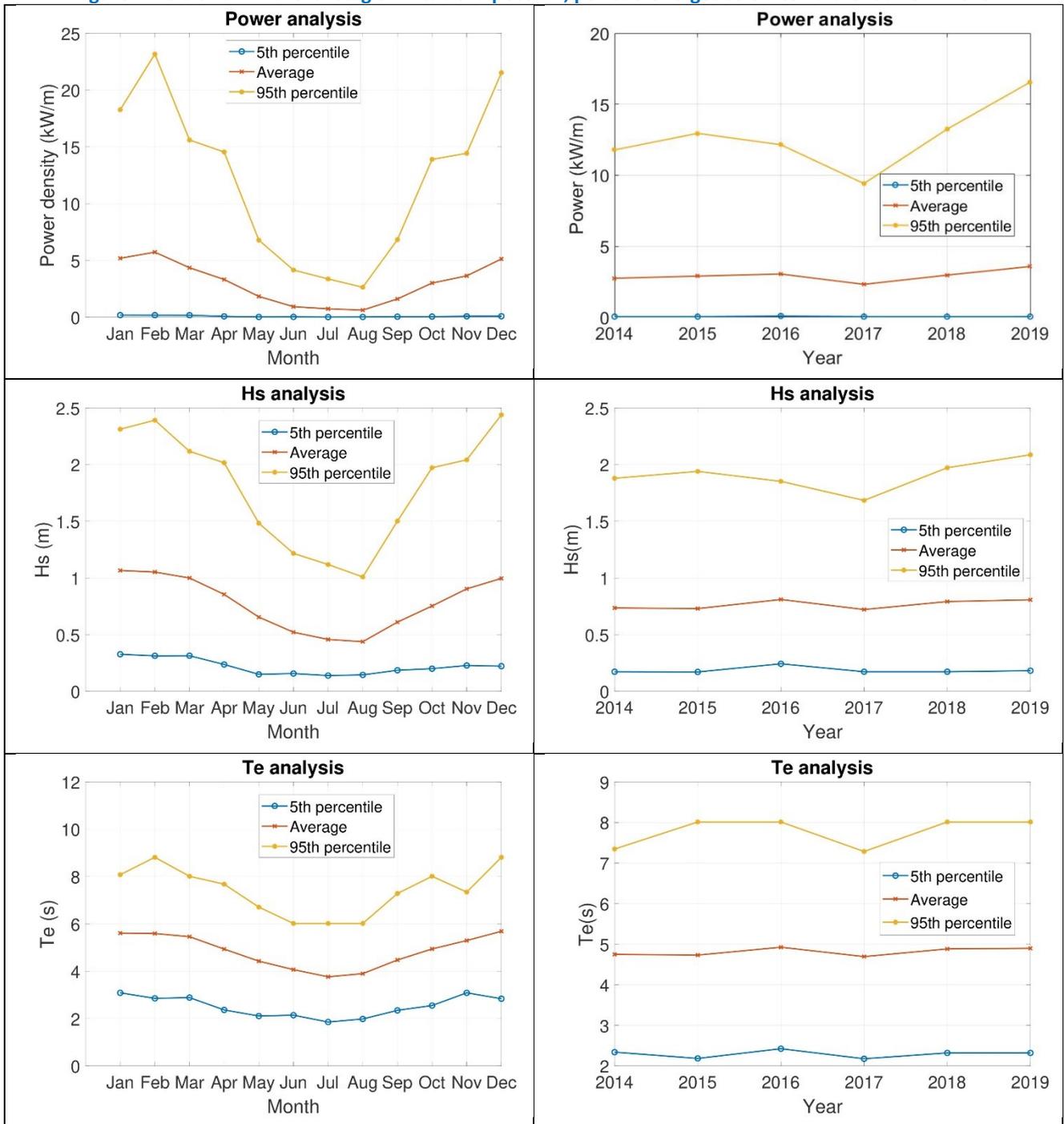


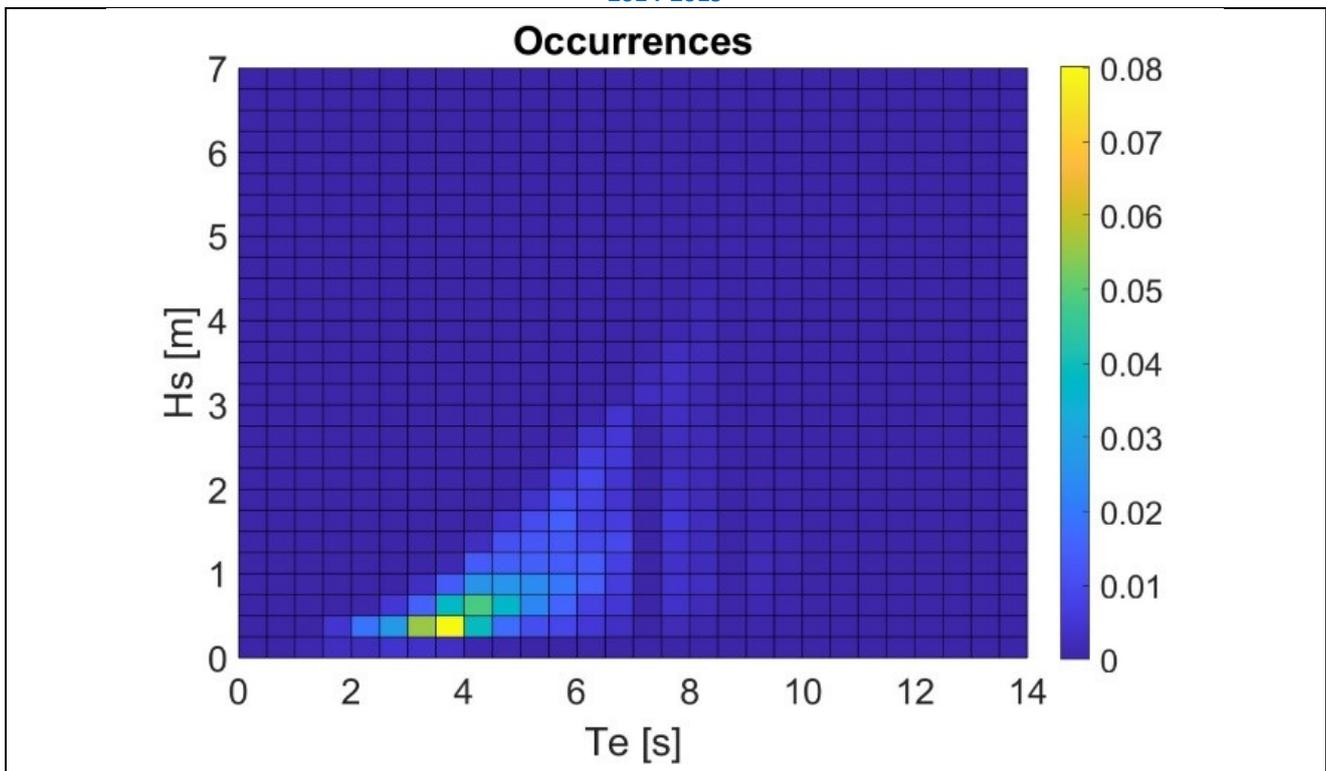
Figure 17: S Sicilia - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



