

Cliente Soc. Agr. Civita Ittica srl

Oggetto Studio delle principali forzanti meteomarine e stima degli impatti in merito al progetto di un impianto di maricoltura *offshore* a Nord di Civitavecchia (Roma)

Ordine Benestare Soc. Agr. Civita Ittica srl offerta CESI B6007437

Note Rev. 0. AN16EMS009 – Lettera B6024423

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

PAD B6008197 (2302183) - USO RISERVATO

N. pagine 112 **N. pagine fuori testo** 0

Data 24/11/2016

Elaborato EMS - Dassie Giuseppe Augusto, EMS - Moruzzi Letizia, EMS - Colombo Daniela
B6008197-3800 AUT B6008197-1719260 AUT B6008197-3821 AUT

Verificato EMS - Sala Maurizio
B6008197-3741 VER

Approvato EMS - Granata Tommaso (Project Manager)
B6008197-3744 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2016 by CESI. All rights reserved

Indice

SOMMARIO	3
1 IL PROGETTO DELL'IMPIANTO DI ACQUACOLTURA OFFSHORE	7
1.1 Premessa.....	7
1.2 Il progetto <i>offshore</i> di Civitavecchia (Rif. 5).....	7
1.3 Il sistema di ancoraggio e di galleggiamento delle gabbie (Rif. 5).....	9
2 ANALISI DELLE PRINCIPALI FORZANTI METEOMARINE	10
2.1 Introduzione.....	10
2.2 Caratteristiche del sistema di misura (ADCP).....	10
2.3 Il moto ondoso.....	12
2.4 Le correnti.....	28
2.4.1 Circolazione generale.....	28
2.4.2 Circolazione al sito.....	28
2.5 Le variazioni del livello marino.....	40
2.6 Il vento.....	41
3 STIMA DEGLI IMPATTI	47
3.1 Introduzione.....	47
3.2 Il modello numerico di simulazione.....	47
3.3 Dati e forzanti ambientali.....	49
3.3.1 Premessa.....	49
3.3.2 Batimetria dell'area.....	49
3.3.3 Dati inerenti il corpo idrico ricevente.....	51
3.3.4 Dati meteorologici.....	58
3.3.5 Dati geometrici e di esercizio degli impianti.....	58
3.4 Schematizzazione numerica.....	66
3.4.1 Premessa.....	66
3.4.2 Predisposizione del reticolo di calcolo.....	66
3.4.3 Scenari e ipotesi di calcolo.....	71
3.4.4 Verifica del campo termico sull'arco a 1000 m.....	73
4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	74
4.1 Considerazioni generali.....	74
4.2 SCENARIO n. 1: <i>inshore</i>	74
4.3 SCENARIO n. 2: <i>offshore</i>	79
4.4 SCENARIO n. 3: <i>misto</i>	85
4.5 Interferenze con le aree SIC.....	95
4.5.1 Premessa.....	95
4.5.2 Effetti delle sostanze disciolte.....	96
4.5.1 Effetti del particolato.....	102
5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	105
5.1 Introduzione.....	105
5.2 Analisi delle forzanti meteomarine.....	105
5.3 Stima degli impatti degli impianti nelle diverse configurazioni.....	106
5.4 Confronto tra le configurazioni d'impianto: interferenze con le aree SIC.....	109
5.5 Considerazioni in merito al particolato organico dell'impianto <i>offshore</i>	111
6 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	112

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	24/11/2016	B6008197	Prima emissione

SOMMARIO

L'impianto di itticoltura gestito dalla società Agr. Civita Ittica srl, situato a Nord di Civitavecchia e affacciato sul Mare Tirreno, si colloca in adiacenza alla centrale termoelettrica a carbone di Torrevaldaliga Nord di cui sfrutta una parte del calore residuo del ciclo termico al fine di ottimizzare la produzione ittica. La Figura 1 fornisce l'inquadramento generale dell'area, mentre la Figura 2 mostra la localizzazione dell'impianto rispetto alle opere di presa e di scarico sia della suddetta centrale di Enel Produzione, sia della centrale termoelettrica della società Tirreno Power.

La società Civita Ittica intende procedere alla modifica dell'assetto dell'impianto di itticoltura che passerebbe dalla configurazione attuale, mostrata in Figura 3, a quella schematicamente illustrata in Figura 4 (da Rif. 5).

Accanto alla creazione di un nuovo impianto al largo di quello esistente è inoltre prevista la riduzione di circa il 50% della produzione a terra.

Nell'ambito delle ipotesi progettuali descritte, la società Civita Ittica ha chiesto a CESI di predisporre il presente studio in merito ai seguenti aspetti:

1. analisi delle principali forzanti marine (onda, corrente, oscillazioni di marea e vento) che agirebbero in corrispondenza dell'area di posizionamento del nuovo impianto di maricoltura allo scopo di disporre di elementi utili sia al corretto dimensionamento delle linee di ancoraggio, sia alla più probabile quantificazione delle *giornate utili di lavoro in impianto*;
2. valutazione dell'impatto ambientale indotto dal nuovo impianto d'itticoltura rapportato a quello indotto dall'impianto attuale,
3. valutazione dell'impatto ambientale complessivamente generato dalla coesistenza del nuovo impianto *offshore* e di quello esistente a riva depotenziato di circa il 50%.

Il presente rapporto descrive ciascuna delle tre fasi dello studio precisando per ciascuna di esse i dati, le metodologie e le procedure utilizzate per l'indagine, ed i risultati ottenuti.

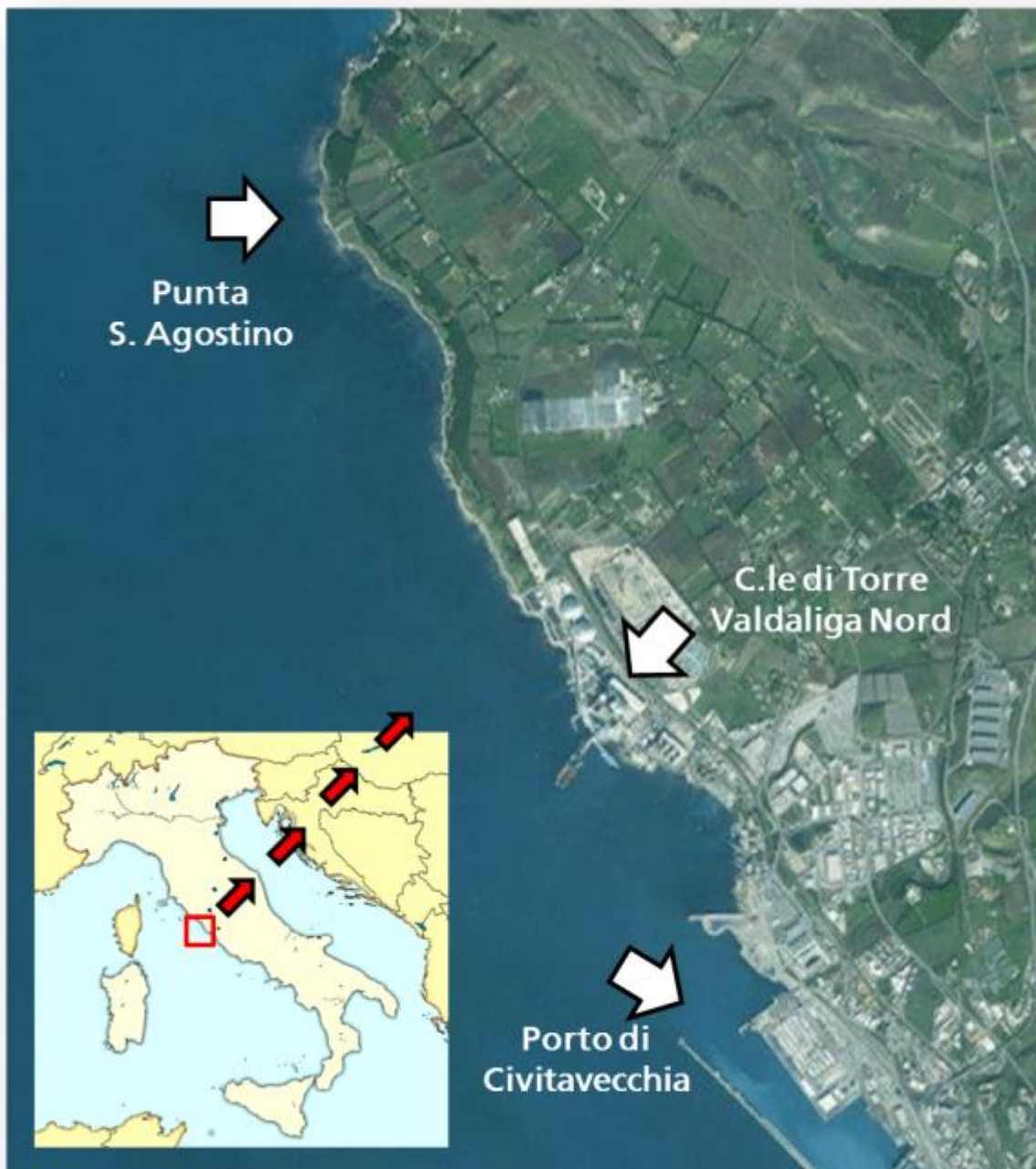


Figura 1 Inquadramento generale dell'area in esame (foto satellitare da Rif. 1)



Figura 2 Localizzazione dell'impianto di maricoltura in gestione alla Soc. Agr. Civita Ittica nella sua attuale configurazione (foto satellitare da Rif. 2 e stralcio planimetria da Rif. 3)

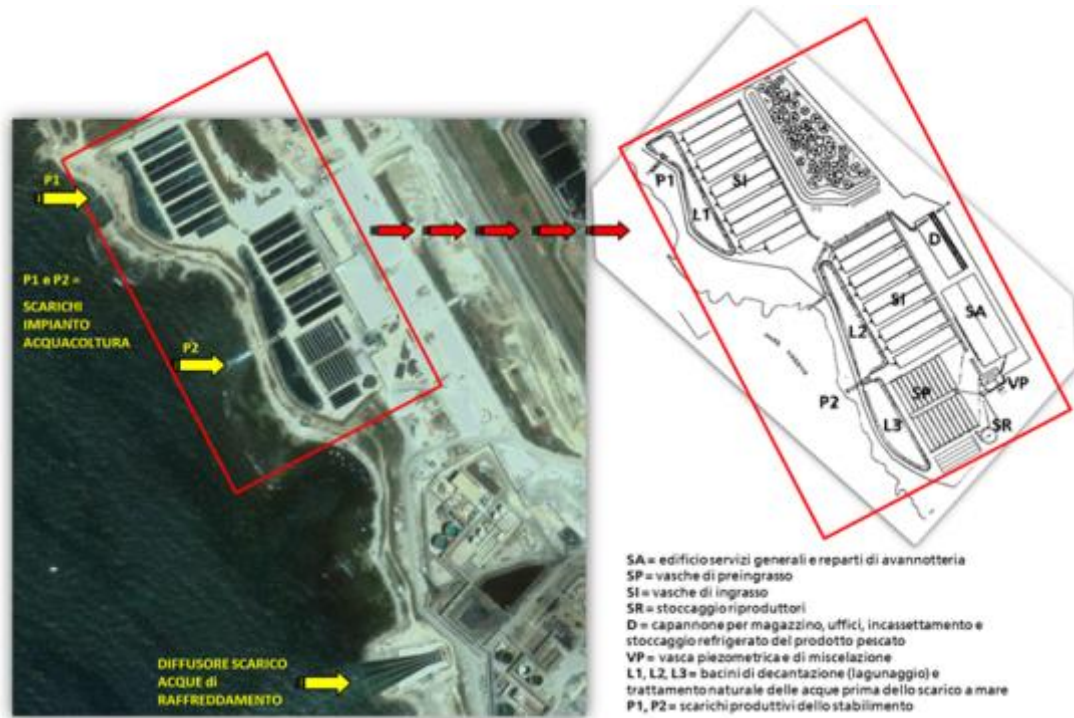


Figura 3 Assetto attuale dell'impianto di maricoltura (foto satellitare da Rif. 2 e stralcio planimetria da Rif. 4)

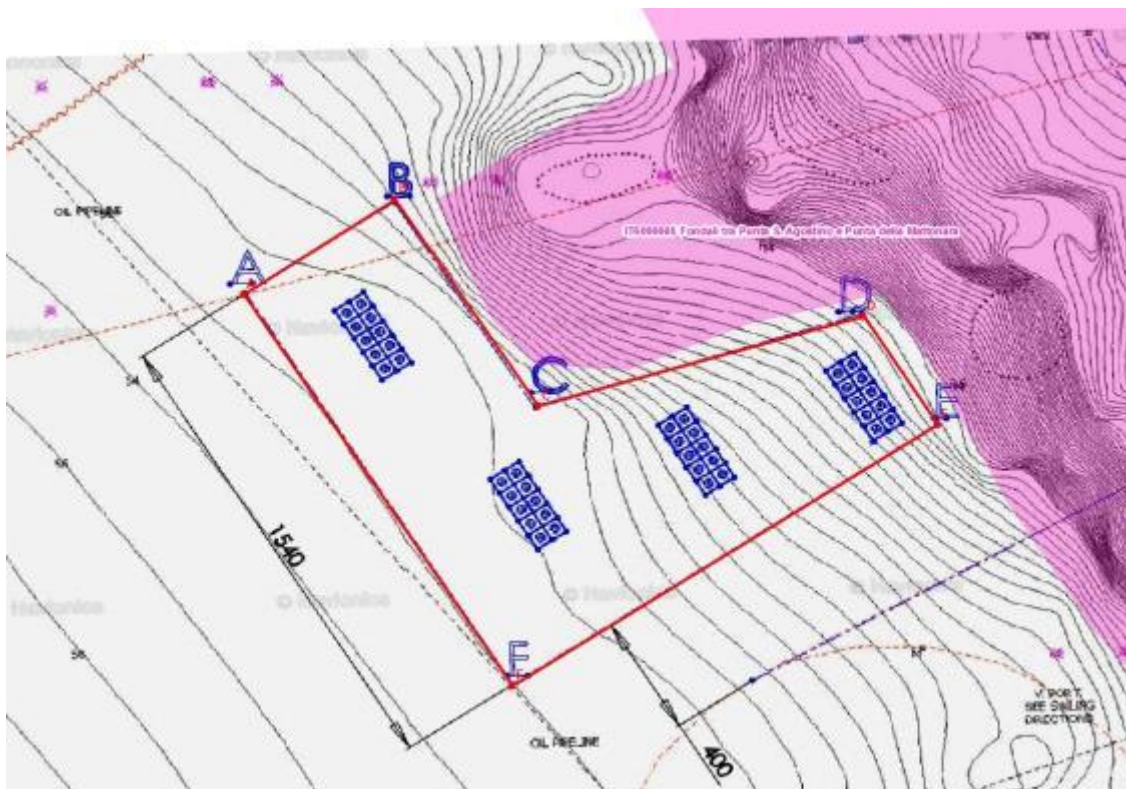


Figura 4 Ipotesi progettuale di posizionamento del nuovo impianto di maricoltura offshore a Nord di Civitavecchia (da Rif. 5) con indicazione dell'area SIC N. IT600005 Fondali tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara.

1 IL PROGETTO DELL'IMPIANTO DI ACQUACOLTURA *OFFSHORE*

1.1 Premessa

La Soc. Agr. Civita Ittica srl opera con esperienza ventennale nel settore dell'allevamento di spigole e orate e fa parte di un Gruppo impegnato nell'intero settore ittico: dalla produzione di mangimi, all'allevamento di spigole e orate con differenti tecniche produttive ed in diverse aree geografiche, fino alla commercializzazione su scala nazionale di prodotti ittici freschi, controllando l'intera filiera, dall'approvvigionamento delle materie prime fino alla vendita sui banchi delle principali catene della Grande Distribuzione Organizzata.

La Società alleva spigole e orate tramite un impianto a Civitavecchia ed uno a Piombino. Il primo rappresenta il principale allevamento con vasche a terra in Italia e si sviluppa su un'area adiacente alla riva, utilizzando acqua salata prelevata a circa 500 metri dalla costa. Il secondo è un impianto di maricoltura *offshore* che impiega attualmente 16 gabbie galleggianti e che prevede a compimento un totale di 24 gabbie dislocate su 3 moduli di ancoraggio.

Attualmente la società Civita Ittica rappresenta uno dei primi produttori nazionali.

1.2 Il progetto *offshore* di Civitavecchia (Rif. 5)

Visti gli sviluppi attuali del mercato e della tecnica, e l'esperienza acquisita nel settore, la società Civita Ittica ha deciso di continuare ad investire in questo settore ampliando la propria capacità produttiva sia nel sito di Piombino (nel 2015 è stata depositata la richiesta di rilascio di una nuova concessione in un'area adiacente a quella attuale) che in quello di Civitavecchia.

In particolare, per il sito di Civitavecchia la volontà è quella di realizzare un nuovo impianto produttivo in mare per l'allevamento di spigole ed orate in gabbie galleggianti in un'area prossima all'attuale stabilimento di Torrevaldaliga Nord.

Insieme con la realizzazione del nuovo impianto *offshore* è prevista anche la diminuzione del 50% della produzione realizzata nell'attuale sito di Torrevaldaliga Nord.

Il previsto nuovo impianto di acquacoltura di tipo *offshore* è costituito da 4 moduli di ancoraggio progettato per ospitare 10 gabbie galleggianti ciascuno, per un totale di 40 gabbie aventi diametro pari a 30 m. Le gabbie si troveranno a distanza maggiore di 1.5 km dalla costa, nella porzione di mare al largo del segmento costiero compreso tra Torrevaldaliga (a Sud) e Punta S. Agostino (a Nord), con una batimetrica variabile da 35 a 50 metri

La Figura 4 (Rif. 5) illustra la posizione dei 4 moduli e l'andamento batimetrico in loro prossimità che li colloca tra le batimetriche dei -35 e dei -50 m circa. Il poligono ABCDE evidenzia l'area richiesta in concessione per l'impianto delle reti di allevamento, necessariamente più ampia degli ingombri dei singoli moduli al fine di garantire la sicurezza delle attività in mare.

Le distanze da riva delle gabbie, che costituiscono i soli elementi visibili e superficiali del sistema (come illustrato in Figura 5, da Rif. 5), sono maggiori di 1.5 km, mentre la gabbia più a Sud dista circa 600 m dalla più vicina area di divieto di ormeggio stabilita per la presenza di una piattaforma petroli.

L'area prescelta presenta caratteristiche favorevoli in merito:

- al mantenimento di opportune distanze di sicurezza da cavi elettrici sottomarini e torri petrolifere presenti nell'area,
- all'esposizione, aperta e su fondali elevati, e dunque potenzialmente adeguata alla minimizzazione dell'impatto sull'ambiente circostante,
- alla logistica di terra e di mare per la sua prossimità all'impianto di terra e ad infrastrutture portuali,
- all'operatività in mare, grazie alla relativa vicinanza alla costa,
- alle garanzie di qualità del prodotto finale, in particolare alla freschezza del pescato assicurata dalla vicinanza dello stabilimento di selezione e lavorazione di Torrevaldaliga.



Figura 5 Visibilità delle gabbie, unici elementi emergenti dal livello di medio mare per una minima parte della loro altezza (Rif. 5).

1.3 Il sistema di ancoraggio e di galleggiamento delle gabbie (Rif. 5)

Il sistema di ancoraggio di ogni singolo modulo è costituito da linee di ormeggio collegate ad un reticolo di cime collocato ad una profondità di circa 5 metri dal pelo libero. Il reticolo costituisce l'alloggio per le gabbie galleggianti, collegate ad esso attraverso apposite cime, in modo da garantire al sistema stabilità e flessibilità al contempo.

L'immagine di Figura 6 mostra la geometria di un reticolo semplificato, con le gabbie galleggianti poste al suo interno e le linee di ormeggio che si dipartono dalle placche di connessione poste al di sotto delle boe rosse, arrivando fino al fondale. La successiva Figura 7 fornisce il dettaglio della composizione della singola linea di ormeggio dall'ancora al fondo, alla placca di connessione al reticolo a 5 m di profondità dalla boa di galleggiamento (rossa in figura); dalla placca partono le cime di collegamento alle altre placche e alla parte emersa della rete inserita nel modulo.

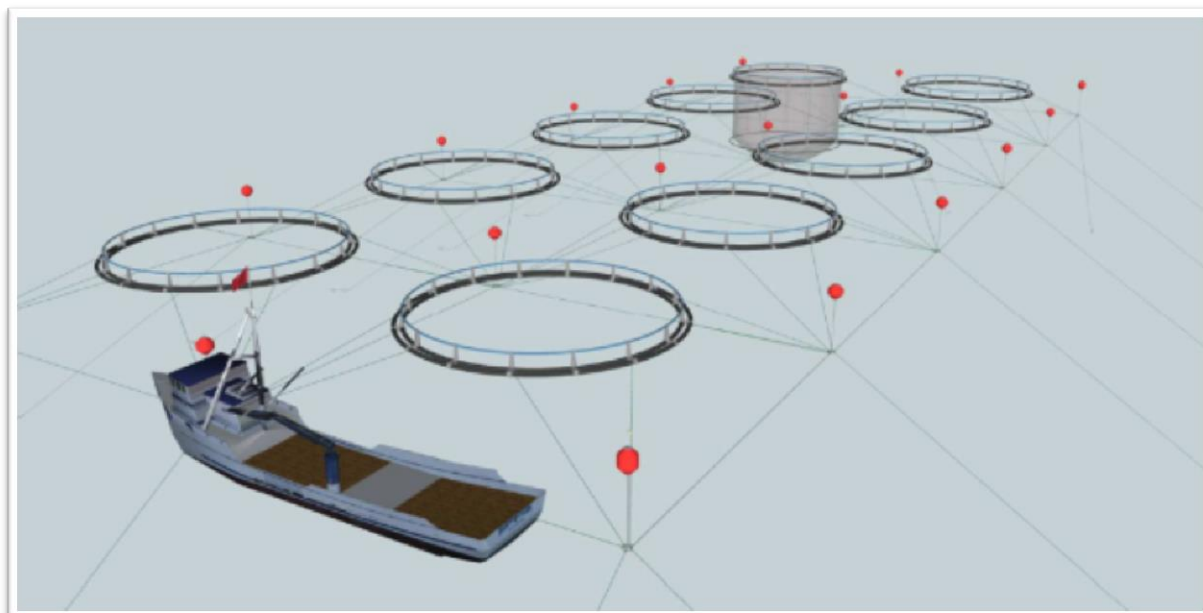


Figura 6 Schematizzazione del reticolo di ormeggio di un modulo da 10 gabbie; in rosso le boe che mantengono il reticolo a circa 5 m di profondità dal livello di medio mare (da Rif. 5).

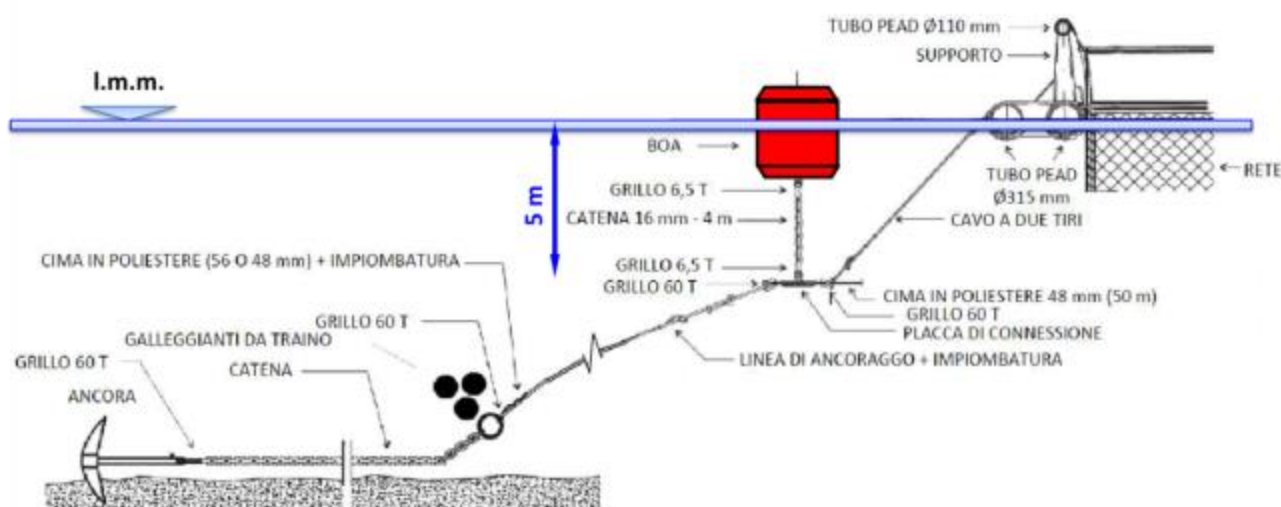


Figura 7 Composizione della linea di ormeggio dall'ancora (al fondo), alla placca di connessione (a circa 5 m dal pelo libero) fino alla parte emersa della struttura (Rif. 5).

2 ANALISI DELLE PRINCIPALI FORZANTI METEOMARINE

2.1 Introduzione

Il sistema di ancoraggio di ciascuno dei quattro moduli descritto al capitolo precedente dovrà essere in grado di sopportare le sollecitazioni indotte dalle principali forzanti meteomarine.

La conoscenza delle caratteristiche di tali forzanti e delle rispettive frequenze di accadimento consentirà, inoltre, di avere indicazioni utili in merito alle "finestre" di operatività per le varie operazioni a mare, dal traino alla posa delle strutture durante la fase realizzativa, fino alle operazioni di gestione e di manutenzione dell'impianto.

2.2 Caratteristiche del sistema di misura (ADCP)

L'analisi in questione è stata condotta con riferimento alle misure raccolte dalla strumentazione ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) collocata in prossimità del pontile carboni della centrale di Torrevaldaliga Nord al fine di garantire il rispetto delle prescrizioni dettate dalla locale Autorità Portuale in merito alle operazioni di ormeggio-scarico-disormeggio delle navi carboniere a servizio dell'impianto termoelettrico.

Il sistema di monitoraggio meteomarino (progettato, fornito e installato da CESI) per il rilievo in continuo delle caratteristiche del moto ondoso e della corrente nel sito, si avvale di due strumenti ADCP (la ridondanza è stata richiesta dalle Autorità marittime locali) adagiati sul fondo del mare ad una profondità di poco meno di 20 m. L'area di posa degli strumenti è illustrata in Figura 8, e si colloca tra i torrioni di presa della centrale e la testata del pontile carboni. Ciascuno strumento è collegato a terra con un cavo ombelicale di alimentazione e trasmissione dati e consente il rilievo del profilo correntometrico tridimensionale lungo la verticale nel punto di posa dello strumento e la misura dell'altezza d'onda significativa¹, del periodo e della direzione del moto ondoso nel punto monitorato.

Il campionamento ha durata di circa 17 minuti (2048 punti ogni 2 Hz, cioè ogni 0.5 s) con calcolo dello spettro di energia associato. Il dato in uscita è calcolato ogni 5 minuti usando una finestra mobile dei 17 minuti precedenti. L'elevata frequenza di trasmissione dati (5 minuti) deriva dalla specifica richiesta della Capitaneria a cui il dato (sintetico) è trasmesso in tempo reale per la gestione a brevissimo termine delle operazioni di ormeggio-scarico-disormeggio delle carboniere in banchina.

Nel caso specifico la serie di misure interessa il periodo compreso tra gennaio 2009 e marzo 2016 durante il quale la frequenza di campionamento è stata generalmente compresa tra 5 e 10 minuti.

¹ Si definisce *altezza d'onda significativa* di un campione di N altezze d'onda misurate la media del terzo superiore del campione (cioè delle prime N/3 altezze del campione ordinato per valori decrescenti). Tale definizione è relativa ad un'analisi di tipo statistico della sequenza degli spostamenti superficiali del pelo libero registrati dallo strumento. Se la medesima registrazione è analizzata in modo da calcolarne la densità spettrale in funzione della frequenza, è possibile definire l'altezza significativa come $4*(m_0)^{0.5}$ dove m_0 è l'area sottesa dallo spettro. A questa metodica si riferisce l'altezza d'onda significativa ricavata dagli ADCP in esame ed utilizzata per il presente studio.

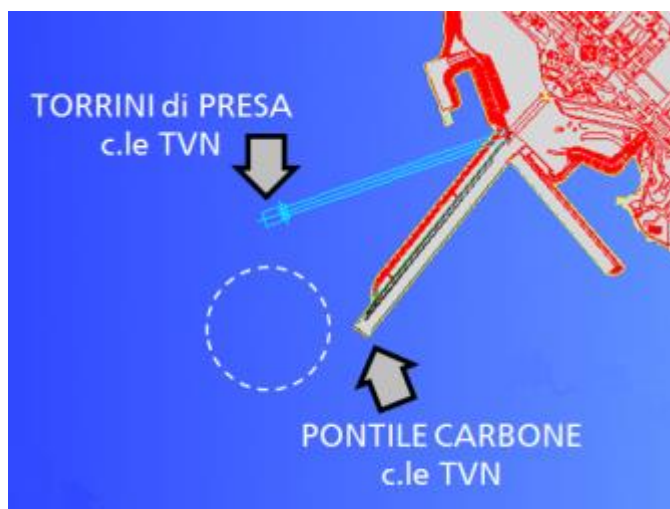


Figura 8 Area di localizzazioni degli strumenti di rilievo ondametrico e correntometrico posati dal 2009 ad oggi al largo dell'impianto di Torrevaldaliga Nord. La profondità di posa è di circa 20 m.

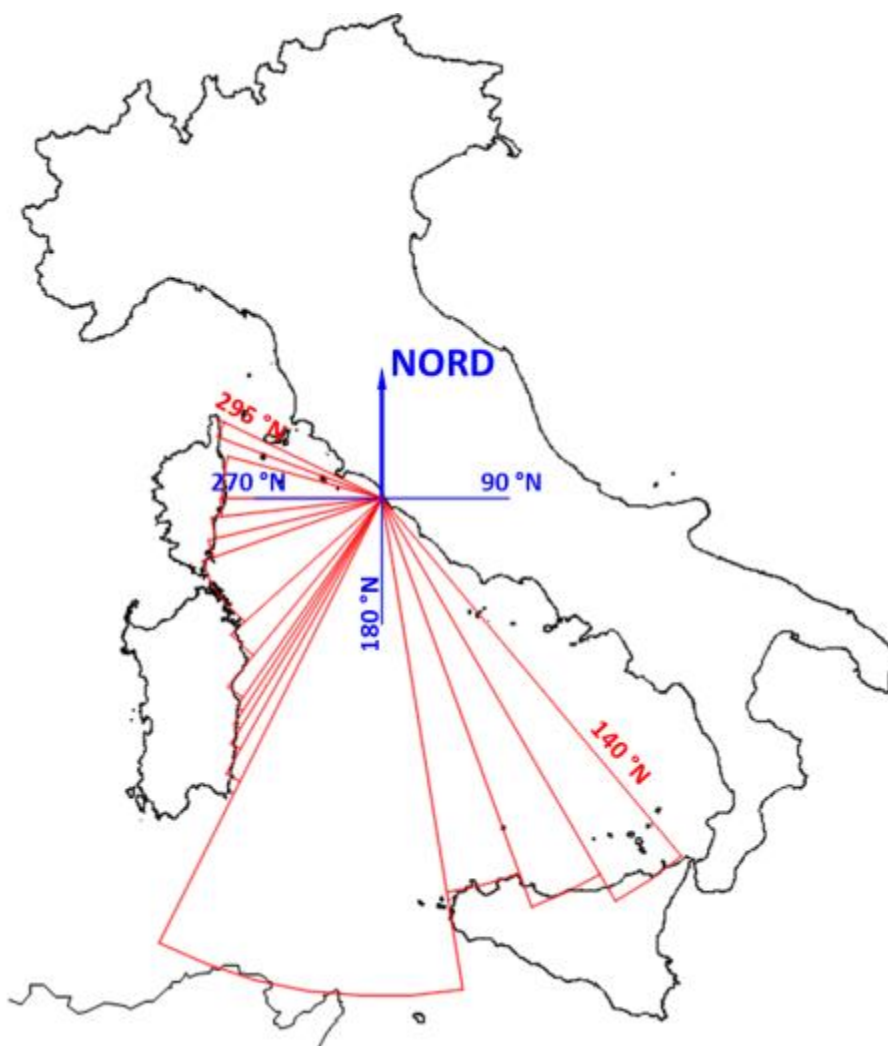


Figura 9 Esposizione del paraggio al moto ondoso: *fetch* geografici

2.3 Il moto ondoso

Il paraggio in esame è esposto alle onde provenienti dal settore di traversia compreso tra 140 e 300 °N (Figura 9) che interessa prevalentemente il II e il III quadrante. Le lunghezze dei *fetch* relativi al IV quadrante, per il settore angolare compreso tra 270 e 300 °N, sono limitate dall'Argentario e dall'isola del Giglio. La Corsica fornisce inoltre un efficace schermo alle ondate provenienti da Ponente.

La determinazione del cosiddetto 'clima d'onda' del paraggio, cioè la distribuzione di frequenza di tutte le componenti di agitazione nell'ambito del settore di traversia, è utile per la valutazione delle 'finestre' di operatività per la posa dei moduli, oltre alla gestione dell'impianto una volta a regime. L'altezza dell'onda è, infatti, determinante per le fasi di alimentazione e di pesca, oltre che per i periodici controlli ed interventi manutentivi delle reti.

Il regime ondoso medio del paraggio è stato calcolato con riferimento all'anno e alle stagioni² considerando sia la giornata intera di 24 ore sia quella cosiddetta "lavorativa" corrispondente alla sola fascia oraria compresa tra le ore 07:00 e le ore 13:00. I risultati delle analisi sono riportati nelle tabelle e figure che seguono i cui contenuti sono qui sotto elencati:

- Tabella 1: clima d'onda annuale medio (considerando i dati del giorno intero);
- Tabella 2: giorni (di 24 ore) di superamento (non consecutivo) di alcune soglie di altezza d'onda significativa ricavati per ognuno degli anni di misura; per ciascun anno è indicata anche la percentuale di funzionamento dello strumento;
- Tabella 3: clima d'onda annuale medio (considerando i dati della giornata "lavorativa" ossia della fascia oraria 07:00 – 13:00);
- Figura 10: rosa dei mari ricavata dai dati di Tabella 1 riferita all'anno medio (con giorno di 24 ore);
- Figura 11: rosa dei mari ricavata dai dati di Tabella 3 riferita all'anno medio (con giorno "lavorativo" di 6 ore);
- Figura 12: rosa dei mari per ciascuno degli anni di monitoraggio; ogni anno è considerato con giorni interi (di 24 ore);
- Tabella 4: clima d'onda stagionale riferito all'inverno medio degli 8 monitorati (con giorno di 24 ore);
- Tabella 5: clima d'onda stagionale riferito all'inverno medio degli 8 monitorati (con giorno "lavorativo" di 6 ore);
- Tabella 6: clima d'onda stagionale riferito alla primavera media delle 7 monitorate (con giorno di 24 ore);
- Tabella 7: clima d'onda stagionale riferito alla primavera media delle 7 monitorate (con giorno "lavorativo" di 6 ore);
- Tabella 8: clima d'onda stagionale riferito all'estate media delle 7 monitorate (con giorno di 24 ore);
- Tabella 9: clima d'onda stagionale riferito all'estate media delle 7 monitorate (con giorno "lavorativo" di 6 ore);
- Tabella 10: clima d'onda stagionale riferito all'autunno medio dei 7 monitorati (con giorno di 24 ore);

² Per comodità di elaborazione le stagioni sono state così individuate: inverno = dal 1° gennaio al 31 marzo; primavera = dal 1° aprile al 30 giugno; estate = dal 1° luglio al 30 settembre; autunno = dal 1° ottobre al 31 dicembre

- Tabella 11: clima d'onda stagionale riferito all'autunno medio dei 7 monitorati (con giorno "lavorativo" di 6 ore);
- Figura 13: rose dei mari stagionali: inverno, in alto (dai dati di Tabella 4, per la rosa di sinistra riferita a giorni invernali di 24 ore; dai dati di Tabella 5, per la rosa di destra riferita ai giorni invernali di 6 ore "lavorative" ciascuno); primavera, in basso (dai dati di Tabella 6, per la rosa di sinistra riferita a giorni primaverili di 24 ore; dai dati di Tabella 7, per la rosa di destra riferita ai giorni primaverili di 6 ore "lavorative" ciascuno);
- Figura 14: rose dei mari stagionali: estate, in alto (dai dati di Tabella 8, per la rosa di sinistra riferita a giorni estivi di 24 ore; dai dati di Tabella 9, per la rosa di destra riferita ai giorni estivi di 6 ore "lavorative" ciascuno); autunno, in basso (dai dati di Tabella 10, per la rosa di sinistra riferita a giorni autunnali di 24 ore; dai dati di Tabella 11, per la rosa di destra riferita ai giorni autunnali di 6 ore "lavorative" ciascuno);
- Tabella 12: giorni, interi e "lavorativi", di superamento di alcune soglie di altezza d'onda significativa ricavati per ciascuna stagione media tra quelle misurate nel periodo gennaio 2009 – marzo 2016;
- Figura 15 abaco per la definizione dei giorni "lavorativi", suddivisi per stagioni, in cui è stato registrato il superamento di alcune soglie di altezza d'onda, "significative" per le attività in campo.

Dall'analisi delle tabelle e dei diagrammi si evince:

- la prevalenza dei mari da SO (libeccio) e dal III quadrante in generale: a tali direzioni sono infatti associate sia le maggiori frequenze di accadimento sia gli eventi più intensi; in particolare, considerando l'anno medio del periodo 2009-2015 con giorni di 24 ore, il 20.82% degli eventi con altezza d'onda maggiore od uguale a 0.5 m, corrispondente a una durata complessiva di oltre 2.5 mesi all'anno, proviene dal settore 215° - 255° (Tabella 1); la percentuale aumenta leggermente (20.88%, Tabella 3) se ci si riferisce all'anno medio considerato composto da giornate "lavorative" di sole 6 ore ciascuna (dalle 07:00 alle 13:00);
- gli eventi con maggiore intensità ($H_s \geq 2$ m) provengono prevalentemente da libeccio sia considerando l'anno medio di giorni interi sia riferendosi alla sola fascia lavorativa di 6 ore mattutine: 1.92% (Tabella 1) dal settore 195 – 255°N corrispondente a circa 7 giorni/anno medio, nell'anno "intero" (dalle altre direzioni la soglia dei 2 m è superata solo per una giornata) e 1.54% (Tabella 3) pari a poco meno di 6 giorni dal medesimo settore, nell'anno "lavorativo" (anche in questo caso i giorni lavorativi di superamento della stessa soglia aumentano di un giorno se si considerano anche le rimanenti direzioni di provenienza);
- la mareggiata più violenta nel periodo 2009-2015 è stata registrata a cavallo tra fine gennaio e inizio febbraio 2015; il picco della mareggiata fu raggiunto alle ore 7:23 del mattino del 30 gennaio quando lo strumento misurò un'altezza d'onda significativa pari a 5.41 m (quindi è possibile che durante lo sviluppo della mareggiata si siano presentate onde con altezza massima prossima a 10 m), con direzione di provenienza al picco pari a circa 237°N. Considerando l'istante di superamento della soglia di $H_s = 2$ m come istante di inizio della mareggiata è possibile segnalare che l'evento ebbe inizio il 29 gennaio 2015 alle ore 16:30 circa, raggiunte il picco l'indomani mattina e si mantenne al di sopra della soglia dei 2 m fino ad oltre le ore 2 del 31 gennaio, quando il sistema di misura smise di funzionare a causa dalla particolare intensità della burrasca;

- considerando l'analisi separata dei singoli anni di misura (composti da giornate di 24 ore) in termini di giorni di superamento di alcune soglie di altezza d'onda (Hs), la Tabella 2 e la Figura 12 evidenziano che, tra quelli monitorati, l'anno 2010 è stato caratterizzato da una maggiore frequenza di eventi particolarmente intensi; ciò si riflette, per esempio, in un maggior numero di giornate con superamento della soglia $H_s = 2$ m (15 giorni pari quasi al doppio di quelli ricavati per l'anno medio) e in un minor numero di giorni di calma (173 giorni con Hs inferiore a 0.5 m contro i 211 giorni dell'anno medio);
- le tabelle relative al clima d'onda stagionale (dalla Tabella 4 alla Tabella 11) e le rose dei mari ad esse corrispondenti (Figura 13 e Figura 14) evidenziano (ragionevolmente) condizioni ondose particolarmente intense in autunno e in inverno, anche se eventi ondososi con superamento della soglia dei 2 m di altezza d'onda si segnalano pure in estate e in primavera; la quantificazione delle giornate medie di superamento di alcuni valori di soglia nelle quattro stagioni è sintetizzata in Tabella 12, dove per ogni stagione le giornate medie di superamento sono indicate sia in termini di giornate intere di 24 ore sia di giornate "lavorative" di 6 ore nella fascia mattutina. Il confronto tra le due mostra che, generalmente, le giornate lavorative sopra soglia sono minori (con percentuali maggiori per le soglie maggiori) delle giornate intere sopra soglia; ciò fa ritenere conservativa la scelta di adottare come giornate di superamento soglia annuale media quelle definite in Tabella 2;
- il contenuto della Tabella 12 è rappresentato graficamente nell'abaco di Figura 15 con riferimento ai soli giorni "lavorativi" sopra soglia, riassunti per comodità di lettura, in testa al grafico; l'abaco consente di ricavare i giorni stimabili di superamento della generica soglia superiore od uguale a 0.5 m di Hs. Se si considera, per esempio, come valore di soglia proprio il mezzo metro (0.5 m cerchiato in rosso sull'asse delle ascisse) intercettando la curva rossa e leggendo sull'asse delle ordinate il numero di giornate corrispondente si ricava facilmente che tale soglia è superata in estate per quasi 30 giorni "lavorativi" (per la precisione 29.5 giorni su un totale di 92 giorni della stagione estiva, così come ipotizzata nei calcoli e descritto in nota 2); la stessa altezza è superata 33.3 giorni in primavera, 42.4 giorni in autunno e 43.8 giorni in inverno (come riassunto anche nella tabellina in testa al grafico). La vicinanza delle rispettive curve mostra comportamenti simili tra inverno (curva blu) e autunno (curva verde), e tra primavera (curva arancio) ed estate (curva rossa). Quest'ultima si conferma la stagione più "calma" con riferimento alle condizioni di moto ondoso qui esaminate.

Tabella 1 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevadali. Distribuzione annuale (ANNO MEDIO, giorno di 24 h) in forma percentuale degli eventi ondososi, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo gennaio 2009-dicembre 2015.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSOSO (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.02%	0.03%	0.04%	0.05%	0.04%	0.05%	0.04%	0.09%	0.93%	4.21%	5.27%	5.48%	5.89%	1.54%	1.96%	0.83%	0.08%	0.03%	26.6%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.003%	0.003%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.15%	1.18%	2.23%	2.44%	3.08%	0.58%	0.20%	0.06%	0.01%	0.01%	10.0%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.002%	0.001%	0.002%	0.01%	0.003%	0.004%	0.004%	0.01%	0.02%	0.17%	0.60%	1.02%	1.16%	0.27%	0.05%	0.02%	0.01%	0.003%	3.4%
2.0 ≤ Hs < 2.5	0.0003%	0.0004%	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.001%	0.004%	0.03%	0.13%	0.42%	0.59%	0.12%	0.02%	0.005%	0.001%	0.001%	1.3%
2.5 ≤ Hs < 3.0			0.001%	0.0004%	0.0003%	0.0004%	0.001%	0.001%	0.003%	0.01%	0.03%	0.17%	0.29%	0.03%	0.004%	0.001%	0.0001%	0.0001%	0.5%
Hs ≥ 3.0						0.0001%	0.0001%		0.001%	0.01%	0.01%	0.09%	0.20%	0.02%	0.001%	0.0001%	0.0003%		0.3%
totale	0.02%	0.03%	0.05%	0.07%	0.06%	0.07%	0.06%	0.12%	1.11%	5.60%	8.28%	9.62%	11.20%	2.56%	2.24%	0.92%	0.10%	0.04%	42.2%
CALMA (Hs < 0.5)	57.8%																		
VAR	0.06%																		

Tabella 2 Giorni (di 24 h) di superamento di alcune soglie di altezza d'onda significativa (Hs) nei singoli anni e nell'anno medio dei rilievi

Hs (m)	giorni (24h) di superamento nell'anno							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	anno medio
≥ 0.5	152.5	190.3	124.6	144.7	152.4	175.9	135.8	153.9
≥ 1.0	59.9	84.4	36.2	56.8	62.1	59.3	39.3	56.9
≥ 1.5	18.6	33.4	12.0	20.6	26.1	18.6	12.5	20.2
≥ 2.0	6.1	15.0	3.7	8.4	11.3	5.4	6.2	8.0
≥ 2.5	1.8	6.7	1.3	2.9	4.2	1.7	3.6	3.2
≥ 3.0	0.2	2.0	0.6	1.3	1.5	0.6	2.0	1.2
calma (H< 0.5)	212.5	173.2	240.4	221.3	212.6	189.1	229.2	211.0
% funz. strum.	91%	94%	93%	91%	86%	95%	92%	92%

Tabella 3 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevadali. Distribuzione annuale (ANNO MEDIO, giorno 'lavorativo' dalle 07:00 alle 13:00) in forma percentuale degli eventi ondososi, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo gennaio 2009-dicembre 2015.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSOSO (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.01%	0.02%	0.03%	0.04%	0.03%	0.03%	0.03%	0.09%	1.03%	4.12%	5.18%	5.82%	6.32%	1.08%	1.02%	0.56%	0.05%	0.02%	25.5%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.002%	0.004%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.18%	1.14%	2.30%	2.49%	2.93%	0.49%	0.14%	0.03%	0.01%	0.01%	9.8%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.003%	0.001%	0.003%	0.01%	0.003%	0.004%	0.004%	0.00%	0.02%	0.17%	0.65%	0.91%	1.01%	0.24%	0.04%	0.01%	0.00%	0.001%	3.1%
2.0 ≤ Hs < 2.5			0.001%		0.001%	0.001%		0.001%	0.002%	0.02%	0.11%	0.35%	0.50%	0.11%	0.01%	0.004%	0.001%	0.001%	1.1%
2.5 ≤ Hs < 3.0			0.001%			0.0012%	0.001%	0.001%	0.005%	0.01%	0.04%	0.13%	0.20%	0.03%	0.003%	0.001%			0.4%
Hs ≥ 3.0						0.0006%	0.0006%		0.002%	0.01%	0.01%	0.08%	0.13%	0.01%	0.001%	0.0006%			0.2%
totale	0.02%	0.02%	0.04%	0.06%	0.04%	0.04%	0.05%	0.12%	1.23%	5.47%	8.29%	9.78%	11.09%	1.97%	1.21%	0.62%	0.06%	0.03%	40.1%
CALMA (Hs < 0.5)	59.8%																		
VAR	0.03%																		

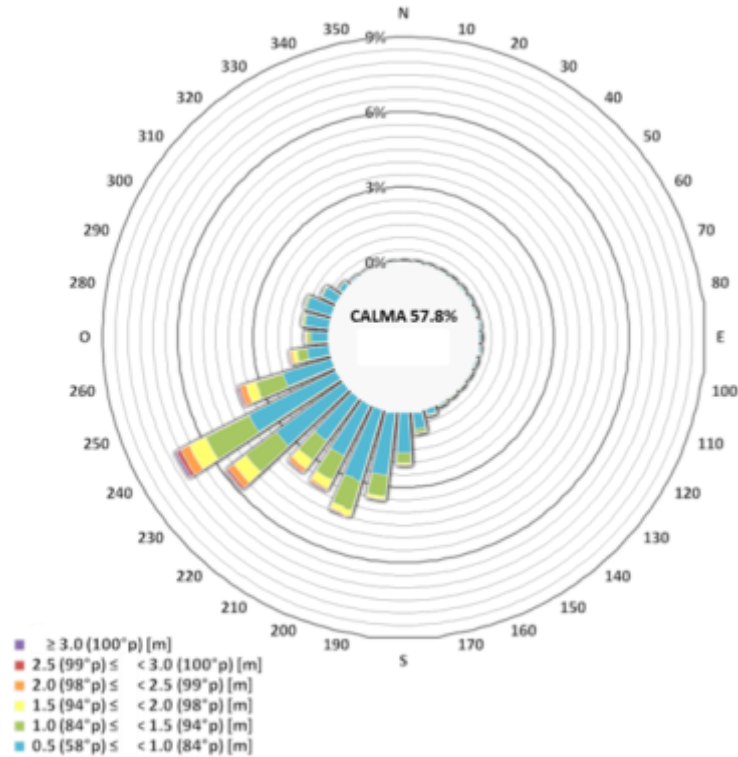


Figura 10 Diagramma polare di frequenza annuale (ANNO MEDIO, giorno di 24 h) del moto ondoso ricavato dai dati di Tabella 1 (dati delle stazioni ondametriche ADCP; fondale di circa 20 m; periodo gen. 2009 – dic. 2015)

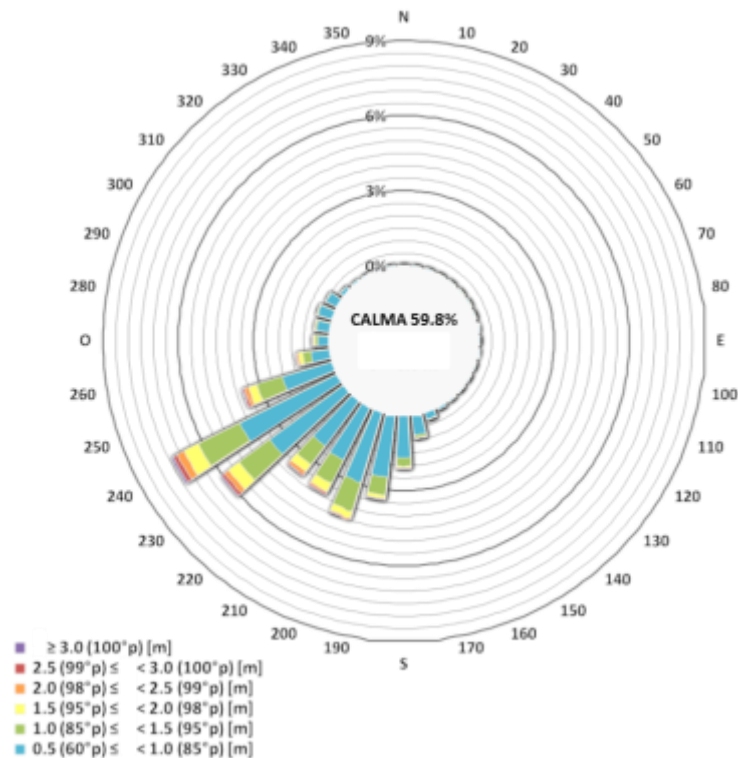


Figura 11 Diagramma polare di frequenza annuale (ANNO MEDIO, giorno 'lavorativo' dalle 07:00 alle 13:00) del moto ondoso ricavato dai dati di Tabella 3 (dati delle stazioni ondametriche ADCP; fondale di circa 20 m; periodo gen. 2009 – dic. 2015).

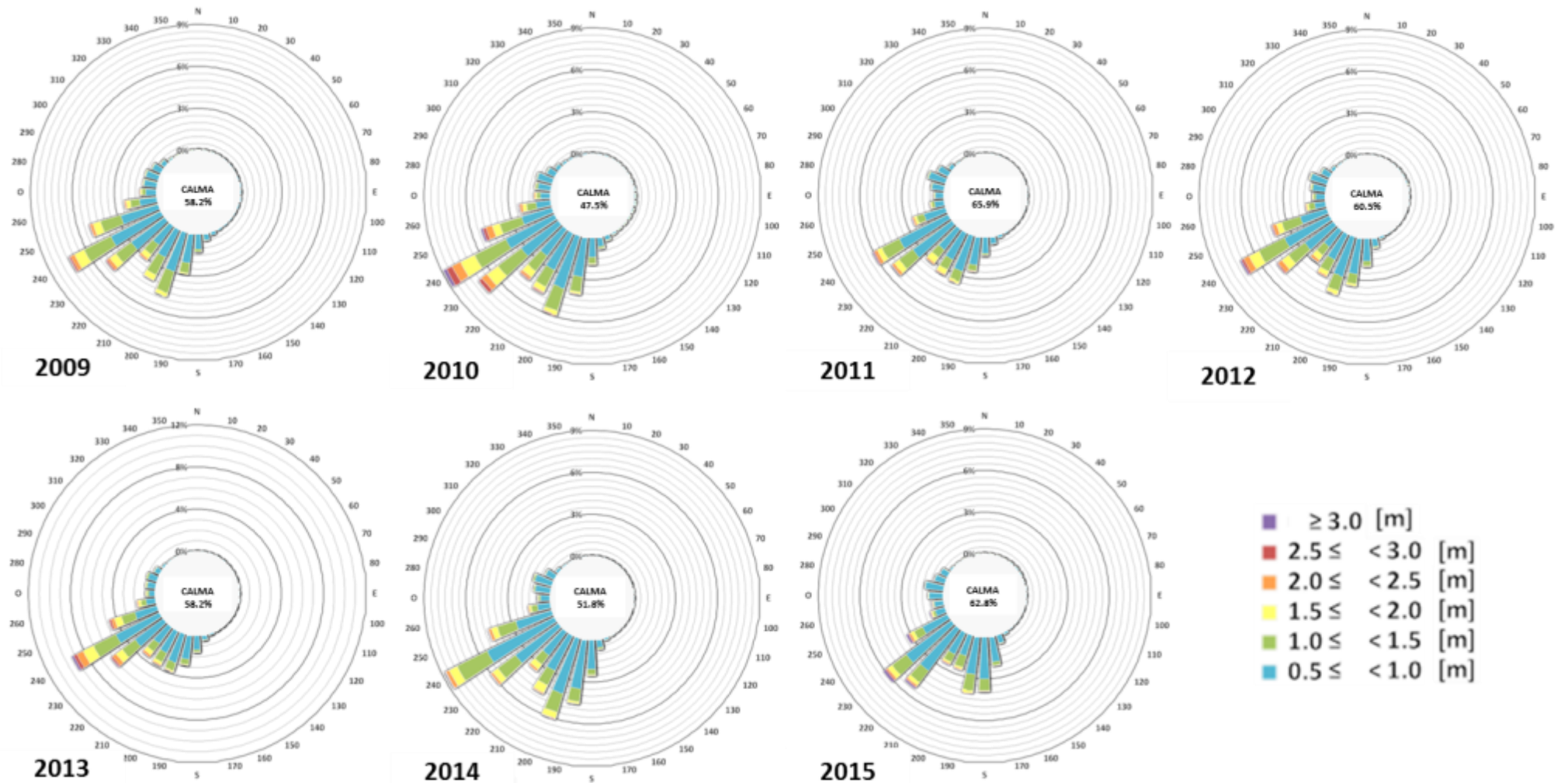


Figura 12 Diagrammi polari di frequenza annuale (giorno di 24 h) del moto ondoso (dati stazioni ondametriche ADCP; fondale circa 20 m; periodo 2009 – 2015)

Tabella 4 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevaldaliga. Distribuzione stagionale (INVERNO MEDIO; giorno di 24 h) in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo: 2009-2016.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSO (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.01%	0.02%	0.05%	0.05%	0.03%	0.03%	0.03%	0.11%	1.61%	5.54%	6.74%	5.61%	4.49%	1.85%	1.93%	1.03%	0.09%	0.02%	29.2%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.002%	0.005%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.02%	0.26%	1.80%	3.20%	3.39%	3.22%	0.81%	0.25%	0.08%	0.02%	0.01%	13.1%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.003%	0.004%	0.010%	0.02%	0.002%	0.001%	0.002%	0.01%	0.06%	0.40%	1.18%	1.64%	1.57%	0.43%	0.09%	0.03%	0.01%	0.004%	5.4%
2.0 ≤ Hs < 2.5	0.001%	0.004%	0.010%	0.002%	0.001%	0.002%	0.003%	0.007%	0.011%	0.07%	0.32%	0.62%	0.70%	0.24%	0.03%	0.007%	0.003%	0.003%	2.0%
2.5 ≤ Hs < 3.0			0.001%	0.001%			0.002%	0.002%	0.004%	0.02%	0.07%	0.25%	0.41%	0.08%	0.012%	0.003%			0.8%
Hs ≥ 3.0								0.003%	0.01%	0.03%	0.10%	0.27%	0.04%	0.003%	0.0005%				0.4%
totale	0.01%	0.03%	0.08%	0.08%	0.04%	0.04%	0.04%	0.15%	1.95%	7.85%	11.52%	11.60%	10.65%	3.44%	2.32%	1.15%	0.12%	0.03%	51.1%
CALMA (Hs < 0.5)	48.9%		VAR	0.00%															