2.1.9 Caratteristiche della risorsa ondosa – Malta

Questo nodo di calcolo localizzato presso l'isola di Malta mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 6\text{m}$ e $T_e = 11\text{s}$ con direzione principale di provenienza del moto ondoso da NW. Le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie di circa 2 kW/m da maggio a settembre e sotto i 10 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 5 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 1 m e a periodi $T_e = 5\text{ s}$. I grafici delle occorrenze e densità di potenza mostrano bande di azzeramento di dati dovuto alle frequenze del modello che risultano essere in progressione logaritmica e non sempre rientrano in una discretizzazione regolare.

Figure 18: Malta Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



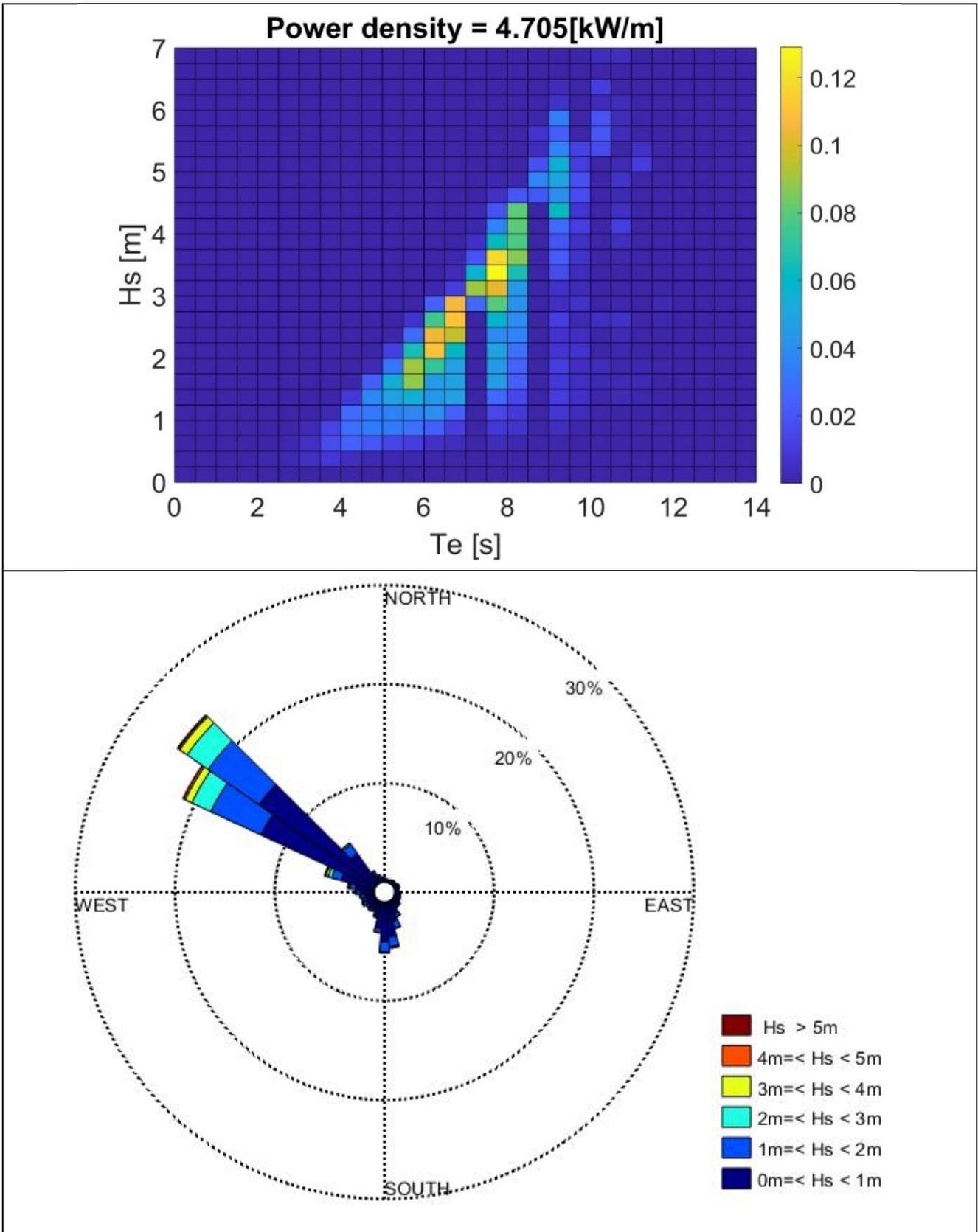
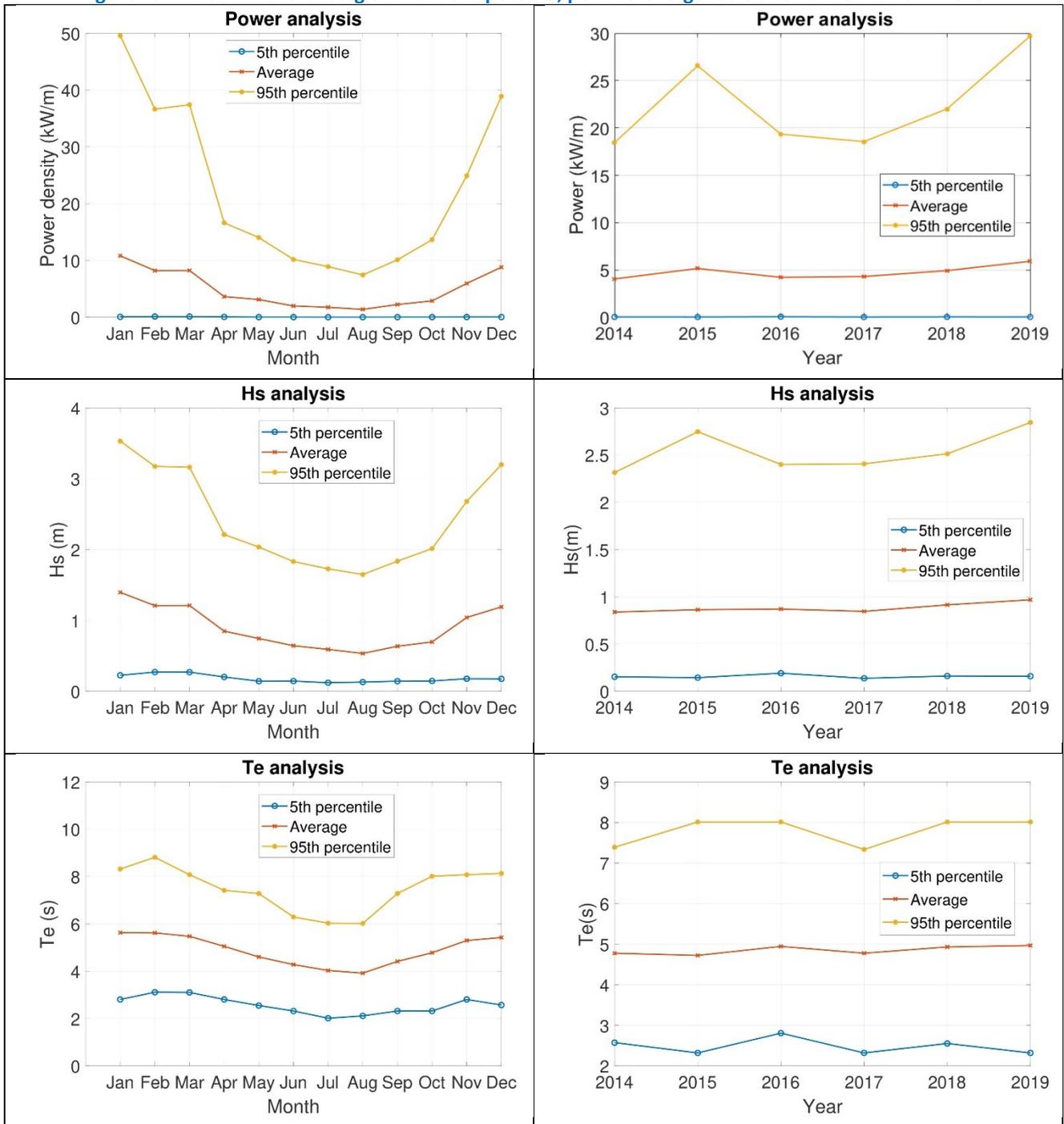