Tabella 5 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevaldaliga. Distribuzione stagionale (INVERNO MEDIO; giorno lavorativo di 6 h, dalle 07:00 alle 13:00) in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo: 2009-2016.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSO (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.01%	0.01%	0.03%	0.03%	0.02%	0.01%	0.02%	0.11%	1.83%	5.36%	6.46%	5.58%	4.65%	1.52%	1.42%	0.84%	0.04%	0.03%	28.0%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.002%	0.004%	0.02%	0.02%	0.01%	0.004%	0.01%	0.03%	0.31%	1.76%	3.32%	3.25%	2.92%	0.68%	0.19%	0.04%	0.01%	0.01%	12.6%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.007%	0.002%	0.013%	0.03%	0.004%		0.004%	0.01%	0.07%	0.41%	1.35%	1.51%	1.55%	0.42%	0.08%	0.03%	0.004%	0.002%	5.5%
2.0 ≤ Hs < 2.5			0.004%	0.002%			0.002%	0.011%	0.007%	0.03%	0.16%	0.48%	0.65%	0.23%	0.04%	0.002%		0.002%	1.6%
2.5 ≤ Hs < 3.0							0.002%		0.004%	0.01%	0.05%	0.15%	0.28%	0.07%	0.004%	0.004%			0.6%
Hs ≥ 3.0									0.007%	0.03%	0.03%	0.10%	0.14%	0.02%	0.002%	0.0022%			0.3%
totale	0.02%	0.02%	0.07%	0.07%	0.03%	0.01%	0.04%	0.16%	2.22%	7.59%	11.37%	11.07%	10.19%	2.94%	1.73%	0.92%	0.05%	0.05%	48.5%
CALMA (Hs < 0.5)	51.5%		VAR	0.00%															

Tabella 6 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevaldaliga. Distribuzione stagionale (PRIMAVERA MEDIA; giorno di 24 h) in forma percentuale degli eventi ondosì, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo: 2009-2015.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSO (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.02%	0.03%	0.05%	0.07%	0.05%	0.06%	0.03%	0.06%	0.67%	3.74%	4.02%	5.59%	7.84%	1.86%	2.54%	0.90%	0.09%	0.02%	27.6%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.001%	0.002%	0.00%	0.01%	0.00%	0.001%	0.003%	0.005%	0.04%	0.52%	1.18%	1.85%	3.74%	0.62%	0.18%	0.03%	0.01%	0.00%	8.2%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.001%	0.001%	0.003%	0.01%	0.001%			0.002%	0.004%	0.06%	0.18%	0.71%	1.01%	0.17%	0.03%	0.01%	0.002%	0.002%	2.2%
2.0 ≤ Hs < 2.5			0.002%	0.001%	0.001%				0.001%	0.01%	0.03%	0.24%	0.41%	0.05%	0.01%	0.002%		0.001%	0.8%
2.5 ≤ Hs < 3.0										0.002%	0.002%	0.03%	0.14%	0.01%	0.001%				0.2%
Hs ≥ 3.0											0.0006%	0.03%	0.08%	0.00%					0.1%
totale	0.02%	0.03%	0.06%	0.09%	0.05%	0.06%	0.04%	0.07%	0.71%	4.32%	5.42%	8.46%	13.22%	2.71%	2.76%	0.95%	0.10%	0.02%	39.1%
CALMA (Hs < 0.5)	60.9%		VAR	0.00%															

Tabella 7 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevaldaliga. Distribuzione stagionale (PRIMAVERA MEDIA; giorno lavorativo di 6 h, dalle 07:00 alle 13:00) in forma percentuale degli eventi ondosì, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo: 2009-2015.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSO (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.02%	0.03%	0.02%	0.05%	0.02%	0.01%	0.02%	0.06%	0.78%	3.98%	3.95%	6.06%	8.62%	1.01%	0.92%	0.42%	0.05%	0.01%	26.0%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.000%	0.005%	0.01%	0.01%	0.01%		0.002%	0.005%	0.04%	0.58%	1.26%	2.01%	3.71%	0.56%	0.07%	0.02%	0.005%	0.002%	8.3%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.002%		0.005%	0.005%	0.002%					0.07%	0.13%	0.47%	0.66%	0.14%	0.01%				1.5%
2.0 ≤ Hs < 2.5										0.002%	0.02%	0.16%	0.28%	0.04%	0.00%				0.5%
2.5 ≤ Hs < 3.0												0.02%	0.08%	0.0023%	0.002%				0.1%
Hs ≥ 3.0												0.04%	0.07%	0.0023%					0.1%
totale	0.02%	0.03%	0.03%	0.07%	0.03%	0.01%	0.02%	0.07%	0.82%	4.64%	5.36%	8.76%	13.43%	1.75%	1.01%	0.44%	0.06%	0.01%	36.6%
CALMA (Hs < 0.5)	63.4%		VAR	0.00%															

Tabella 8 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevaldaliga. Distribuzione stagionale (ESTATE MEDIA; giorno di 24 h) in forma percentuale degli eventi ondososi, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo: 2009-2015.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSOSO (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.02%	0.04%	0.04%	0.03%	0.03%	0.05%	0.04%	0.06%	0.46%	2.59%	3.86%	6.71%	6.85%	1.27%	2.02%	0.64%	0.06%	0.02%	24.8%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.001%	0.002%	0.01%	0.005%	0.003%	0.002%	0.005%	0.020%	0.11%	0.62%	0.98%	2.29%	2.74%	0.27%	0.18%	0.05%	0.01%	0.00%	7.3%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.001%	0.002%	0.001%	0.001%	0.001%	0.002%	0.001%	0.002%	0.013%	0.04%	0.07%	0.61%	0.85%	0.13%	0.03%	0.01%	0.003%	0.002%	1.8%
2.0 ≤ Hs < 2.5		0.001%	0.001%	0.001%				0.001%	0.001%	0.005%	0.02%	0.22%	0.36%	0.04%	0.005%	0.001%			0.7%
2.5 ≤ Hs < 3.0										0.002%	0.06%	0.10%	0.01%	0.001%					0.2%
Hs ≥ 3.0											0.01%	0.03%	0.001%						0.0%
totale	0.02%	0.04%	0.05%	0.04%	0.03%	0.06%	0.05%	0.08%	0.58%	3.26%	4.93%	9.90%	10.92%	1.71%	2.24%	0.71%	0.07%	0.03%	34.7%
CALMA (Hs < 0.5)	65.3%		VAR	0.00%															

Tabella 9 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevaldaliga. Distribuzione stagionale (ESTATE MEDIA; giorno lavorativo di 6 h, dalle 07:00 alle 13:00) in forma percentuale degli eventi ondososi, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo: 2009-2015.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSOSO (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.01%	0.03%	0.03%	0.03%	0.01%	0.02%	0.02%	0.06%	0.52%	2.39%	3.95%	7.58%	7.68%	0.67%	0.54%	0.17%	0.02%	0.01%	23.7%
1.0 ≤ Hs < 1.5		0.002%	0.005%	0.01%	0.002%		0.002%	0.02%	0.17%	0.56%	0.83%	2.16%	2.55%	0.20%	0.05%	0.005%	0.000%		6.6%
1.5 ≤ Hs < 2.0								0.002%	0.01%	0.04%	0.04%	0.44%	0.59%	0.07%	0.01%	0.00%	0.002%		1.2%
2.0 ≤ Hs < 2.5										0.002%	0.01%	0.16%	0.25%	0.02%		0.002%			0.4%
2.5 ≤ Hs < 3.0											0.002%	0.06%	0.09%	0.005%					0.2%
Hs ≥ 3.0												0.002%	0.02%						0.02%
totale	0.01%	0.03%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%	0.09%	0.69%	2.99%	4.83%	10.39%	11.18%	0.96%	0.60%	0.18%	0.02%	0.01%	32.1%
CALMA (Hs < 0.5)	67.9%		VAR	0.00%															

Tabella 10 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevaldaliga. Distribuzione stagionale (AUTUNNO MEDIO; giorno di 24 h) in forma percentuale degli eventi ondosì, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo: 2009-2015.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSI (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.03%	0.02%	0.04%	0.04%	0.06%	0.07%	0.06%	0.15%	1.19%	5.07%	6.41%	4.36%	3.99%	1.13%	1.31%	0.64%	0.08%	0.04%	24.7%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.008%	0.005%	0.01%	0.012%	0.032%	0.040%	0.034%	0.056%	0.24%	1.82%	3.79%	2.79%	2.56%	0.65%	0.19%	0.08%	0.03%	0.01%	12.4%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.001%	0.002%	0.001%	0.003%	0.011%	0.014%	0.013%	0.015%	0.045%	0.30%	1.28%	1.50%	1.35%	0.42%	0.09%	0.04%	0.014%	0.004%	5.1%
2.0 ≤ Hs < 2.5				0.001%	0.002%	0.004%	0.004%	0.002%	0.004%	0.010%	0.06%	0.33%	0.74%	0.93%	0.22%	0.043%	0.011%	0.001%	2.4%
2.5 ≤ Hs < 3.0			0.003%	0.001%	0.001%	0.002%	0.002%	0.002%	0.011%	0.02%	0.090%	0.37%	0.50%	0.06%	0.008%	0.002%	0.001%		1.1%
Hs ≥ 3.0						0.001%	0.001%		0.001%	0.01%	0.026%	0.21%	0.37%	0.036%	0.001%		0.001%		0.7%
totale	0.04%	0.03%	0.06%	0.06%	0.11%	0.13%	0.11%	0.23%	1.50%	7.28%	11.93%	9.97%	9.70%	2.52%	1.64%	0.78%	0.12%	0.06%	46.2%
CALMA (Hs < 0.5)	53.5%		VAR	0.23%															

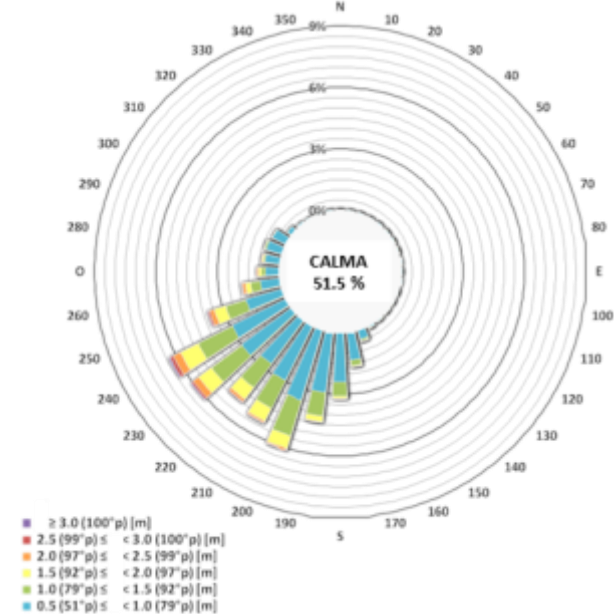
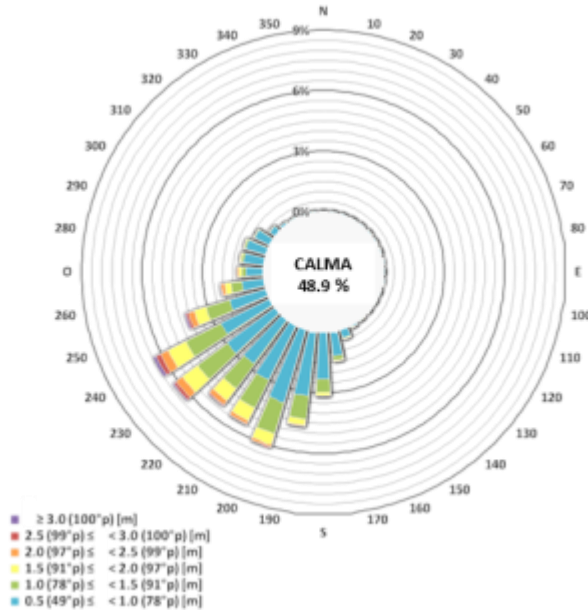
Tabella 11 Stazioni ondametriche ADCP al largo di Torrevaldaliga. Distribuzione stagionale (AUTUNNO MEDIO; giorno lavorativo di 6 h, dalle 07:00 alle 13:00) in forma percentuale degli eventi ondosì, per classi di altezza significativa (Hs) e direzione di provenienza (°N). Periodo: 2009-2015.

ALT.SIGNIFIC. (m)	DIREZIONE DI PROVENIENZA DEL MOTO ONDOSI (GRADI NORD)																	TOTALE	
	355-15	15-35	35-55	55-75	75-95	95-115	115-135	135-155	155-175	175-195	195-215	215-235	235-255	255-275	275-295	295-315	315-335		335-345
0.5 ≤ Hs < 1.0	0.02%	0.01%	0.05%	0.05%	0.05%	0.07%	0.06%	0.14%	1.19%	4.94%	6.39%	4.23%	3.98%	1.11%	1.15%	0.72%	0.07%	0.04%	24.3%
1.0 ≤ Hs < 1.5	0.005%	0.007%	0.017%	0.01%	0.04%	0.03%	0.043%	0.05%	0.22%	1.77%	4.19%	3.04%	2.49%	0.54%	0.24%	0.071%	0.019%	0.01%	12.8%
1.5 ≤ Hs < 2.0	0.002%	0.002%	0.002%	0.002%	0.01%	0.01%	0.012%	0.012%	0.04%	0.31%	1.32%	1.55%	1.38%	0.46%	0.10%	0.03%	0.012%	0.005%	5.3%
2.0 ≤ Hs < 2.5			0.002%		0.002%	0.005%	0.000%	0.002%	0.01%	0.06%	0.34%	0.73%	0.84%	0.25%	0.05%	0.012%	0.005%		2.3%
2.5 ≤ Hs < 3.0			0.002%			0.005%	0.002%	0.002%	0.02%	0.04%	0.136%	0.32%	0.34%	0.05%	0.01%				0.9%
Hs ≥ 3.0						0.002%	0.002%			0.01%	0.019%	0.176%	0.28%	0.02%					0.52%
totale	0.02%	0.02%	0.08%	0.06%	0.10%	0.12%	0.12%	0.20%	1.48%	7.13%	12.40%	10.05%	9.32%	2.44%	1.54%	0.83%	0.11%	0.06%	46.1%
CALMA (Hs < 0.5)	53.8%		VAR	0.10%															

INVERNO (8 anni dal 2009 al 2016) (da Tabella 4, a sinistra; da Tabella 5, a destra)

GIORNO (24 ore)

FASCIA ORARIA (dalle 07:00 alle 13:00)



PRIMAVERA (7 anni dal 2009 al 2015) (da Tabella 6, a sinistra; da Tabella 7, a destra)

GIORNO (24 ore)

FASCIA ORARIA (dalle 07:00 alle 13:00)

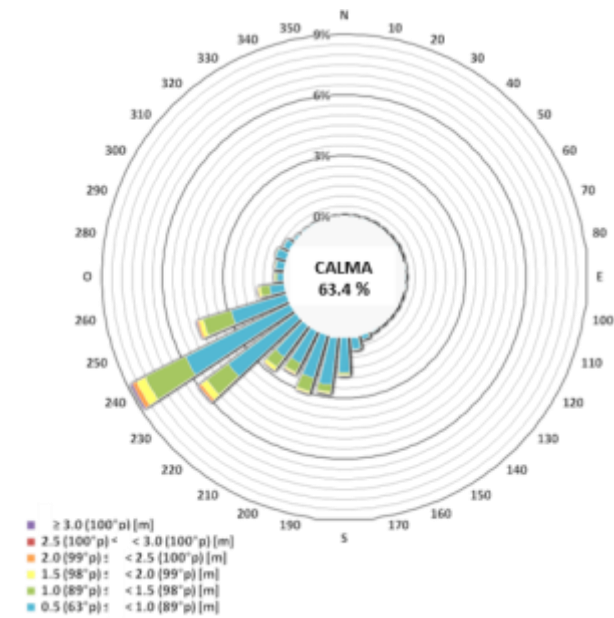
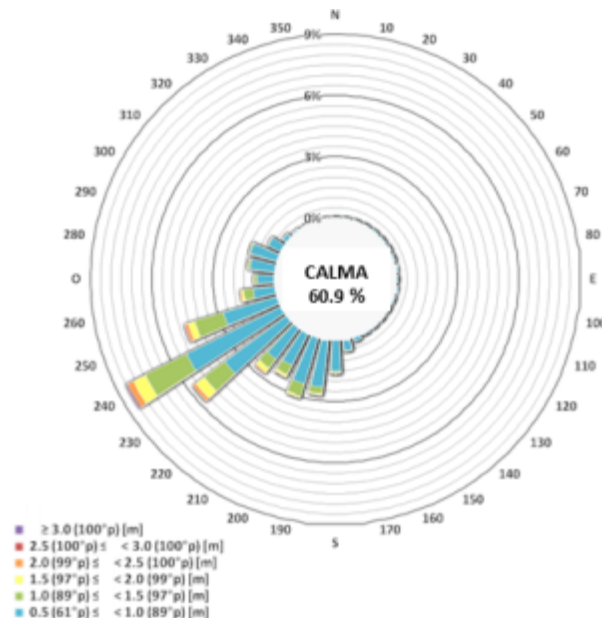
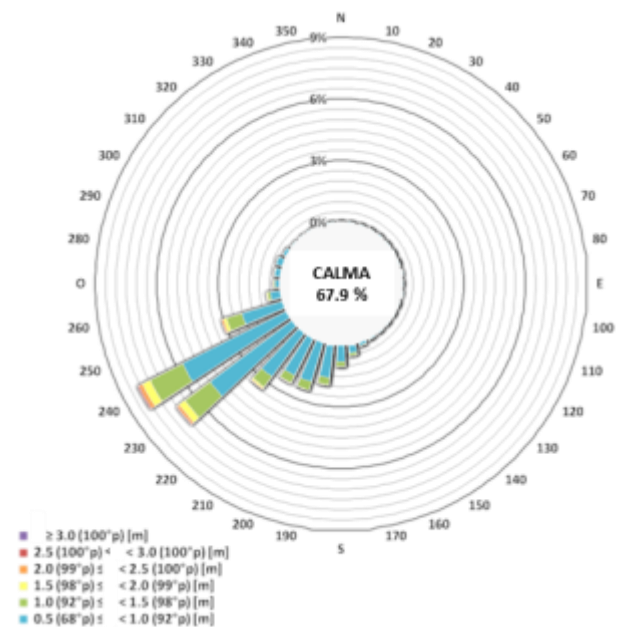
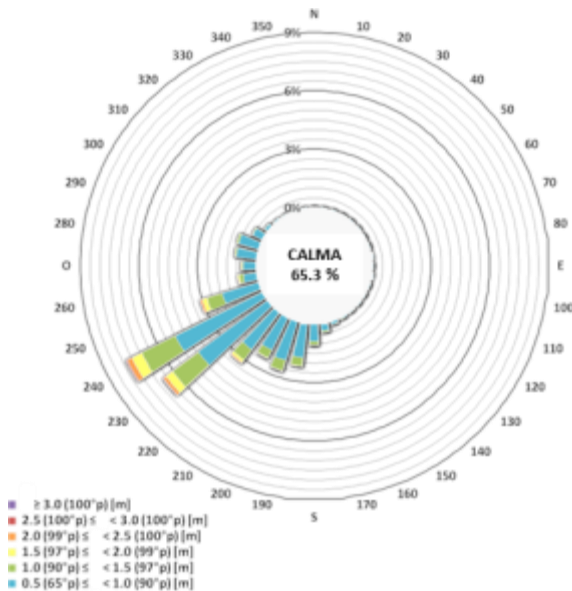


Figura 13 Diagrammi polari di frequenza stagionale del moto ondoso. Inverno (in alto) e primavera (in basso) calcolati considerando la giornata intera (di 24 ore, a sinistra) e la sola fascia oraria lavorativa (di 6 ore dalle 07:00 alle 13:00, a destra). Dati delle stazioni ondamiche ADCP; fondale di circa 20 m. Periodo: gen. 2009 – mar. 2016, per gli inverni e gen. 2009 – dic. 2015, per le primavere.

ESTATE (7 anni dal 2009 al 2015) (da Tabella 8, a sinistra; da Tabella 9, a destra)

GIORNO (24 ore)

FASCIA ORARIA (dalle 07:00 alle 13:00)



AUTUNNO (7 anni dal 2009 al 2015) (da Tabella 10, a sinistra; da Tabella 11, a destra)

GIORNO (24 ore)

FASCIA ORARIA (dalle 07:00 alle 13:00)

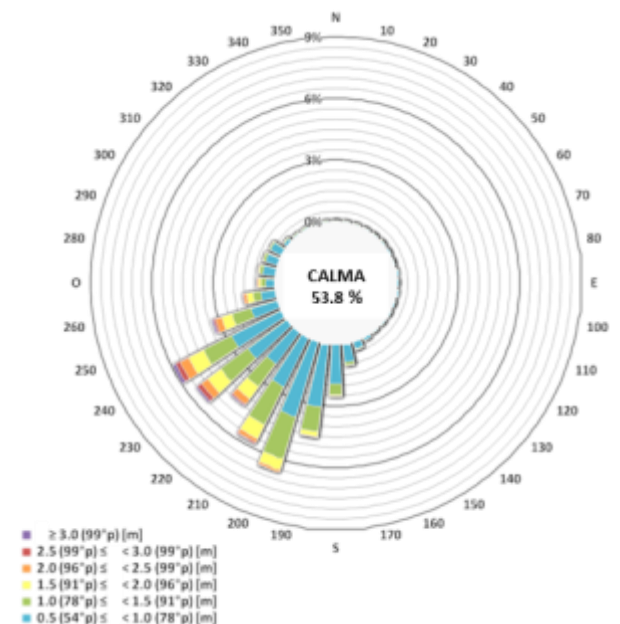
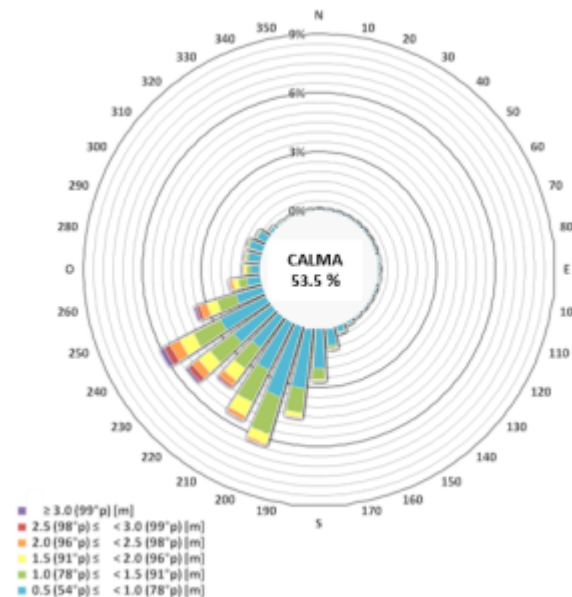


Figura 14 Diagrammi polari di frequenza stagionale del moto ondoso. Estate (in alto) e autunno (in basso) calcolati considerando la giornata intera (di 24 ore, a sinistra) e la sola fascia oraria lavorativa (di 6 ore dalle 07:00 alle 13:00, a destra). Dati delle stazioni ondametriche ADCP; fondale di circa 20 m. Periodo: gen. 2009 – dic. 2015.

Tabella 12 Giorni (di 24 h e di 6 ore, dalle 07:00 alle 13:00) di superamento di alcune soglie di altezza d'onda significativa (Hs) nelle singole stagioni medie dei rilievi.

INVERNI del PERIODO: da 1° gennaio 2009 a 31 marzo 2016		
Hs (m)	gg (24h) di super. nel periodo	gg LAVORATIVI (dalle 07 alle 13) di super. nel periodo
≥ 0.5	46.1	43.8
≥ 1.0	19.7	18.6
≥ 1.5	7.9	7.2
≥ 2.0	3.0	2.3
≥ 2.5	1.2	0.8
≥ 3.0	0.4	0.3
calma (H< 0.5)	44.1	46.4

PRIMAVERE del PERIODO: da 1° aprile 2009 a 30 giugno 2015		
Hs (m)	gg (24h) di super. nel periodo	gg LAVORATIVI (dalle 07 alle 13) di super. nel periodo
≥ 0.5	35.6	33.3
≥ 1.0	10.4	9.6
≥ 1.5	3.0	2.0
≥ 2.0	1.0	0.7
≥ 2.5	0.3	0.2
≥ 3.0	0.1	0.1
calma (H< 0.5)	55.4	57.7

ESTATI del PERIODO: da 1° luglio 2009 a 30 settembre 2015		
Hs (m)	gg (24h) di super. nel periodo	gg LAVORATIVI (dalle 07 alle 13) di super. nel periodo
≥ 0.5	31.9	29.5
≥ 1.0	9.1	7.7
≥ 1.5	2.4	1.7
≥ 2.0	0.8	0.6
≥ 2.5	0.2	0.2
≥ 3.0	0.04	0.02
calma (H< 0.5)	60.1	62.5

PERIODO AUTUNNALE: da 1° ottobre 2009 a 31 dicembre 2015		
Hs (m)	gg (24h) di super. nel periodo	gg LAVORATIVI (dalle 07 alle 13) di super. nel periodo
≥ 0.5	42.5	42.4
≥ 1.0	19.8	20.1
≥ 1.5	8.5	8.3
≥ 2.0	3.8	3.5
≥ 2.5	1.6	1.3
≥ 3.0	0.6	0.5
calma (H< 0.5)	49.2	49.5

Hs (m)	inverno	primavera	estate	autunno
≥ 0.5	43.8	33.3	29.5	42.4
≥ 1.0	18.6	9.6	7.7	20.1
≥ 1.5	7.2	2.0	1.7	8.3
≥ 2.0	2.3	0.7	0.6	3.5
≥ 2.5	0.8	0.2	0.2	1.3
≥ 3.0	0.30	0.10	0.02	0.48

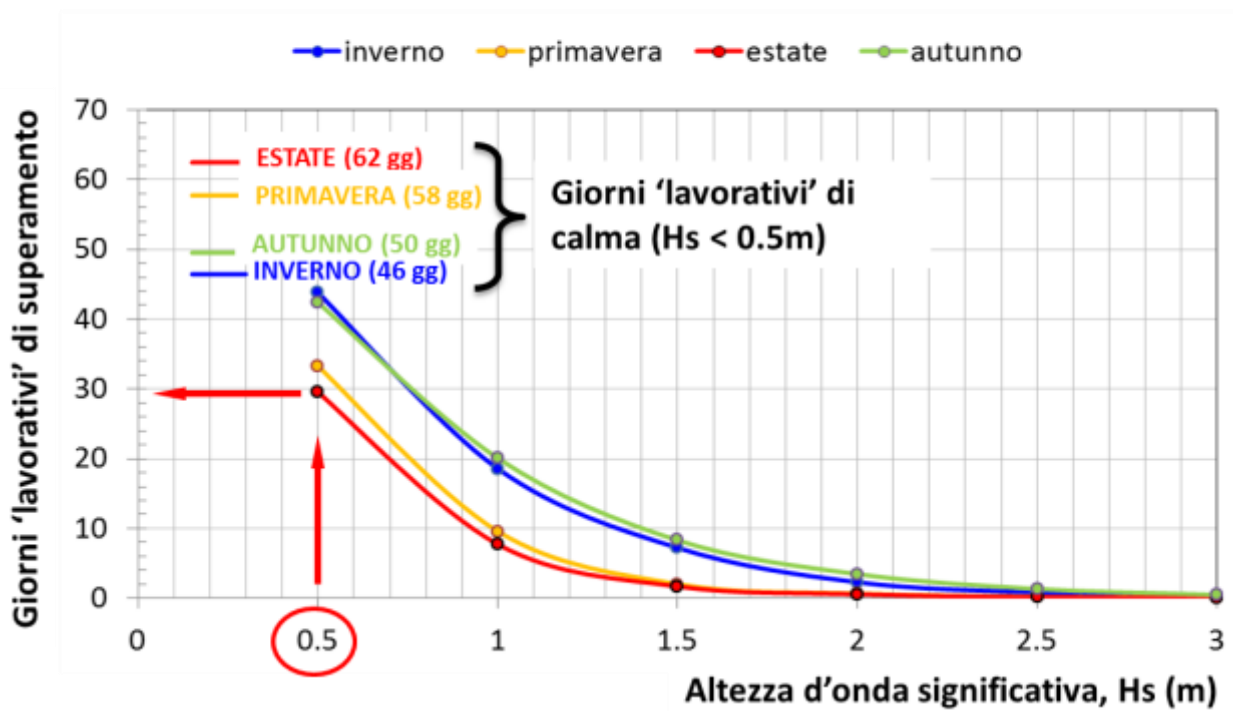


Figura 15 Giorni lavorativi (di 6 ore, dalle 07:00 alle 13:00) di superamento di alcune soglie di altezza d'onda significativa (Hs) nelle singole stagioni medie dei rilievi.

Le misure di moto ondoso raccolte dalla strumentazione ADCP sono state confrontate con quelle raccolte da Enel tra febbraio 1994 e febbraio 2003 attraverso boe ondometriche direzionali DATAWELL. La posizione delle due distinte stazioni ondometriche è illustrata in Figura 16 (su carta nautica a sinistra e su foto satellitare, dell'epoca dei rilievi, a destra) e dettagliata qui di seguito:

- Stazione ondometrica di Torre Valdaliga 1 (TV1) (ENEL-CRIS):

Posizione: Latitudine 42° 07' 00"N e Longitudine 11° 43' 48"E

Fondale: circa 50 m

Periodo di funzionamento: dal 3/2/1994 al 30/1/1997

Percentuale di funzionamento: 73.94%

- Stazione ondometrica di Torre Valdaliga 2 (ENEL-SRI-PIS/CESI):

Posizione: Latitudine 42° 07' 30"N e Longitudine 11° 44' 30"E

Fondale: circa 35 m

Periodo di funzionamento: dal 28/3/1997 al 28/2/2003

Percentuale di funzionamento: 96.31%

Si tratta di strumenti specificatamente dedicati alla misura delle caratteristiche delle onde (altezze, periodi e direzioni di provenienza) posizionati al largo di Torrevaldaliga i cui dati sono stati utilizzati per il dimensionamento delle opera a mare, pre e post conversione dell'impianto, e per la definizione delle curve di *down time* portuale del previsto (all'epoca delle misure) pontile di attracco carboniere.

Il confronto ha dato esito positivo come è sinteticamente riscontrabile nella rosa dei mari media annuale ricavata dall'analisi congiunta dei dati delle due stazioni (previa verifica di congruenza dei climi d'onda separati per stazione) che presenta andamenti del tutto simili a quelle annuali illustrate nelle figure precedenti (Figura 10, Figura 11 e Figura 12).

Analogo confronto è stato eseguito con riferimento alle rose dei mari stagionali che hanno confermato la similitudine dei climi d'onda ricavati mediante due sistemi di misura differenti.

Anche il confronto tra gli eventi massimi registrati ha evidenziato valori di altezza d'onda significativa massima paragonabili con quelli registrati negli ultimi 7 anni. In particolare la mareggiata più violenta si registrò il 28 dicembre del 1999; in quell'occasione l'ondametro direzionale DATAWELL TV2 misurò un'altezza d'onda significativa di 5.57 m, con direzione di provenienza pari a 237.66°N.

Si segnala, infine, che l'analisi delle massime persistenze sopra soglia evidenziò episodi con durata consecutiva sopra soglia 2 m prossima a 4 giorni (di 24 ore ciascuno). Tali episodi sono dunque da considerare probabili anche per il sito in esame con tempi di ritorno contenuti e sicuramente inferiori al tempo di vita attesa dell'impianto *offshore* di allevamento pesci.

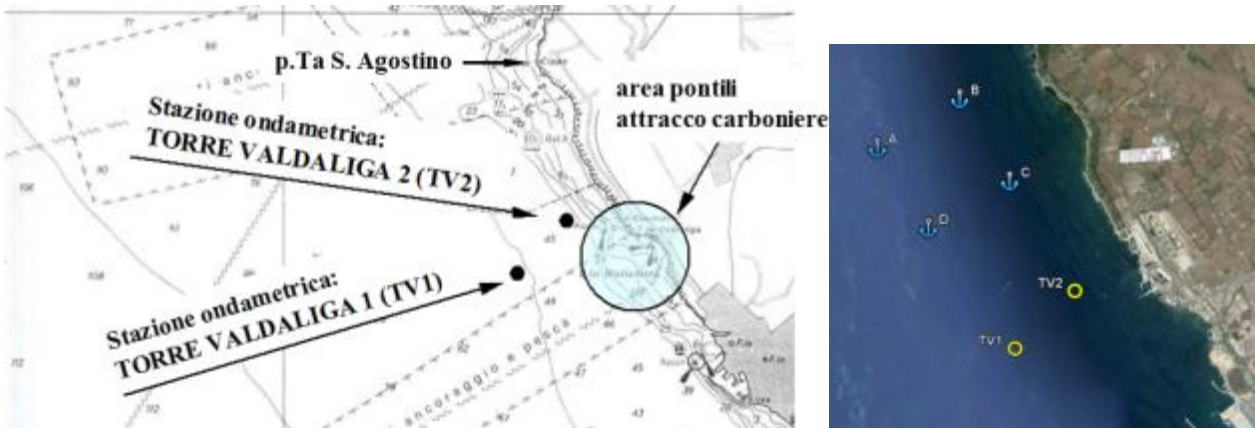


Figura 16 Posizione delle stazioni ondamiche ENEL, TV1 e TV2 (boe ondamiche DATAWELL) e dei vertici A, B, C e D dell'area di concessione del nuovo impianto (a sinistra localizzazione su carta nautica, da Rif. 6, e a destra su foto satellitare dell'epoca dei rilievi, da Rif. 2).



Figura 17 Stazioni ondamiche TV1 e TV2. Distribuzione annuale in forma percentuale degli eventi ondosi, per classi di altezza significativa (Hs in cm) e direzione di provenienza. Periodo: da 03-02-1994 a 28-02-2003.

2.4 Le correnti

2.4.1 Circolazione generale

La corrente marina è sostanzialmente identificabile come un movimento persistente di masse d'acqua e, a seconda della causa di generazione, è classificabile come corrente da vento (o di deriva), di marea, di gradiente. In particolare, il moto orizzontale della massa d'acqua superficiale (correnti superficiali), è dovuto all'azione combinata di correnti di gradiente e di deriva.

I venti che interessano l'area sono piuttosto regolari, con una predominanza di quelli provenienti dai quadranti settentrionali, e la dinamica marina è caratterizzata da un vortice stazionario nel Tirreno settentrionale, posto ad Est della Sardegna e della Corsica, indotto dai venti forti che provengono dalle Bocche di Bonifacio.

Il vortice citato (150-200 km di diametro) definisce una zona di più accentuata dinamica rispetto alla situazione generale del Tirreno (caratterizzata da velocità medie di circa 5 cm/s) la cui estensione non varia molto durante l'anno: le velocità sono di circa 10 – 20 cm/s e il moto è antiorario. Le acque mosse durante il periodo invernale non interessano la piattaforma continentale (il cui limite è rappresentato dall'isobata dei 200 m), mentre talvolta in estate il vortice si estende fino ad essa.

2.4.2 Circolazione al sito

L'andamento delle correnti in prossimità della costa può variare considerevolmente rispetto a quella riscontrabile al largo, ed essere fortemente sito-specifico. In particolare, il frangimento delle onde prodotto dai fondali decrescenti e l'incidenza obliqua del moto ondoso producono schemi di circolazione litoranea caratterizzati da correnti di ritorno trasversali concentrate (*rip*) e da correnti longitudinali (*longshore*).

In generale la distribuzione delle velocità nello schema bidimensionale nel piano verticale ortogonale alla linea di contatto terra-mare e battigia, è di tipo intrecciato come illustrato in Figura 18.

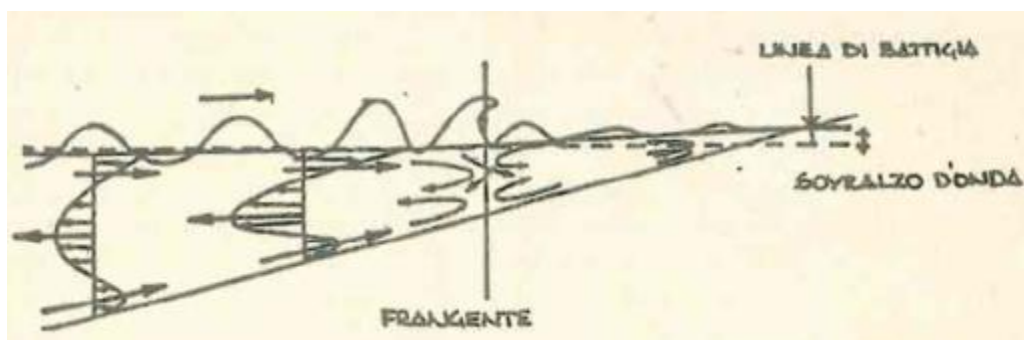


Figura 18 Schema della circolazione litoranea trasversale (da Rif. 7)

La zona in esame è caratterizzata da una costa relativamente piatta per tutto il suo sviluppo, con fondale marino a bassa pendenza verso il largo (2 % circa fino alla -50 m); fa eccezione, a Nord Ovest, l'area intorno all'Argentario dove si riscontrano maggiori profondità e pendenze più elevate.

Analogamente a quanto descritto in merito al moto ondoso dell'area in esame, anche la caratterizzazione dell'idrodinamica locale è avvenuta con riferimento alle misure raccolte dalla strumentazione ADCP illustrata ai precedenti paragrafi.

Nel caso delle correnti il principio di misura si basa sullo sfasamento doppler delle onde sonore, emesse dallo strumento stesso in direzione verticale e riflesse dalle impurità presenti in acqua che si assume seguano passivamente la corrente.

L'esito delle registrazioni delle correnti in prossimità del sito è sintetizzato nei grafici e nelle tabelle che seguono che fanno riferimento, in particolare, alle rose dei venti annuali (Figura 19, per giorni di 24 ore, e Figura 20, per le giornate ipotizzate costituite dalle sole sei ore "lavorative" comprese tra le 07:00 e le 13:00) e stagionali (da Figura 21 a Figura 24 tutte riferite alle sole giornate "lavorative"), oltre ai giorni di superamento di alcune soglie di velocità della corrente sintetizzate in tabelle (Tabella 13, per l'anno 2009, Tabella 14, per l'anno 2010 e Tabella 15 per i superamenti stagionali) e grafici (Figura 25 e Figura 26, per i superamenti annuali e stagionali, rispettivamente). Grafici e tabelle forniscono indicazioni in merito alle correnti rilevate a differenti profondità, scelte in posizioni intermedie rispetto all'affondamento complessivo delle reti secondo le indicazioni del Cliente.

Si precisa che i versi ricavabili dalle rose di corrente sono da intendere "di propagazione" e non "di provenienza" com'è, invece, per le rose delle onde e dei venti.

L'analisi dei rilievi strumentali alle profondità investigate (comprese tra i 5 e i 12 m dal medio mare) consente di trarre le seguenti indicazioni di carattere generale:

- la corrente nel sito presenta una direzione lungo l'asse Nord Ovest – Sud Est essenzialmente parallela a riva e alle isobate del fondale;
- considerando le intensità superiori alla soglia di calma degli 0.1 m/s, le maggiori frequenze di accadimento sono associate alle correnti dirette verso Nord Ovest (secondo la convenzione qui sopra descritta), anche se sono presenti, a tutte le profondità, correnti dirette verso Sud Est; in Tabella 16 è riportata per l'anno 2010 la statistica dei giorni (interi e lavorativi) caratterizzati da versi di propagazione nei due quadranti opposti: il II per le correnti dirette verso SE e il IV per quelle verso NO;
- l'intensità delle correnti alle profondità esaminate è contenuta e va decrescendo all'aumentare dell'affondamento rispetto al livello di medio mare; a titolo di esempio, la Tabella 13 e la Tabella 14 mostrano la pressoché totale assenza di correnti con intensità superiore a 40 cm/s negli anni 2009 e 2010 rispettivamente; la Tabella 15, elaborata con riferimento alle stagioni medie del periodo gennaio 2009 - marzo 2016, fornisce superamenti irrisori (dell'ordine dell'ora) di tale soglia;
- i giorni di calma appaiono decisamente preponderanti con riferimento sia ai due anni analizzati singolarmente (2009 e 2010), sia alle stagioni con frequenze mediamente comprese tra l'80 e il 90 %; la Figura 25, oltre a confermare la diminuzione della corrente (e quindi dei giorni di superamento delle soglie di velocità) con l'aumentare della profondità, evidenzia a parità di corrente superamenti più numerosi nella fascia oraria lavorativa (le linee tratteggiate si trovano sempre al di sopra delle corrispondenti continue). Ciò sta ad indicare che le correnti più intense, peraltro limitate come detto, si presentano proprio nella fascia oraria mattutina dalle 07:00 alle 13:00;
- con riferimento ai giorni 'lavorativi' (limitati alla fascia oraria 07:00-13:00), la Figura 26 evidenzia correnti più intense (e quindi un maggior numero di giorni di superamento soglia) in estate e in primavera rispetto all'inverno e all'autunno; tale tendenza è confermata a tutte le profondità ma tende ad annullarsi su fondali maggiori, ove la corrente si uniforma a valori comuni a tutte le stagioni.

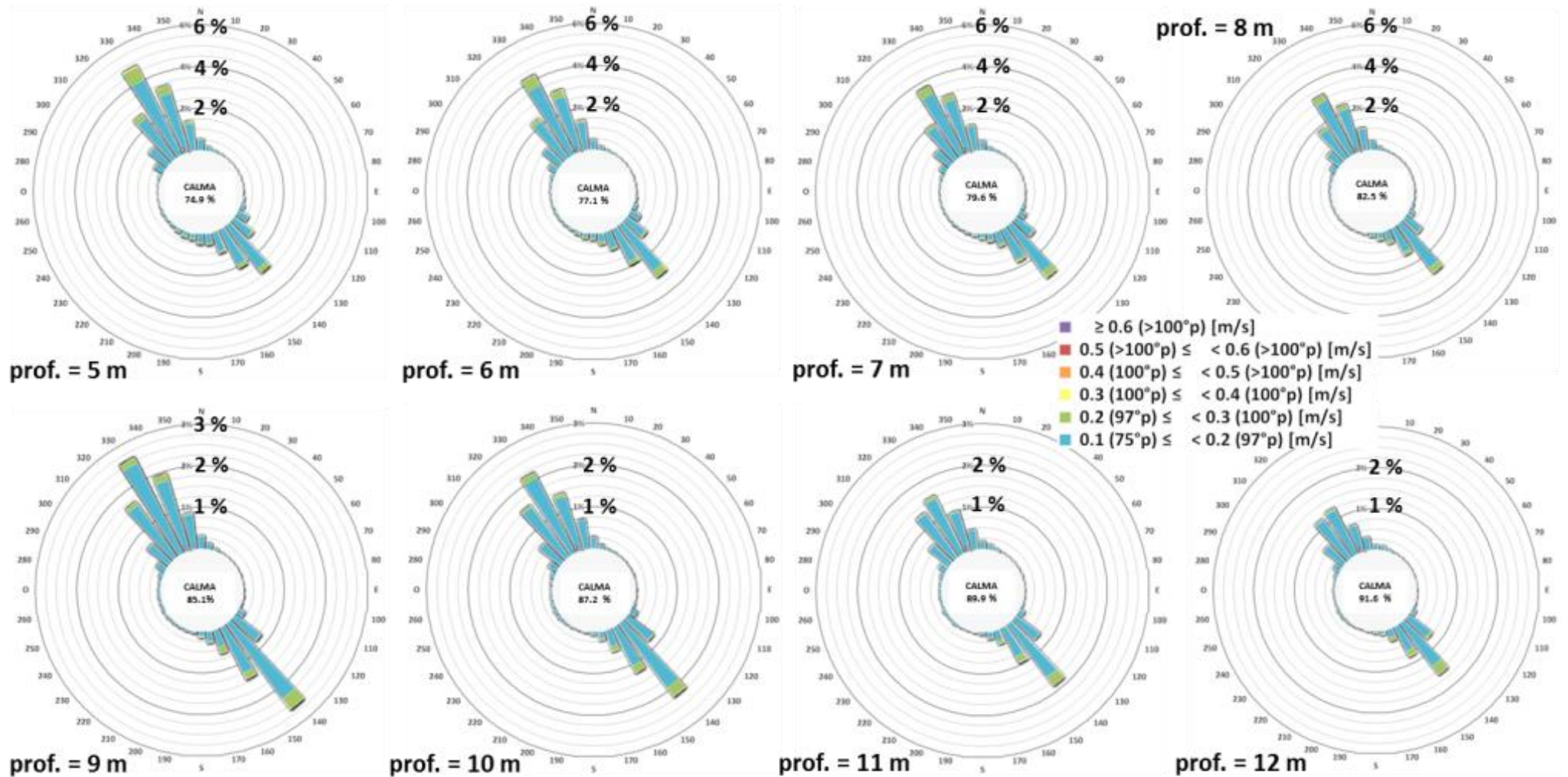


Figura 19 Diagramma polare di frequenza annuale (ANNO 2010, giorno di 24 h) delle correnti a diverse profondità. Dati delle stazioni ondametrische ADCP; fondale di circa 20 m (il verso è quello di propagazione della corrente).

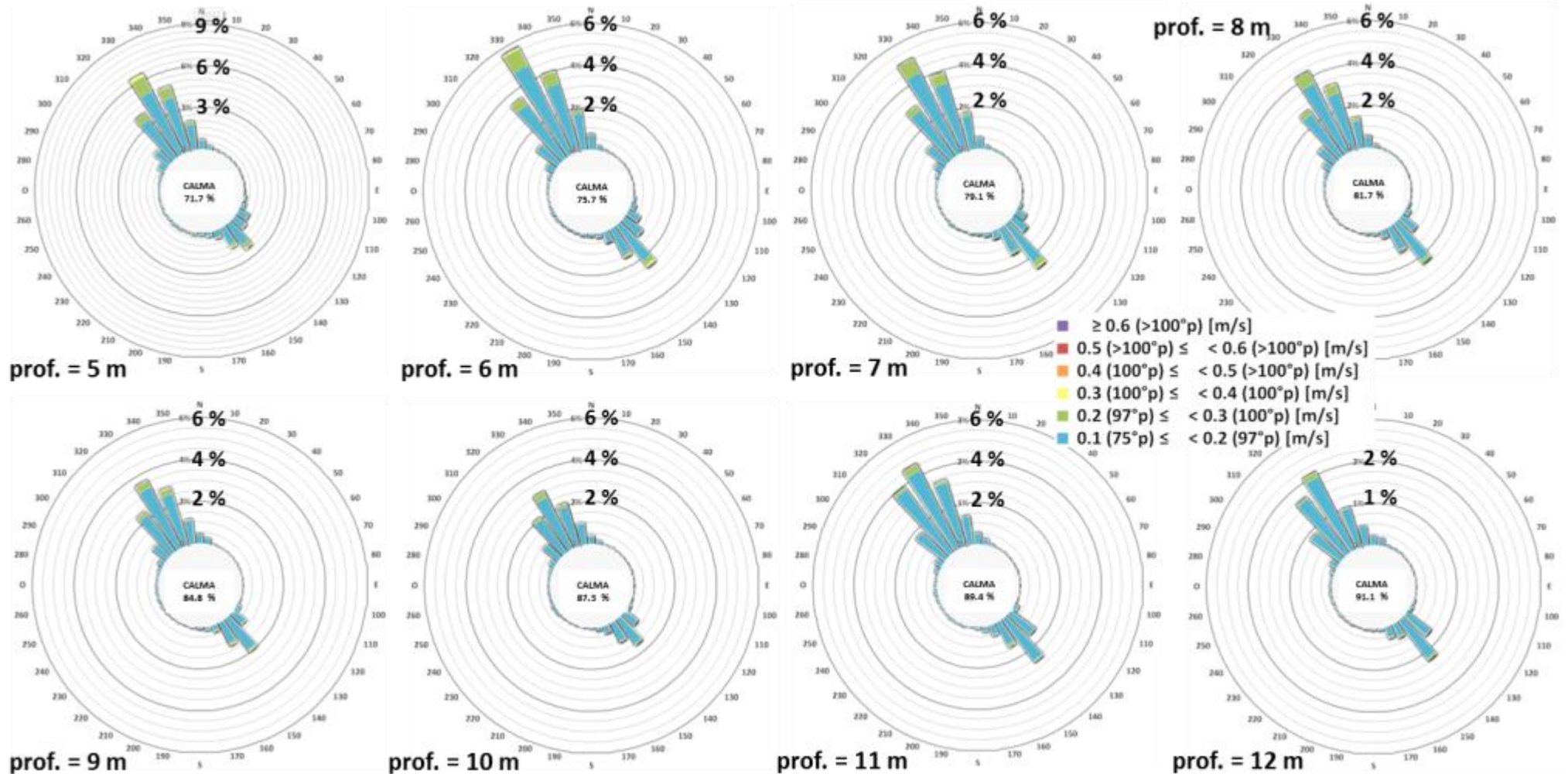


Figura 20 Diagramma polare di frequenza annuale (ANNO 2010, giorno lavorativo di 6 ore dalle 07:00 alle 13:00) delle correnti a diverse profondità. Dati delle stazioni ondametrische ADCP; fondale di circa 20 m (il verso è quello di propagazione della corrente).

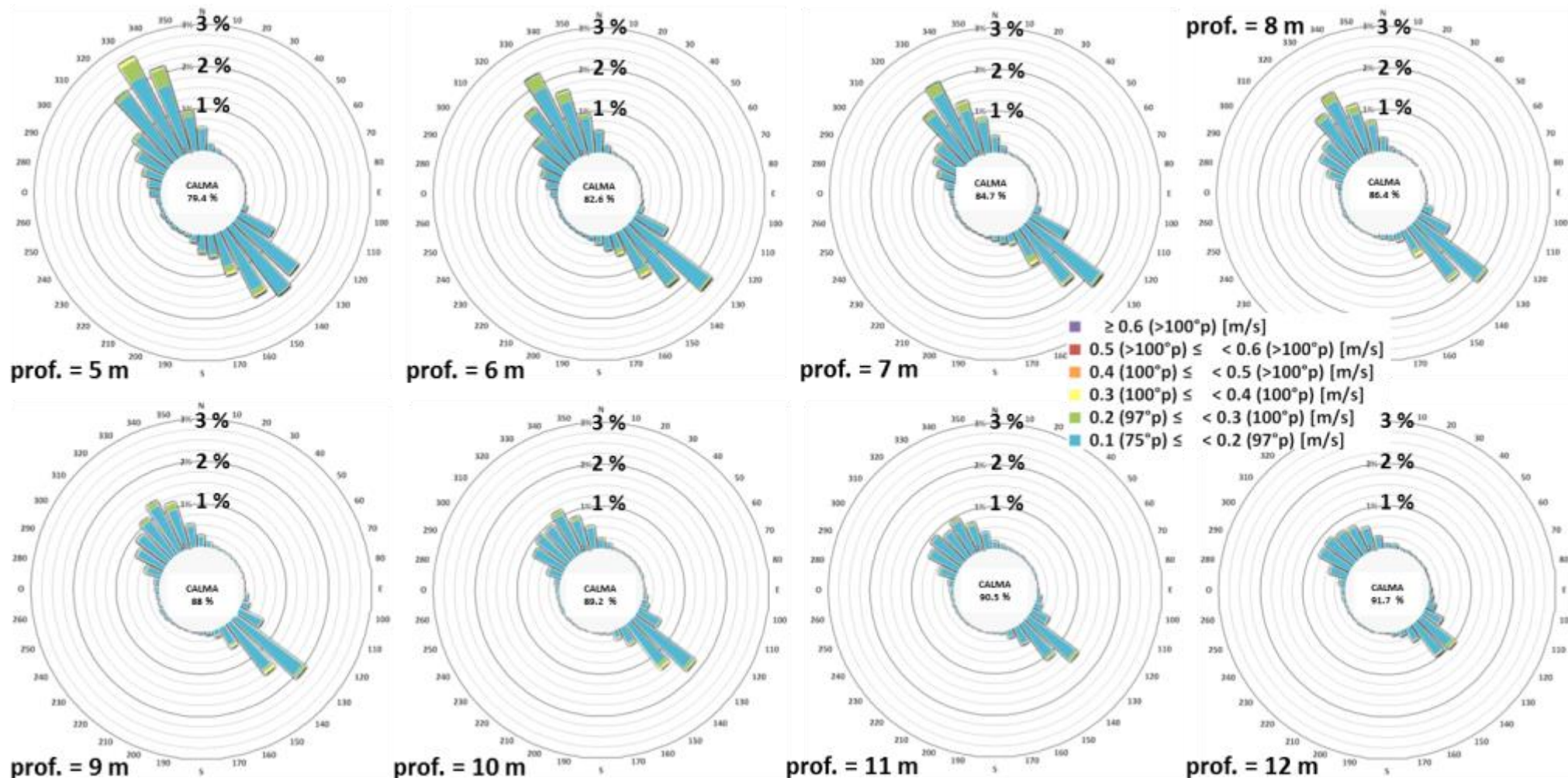


Figura 21 Diagramma polare di frequenza stagionale (INVERNO solo giorni lavorativi di 6 ore dalle 07:00 alle 13:00) delle correnti a diverse profondità. Dati delle stazioni ondametrische ADCP; fondale di circa 20 m; periodo gen. 2009 – mar. 2016 (il verso è quello di propagazione della corrente).

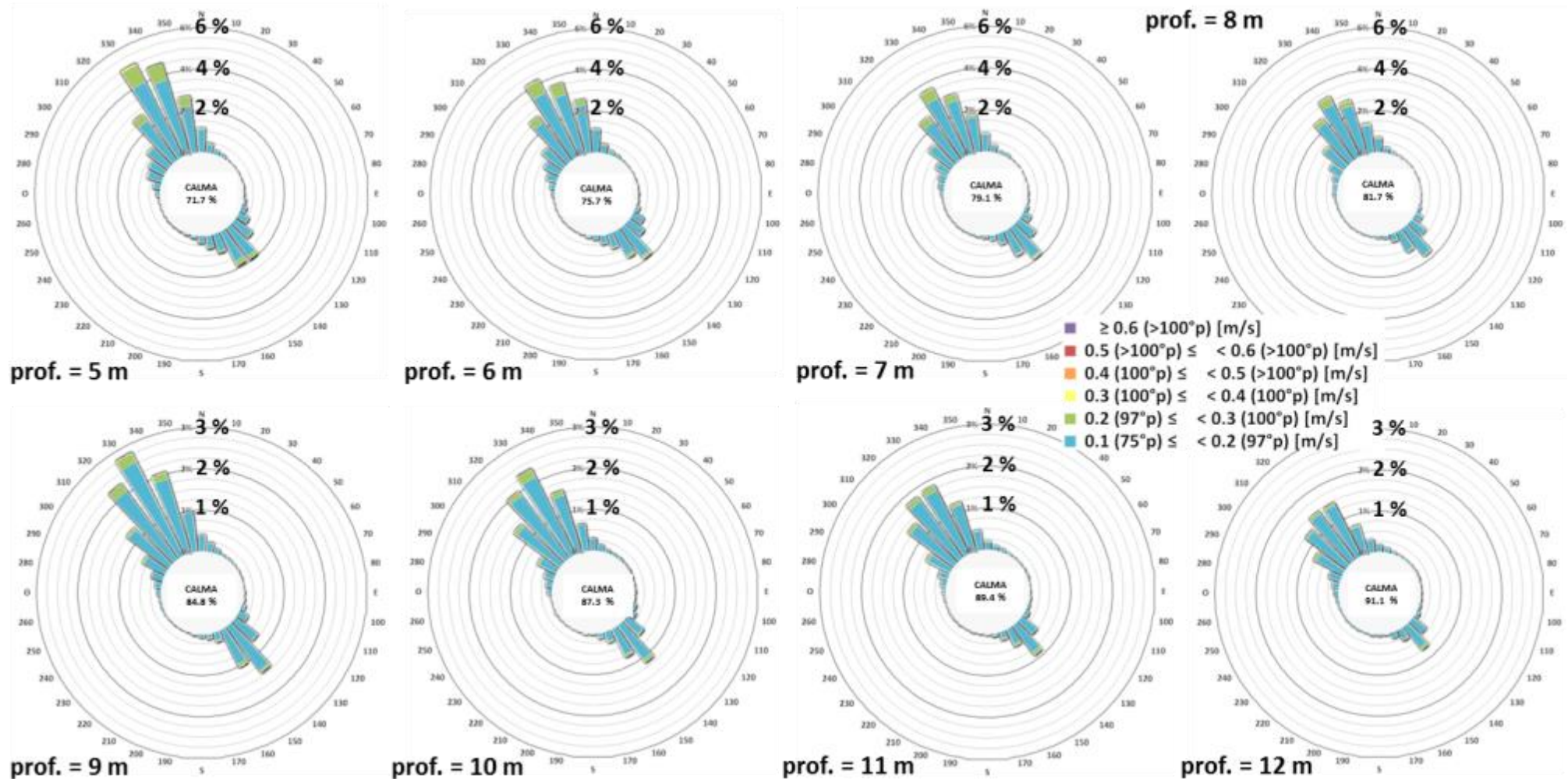


Figura 22 Diagramma polare di frequenza stagionale (PRIMAVERA solo giorni lavorativi di 6 ore dalle 07:00 alle 13:00) delle correnti a diverse profondità. Dati delle stazioni ondametrische ADCP; fondale di circa 20 m; periodo gen. 2009 – dic. 2015 (il verso è quello di propagazione della corrente).