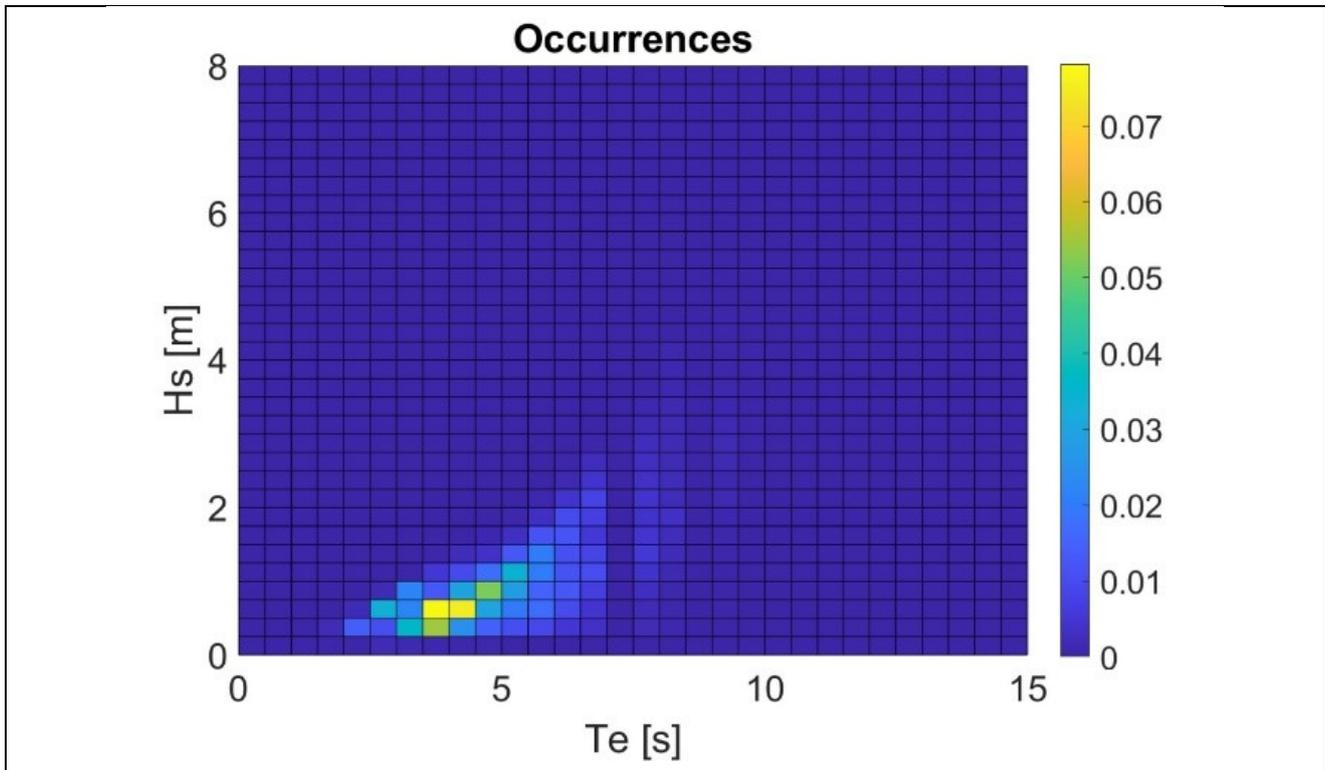
Figure 19: Malta - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



2.1.10 Caratteristiche della risorsa ondosa – Creta

Questo nodo di calcolo localizzato presso l’isola di Creta mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 7\text{m}$ e $T_e = 10\text{s}$ con due direzioni principali di provenienza del moto ondoso, da NW per i fenomeni più intensi e N per quelli più lievi. Le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie di circa 2 kW/m da maggio a settembre e sotto i 10 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 4 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 1 m e a periodi $T_e = 5\text{ s}$. I grafici delle occorrenze e densità di potenza mostrano bande di azzeramento di dati dovuto alle frequenze del modello che risultano essere in progressione logaritmica e non sempre rientrano in una discretizzazione regolare.