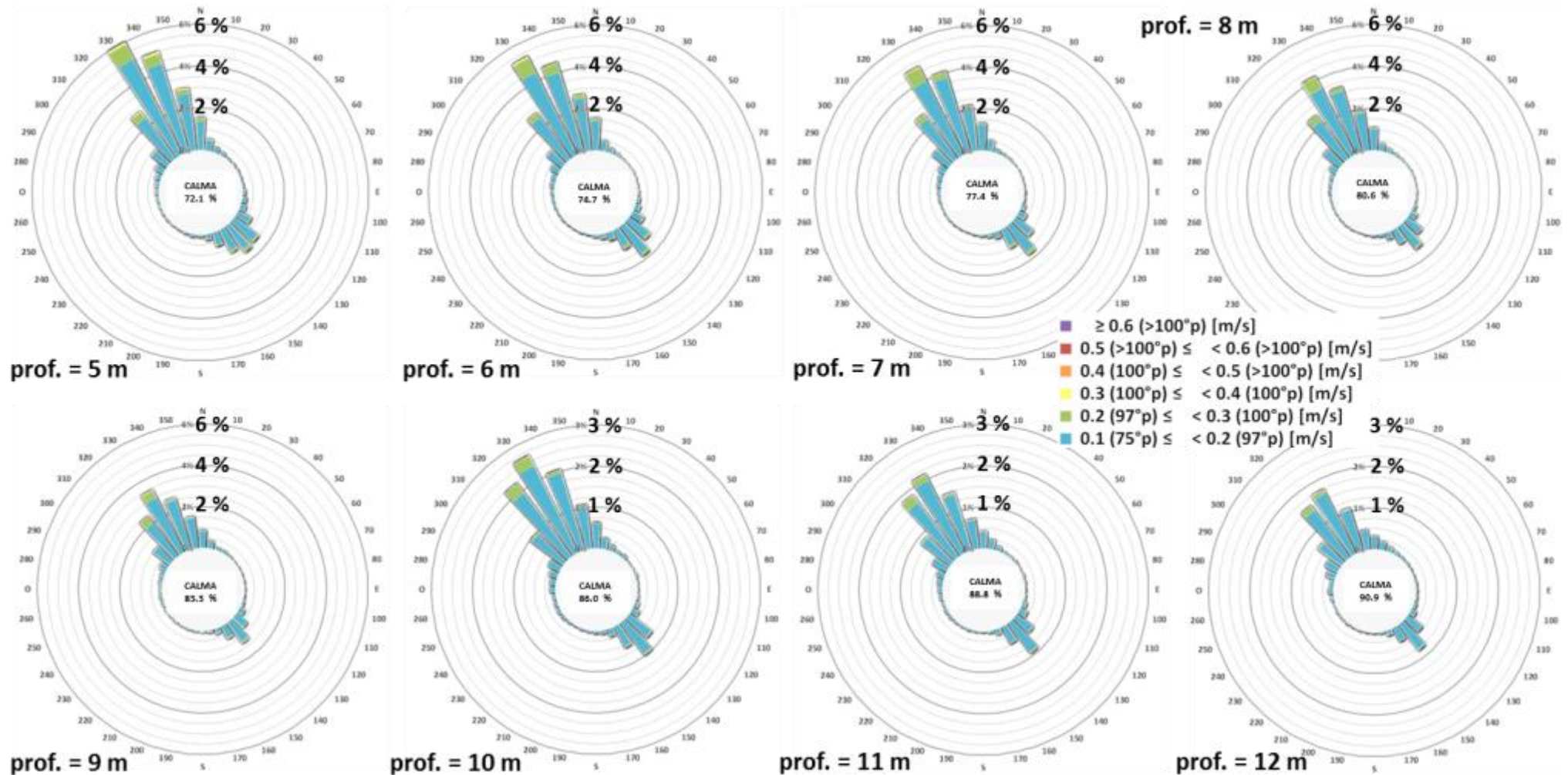


Figura 23 Diagramma polare di frequenza stagionale (ESTATE solo giorni lavorativi di 6 ore dalle 07:00 alle 13:00) delle correnti a diverse profondità. Dati delle stazioni ondametrische ADCP; fondale di circa 20 m; periodo gen. 2009 – dic. 2015 (il verso è quello di propagazione della corrente).

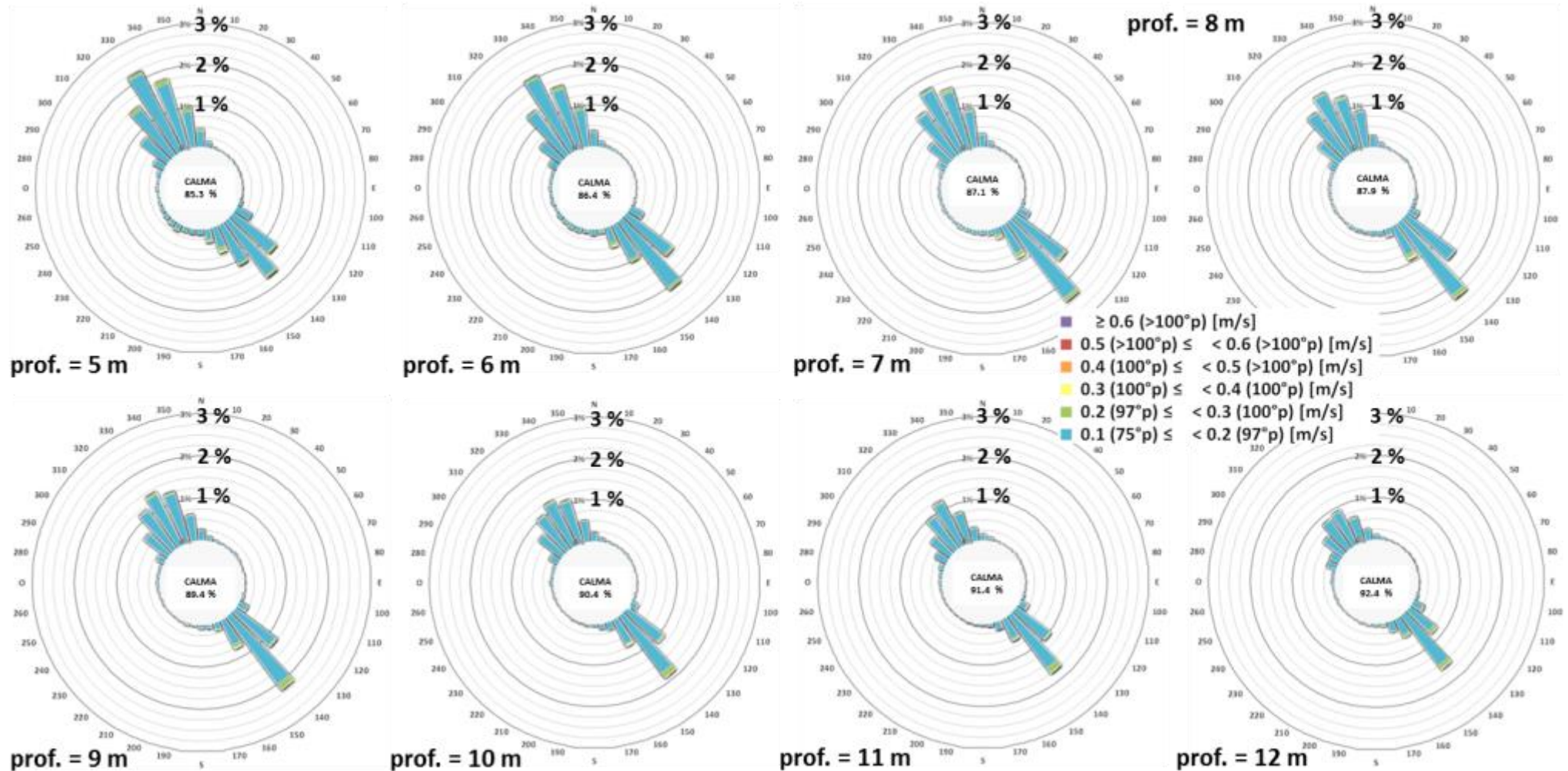


Figura 24 Diagramma polare di frequenza stagionale (AUTUNNO solo giorni lavorativi di 6 ore dalle 07:00 alle 13:00) delle correnti a diverse profondità. Dati delle stazioni ondametriche ADCP; fondale di circa 20 m; periodo gen. 2009 – dic. 2015 (il verso è quello di propagazione della corrente).

Tabella 13 Giorni (di 24 h e di 6 ore, dalle 07:00 alle 13:00) di calma e di superamento di alcune soglie di velocità della corrente nell'anno 2009 a diverse profondità

ANNO 2009								
gg INTERI (di 24 h) di super. soglia alla profondità di								
V corrente (m/s)	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
≥ 0.1	66.9	57.1	48.0	39.3	32.5	27.6	22.2	17.5
≥ 0.2	5.7	4.4	3.5	2.7	2.0	1.7	1.3	0.8
≥ 0.3	0.35	0.15	0.07	0.04	0.07	0.06	0.04	0.03
≥ 0.4	0.019	0	0	0	0	0	0	0
≥ 0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
calma (V < 0.1)	298.1	307.8	317.1	325.6	332.5	337.4	342.9	347.5
gg LAVORATIVI (di 6 h dalle 7:00 alle 13:00) di super. soglia alla profondità di								
V corrente (m/s)	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
≥ 0.1	77.4	67.5	57.4	48.0	38.2	31.9	25.4	20.1
≥ 0.2	9.4	7.8	6.3	5.1	3.7	2.8	2.1	1.4
≥ 0.3	0.87	0.54	0.15	0.08	0.06	0.03	0	0
≥ 0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
calma (V < 0.1)	287.6	297.5	307.6	317.0	326.8	333.1	339.6	344.9

Tabella 14 Giorni (di 24 h e di 6 ore, dalle 07:00 alle 13:00) di calma e di superamento di alcune soglie di velocità della corrente nell'anno 2010 a diverse profondità

ANNO 2010								
gg INTERI (di 24 h) di super. soglia alla profondità di								
V corrente (m/s)	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
≥ 0.1	91.6	83.4	74.4	63.8	54.3	46.7	37.0	30.8
≥ 0.2	10.0	8.4	7.2	5.9	4.6	3.7	2.9	2.5
≥ 0.3	0.55	0.34	0.25	0.17	0.13	0.10	0.12	0.09
≥ 0.4	0.004	0	0.004	0	0	0	0	0
≥ 0.5	0	0	0.004	0	0	0	0	0
calma (V < 0.1)	273.4	281.6	290.6	301.2	310.7	318.3	328.0	334.2
gg LAVORATIVI (6 ore dalle 07:00 alle 13:00) di superamento soglia alla prof. di								
V corr (m/s)	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
≥ 0.1	103.3	93.3	83.4	71.7	61.1	52.7	42.5	35.4
≥ 0.2	14.7	10.8	8.7	6.8	4.6	3.1	1.7	1.1
≥ 0.3	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
≥ 0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
calma (V < 0.1)	261.7	271.7	281.6	293.3	303.9	312.3	322.5	329.6

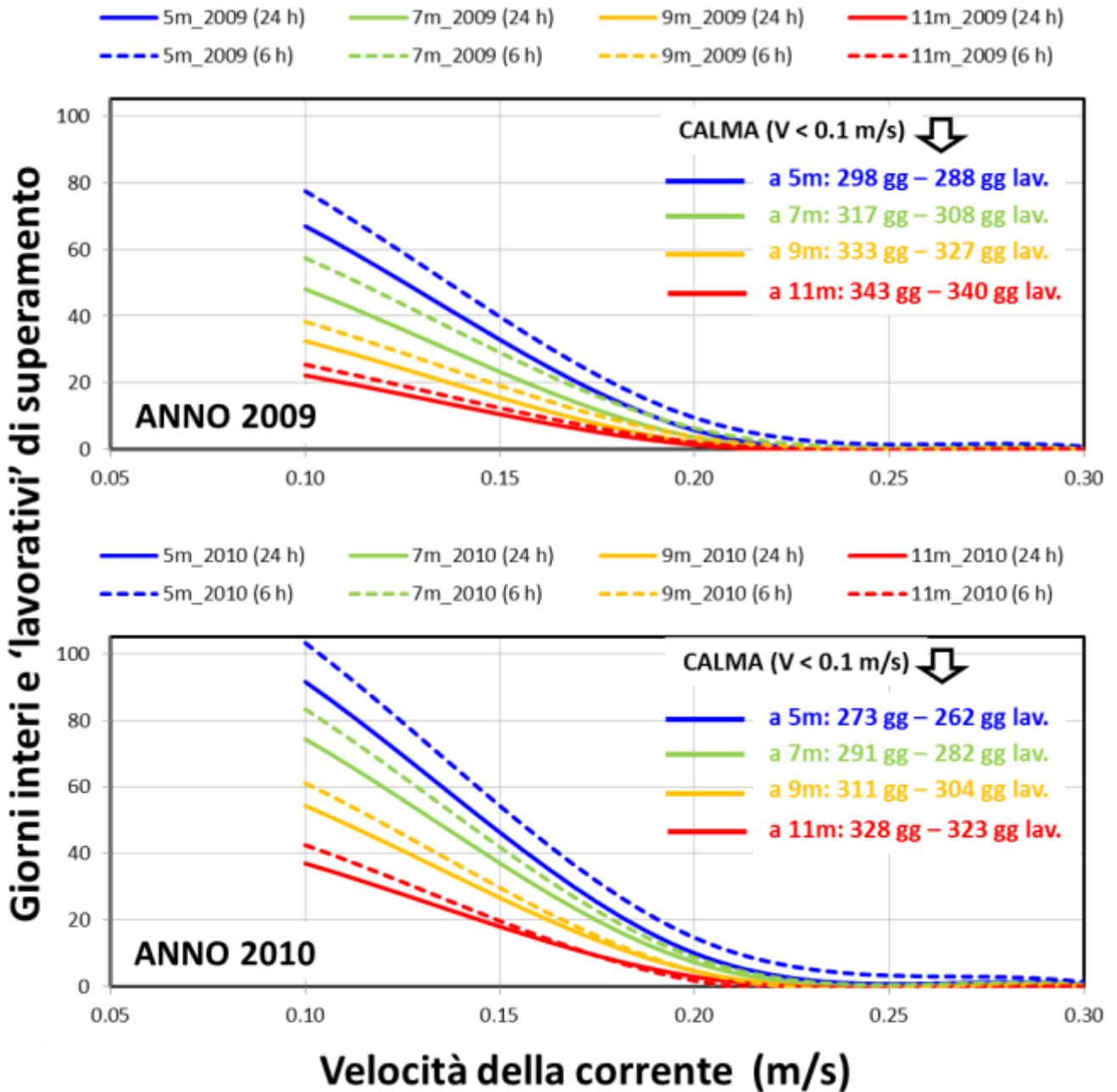


Figura 25 Giorni (di 24 h, linee continue, e di 6 ore, linee tratteggiate, dalle 07:00 alle 13:00) di superamento di alcune soglie di velocità della corrente negli anni 2009 e 2010 dei rilievi. A destra nei grafici sono riassunti i giorni di calma (V corr. < 0.1 m/s) registrati per i due anni considerati.

Tabella 15 Giorni di calma e giorni lavorativi (di 6 h dalle 04:00 alle 13:00) di superamento di alcune soglie di velocità della corrente nelle stagioni medie alle diverse profondità

INVERNI del PERIODO: 1° gennaio 2009 - 31 marzo 2016								
gg LAVORATIVI (dalle 07 alle 13) di super. alla profondità di								
V corrente (m/s)	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
≥ 0.1	18.6	15.7	13.8	12.3	10.8	9.8	8.6	7.5
≥ 0.2	1.8	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4
≥ 0.3	0.25	0.18	0.16	0.14	0.12	0.08	0.06	0.04
≥ 0.4	0.02	0.02	0.01	0.004	0	0	0	0
≥ 0.5	0.05	0.03	0.02	0.008	0	0	0	0
calma (V< 0.1)	71.7	74.6	76.4	78.0	79.4	80.5	81.7	82.8
PRIMAVERE del PERIODO: 1° aprile 2009 - 31 dicembre 2015								
gg LAVORATIVI (dalle 07 alle 13) di super. alla profondità di								
V corrente (m/s)	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
≥ 0.1	25.7	22.2	19.0	16.7	13.8	11.6	9.6	8.1
≥ 0.2	3.3	2.4	1.7	1.3	0.9	0.7	0.5	0.4
≥ 0.3	0.19	0.13	0.07	0.04	0.01	0	0	0
≥ 0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
calma (V< 0.1)	65.2	68.8	72.0	74.3	77.1	79.5	81.4	82.9
ESTATI del PERIODO: 1° luglio 2009 - 31 dicembre 2015								
gg LAVORATIVI (dalle 07 alle 13) di super. alla profondità di								
V corrente (m/s)	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
≥ 0.1	25.7	23.3	20.8	17.9	15.4	12.9	10.3	8.4
≥ 0.2	2.7	2.3	1.9	1.5	1.1	0.8	0.5	0.3
≥ 0.3	0.22	0.14	0.08	0.05	0.05	0.02	0.02	0.01
≥ 0.4	0.004	0.004	0	0	0	0	0	0
≥ 0.5	0.008	0.008	0	0	0	0	0	0
calma (V< 0.1)	66.3	68.7	71.2	74.1	76.6	79.1	81.7	83.6
AUTUNNI del PERIODO: 1° ottobre 2009 - 31 dicembre 2015								
gg LAVORATIVI (dalle 07 alle 13) di super. alla profondità di								
V corrente (m/s)	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
≥ 0.1	13.5	12.5	11.9	11.2	9.8	8.8	7.9	7.0
≥ 0.2	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
≥ 0.3	0.09	0.08	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04
≥ 0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 0.5	0	0	0	0	0	0	0	0
calma (V< 0.1)	78.5	79.5	80.1	80.8	82.2	83.2	84.1	85.0

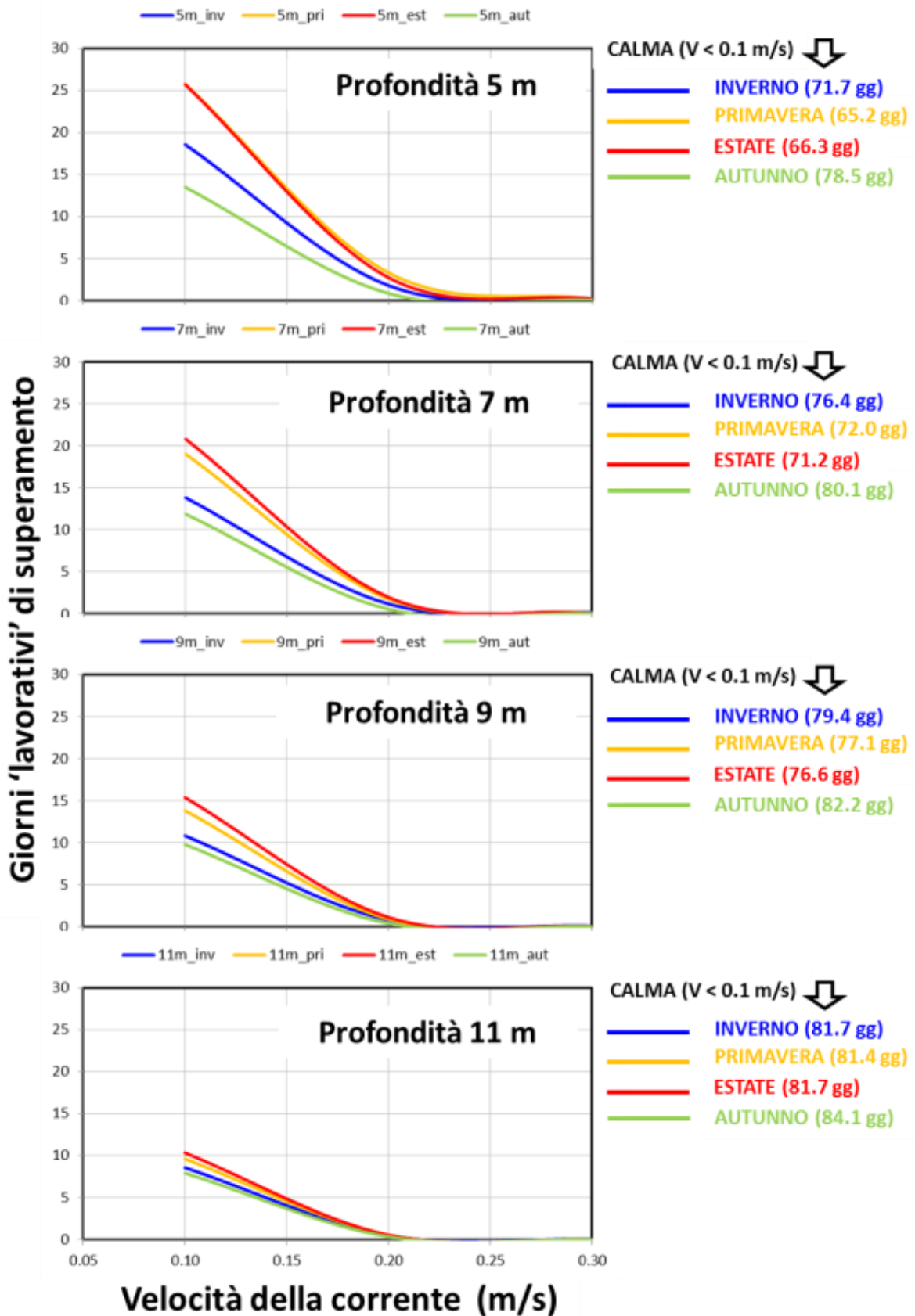


Figura 26 Giorni lavorativi (di 6 ore, dalle 07:00 alle 13:00) di superamento di alcune soglie di velocità della corrente nelle singole stagioni medie dei rilievi. A destra i giorni di calma ($V_{corr} < 0.1$ m/s) registrati per ciascuna stagione media.

Tabella 16 Giorni interi e lavorativi con correnti dirette verso Sud Est (II quadrante) e verso Nord Ovest (IV quadrante) alle diverse profondità per l'anno 2010

ANNO 2010									
gg INTERI (di 24 h)									
corrente con $V \geq 0.1$	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m	media
verso SE	31.6	31.0	28.3	24.8	21.7	19.0	15.5	13.5	23.2
verso NO	50.5	45.3	40.3	34.6	28.9	24.4	18.9	15.3	32.3
gg LAVORATIVI (di 6 h)									
verso SE	25.4	24.9	22.4	19.8	16.7	14.7	11.7	9.9	18.2
verso NO	69.9	61.8	56.0	47.7	40.5	34.5	28.0	22.9	45.2

2.5 Le variazioni del livello marino

Nel Mar Mediterraneo e nel sito in esame le escursioni del livello del mare sono modeste, solo eccezionalmente significative. Le cause dell'oscillazione del livello marino sono molteplici ma gli effetti maggiori sono normalmente riconducibili alla marea astronomica e alla cosiddetta marea "meteorologica".

La componente oscillatoria meglio conosciuta è la marea astronomica, generata dall'attrazione gravitazionale congiunta della luna (70%) e del sole (30%). L'andamento temporale è di tipo semidiurno (periodo 12 ore e 25 minuti) con due alte maree e due basse maree al giorno di ampiezza diversa; esiste peraltro una periodicità bisettimanale legata alla posizione relativa della luna e del sole: i massimi dislivelli positivi e negativi si verificano nelle fasi sizigiali (luna piena e luna nuova), mentre si riducono in fase di quadratura.

Un contributo alle oscillazioni di livello può inoltre derivare da variazioni della pressione atmosferica. E' noto, infatti, che un abbassamento barico di 1 mb rispetto al valore normale (1013 mb) produce un innalzamento di circa 1 cm del livello marino e viceversa. La marea meteorologica è composta, oltre che dal dislivello barico descritto, anche dal cosiddetto sovrizzo da vento dovuto all'accumulo di acqua sottocosta per azione dei venti foranei permanenti.

Nel caso in esame ci si è avvalsi dei dati mareografici derivati da due stazioni di misura: la prima è ancora la stazione ADCP al largo della centrale Enel descritta al paragrafo 2.2 e già utilizzata per le misure di onde e correnti; la seconda è la stazione di Civitavecchia delle Rete Mareografica Nazionale, RMN (Rif. 8). I risultati sintetici delle analisi dei dati riferiti alle due stazioni sono riassunti in Tabella 17, mentre la Figura 27 pone a confronto le oscillazioni registrate nell'estate dell'anno 2011.

Tabella 17 Massimi e minimi (non necessariamente consecutivi) annuali delle oscillazioni del livello marino registrati alla stazione delle RMN di Civitavecchia e alla stazione ADCP al largo della centrale di Torrevaldaliga Nord. Periodo 2009-2015.

Rete Mareografica Nazionale (stazione di Civitavecchia)								
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	media
MAX livello (m slm)		0.64	0.45	0.65	0.54	0.51	0.51	0.55
MIN livello (m slm)		-0.22	-0.22	-0.21	-0.22	-0.21	-0.23	-0.22

stazione ADCP di Torrevaldaliga Nord								
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	media
MAX livello (m slm)	0.42	0.38	0.31	0.29	0.17	0.33	0.31	0.32
MIN livello (m slm)	-0.37	-0.42	-0.28	-0.38	-0.17	-0.35	-0.40	-0.34

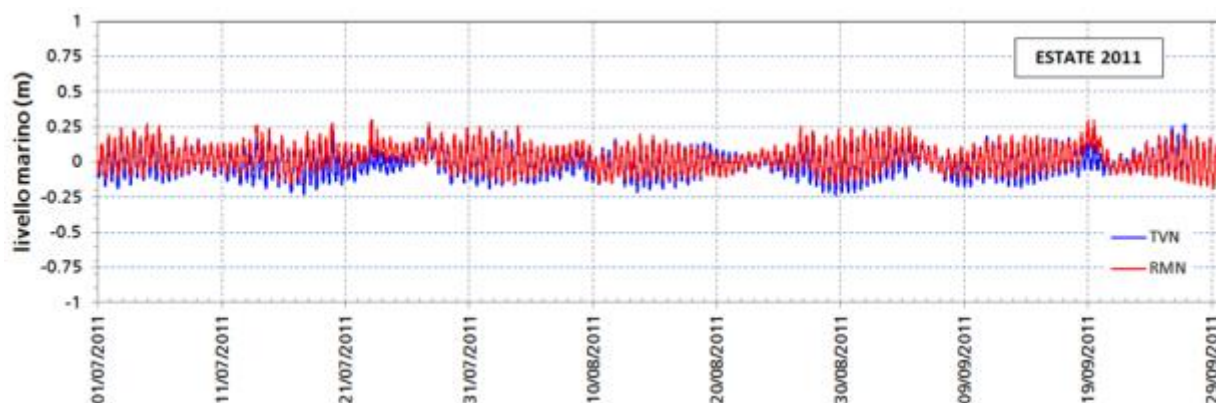


Figura 27 Oscillazioni del livello marino registrate nell'estate 2011 alla stazione di Civitavecchia della Rete Mareografica Nazionale e alla stazione ADCP al largo della centrale Enel (TVN).

2.6 Il vento

L'analisi anemologica in prossimità del sito è stata condotta con riferimento alle osservazioni pluriennali della direzione e della velocità del vento registrate alla stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord. La stazione è collocata a terra³ a circa 100 m dalla riva in prossimità dell'estremo Sud dell'impianto di acquacoltura, come illustrato nell'immagine a sinistra della Figura 28. La quota di misura è pari a 10 m.