Figure 20: O Creta Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



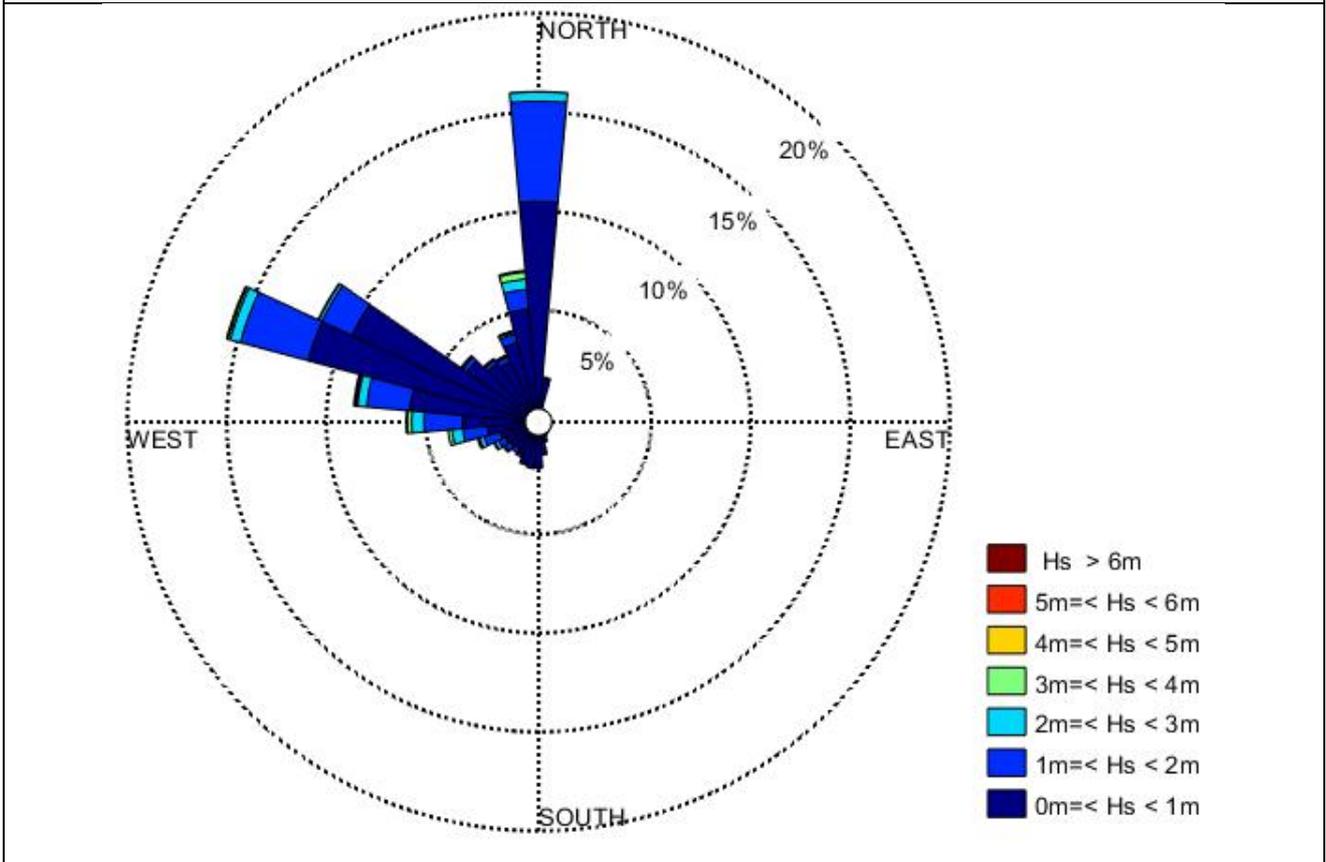
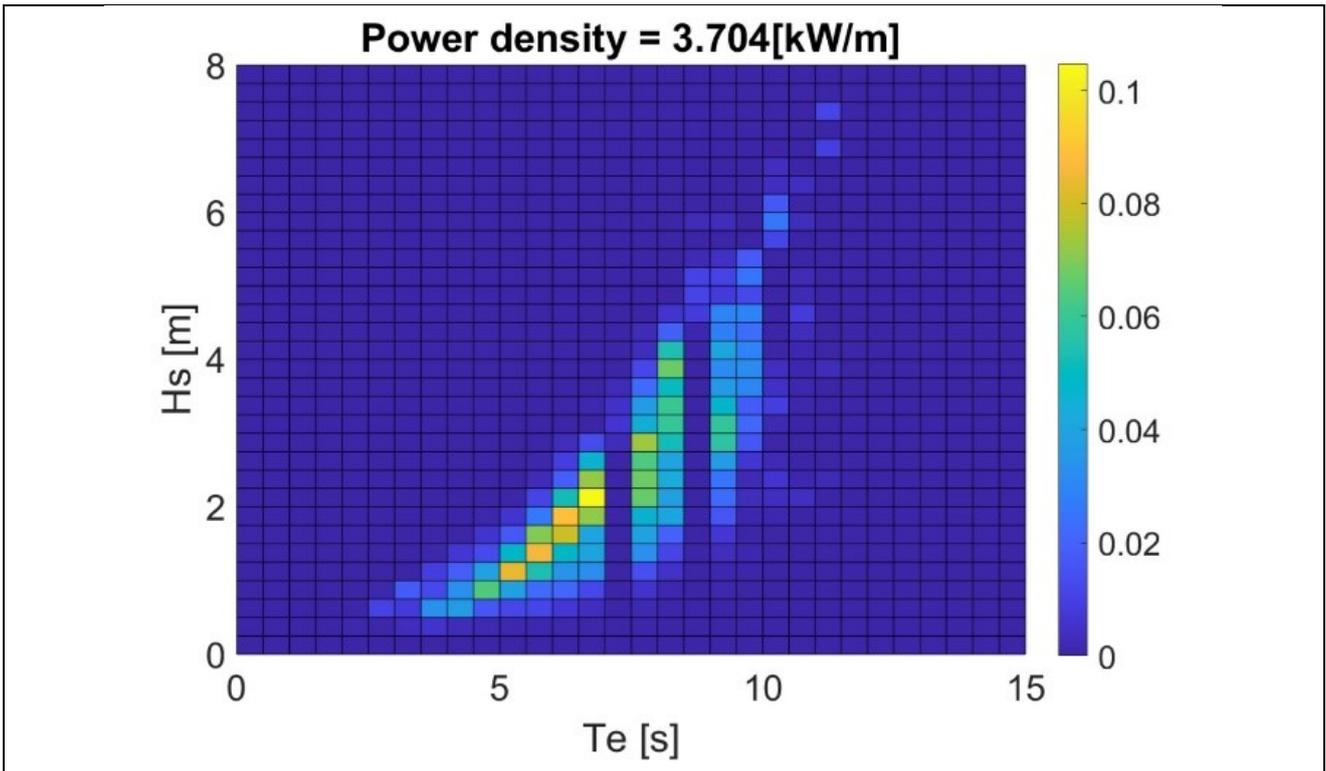
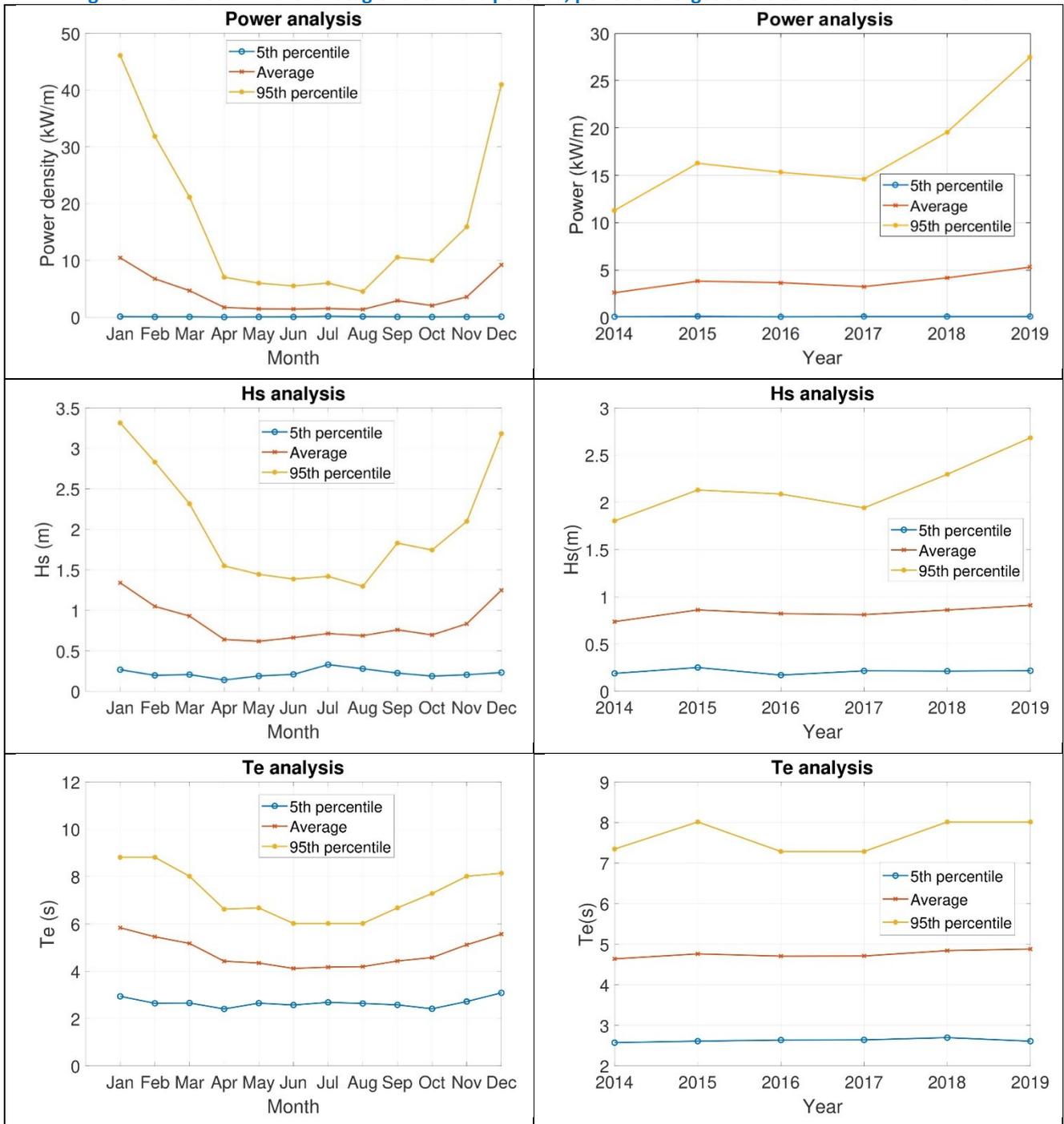