L'elaborazione dei dati raccolti tra il 2009 e il 2016 ha consentito di ricavare le caratteristiche del vento medio nel punto di misura, rispettivamente illustrate nella Tabella 18 e nella Figura 28, per i dati annuali, e dalla Tabella 19 alla Tabella 22 e dalla Figura 29 alla Figura 32 per i dati stagionali.

Le tabelle contengono la distribuzione percentuale della direzione di provenienza del vento suddivisa per settori sul totale dei dati disponibili. Le calme, per le quali non ha significato fisico parlare di direzione di provenienza, sono individuate da valori di velocità inferiori a 0.5 m/s e si sono presentate con frequenza assai limitata (nell'anno medio poco più di una giornata, corrispondente a circa 0.34%). L'analisi delle tabelle e delle figure evidenzia quanto segue:

- le maggiori frequenze di accadimento sono associate alle direzioni di provenienza da NNE, da NE, da SE e da S; tale tendenza è riscontrabile sia nel clima annuale, sia in quelli stagionali con l'eccezione del vento autunnale in cui la componente da Sud appare fortemente ridimensionata;
- in particolare i venti regnanti, ossia quelli più frequenti, provengono da NE nell'anno medio (oltre il 16% pari a quasi 60 giorni l'anno), in inverno (quasi 18% dei tre mesi invernali), in estate (quasi il 15% del periodo estivo) e in autunno (oltre il 19% del periodo); in primavera, invece, i venti più frequenti soffiano da Sud con una frequenza di quasi il 15% sul periodo;
- per quanto concerne l'intensità dei venti, le direzioni da cui provengono con maggiore frequenza i venti più intensi (>5.5 m/s) sono associate a Sud Est e a Nord Est; l'intensità è peraltro contenuta tanto che per oltre il 72 % dell'anno medio (circa 263 giorni l'anno) si sono registrati venti classificati nel regime delle brezze (scala Beaufort), mentre per poco più del 10 % del tempo (circa 38 giorni l'anno) le velocità si sono mantenute superiori a 5.5 m/s.

³ La postazione di misura potrebbe risentire degli effetti di schermatura indotti dalle opere presenti in sua prossimità.

Tabella 18 Stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord. Distribuzione annuale (%) della direzione del vento (medie orarie a 10 m di quota). Periodo di osservazione maggio 2009 – aprile 2016

16 SETTORI [°N]			CLASSI di velocità [m/s]							TOT
DIR	da	a	CAL	0.5≤u<1.5	1.5≤u<3.5	3.5≤u<5.5	5.5≤u<8	8≤u<11	u≥11	
N	348.75	11.25	-	0.57%	1.15%	0.46%	0.14%	0.01%	0.00%	2.33%
NNE	11.25	33.75	-	1.14%	5.04%	3.34%	1.63%	0.23%	0.01%	11.37%
NE	33.75	56.25	-	2.03%	9.55%	3.25%	1.23%	0.17%	0.03%	16.26%
ENE	56.25	78.75	-	2.79%	3.63%	0.06%	0.00%	0.00%	0.00%	6.49%
E	78.75	101.25	-	2.59%	0.84%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	3.46%
ESE	101.25	123.75	-	2.10%	2.82%	0.63%	0.10%	0.01%	0.00%	5.67%
SE	123.75	146.25	-	0.85%	4.08%	4.76%	2.56%	0.28%	0.01%	12.53%
SSE	146.25	168.75	-	0.33%	1.41%	0.97%	0.19%	0.01%	0.00%	2.92%
S	168.75	191.25	-	0.45%	4.96%	4.61%	0.84%	0.06%	0.03%	10.94%
SSO	191.25	213.75	-	0.50%	3.19%	1.34%	0.60%	0.13%	0.13%	5.88%
SO	213.75	236.25	-	0.57%	2.07%	0.91%	0.69%	0.13%	0.01%	4.38%
OSO	236.25	258.75	-	0.59%	2.70%	0.61%	0.32%	0.18%	0.02%	4.42%
O	258.75	281.25	-	0.50%	2.45%	0.89%	0.15%	0.03%	0.00%	4.03%
ONO	281.25	303.75	-	0.49%	2.21%	0.98%	0.23%	0.04%	0.01%	3.96%
NO	303.75	326.25	-	0.46%	1.30%	0.46%	0.11%	0.01%	0.00%	2.33%
NNO	326.25	348.75	-	0.40%	0.96%	0.29%	0.07%	0.01%	0.00%	1.73%
VAR			-	0.66%	0.27%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	0.95%
CALM			0.34%	-	-	-	-	-	-	0.34%
TOT			0.34%	17.04%	48.62%	23.60%	8.86%	1.29%	0.25%	100.00%

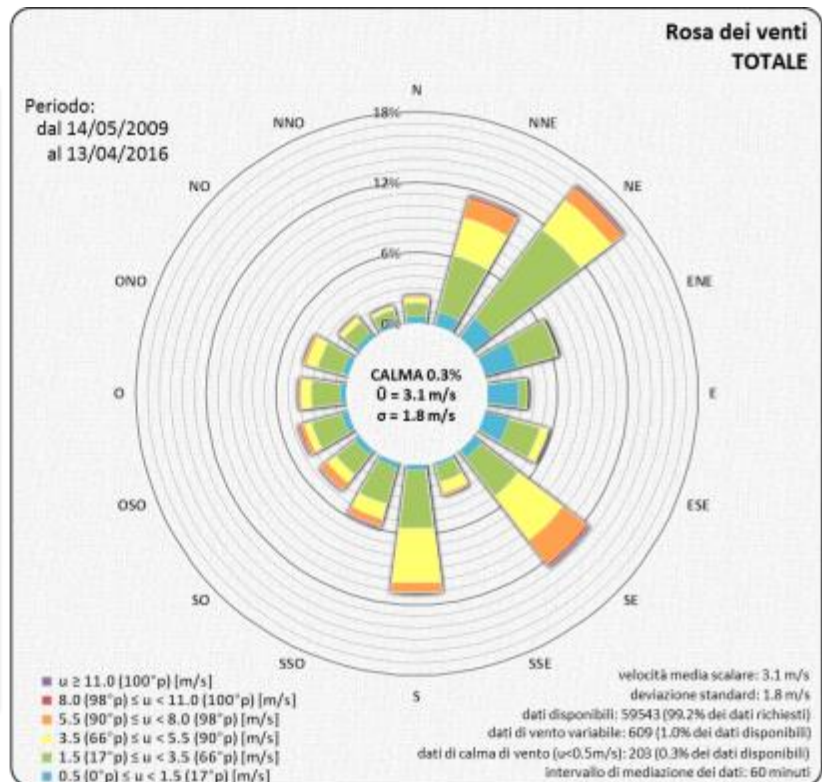


Figura 28 Diagramma polare di frequenza annuale (ANNO MEDIO) del vento ricavato dai dati di Tabella 18. Dati della stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord (ubicazione della stazione nella figura a sinistra, da Rif. 1).

Tabella 19 Stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord. Distribuzione invernale (%) della direzione del vento (medie orarie a 10 m di quota). Periodo di osservazione gennaio 2010 – marzo 2016

16 SETTORI [°N]			CLASSI di velocità [m/s]							TOT
ID	da	a	CAL	0.5≤u<1.5	1.5≤u<3.5	3.5≤u<5.5	5.5≤u<8	8≤u<11	u≥11	
N	348.75	11.25	-	0.41%	1.57%	0.70%	0.30%	0.01%	0.00%	2.99%
NNE	11.25	33.75	-	0.84%	5.82%	4.72%	3.17%	0.59%	0.01%	15.15%
NE	33.75	56.25	-	1.33%	9.42%	4.02%	2.74%	0.33%	0.01%	17.86%
ENE	56.25	78.75	-	2.03%	3.49%	0.07%	0.01%	0.00%	0.00%	5.59%
E	78.75	101.25	-	2.13%	1.23%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	3.38%
ESE	101.25	123.75	-	2.06%	3.73%	1.10%	0.18%	0.01%	0.00%	7.09%
SE	123.75	146.25	-	0.83%	4.95%	5.93%	3.61%	0.57%	0.03%	15.92%
SSE	146.25	168.75	-	0.24%	1.50%	1.29%	0.27%	0.03%	0.00%	3.33%
S	168.75	191.25	-	0.26%	3.31%	3.15%	0.91%	0.03%	0.00%	7.67%
SSO	191.25	213.75	-	0.27%	2.07%	1.35%	0.79%	0.10%	0.00%	4.59%
SO	213.75	236.25	-	0.27%	1.31%	0.90%	0.83%	0.15%	0.00%	3.47%
OSO	236.25	258.75	-	0.33%	1.19%	0.39%	0.34%	0.22%	0.04%	2.51%
O	258.75	281.25	-	0.30%	1.27%	0.36%	0.16%	0.07%	0.01%	2.15%
ONO	281.25	303.75	-	0.29%	1.53%	0.75%	0.30%	0.04%	0.00%	2.91%
NO	303.75	326.25	-	0.28%	1.18%	0.72%	0.16%	0.01%	0.01%	2.35%
NNO	326.25	348.75	-	0.30%	1.18%	0.43%	0.12%	0.00%	0.00%	2.04%
VAR			-	0.51%	0.24%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.77%
CALM			0.22%	-	-	-	-	-	-	0.22%
TOT			0.22%	12.69%	45.00%	25.94%	13.89%	2.15%	0.11%	100.00%

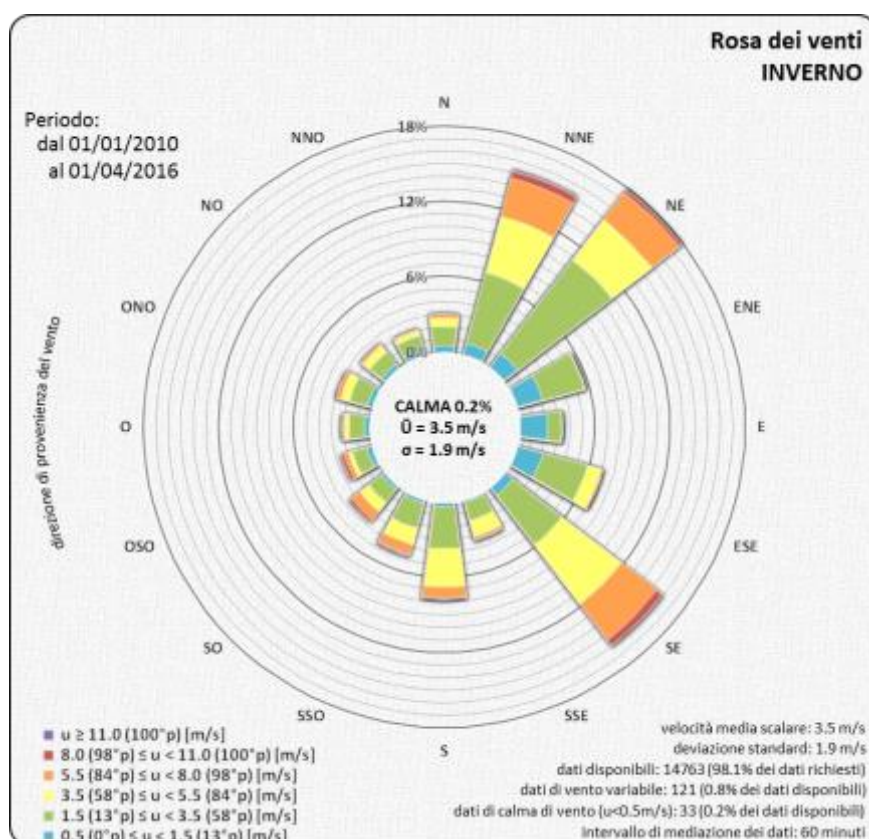


Figura 29 Diagramma polare di frequenza invernale del vento ricavato dai dati di Tabella 19. Dati della stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord.

Tabella 20 Stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord. Distribuzione primaverile (%) della direzione del vento (medie orarie a 10 m di quota). Periodo di osservazione maggio 2009 – aprile 2016

16 SETTORI [°N]			CLASSI di velocità [m/s]							TOT
ID	da	a	CAL	0.5≤u<1.5	1.5≤u<3.5	3.5≤u<5.5	5.5≤u<8	8≤u<11	u≥11	
N	348.75	11.25	-	0.78%	1.12%	0.34%	0.08%	0.01%	0.00%	2.33%
NNE	11.25	33.75	-	1.23%	5.00%	2.11%	0.73%	0.13%	0.01%	9.20%
NE	33.75	56.25	-	2.52%	8.41%	1.63%	0.34%	0.04%	0.00%	12.94%
ENE	56.25	78.75	-	2.99%	2.25%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	5.29%
E	78.75	101.25	-	2.52%	0.54%	0.03%	0.00%	0.00%	0.00%	3.09%
ESE	101.25	123.75	-	1.99%	1.90%	0.20%	0.03%	0.01%	0.01%	4.14%
SE	123.75	146.25	-	0.85%	3.37%	4.19%	1.20%	0.04%	0.00%	9.64%
SSE	146.25	168.75	-	0.37%	1.67%	1.25%	0.19%	0.00%	0.00%	3.47%
S	168.75	191.25	-	0.65%	6.55%	6.45%	0.83%	0.00%	0.00%	14.49%
SSO	191.25	213.75	-	0.78%	4.36%	1.30%	0.11%	0.02%	0.00%	6.57%
SO	213.75	236.25	-	0.88%	2.41%	0.94%	0.32%	0.11%	0.00%	4.66%
OSO	236.25	258.75	-	0.84%	3.46%	0.75%	0.32%	0.16%	0.01%	5.53%
O	258.75	281.25	-	0.75%	3.34%	1.61%	0.26%	0.01%	0.00%	5.97%
ONO	281.25	303.75	-	0.63%	3.30%	1.68%	0.34%	0.01%	0.02%	5.98%
NO	303.75	326.25	-	0.60%	1.73%	0.51%	0.06%	0.01%	0.00%	2.92%
NNO	326.25	348.75	-	0.47%	1.17%	0.27%	0.08%	0.02%	0.00%	2.02%
VAR			-	0.94%	0.26%	0.02%	0.01%	0.00%	0.00%	1.23%
CALM			0.52%	-	-	-	-	-	-	0.52%
TOT			0.52%	19.77%	50.86%	23.31%	4.92%	0.58%	0.04%	100.00%

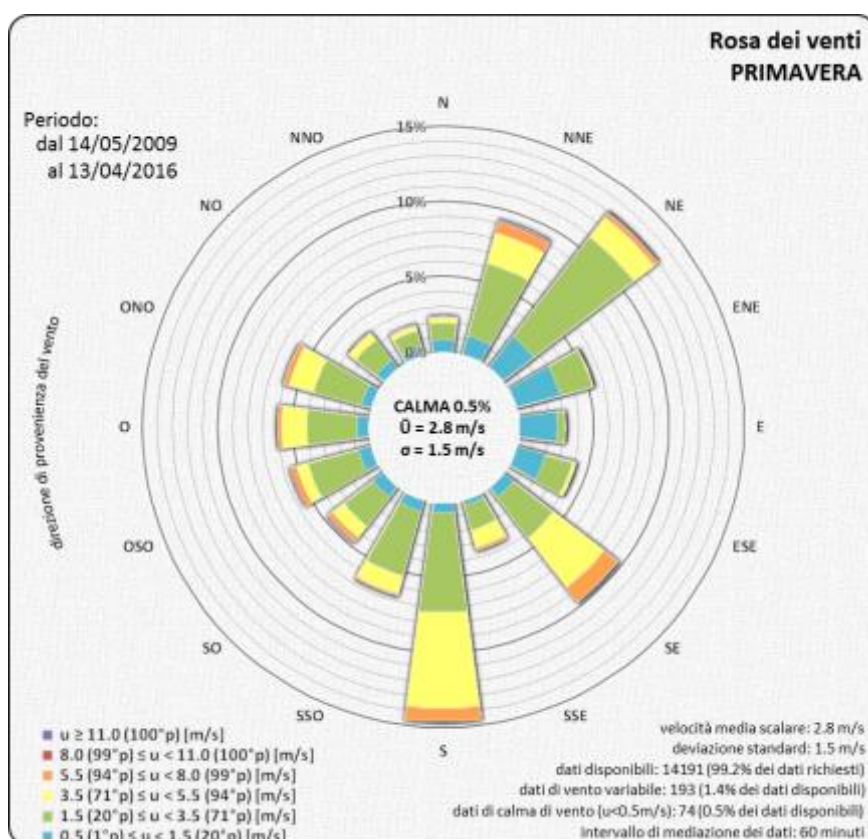


Figura 30 Diagramma polare di frequenza primaverile del vento ricavato dai dati di Tabella 20. Dati della stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord.

Tabella 21 Stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord. Distribuzione estiva (%) della direzione del vento (medie orarie a 10 m di quota). Periodo di osservazione luglio 2009 – settembre 2015

16 SETTORI [°N]			CLASSI di velocità [m/s]							TOT
ID	da	a	CAL	0.5≤u<1.5	1.5≤u<3.5	3.5≤u<5.5	5.5≤u<8	8≤u<11	u≥11	
N	348.75	11.25	-	0.57%	0.93%	0.23%	0.09%	0.00%	0.00%	1.81%
NNE	11.25	33.75	-	1.49%	4.17%	2.24%	0.51%	0.00%	0.00%	8.41%
NE	33.75	56.25	-	2.97%	9.01%	2.57%	0.40%	0.01%	0.00%	14.96%
ENE	56.25	78.75	-	3.53%	3.18%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	6.76%
E	78.75	101.25	-	3.12%	0.48%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	3.62%
ESE	101.25	123.75	-	1.85%	1.74%	0.16%	0.02%	0.00%	0.00%	3.77%
SE	123.75	146.25	-	0.83%	2.90%	2.66%	0.95%	0.08%	0.00%	7.41%
SSE	146.25	168.75	-	0.47%	1.49%	0.80%	0.05%	0.00%	0.00%	2.80%
S	168.75	191.25	-	0.61%	6.90%	6.20%	0.68%	0.00%	0.12%	14.51%
SSO	191.25	213.75	-	0.63%	4.73%	1.30%	0.24%	0.05%	0.49%	7.43%
SO	213.75	236.25	-	0.86%	3.31%	0.47%	0.29%	0.02%	0.05%	5.01%
OSO	236.25	258.75	-	0.85%	4.93%	0.90%	0.24%	0.06%	0.00%	6.98%
O	258.75	281.25	-	0.63%	4.27%	1.42%	0.10%	0.00%	0.00%	6.42%
ONO	281.25	303.75	-	0.70%	2.83%	1.23%	0.23%	0.01%	0.00%	5.00%
NO	303.75	326.25	-	0.61%	1.25%	0.35%	0.03%	0.01%	0.00%	2.26%
NNO	326.25	348.75	-	0.43%	0.65%	0.21%	0.07%	0.00%	0.00%	1.36%
VAR			-	0.74%	0.34%	0.04%	0.01%	0.00%	0.00%	1.13%
CALM			0.36%	-	-	-	-	-	-	0.36%
TOT			0.36%	20.89%	53.11%	20.83%	3.91%	0.23%	0.66%	100.00%

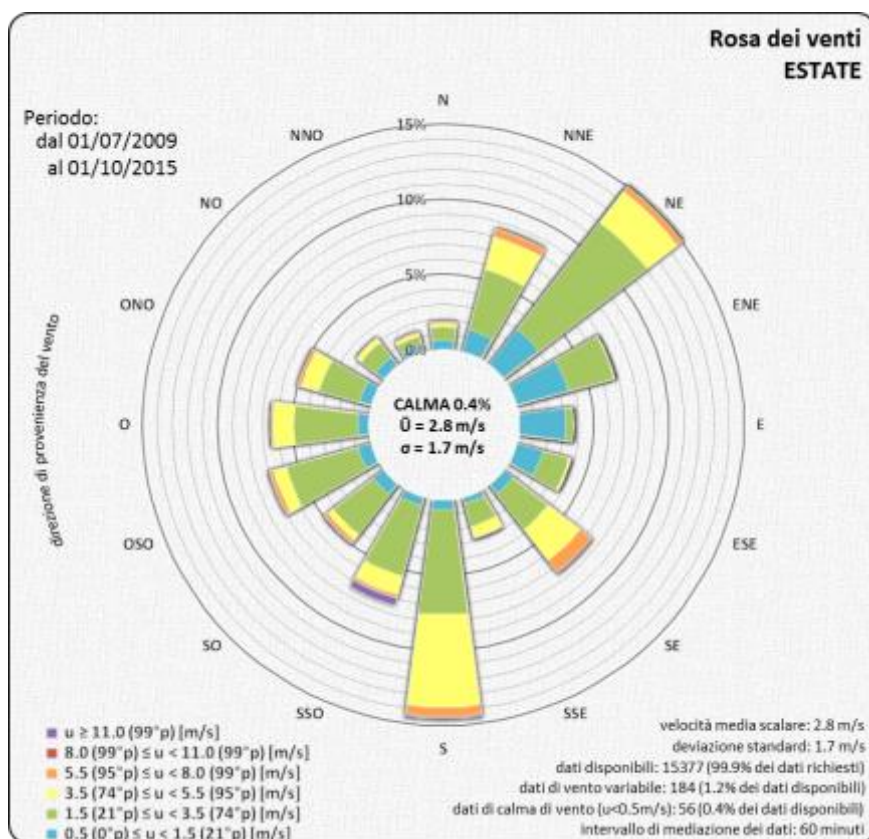


Figura 31 Diagramma polare di frequenza estiva del vento ricavato dai dati di Tabella 21. Dati della stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord.

Tabella 22 Stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord. Distribuzione autunnale (%) della direzione del vento (medie orarie a 10 m di quota). Periodo di osservazione ottobre 2009 – dicembre 2015

16 SETTORI [°N]			CLASSI di velocità [m/s]							TOT
ID	da	a	CAL	0.5≤u<1.5	1.5≤u<3.5	3.5≤u<5.5	5.5≤u<8	8≤u<11	u≥11	
N	348.75	11.25	-	0.55%	0.98%	0.57%	0.09%	0.01%	0.00%	2.20%
NNE	11.25	33.75	-	0.97%	5.19%	4.25%	2.09%	0.22%	0.00%	12.71%
NE	33.75	56.25	-	1.31%	11.27%	4.71%	1.43%	0.31%	0.09%	19.12%
ENE	56.25	78.75	-	2.61%	5.51%	0.09%	0.00%	0.00%	0.00%	8.21%
E	78.75	101.25	-	2.57%	1.12%	0.05%	0.00%	0.00%	0.00%	3.73%
ESE	101.25	123.75	-	2.50%	3.89%	1.06%	0.16%	0.03%	0.00%	7.64%
SE	123.75	146.25	-	0.91%	5.08%	6.28%	4.42%	0.41%	0.00%	17.10%
SSE	146.25	168.75	-	0.26%	1.01%	0.57%	0.27%	0.03%	0.00%	2.12%
S	168.75	191.25	-	0.29%	3.10%	2.71%	0.93%	0.18%	0.00%	7.21%
SSO	191.25	213.75	-	0.32%	1.61%	1.39%	1.23%	0.34%	0.01%	4.90%
SO	213.75	236.25	-	0.29%	1.24%	1.31%	1.30%	0.24%	0.00%	4.38%
OSO	236.25	258.75	-	0.35%	1.19%	0.40%	0.39%	0.30%	0.03%	2.66%
O	258.75	281.25	-	0.35%	0.93%	0.18%	0.10%	0.04%	0.01%	1.61%
ONO	281.25	303.75	-	0.35%	1.24%	0.30%	0.07%	0.09%	0.00%	2.05%
NO	303.75	326.25	-	0.35%	1.05%	0.26%	0.18%	0.01%	0.00%	1.85%
NNO	326.25	348.75	-	0.41%	0.88%	0.26%	0.01%	0.00%	0.00%	1.55%
VAR			-	0.45%	0.22%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	0.69%
CALM			0.26%	-	-	-	-	-	-	0.26%
TOT			0.26%	14.84%	45.49%	24.40%	12.67%	2.20%	0.14%	100.00%

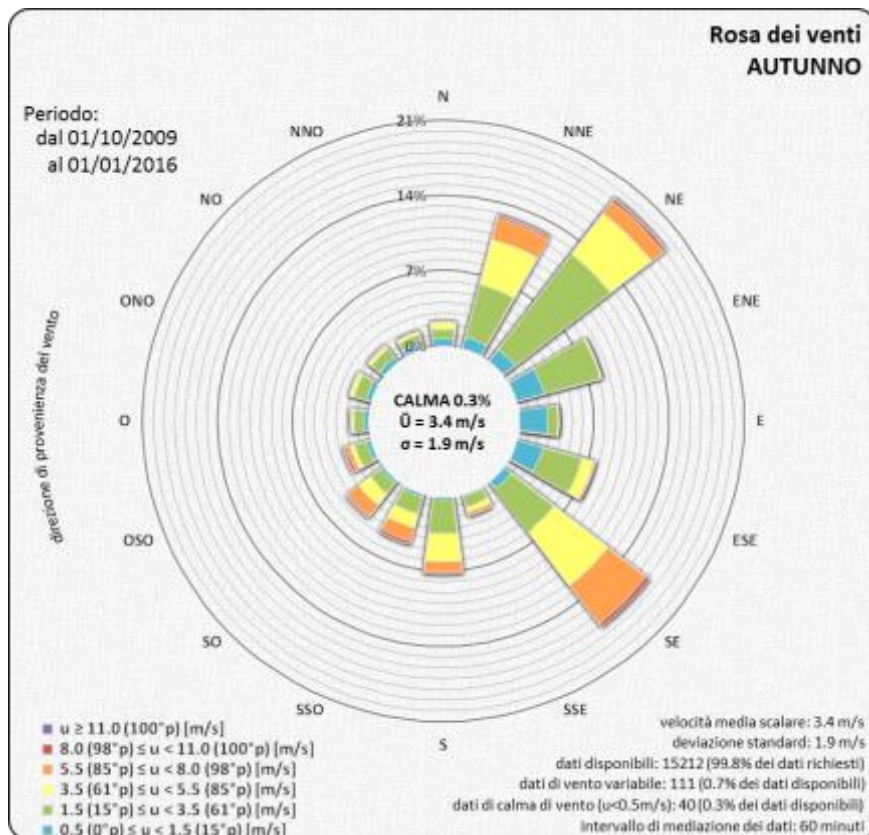


Figura 32 Diagramma polare di frequenza autunnale del vento ricavato dai dati di Tabella 22. Dati della stazione anemometrica della centrale di Torrevaldaliga Nord.

3 STIMA DEGLI IMPATTI

3.1 Introduzione

Attraverso l'applicazione di opportuna modellistica numerica lo studio ha inteso valutare l'impatto ambientale prodotto dall'impianto di acquacoltura in progetto ipotizzato operativo in due possibili assetti:

1. *offshore*, con ipotesi di funzionamento 100%,
2. combinato *offshore – inshore*, con ipotesi di funzionamento 100% *offshore* e 50% *inshore*.

Al fine di valutare gli eventuali miglioramenti introdotti dal futuro impianto di acquacoltura *offshore* si è proceduto al confronto degli impatti da esso indotti, nei due assetti ipotizzati, con quelli ricavati per l'impianto attualmente esistente a riva (*inshore*) supposto funzionante al 100%.

Il codice di calcolo utilizzato, MIKE 3 del DHI, *Danish Hydraulic Institute* (Rif. 9, Rif. 10) è un codice che simula le correnti a pelo libero con dettaglio tridimensionale. E' utilizzabile per lo studio di flussi e correnti, per il trasporto di sedimenti coesivi e non, oltre che per la qualità delle acque e per l'ecologia in fiumi, laghi, baie e, come nel caso in esame, in aree costiere e mare aperto. Nello specifico è stato implementato il modulo HD (idrodinamico) per la rappresentazione tridimensionale di flussi e correnti e del trasporto del calore.

L'approccio tridimensionale al problema è derivato dalla complessità del sistema e delle variabili in gioco, e dalla conseguente necessità di simulare le correnti e la dispersione da esse operata delle sostanze rilasciate dagli allevamenti ittici (principalmente materiale organico sospeso originato da materiale fecale e da cataboliti, oltre che da residui di mangime non consumato) in tutte le componenti direzionali, tenendo conto anche dei gradienti di densità dovuti alla variabile temperatura dell'acqua nei diversi punti di calcolo.

Si descrivono nel seguito le principali caratteristiche del modello di calcolo e delle principali forzanti ambientali che saranno fornite in ingresso ad esso.