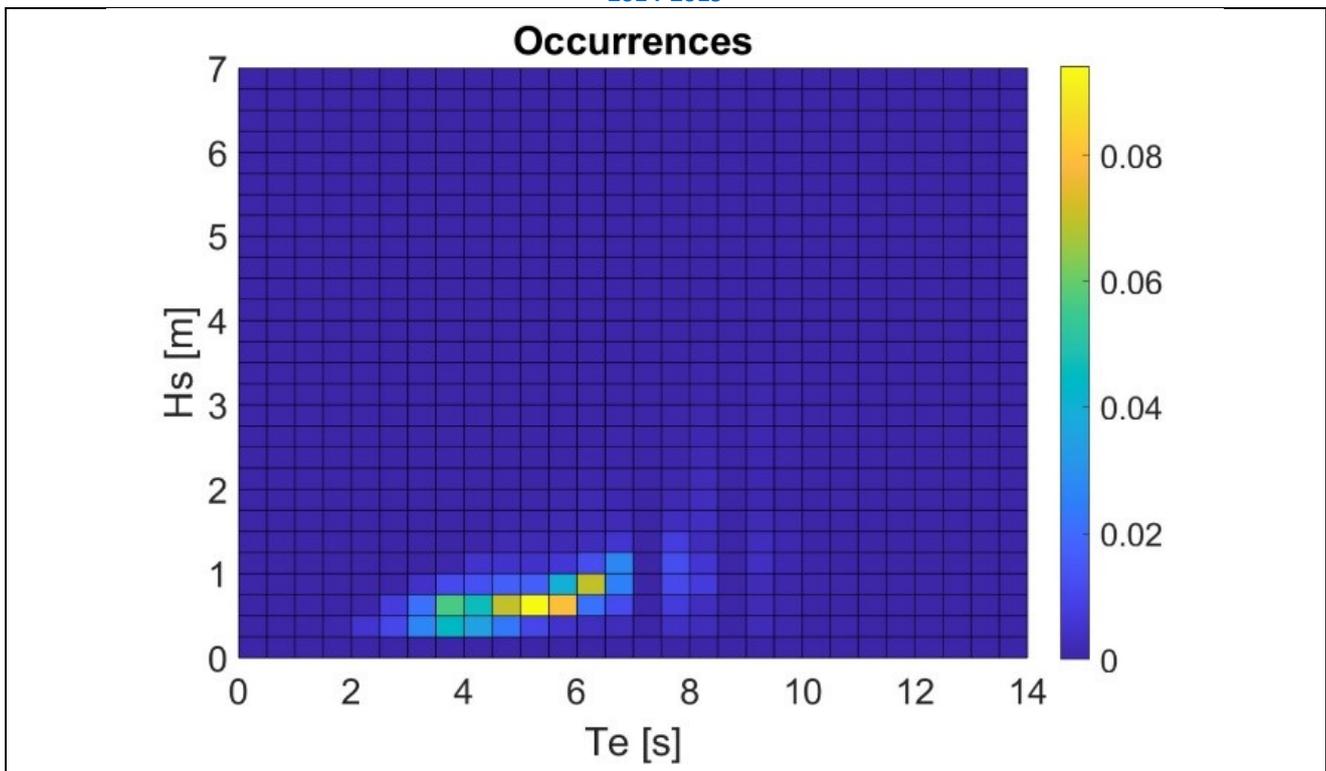
Figure 21: O Creta - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



2.1.11 Caratteristiche della risorsa ondosa – Israele

Questo nodo di calcolo localizzato presso Israele mostra una forte stagionalità del moto ondoso, con fenomeni di maggiore intensità localizzati da settembre a maggio in cui possono anche osservarsi eventi poco frequenti con $H_s = 6\text{m}$ e $T_e = 11\text{s}$ con direzione principale di provenienza del moto ondoso da NW. Le medie stagionali indicano una significativa variabilità estiva-invernale, con potenze medie di circa 1 kW/m da maggio a settembre e sotto i 6 kW/m nei mesi restanti. Questi valori risultano stabili negli anni, con una media di circa 2 kW/m , principalmente dovuto a valori medi di H_s vicini a 0.5 m e a periodi $T_e = 5\text{ s}$. I grafici delle occorrenze e densità di potenza mostrano bande di azzeramento di dati dovuto alle frequenze del modello che risultano essere in progressione logaritmica e non sempre rientrano in una discretizzazione regolare.

Figure 22: Israele Scatter diagram delle occorrenze, della densità di potenza e direzionalità per il periodo 2014-2019



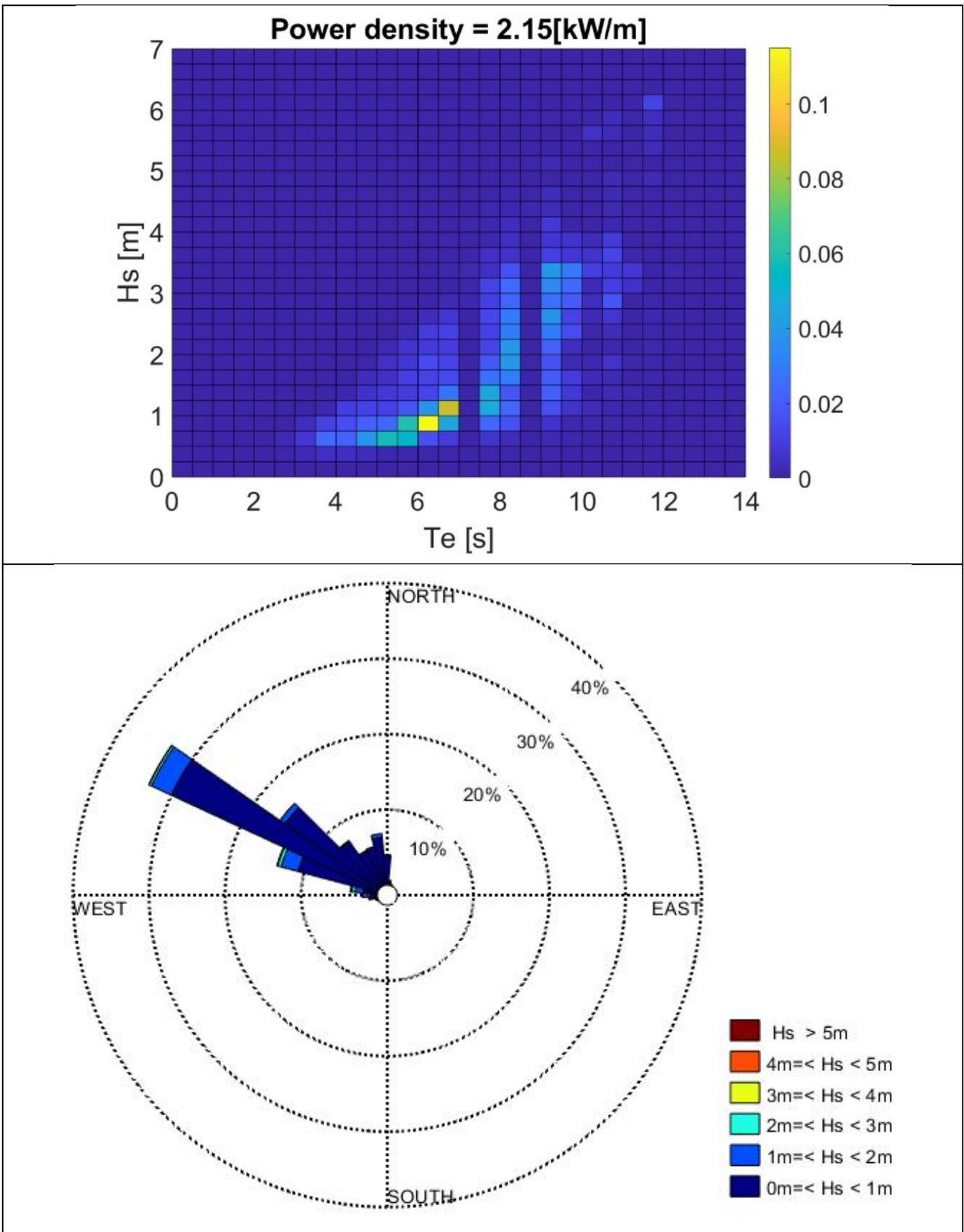
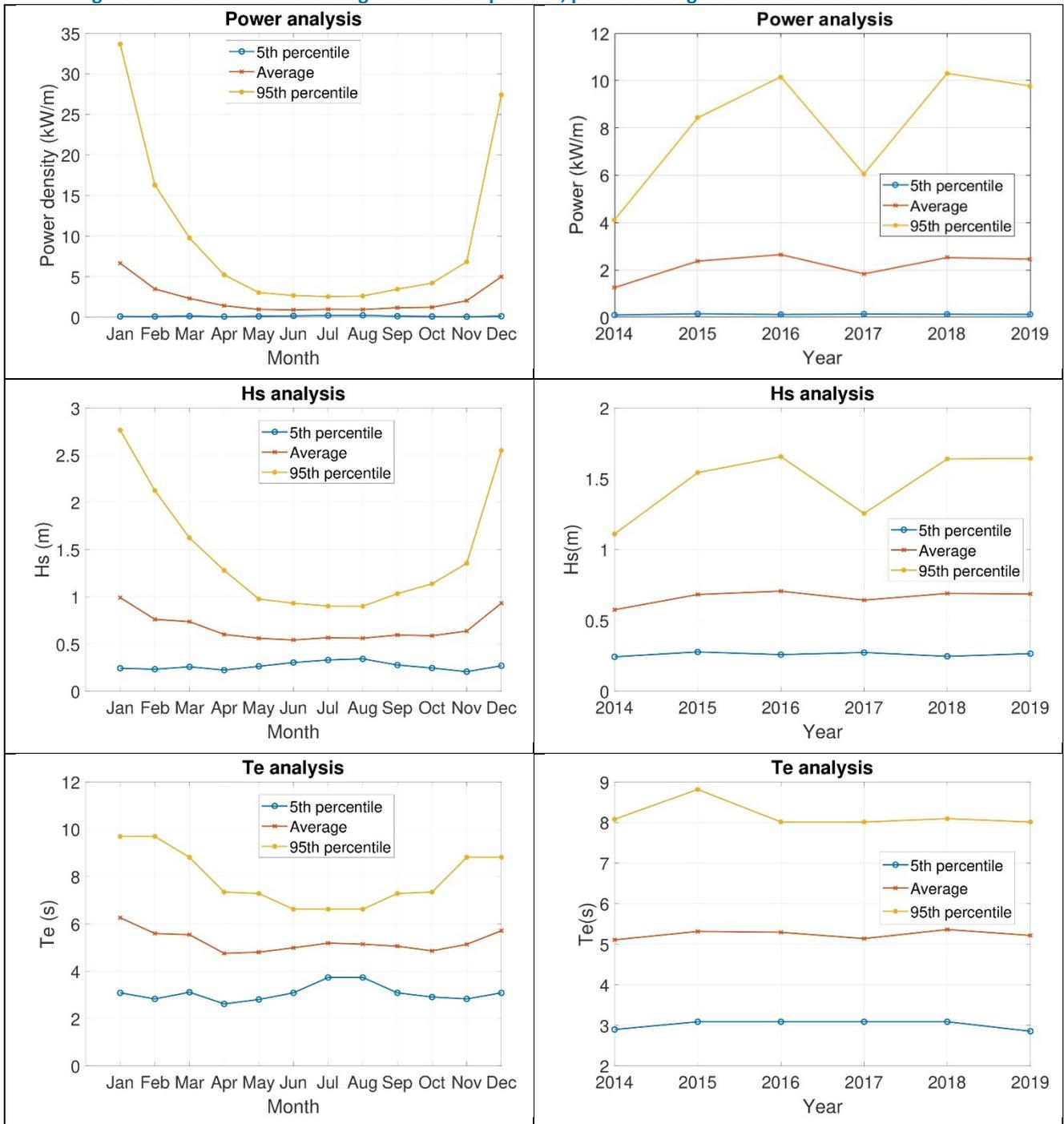


Figure 23: Israele - Analisi di stagionalità della potenza, periodo energetico e altezza d'onda 2014-2019



3 Conclusioni

La Linea di attività 1.4 ha permesso di definire con dettaglio le caratteristiche energetiche della risorsa ondosa in determinati siti di interesse nel Mediterraneo, identificando la Sardegna N-O e Pantelleria come punti preferenziali, sia per la disponibilità della risorsa, sia per le caratteristiche sociali, infrastrutturali e logistiche.

Grazie alla base di dati a disposizione e proveniente dal modello ad alta risoluzione spaziale e temporale WAVES sviluppato da ENEA nell'ambito del PAR-2013 [1], si è potuto osservare un forte fenomeno di stagionalità del moto ondoso in entrambi i siti, con fenomeni di forte intensità durante i mesi invernali, con episodi di mareggiate intense con $H_s > 7\text{m}$ e $T_e > 10\text{s}$.

Le direzioni predominanti sono il NW sia per la Sardegna N-O che Pantelleria, e coincidono anche con i fenomeni a maggiore intensità invernale. Pantelleria osserva anche la presenza di fenomeni da SSW che con una frequenza $> 10\%$ ma con H_s principalmente inferiori al metro.

Le potenze medie annuali nei due siti sono di circa 7 kW/m e 5 kW/m rispettivamente, con valori medi di H_s di circa 1m e $T_e = 5\text{s}$.

La caratteristica principale di stagionalità osservata anche nelle simulazioni a lungo termine in [7] ha evidenziato anche la necessità di progettare dispositivi strutturalmente robusti, in modo da garantire l'affidabilità durante gli eventi estremi con altezze $H_s > 6\text{m}$. Questa alternanza del potenziale energetico stagionale del moto ondoso può offrire un ulteriore beneficio per le regioni mediterranee, e in particolare le isole, in quanto dimostra una perfetta complementarità con altri fonti rinnovabili quali il fotovoltaico e l'eolico, dove, al contrario, si osservano valori maggiori proprio durante le stagioni estive e primaverili.