3.2 Il modello numerico di simulazione

MIKE 3 (Rif. 9) simula correnti con schema tridimensionale ed è applicabile ad ambienti fluviali e marini. Il modulo di calcolo principale, denominato **MIKE 3 HD** (*HydroDynamic*), risolve le equazioni idrodinamiche e, usato nella versione *Flexible Mesh* (FM) ai volumi finiti, consente di adottare una risoluzione spaziale variabile in funzione delle diverse aree di studio.

Il modulo idrodinamico (HD) simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate e può essere utilizzato per la rappresentazione delle correnti a pelo libero. Esso costituisce inoltre la base per altri moduli disponibili per MIKE 3 (per esempio il modulo di qualità delle acque).

Incognite del sistema di equazioni idrodinamiche per ogni elemento di calcolo sono le tre componenti di velocità e il livello idrometrico.

Il sistema modellistico si basa sulla soluzione numerica delle equazioni dei Navier- Stokes (*Reynolds Averaged Navier-Stokes equations*). Il modello risolve le equazioni di continuità, momento, energia (temperatura), concentrazione (salinità) con schema di chiusura turbolenta. La densità non dipende dalla pressione ma solo dai gradienti di temperatura e salinità.

La versione FM utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio spaziale è discretizzato tramite la suddivisione del continuo in elementi/celle non sovrapposte.

L'area oggetto di studio è stata schematizzata all'interno del modello tridimensionale MIKE 3 FM mediante una griglia di calcolo (*mesh*) a maglie triangolari. Ad ogni cella del dominio è stata associata una quota del fondo interpolata sulla base dei dati batimetrici disponibili. Il confine *inshore* dell'area di calcolo coincide con la linea di riva nel tratto compreso tra il porto commerciale di Civitavecchia, a Sud, e le opere di difesa costiera esistenti circa due chilometri a Nord della foce del fiume Mignone. L'estensione in direzione trasversale alla costa è mediamente pari a circa 5.5 km.

La terza dimensione è discretizzata nel modello mediante strati a spessore variabile con una discretizzazione di tipo *sigma* nella parte superficiale per seguire in maggiore dettaglio la diminuzione dei fondali sottocosta, e una di tipo *z-level* in quella più profonda (Figura 33).

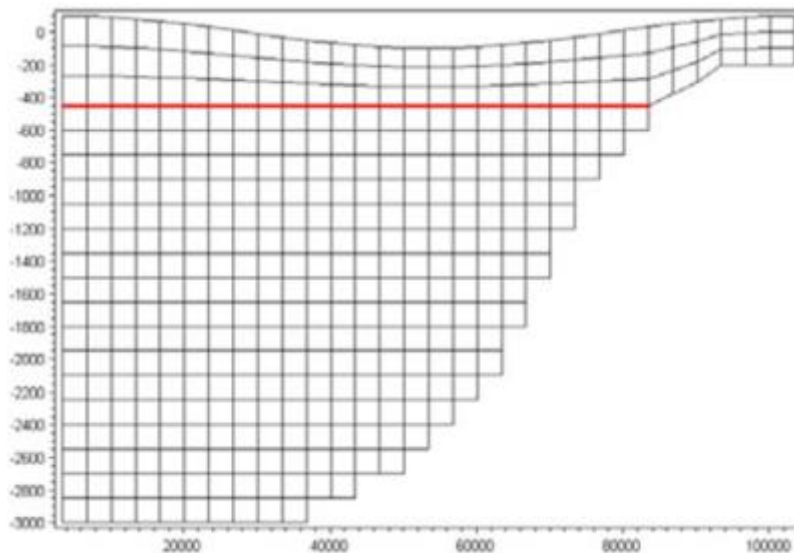


Figura 33 Discretizzazione verticale a strati (*combined sigma & z-level mesh*, Rif. 11)

MIKE 3 HD è in grado di considerare i gradienti di densità dell'acqua che derivano dalla distribuzione non uniforme della salinità e della temperatura del volume d'acqua compreso nel dominio di calcolo.

I gradienti di densità indotti, nello studio in oggetto, dallo scarico della centrale oltre che dagli scarichi reflui dell'impianto di allevamento ittico a terra e in mare, sono in grado di modificare i campi di corrente che, a loro volta, agiscono sulla dispersione della componente termica.

Il modulo TR (*Transport*) di MIKE3 consente di simulare il trasporto e la dispersione di soluti non reagenti, eventualmente caratterizzati da decadimento e sorgenti di produzione. Ogni soluto richiederà la risoluzione di una specifica equazione di trasporto che ne determinerà la concentrazione sull'intero dominio di calcolo ad ogni istante.

3.3 Dati e forzanti ambientali

3.3.1 Premessa

La dispersione in mare delle sostanze rilasciate dagli allevamenti ittici o da qualsiasi altro scarico è condizionata sia dalla modalità e dalle caratteristiche del rilascio, sia dalle condizioni idrauliche del corpo idrico ricevente. Attraverso la raccolta e l'analisi dei dati caratteristici del sito e degli impianti da cui provengono gli scarichi a mare, è dunque necessario individuare le condizioni di simulazione più adatte allo scopo dello studio.

La raccolta e l'analisi dei dati fa riferimento alle seguenti tipologie di:

- dati riguardanti la configurazione dei corpi idrici: batimetria e opere eventualmente presenti (nello specifico, per esempio, opere portuali, ecc.);
- dati relativi al corpo idrico interferito dagli scarichi;
- dati meteorologici dell'area;
- dati geometrici di impianto, relativi alle dimensioni e alla posizione delle reti del nuovo impianto di maricoltura *offshore* e degli scarichi dell'impianto esistente *inshore*, oltre che delle opere di scarico delle acque di raffreddamento della centrale di Torrevaldaliga Nord;
- dati di esercizio degli impianti da cui provengono i reflui necessari per la quantificazione degli stessi.

Nel presente capitolo si analizzeranno in dettaglio le diverse tipologie di dati allo scopo di definire correttamente gli scenari di analisi. Si è fatto riferimento a condizioni di simulazione estive ritenute più critiche per la natura della verifica in oggetto volta all'analisi della concentrazione di nutrienti nell'area del previsto nuovo impianto *offshore* per l'analisi degli eventuali impatti sull'ambiente marino e, in particolare, sulle aree protette (SIC IT6000005 e SIC IT6000004) che si sviluppano a Nord e a Est del nuovo impianto.

3.3.2 Batimetria dell'area

Il modello matematico tridimensionale implementato nel codice MIKE 3 del DHI (*Danish Hydraulic Institute*) nella versione *Flexible Mesh* utilizza un reticolo di calcolo a maglia triangolare; ad ogni cella del dominio è associata una quota del fondo interpolata sulla base dei dati topo - batimetrici disponibili. Il punto di partenza per la predisposizione del reticolo di calcolo è, dunque, la ricostruzione degli andamenti della batimetria dell'area e della topografia costiera (linea di costa).

Per la definizione dell'andamento batimetrico delle aree interessate ci si è avvalsi dei dati forniti dall'Istituto Idrografico della Marina, IIM (Rif. 12). Nello specifico circa il 30% dell'area è risultata coperta da rilievi *multibeam* (a migliore risoluzione) e il restante 70% da dati *single beam*. La Tabella 23 e la Figura 34 descrivono le caratteristiche dei dati batimetrici forniti dall'IIM per l'area in esame. La linea di costa è stata fornita in due versioni: la prima calcolata coerentemente con i dati batimetrici elaborati e la seconda aggiornata in base ai lavori svolti dall'anno dei rilievi a oggi. I lavori si riferiscono, in particolare, all'avanzamento della linea di riva a Nord del porto commerciale di Civitavecchia (Figura 35).

L'insieme delle informazioni raccolte ha consentito di ricostruire con una buona approssimazione l'intero fondale all'interno del dominio di calcolo prescelto; la batimetria risultante è riportata in Figura 36.

Tabella 23 Classificazione dei dati batimetrici forniti dall'IIM (Rif. 12)

ID rilievo	TECSOUND	Scala	Anno
8440-1	found by echo-sounder	50000	1979
8446	found by echo-sounder	25000	1979
8473-2	found by echo-sounder	25000	1982
7397-3	found by echo-sounder	20000	1956
7397-1	found by echo-sounder	10000	1956
9015-2	found by echo-sounder	10000	2007
9005	found by multi-beam	10000	2006

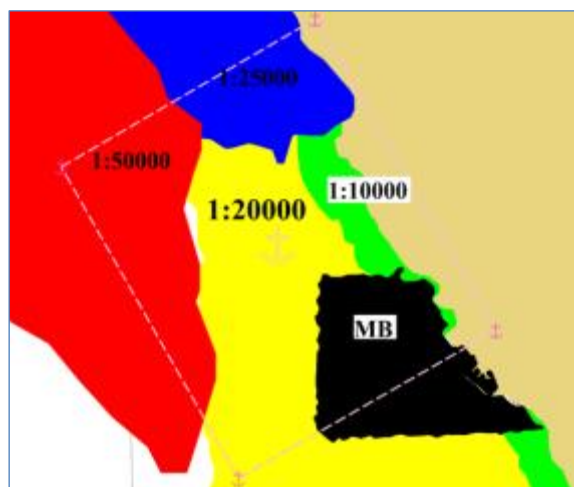


Figura 34 Indice grafico dei rilievi batimetrici condotti nell'area in esame (da Rif. 12)



Figura 35 Linea di costa aggiornata nell'area del porto di Civitavecchia a Sud del sito in esame (immagine da Rif. 2 e linee da Rif. 12)

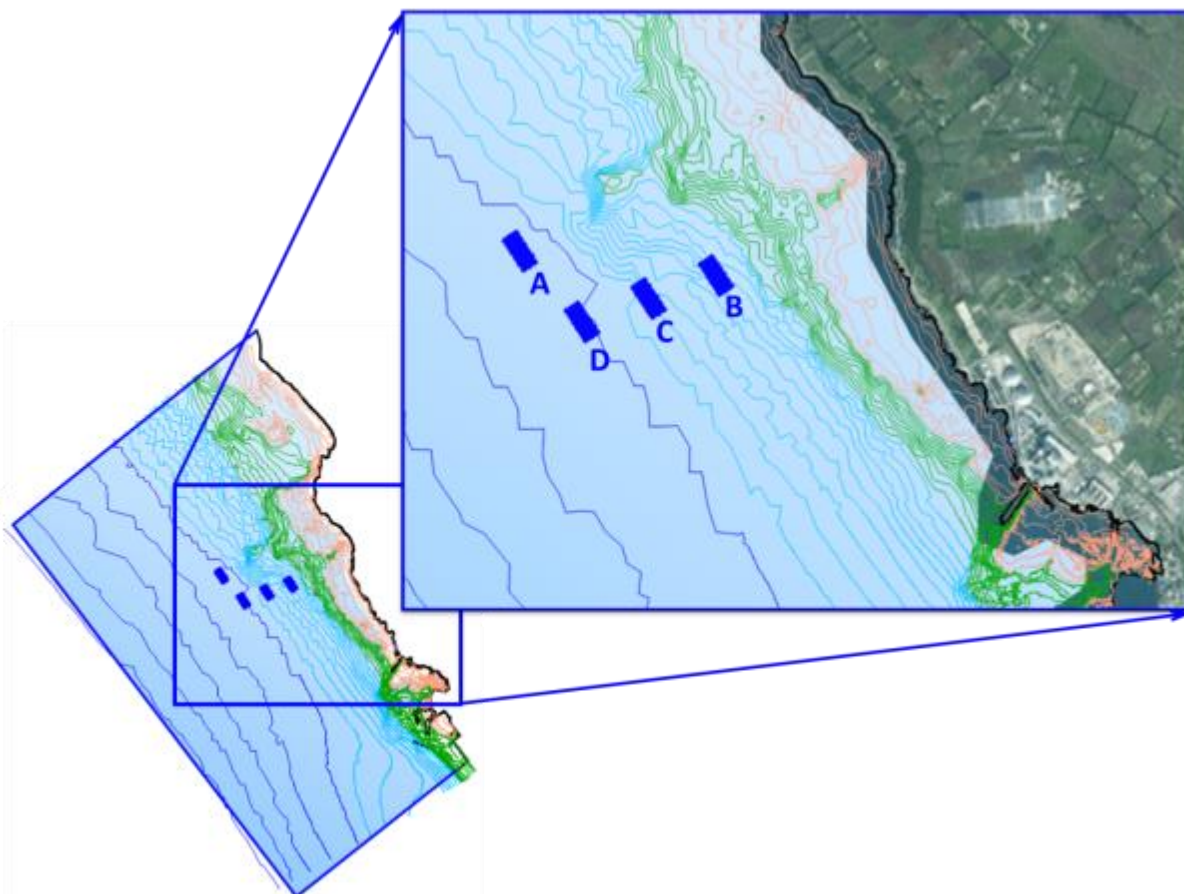


Figura 36 Delimitazione del dominio di calcolo (in basso a sinistra) ed andamento batimetrico dell'area (generale e, in alto a destra, di dettaglio con indicazione dei quattro moduli offshore) (da Rif. 12)

3.3.3 Dati inerenti il corpo idrico ricevente

3.3.3.1 Temperatura, salinità, livello e corrente marina

La **temperatura** indisturbata del mare nell'area in esame è stata analizzata con riferimento alle misure della stazione di Civitavecchia appartenente alla Rete Mareografica Nazionale (RMN, Rif. 8) già utilizzata per l'analisi del livello del mare di cui al precedente paragrafo 2.5. La Figura 37 mostra la localizzazione della stazione (in prossimità della Calata della Rocca nel porto di Civitavecchia) e le temperature misurate dal 2010 al giugno dell'anno corrente. Si tratta di misure sufficientemente prolungate della temperatura che, pur riferendosi ad un punto fisso di un'area piuttosto confinata all'interno del porto di Civitavecchia, hanno consentito di ricavare la statistica stagionale contenuta in Tabella 24.

Tabella 24 Statistica stagionale delle temperature (°C) misurate alla stazione RMN di Civitavecchia (Rif. 8)

	inverno	primavera	estate	autunno
MAX	19.4	21.7	23.2	22.5
MIN	9.7	15.7	19	15.1
MEDIA	17.2	18.1	21.2	20.3

Un confronto con le temperature dell'acqua di raffreddamento misurate in ingresso ai gruppi della centrale di Torrevaldaliga Nord negli anni 2010 e 2011 ha dato risultati comparabili, coerentemente con la localizzazione delle bocche dei torrini di presa della centrale (profondità di presa compresa tra -8.5 e -13 m dal l.m.m.).



Figura 37 Posizione della stazione di Civitavecchia della Rete Mareografica Nazionale, RMN (in alto) e temperatura dell'acqua di mare misurata tra il 2010 e il giugno del 2016 (in basso) (da Rif. 8)

Il codice di calcolo tridimensionale utilizzato consente di definire la temperatura del corpo idrico alle diverse profondità del dominio di calcolo simulato. In sostanza, previa disponibilità di misure sito-specifiche, il codice consente di fornire dei profili per caratterizzare la temperatura del corpo idrico. Nel caso specifico ci si è potuti avvalere delle campagne di misura eseguite nell'ambito del Piano di Monitoraggio del tratto di mare antistante la Centrale di Torrevaldaliga Nord prescritto dal Decreto di Autorizzazione alla conversione a carbone dell'impianto emesso dal Ministero dello Sviluppo Economico 55/02/2003 del 24.12.2003. L'attuazione del Piano consentì la valutazione di una serie di parametri (tra cui la temperatura) in grado di evidenziare nel tempo, grazie a confronti pre e post conversione dell'impianto, eventuali alterazioni ambientali dovute alla presenza dello scarico delle acque di raffreddamento dei condensatori.

Per la definizione dei profili sono state quindi utilizzate le temperature misurate il 26 luglio 2011 nei punti di prelievo localizzati lungo quattro transetti che rientrano nell'area in esame (Figura 38) a tre diverse distanze dalla costa (500, 1000 e 2000 m). In particolare sono stati considerati i tre profili (nei punti A1, A2 e A3) del transetto più a Nord tra i quattro disponibili in considerazione della vicinanza alle reti dell'impianto offshore (che dista circa 1 km).

Peraltro dall'analisi dei profili emerge che i valori di temperatura sono generalmente omogenei per tutti i quattro transetti esaminati lungo la costa evidenziando una stratificazione termica verticale coerente con la stagione estiva.

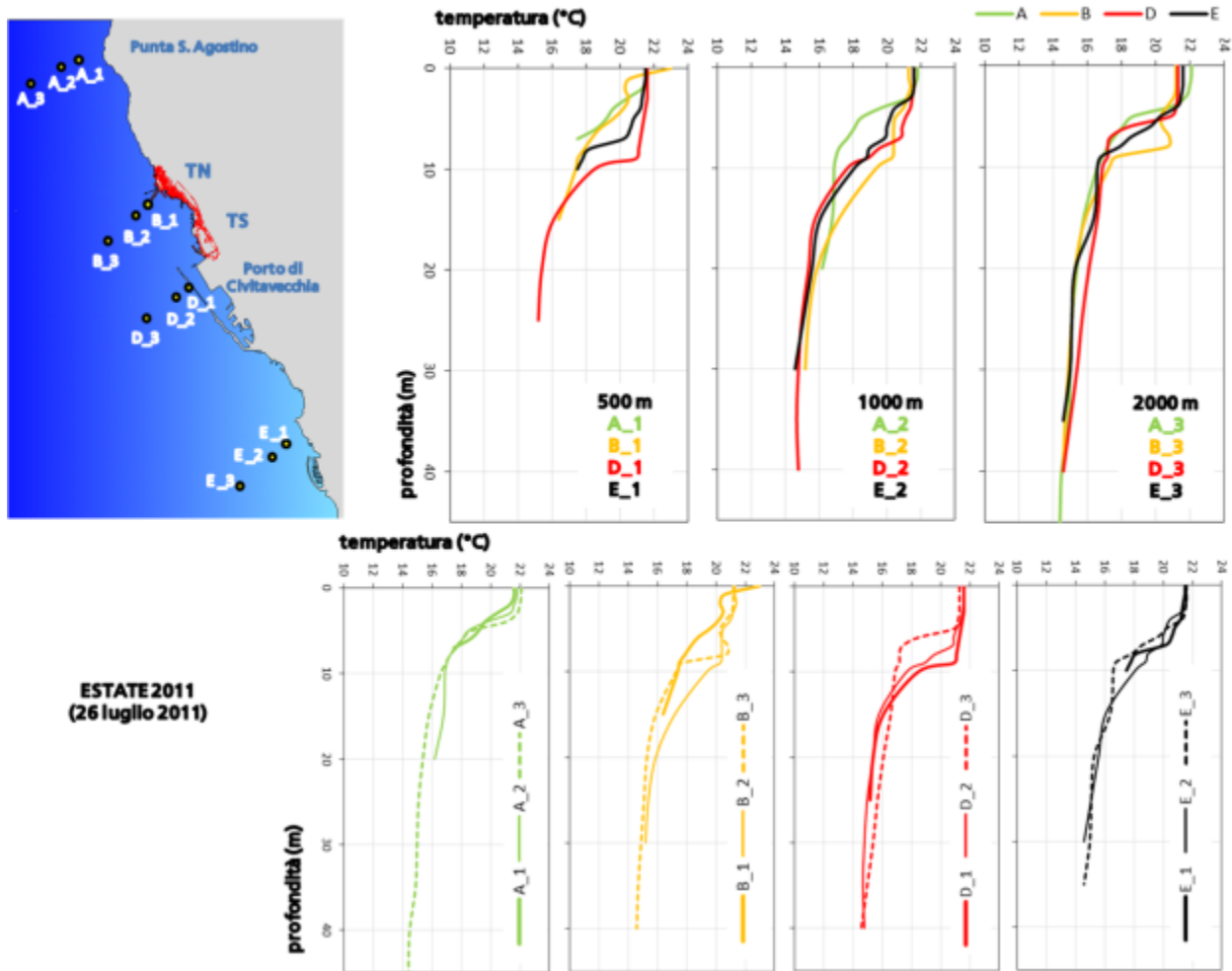


Figura 38 Profili di temperatura misurati in 3 punti (a distanza crescente dalla costa) di 4 transetti trasversali alla riva del sito in esame il 26 luglio dell'anno 2011

La Figura 39 che segue illustra il profilo di temperatura adottato per le simulazioni numeriche, ricavato a partire dalle misure nel punto più esterno del transetto A che si colloca ad una distanza da riva prossima a quella delle reti dell'allevamento *offshore* in progetto.

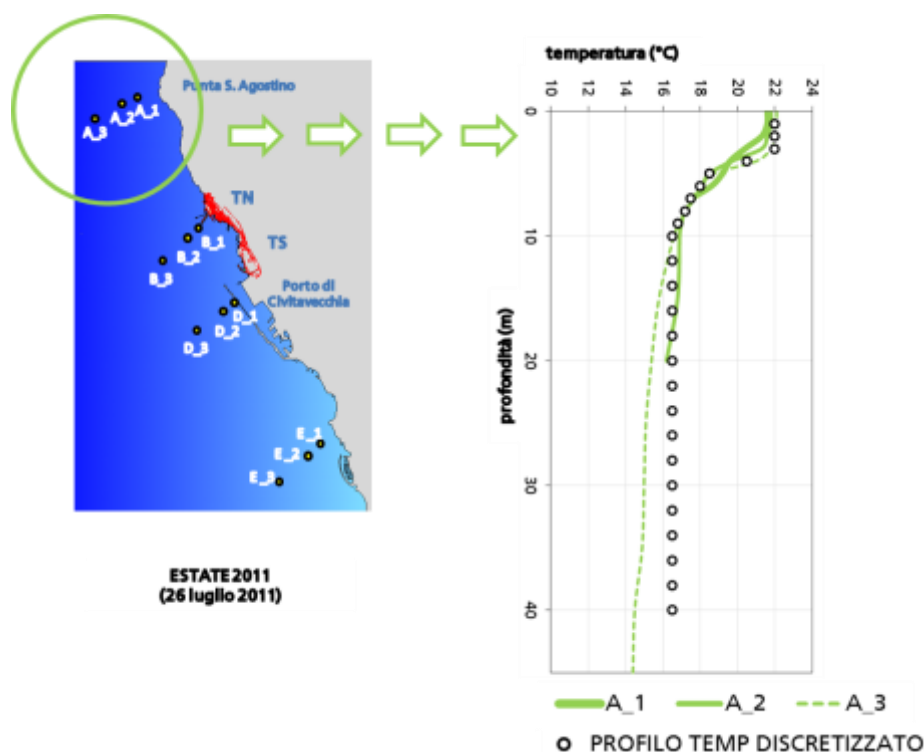


Figura 39 Profili di temperatura misurati ai punti del transetto A il 26 luglio dell'anno 2011 e profilo discretizzato adottato nelle simulazioni

La **salinità** dell'acqua di mare nella zona considerata non è soggetta a variazioni significative; per essa è stato adottato il valore medio tipico di 38 g/l.

Per quanto concerne le oscillazioni del **livello marino**, come già segnalato al precedente paragrafo 2.5, nel sito in esame (e nel Mar Mediterraneo in generale) le escursioni del livello del mare sono modeste, solo eccezionalmente significative e normalmente riconducibili alla marea astronomica e alla cosiddetta marea "meteorologica". Anche la minima escursione di marea presente, in particolare, il 26 luglio 2011 secondo i rilievi della stazione RMN di Civitavecchia, giustifica l'adozione del livello di medio mare come livello di riferimento per le simulazioni numeriche.

Infine, per quanto riguarda la **corrente marina** presente nell'area in esame, è stato impostato il profilo di corrente misurato il giorno 26 luglio 2011 dal profilatore acustico (ADCP, descritto al paragrafo 2.2) posizionato al largo dell'impianto *inshore* (Figura 8).

La Figura 40 mostra i profili di corrente marina misurati dallo strumento nelle ore dalle 7 alle 13 della mattina del giorno prescelto per la simulazione con riferimento ai 10 m superficiali del corpo idrico. In particolare il grafico di sinistra fornisce i profili orari della velocità della corrente, mentre quello di destra ne indica la direzione di propagazione.

A titolo di esempio e come chiarimento circa l'interpretazione dei due grafici sono state evidenziate le caratteristiche della corrente marina a 3 m di profondità; in particolare, mettendo in corrispondenza i dati orari di intensità della corrente del grafico di sinistra con i valori che, nel grafico di destra, ne indicano la direzione di propagazione (ossia la direzione verso cui si sta muovendo la corrente) si riscontra che la corrente alle ore 11 del 26/7/2011 era pari a 0.17 m/s (grafico di sinistra, serie colore arancione) ed era diretta verso Nord-Ovest (precisamente in direzione 326 °N, come indicato dal grafico di destra).

Solamente un'ora prima (ore 10, serie color verde chiaro) la corrente era di soli 0.05 m/s sempre diretta verso Nord-Ovest (269 °N), mentre un'ora dopo (ore 12, serie color rosso) la velocità è aumentata a 0.29 m/s mantenendosi diretta verso il quarto quadrante (330 °N).

In generale l'immagine evidenzia che le maggiori velocità della corrente sono riscontrabili nei metri superficiali della colonna d'acqua (i primi due metri per le prime ore della mattina); alle maggiori velocità sono associate direzioni di propagazione stabili, generalmente verso i quadranti settentrionali, ossia verso Nord-Ovest.

Il profilo di velocità della corrente ricavato dalle misure e adottato per le simulazioni è indicato nel grafico di sinistra della Figura 40. Ad esso è stata associata una direzione di propagazione costante lungo tutto il profilo al fine di riprodurre una corrente entrante dal contorno Sud del dominio di calcolo in movimento verso Nord-Ovest parallelamente alla costa. Le velocità della corrente negli strati più bassi (a profondità > di 10 m) sono state mantenute costanti e pari alla velocità a -10 m di 0.055 m/s.

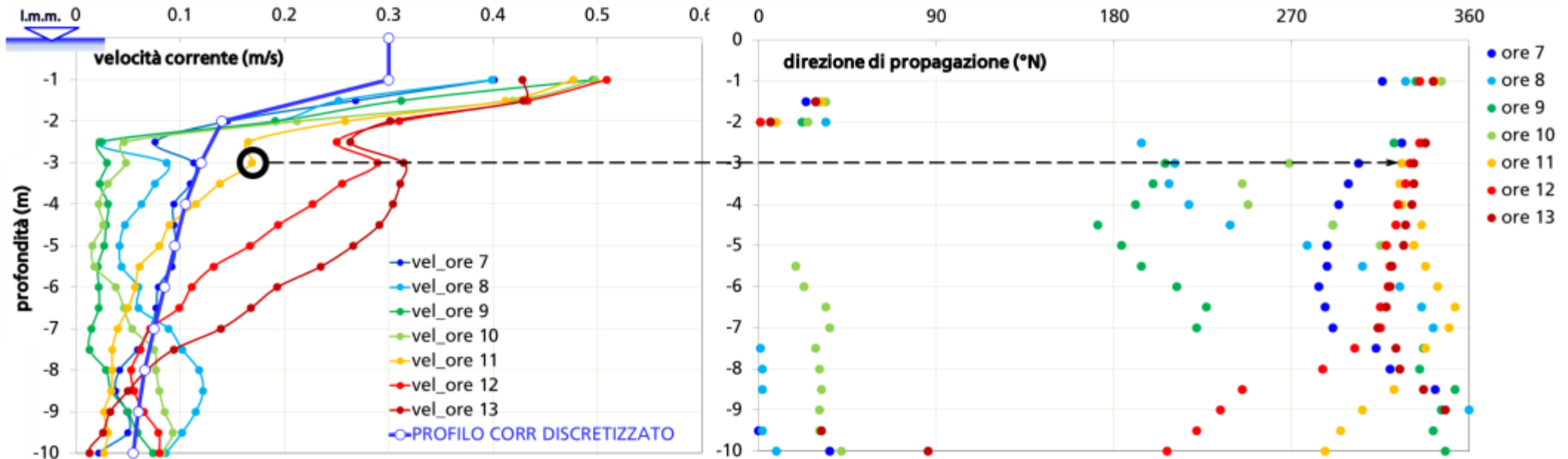


Figura 40 A sinistra: profili di velocità della corrente marina misurati dal profilatore acustico ADCP al largo del sito (la posizione dello strumento è illustrata in Figura 8) il 26 luglio dell'anno 2011 e profilo discretizzato adottato nelle simulazioni. A destra: profili della direzione di propagazione della corrente marina. La linea tratteggiata evidenzia, per esempio, che la velocità della corrente marina a 3 m di profondità misurata alle ore 11 del 26/7/2011 era pari a 0.17 m/s (grafico di sinistra) ed era diretta verso Nord-Ovest (precisamente in direzione 326 °N, come indicato dal grafico di destra). Solamente un'ora prima (ore 10) la corrente era di soli 0.05 m/s sempre diretta verso Nord-Ovest (269 °N).