4 Bibliografia

- [1] E. L. G. S. A. Carillo, *Report di sintesi sulla realizzazione di un sistema operativo per la previsione dell'energia da moto ondoso*, Roma: RdS/2013/085 , 2013.
- [2] E. L. G. S. A. Carrillo, *Validazione del sistema operativo per la previsione del moto ondoso nel Mediterraneo*, Roma: RdS/PAR2014/238, 2014.
- [3] A. C. E. G. L. L. G. M. E. P. G. S. G. V. G. Bracco, *Use of wave forecast for the regulation of ISWEC*, Nantes: EWTEC , 2015.
- [4] E. L. G. S. A. Carrillo, «LA1.2: Previsioni operative dello stato del mare per il Mediterraneo e per 10 sotto-bacini italiani,» RdS, Roma, 2019.
- [5] G. S. E. L. A Carillo, «Wave energy potential: A forecasting system for the Mediterranean basin,» in *Energia Ambiente e Innovazione 61 (special n. 2)*, (2015), pp. 16-21.
- [6] World Meteorological Organization, «Guide to Wave Analysis and Forecasting, WMO-No. 702,» World Meteorological Organization, Geneve, 2018.
- [7] G. & M. L. & M. A. Besio, «Wave energy resource assessment in the Mediterranean Sea on the basis of a 35-year hindcast.,» *Energy*, vol. 94, n. 10.1016/j.energy.2015.10.044., pp. 50-63, 2016.
- [8] E. L. G. L. P. M. P. E. C. G. S. F. A. A. V. A. R. A. Carillo, *Sviluppo di modelli meteo-marini per la previsione del moto ondoso in aree portuali italiane: produzione di mappe energetiche e visualizzazione web-gis*, Roma: RdS/2013/229, 2013.

5 Appendice

Il centro ricerche Marine Offshore Renewable Energy (MORELab) nasce presso il Politecnico di Torino e rappresenta il frutto dell'esperienza maturata da parte del Politecnico nel campo dell'energia marina.

Il gruppo, altamente interdisciplinare, conta ad oggi più di 50 persone tra ricercatori a tempo indeterminato e determinato, dottorandi, e assegnisti che costituiscono il motore propulsivo del Centro.

Le principali attività del Centro riguardano lo sviluppo di metodologie per l'analisi, lo sviluppo e il test di tecnologie per la produzione di energia dal mare con attività relative a Progettazione, Modellazione Numerica, Sviluppo di Sistemi di Controllo, Test in Vasca Prova e in Mare Aperto.

A oggi, i focus particolari riguardano:

- Wave Energy
- Off-shore Wind Energy
- Piattaforme energetiche multifunzionali
- Energy Storage

Le competenze del MORE riguardano:

- analisi della risorsa marina/eolica
- applicazione di competenze relative allo studio di idrodinamica di corpi galleggianti soggetti a moto ondoso e correnti (con tecniche di modellazione lineare e non, integrate ad analisi CFD)
- sviluppo e progettazione dei sistemi elettromeccanici di conversione
- applicazione di metodologie per il controllo dei sistemi (PID, Controllo Ottimo, LQR, Fuzzy, MPPT, MPC, Data driven etc.)
- progettazione e ottimizzazione di sistemi di ormeggi
- interfacciamento del dispositivo ai sistemi di distribuzione di energia elettrica
- valutazione di accumuli per la gestione delle smart grid
- analisi di array di sistemi
- integrazione di RES tradizionali
- sviluppo di scenari energetici rivolto ad isole minori
- business model di comunità energetiche

La complessità endemica di queste tematiche necessita il coinvolgimento di numerose figure professionali fortemente interconnesse e supportate dalle tecnologie più performanti. A questo proposito, il Centro porta al suo interno competenze di modellazione numerica avanzata di sistemi energetici marini, la cui capacità predittiva e affidabilità viene moltiplicata dall'utilizzo delle tecnologie di HPC.

All'attività di modellazione numerica, il Centro affianca anche un'intensa attività sperimentale, frutto di un'esperienza quindicennale ad ampio spettro, che spazia dalle attività di testing su banchi prova basati sulla tecnologia Hardware in the Loop alle attività sperimentali in vasche prova nazionali e internazionali.

L'ecosistema del Centro, già collaudato nell'ambito dei Gruppi di Ricerca che lo animano, si caratterizza per una spiccata propensione alla collaborazione a più livelli, in particolar modo con gli stakeholders industriali del panorama energetico e con numerosi partners nazionali e internazionali, coinvolti anche nelle facilities a disposizione del Centro.

Selezione di Pubblicazioni:

- ✓ Di Muro, A., Sirigu, S.A., Giorgi, G., Gerboni, R., Bracco, G., Carpignano, A., Mattiazzo, G., Life Cycle Assessment for the ISWEC Wave Energy Device, (2021) Mechanisms and Machine Science, 91, pp. 515-523.

- ✓ Giorgi, G., Gomes, R.P.F., Henriques, J.C.C., Gato, L.M.C., Bracco, G., Mattiazzo, G., Detecting parametric resonance in a floating oscillating water column device for wave energy conversion: Numerical simulations and validation with physical model tests, (2020) *Applied Energy*, 276.
- ✓ Dafnakis, P., Bhalla, A.P.S., Sirigu, S.A., Bonfanti, M., Bracco, G., Mattiazzo, G., Comparison of wave-structure interaction dynamics of a submerged cylindrical point absorber with three degrees of freedom using potential flow and computational fluid dynamics models, (2020) *Physics of Fluids*, 32 (9).
- ✓ Mattiazzo, G., State of the Art and Perspectives of Wave Energy in the Mediterranean Sea: Backstage of ISWEC, (2019) *Frontiers in Energy Research*.
- ✓ Buscaino, G., Mattiazzo, G., Sannino, G., Papale, E., Bracco, G., Grammauta, R., Carillo, A., Kenny, J.M., De Cristofaro, N., Ceraulo, M., Mazzola, Acoustic impact of a wave energy converter in Mediterranean shallow waters, (2019) *Scientific Reports*, 9 (1).
- ✓ Bracco, G., Giorcelli, E., Mattiazzo, G., ISWEC: A gyroscopic mechanism for wave power exploitation (2011) *Mechanism and Machine Theory*, 46 (10), pp. 1411-1424.