3.3.3.2 Nutrienti

Per la determinazione delle concentrazioni dei principali nutrienti da adottare nelle simulazioni sono state utilizzate le misure eseguite, secondo metodiche analitiche nazionali e internazionali ufficialmente riconosciute, in attuazione al già richiamato Piano di Monitoraggio prescritto dal Decreto di Autorizzazione alla conversione a carbone dell'impianto emesso dal Ministero dello Sviluppo Economico 55/02/2003 del 24.12.2003.

Nella tabella seguente sono indicate le concentrazioni dei nutrienti sui campioni di acqua di mare prelevati nelle campagne estive e invernali del periodo 2010-2011.

Tabella 25 Concentrazioni dei nutrienti delle campagne estive e invernali 2010-2011

(µg/l)		NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄	N tot	P tot	PO ₄	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄	N tot	P tot	PO ₄
		2010						2011					
(m)		inverno						inverno					
A	500	3.51	12.93	8.07	142.26	7.22	1.87	1.47	5.64	2.14	153.00	3.91	1.46
	1000	3.75	12.49	7.74	130.88	6.26	2.09	1.38	10.49	2.36	188.23	4.58	1.27
	2000	3.84	13.57	7.72	152.62	6.68	1.47	1.08	18.19	1.91	169.81	5.10	2.02
B	500	3.20	9.88	18.88	107.51	5.29	0.48	2.24	10.94	4.50	246.15	6.14	2.33
	1000	3.21	10.15	14.92	127.45	9.55	1.33	2.27	12.02	4.55	160.14	4.63	1.84
	2000	3.30	8.66	6.99	119.96	5.43	1.60	2.60	19.68	8.40	175.54	5.88	2.56
D	500	3.30	8.93	9.18	116.78	4.07	1.62	2.65	26.00	12.64	187.64	5.81	2.85
	1000	3.31	7.31	10.48	150.20	8.52	1.82	2.11	6.85	7.72	280.14	4.56	1.55
	2000	3.40	5.50	7.69	127.85	7.90	1.08	2.26	7.98	3.05	178.70	4.16	1.12
		Estate						Estate					
A	500	0.32	4.66	2.42	152.11	1.81	6.37	0.51	2.74	0.85	285.17	6.76	2.30
	1000	0.22	3.03	2.18	151.52	1.86	4.27	0.43	1.52	0.77	182.65	6.36	1.47
	2000	0.28	4.18	2.36	150.00	2.96	5.64	0.57	3.22	0.80	199.94	6.70	1.81
B	500	0.36	2.72	2.81	126.22	3.97	7.68	0.41	2.05	1.73	190.18	6.00	0.90
	1000	0.27	2.92	2.84	189.57	2.64	6.37	0.12	<1.40	1.53	184.67	4.96	0.67
	2000	0.68	3.28	7.44	224.72	3.95	13.37	0.27	<1.40	1.14	184.51	4.83	0.60
D	500	0.63	27.59	16.99	464.61	10.87	16.79	<0.11	<1.40	1.45	188.70	5.20	0.45
	1000	0.59	27.78	22.18	471.81	7.57	13.89	0.13	<1.40	1.51	178.85	4.70	0.46
	2000	0.28	3.70	2.13	120.32	1.77	9.43	0.20	<1.40	0.97	165.93	4.70	<0.44

Le concentrazioni dei nutrienti considerati sono piuttosto uniformi, a indicare la sostanziale omogeneità delle acque sia confrontando i diversi transetti lungo la costa sia alle diverse distanze dalla costa.

I valori delle concentrazioni ambientali di N-tot e P-tot adottate per le simulazioni sono state ricavate dalle medie delle misure al transetto B (celle evidenziate in giallo nella Tabella 25). In mancanza di dati relativi alle concentrazioni di carbonio organico in acqua di mare al largo, si è assunto che la concentrazione di C-tot coincida con quella dei solidi sospesi totali. In base alle analisi fatte recentemente sulle acque di ingresso in centrale la concentrazione media ambientale di solidi sospesi è risultata pari a 4.5 g/m³. I valori ambientali utilizzati per il calcolo sono qui di seguito riassunti:

- N-tot = 0.186 g/m³ (mg/l)
- P-tot = 0.005 g/m³ (mg/l)
- Solidi sospesi = 4.5 g/m³ (mg/l)

3.3.4 Dati meteorologici

Il "regime anemologico" locale rappresenta una delle caratteristiche ambientali importanti per l'analisi di dispersione dei reflui prodotti dagli impianti di allevamento simulati (*inshore* e *offshore*), oltre che del pennacchio caldo proveniente dal diffusore di scarico della centrale termoelettrica. Il vento, specie se intenso e prolungato, può infatti influenzare la dinamica superficiale, oltre che favorire lo scambio termico con l'atmosfera.

Peraltro, l'adozione di un vento nullo è stata ritenuta da un lato conservativa per le verifiche in oggetto, e, dall'altro, adeguatamente rappresentativa delle reali condizioni estive tipiche dell'area costiera in esame.

3.3.5 Dati geometrici e di esercizio degli impianti

3.3.5.1 Gli scarichi dell'allevamento ittico offshore

Le sostanze rilasciate dagli allevamenti ittici nell'ambiente marino sono principalmente composte da materiale organico sospeso, originato in genere da materiale fecale, cataboliti e residui di mangime non consumato.

I fattori che influenzano il rilascio di tali biodepositi da parte di un allevamento sono vari, ma nel complesso risultano direttamente proporzionali alla biomassa allevata, alla taglia del pesce e alla qualità di alimento utilizzato all'interno dell'impianto.

Per questo motivo, le concentrazioni di Azoto, Fosforo e Carbonio rilasciate in ambiente dall'impianto *offshore* oggetto del presente studio sono strettamente correlate al regime alimentare somministrato alle specie ittiche allevate.

Le proteine, i lipidi e i carboidrati, ottenuti con la digestione e l'assimilazione del mangime ingerito, infatti, forniscono ai pesci energia e nutrienti per metabolismo, crescita e riproduzione, ma parallelamente a quanto viene assimilato, vengono rilasciati sotto forma di rifiuto o scarto vari quantitativi di nutrienti come Azoto, Fosforo e Carbonio.

La stima totale dei rifiuti (TW, "total waste") prodotti dall'impianto è quindi composta dalla somma dei rifiuti solidi fecali, dei rifiuti disciolti e del cibo non ingerito e può essere calcolata sulla base della seguente formula:

$$TW = SW + DW + FW$$

dove:

- con **SW** "solid waste" si intende il rifiuto solido composto dal materiale fecale relativo al cibo ingerito ma non assimilato;

- con **DW** "dissolved waste" sono rappresentati i cataboliti (ammonio, urea, fosfati, ecc.) escreti come rifiuto disciolto nell'acqua;
- con **FW** "feed waste" si identifica la frazione di mangime non ingerito, che va direttamente a disperdersi nell'acqua e segue il destino degli altri cataboliti.

Essendo quindi la natura del rifiuto prodotto strettamente correlata alla quantità e tipologia di alimentazione fornita, nell'ambito della previsione delle concentrazioni di azoto, fosforo e carbonio rilasciate per lo svolgimento del presente studio sono stati presi in considerazione i dati forniti dall'impianto relativi alla tipologia e composizione dei mangimi e alle quantità somministrate in funzione della biomassa presente e dei cicli produttivi previsti associati al funzionamento dell'impianto a regime.

Pertanto, nell'ambito del calcolo del **solid waste**, per la stima delle concentrazioni di nutrienti rilasciati in ambiente all'interno delle feci, sono stati presi come riferimento i valori medi relativi alla composizione delle feci sulla base dei mangimi utilizzati.

La concentrazione di azoto, fosforo e carbonio rilasciata nelle feci è definita quindi dai seguenti valori:

$$N_{SW} = 11.7 \text{ kg N/1000 kg di mangime}$$

$$P_{SW} = 5.5 \text{ kg P/1000 kg di mangime}$$

$$C_{SW} = 133 \text{ kg C/1000 kg di mangime}$$

Per quanto riguarda invece la componente disciolta (**dissolved waste**), sono state prese in considerazione quali fonti di Azoto e Fosforo sia le escrezioni liquide che la componente solubile delle feci, le quali, secondo quanto riportato nello studio di cui al Rif. 16 sulla stima dei rifiuti in acquacoltura su base nutrizionale, sono definite dalle seguenti proporzioni:

$$N_{DW} = 50.1 \text{ kg N/1000 kg di mangime}$$

$$P_{DW} = 3.8 \text{ kg P/1000 kg di mangime}$$

Infine, in merito alla frazione alimentare non ingerita (**feed waste**), la letteratura riporta concentrazioni di cibo perso molto variabili in funzione del comportamento alimentare della specie allevata, della stabilità del cibo in acqua e del metodo di distribuzione utilizzato. Nel caso specifico dell'impianto di Civita Iltica, è stata considerata una perdita di mangime non ingerito pari al 2% del cibo somministrato secondo quanto indicato dall'impianto. Al fine di calcolare gli apporti di Azoto, Fosforo e Carbonio di tale componente sono state prese in considerazione le informazioni relative alla composizione dei mangimi utilizzati, fornite dallo stesso impianto.

Pertanto, posto che la percentuale di N e P nel mangime è rispettivamente pari a 7.62% e a 0.84%:

$$N_{FW} = 0.02 * 76.2 \text{ kg N/1000 kg di mangime}$$

$$P_{FW} = 0.02 * 8.4 \text{ kg P/1000 kg di mangime}$$

$$C_{FW} = 0.02 * 665 \text{ kg C/1000 kg di mangime}$$

Sulla base di quanto riportato sopra sono state quindi calcolate (Figura 41) le concentrazioni di N tot, P tot e C tot rilasciate complessivamente dall'impianto, secondo le seguenti formule:

$$N_{TOT} = N_{SW} + N_{DW} + N_{FW}$$

$$P_{TOT} = P_{SW} + P_{DW} + P_{FW}$$

$$C_{TOT} = C_{SW} + C_{FW}$$

Di seguito vengono riassunte le stime effettuate relativamente alle concentrazioni di nutrienti rilasciate dall'impianto offshore di Civita Ittica.

Il Gestore ha fornito i dati relativi alla stima della biomassa presente in ogni gabbia e alla quantità e tipologia di mangime complessivamente somministrato, sulla base dei cicli produttivi previsti per ognuna delle 40 gabbie ripartite in 4 moduli previste per l'impianto offshore in questione.

A partire da tali dati sono stati calcolati i valori medi della biomassa presente e del mangime utilizzato relativi a 5 anni di funzionamento dell'impianto a regime per ogni gabbia.

Per semplicità si riportano nella Tabella 26 e nella Tabella 27 i valori medi calcolati complessivamente per ogni modulo.

Tabella 26: Valori medi di biomassa presente in ogni modulo del progettato impianto *offshore* di Civita Ittica (quantità espresse in tonnellate)

Biomassa (t)	Anno medio											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
modulo 1	416	425	320	278	272	266	293	318	394	419	430	400
modulo 3	430	418	319	279	276	281	303	333	375	392	414	417
modulo 2	416	425	320	278	272	266	293	317	393	418	429	399
modulo 4	430	418	319	279	276	281	303	333	375	392	414	417
totale	1692	1686	1278	1114	1096	1094	1192	1301	1537	1621	1687	1633

Tabella 27: Quantità medie di mangime somministrato all'interno del progettato impianto *offshore* di Civita Ittica (dati espressi in tonnellate)

	Anno medio											
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Mangime (t)	163	113	104	140	169	216	259	319	370	301	251	169

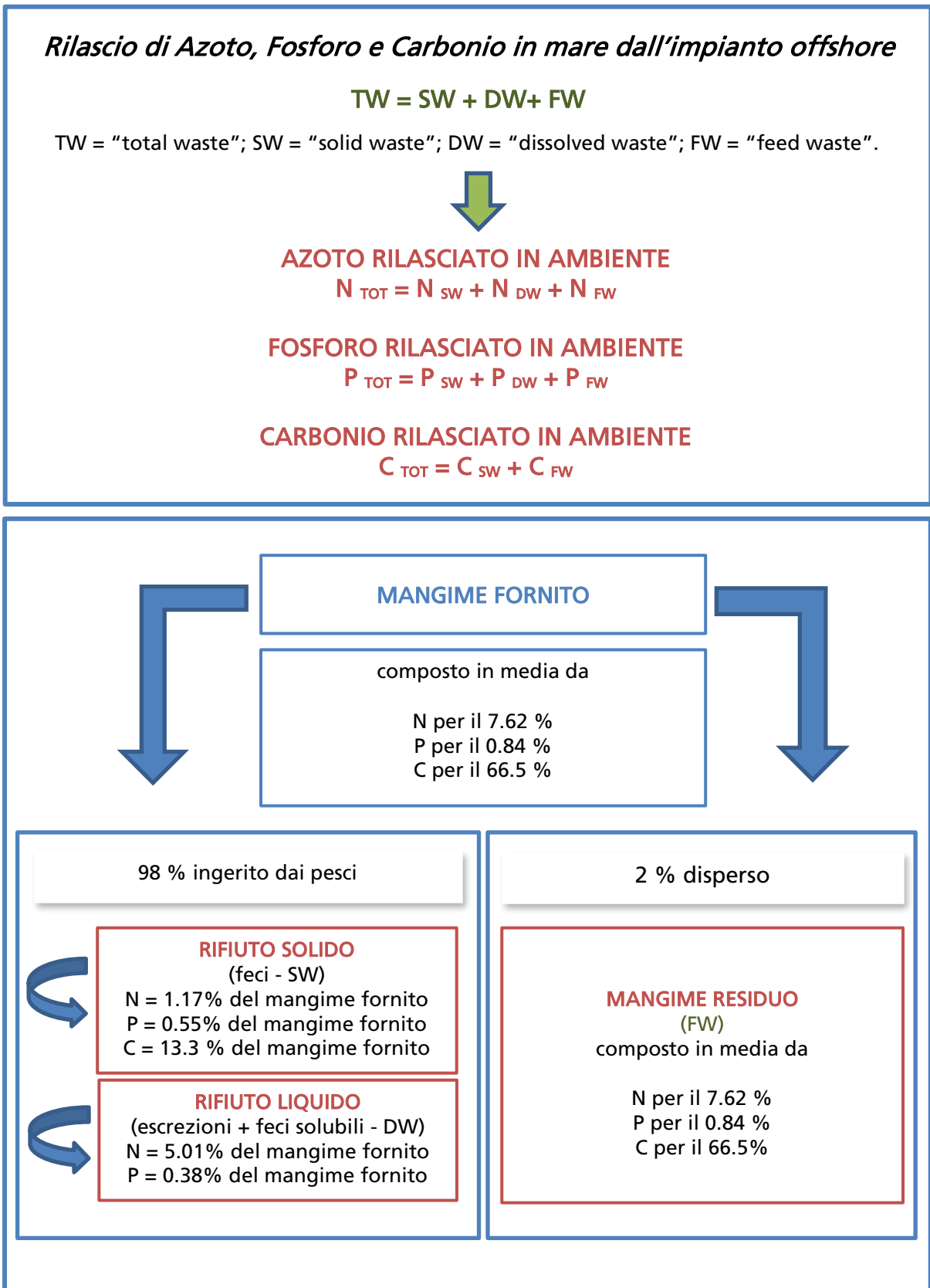


Figura 41 Schema riassuntivo per il calcolo delle concentrazioni di azoto, fosforo e carbonio rilasciate

Sulla base del procedimento e delle formule sopra riportate, è stato quindi possibile definire le concentrazioni di Azoto, Fosforo e Carbonio totali che si prevede vengano rilasciate mensilmente dall'impianto *offshore* (Tabella 28).

Tali concentrazioni sono state calcolate mensilmente per ognuna delle 40 gabbie previste, ma per semplicità nella tabella seguente si riportano le concentrazioni totali per modulo. Nell'ambito dello studio di modellazione è stato invece considerato il dettaglio delle 40 gabbie per ognuna delle quali si è assunta, in ottica conservativa, la massima concentrazione estiva.

Tabella 28: Concentrazioni di Azoto, Fosforo e Carbonio totale rilasciate per modulo dall'impianto *offshore* (dati espressi in tonnellate)

		Anno medio											
(t)		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
modulo 1	N tot	2.50	1.71	1.58	2.20	2.62	3.40	3.94	4.90	5.55	4.56	3.84	2.61
	P tot	0.36	0.25	0.23	0.32	0.38	0.49	0.56	0.70	0.80	0.66	0.55	0.38
	C tot	5.79	3.95	3.66	5.09	6.07	7.86	9.12	11.34	12.85	10.56	8.88	6.05
modulo 3	N tot	2.57	1.82	1.63	2.15	2.63	3.32	4.11	5.00	5.95	4.78	3.94	2.62
	P tot	0.38	0.27	0.24	0.32	0.39	0.50	0.61	0.75	0.89	0.71	0.59	0.39
	C tot	5.95	4.20	3.78	4.98	6.08	7.68	9.50	11.58	13.76	11.05	9.11	6.06
modulo 2	N tot	2.50	1.71	1.58	2.20	2.62	3.40	3.94	4.90	5.55	4.56	3.84	2.61
	P tot	0.37	0.26	0.24	0.33	0.39	0.51	0.59	0.73	0.83	0.68	0.57	0.39
	C tot	5.79	3.95	3.66	5.09	6.07	7.86	9.12	11.34	12.85	10.56	8.88	6.05
modulo 4	N tot	2.57	1.82	1.63	2.15	2.63	3.32	4.11	5.00	5.95	4.78	3.94	2.62
	P tot	0.38	0.27	0.24	0.32	0.39	0.50	0.61	0.75	0.89	0.71	0.59	0.39
	C tot	5.95	4.20	3.78	4.98	6.08	7.68	9.50	11.58	13.76	11.05	9.11	6.06

L'incremento di concentrazione dei nutrienti derivante dall'allevamento *offshore* è stato simulato secondo una ipotetica tempistica di rilascio ottenuta modulando una portata di 1 m³/s avente concentrazioni di azoto e fosforo assegnate, rilasciata in corrispondenza del centro di ogni rete ad una profondità di 1.5 m dalla superficie. In considerazione delle tempistiche generali di alimentazione dei pesci nelle reti si è supposta la modalità di rilascio della portata unitaria a concentrazione assegnata descritta in Tabella 29.

Tabella 29 Tempistica di rilascio dei nutrienti ipotizzata nelle simulazioni

Giorno	dalle	alle	Portata (≈ concentrazione nutrienti)
26/07/2011	07:00	12:00	Massima
	12:00	24:00	da massima a zero con decrescita lineare
27/07/2011	00:00	07:00	nulla (ripristino delle concentrazioni ambientali misurate nell'estate del 2011)

La temperatura della portata unitaria rilasciata nelle reti è stata assunta istante per istante pari a quella del corpo idrico nei punti di rilascio.

3.3.5.2 Gli scarichi dell'allevamento ittico inshore

L'impianto di itticoltura intensiva *inshore* (Figura 3, Figura 42) è alimentato da acqua di mare proveniente dalla adiacente centrale e gli scarichi principali (P1 e P2), derivanti unicamente dalle fasi di allevamento in vasca, sono costituiti da due punti di rilascio ubicati a circa 270 m uno dall'altro. Vi è inoltre la presenza di un terzo scarico (M) che riceve gli apporti delle acque meteoriche; trattandosi di volumetrie decisamente modeste, discontinue ed occasionali tale scarico non è stato simulato.

L'acqua mare, calda e fredda, è ceduta dalla centrale in una vasca piezometrica e di miscelazione (VP), dalla quale poi si dipartono varie canalizzazioni di alimentazione. L'area usufruisce poi di tre bacini di lagunaggio (L1, L2 e L3) per consentire un processo di decantazione e trattamento naturale delle acque impiegate, prima dello scarico a mare.

Le acque cedute da Enel Produzione alimentano quindi tutti gli stadi di allevamento e possono essere impiegate tal quali oppure essere parzialmente trattate, mediante attività di filtrazione, per es. nei casi di un impiego nelle vasche di avannotteria.

Tutte le acque di sfioro dalle vasche di allevamento, trattate per decantazione nei bacini di lagunaggio, confluiscono nei due scarichi produttivi dello stabilimento (P1 e P2).

Entrambi gli scarichi P1 e P2 dell'impianto di itticoltura sono caratterizzati da un'elevata portata e da una bassa concentrazione. La tabella che segue riporta i volumi di portata massima e minima per gli scarichi P1 e P2 espressi in (m³/h).

Tabella 30 Portate massime e minime rilasciate dagli scarichi P1 e P2

SCARICO P1		SCARICO P2	
portata min (m ³ /h)	portata max (m ³ /h)	portata min (m ³ /h)	portata max (m ³ /h)
2100	4400	3100	6400

In un'ottica conservativa si sono considerate le portate di scarico massime, ossia:

- $Q_{max P1} = 1.22 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{max P2} = 1.78 \text{ m}^3/\text{s}$

La temperatura (di miscelamento della acqua calda e fredda proveniente dalla centrale) associata ai suddetti rilasci è stata assunta pari a 22 °C . La tempistica dei rilasci è stata ipotizzata uguale a quella descritta in Tabella 29 con la differenza di modulare non le portate ma le concentrazioni delle tre componenti a partire dai valori massimi misurati agli scarichi in alcune recenti campagne di monitoraggio. L'adozione del valore massimo è derivata dal fatto che si è trattato di rilievi condotti in primavera e in tarda estate (17-apr-12, 30-mag-13, 24-set-14 e 10-set-15).I valori massimi delle concentrazioni agli scarichi P1 e P2, mantenuti tali per le prime cinque ore della simulazione, sono riportati in Tabella 31.

Tabella 31 Concentrazioni associate agli scarichi P1 e P2

	SCARICO	
	P1	P2
	g/m ³	g/m ³
Componente_1: N-tot	1.01	1.42
Componente_2: P-tot	0.29	0.51
Componente_3: Solidi sospesi	12	11

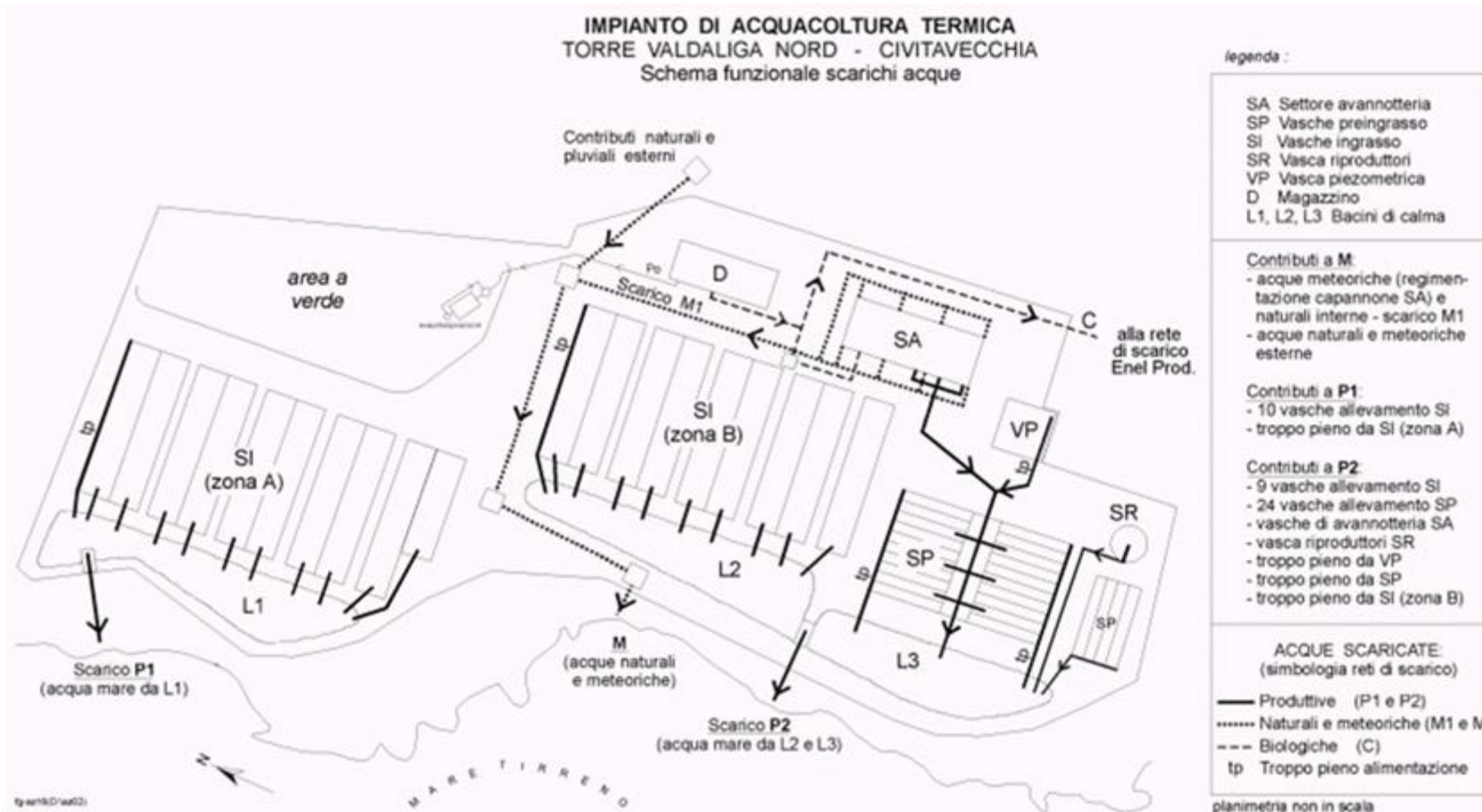


Figura 42 Tracciato degli scarichi dell'impianto di itticoltura *inshore*

3.3.5.3 Scarico della centrale di Torrevaldaliga Nord

L'opera di scarico della centrale di Torrevaldaliga Nord è del tipo a diffusore superficiale ed è localizzata lungo la costa a circa 350 m dal radicamento a terra della nuova banchina carboni di Enel; in essa confluiscono le acque di raffreddamento provenienti da tutti i gruppi dell'esistente centrale di TVN.

I dati relativi alle caratteristiche geometriche dello scarico sono riportati in Tabella 32 e sono stati ricavati da precedenti studi condotti da CESI sulla centrale in questione.

Tabella 32 Dati caratteristici dello scarico della centrale Enel di Torrevaldaliga Nord

Caratteristica	Scarico TVN
Larghezza (m)	43
Altezza (m)	1.5
Sezione di scarico (m ²)	64.5

Le acque dello scarico della centrale vengono prelevate dal mare mediante un'unica opera di presa. La presa, di tipo sommerso, è costituita da un torrino di 40 m di lato, con quattro bocche di aspirazione disposte due a destra e due a sinistra ad una distanza da riva pari a circa 400 m. Le quote superiore e inferiore di ciascuna bocca di aspirazione si collocano rispettivamente a 8.5 m e 13 m di profondità.

Ai fini dello studio i dati essenziali per quanto riguarda l'assetto di funzionamento della centrale sono le portate allo scarico (la presa non è stata simulata in considerazione della sua posizione, sommersa e a monte degli impianti di allevamento e dello scarico stesso), unitamente all'incremento termico agli scarichi determinato dai circuiti di raffreddamento.

Le simulazioni sono state condotte nell'ipotesi di funzionamento dell'impianto alla massima potenza, vale a dire nell'assetto più critico ipotizzabile per le tematiche in oggetto; in tale assetto la portata scaricata è pari a 60 m³/s e l'incremento termico ΔT allo scarico è di 8 °C (Rif. 13).

Per quanto concerne la temperatura attribuita allo scarico si è fatto riferimento alle temperature misurate in ingresso ai gruppi (sostanzialmente uguali a quelle dell'acqua alla presa della centrale) nell'arco della giornata scelta per la simulazione, ossia il 26 luglio 2011. La Figura 43 mostra in particolare gli andamenti della temperatura il 26 luglio e nei due giorni successivi. La temperatura di 26 °C attribuita all'acqua in uscita dal diffusore della centrale durante le simulazioni è stata ricavata sommando alla temperatura media del giorno 26 luglio, 18 °C, l'incremento di 8 °C generato dal raffreddamento dei condensatori dei tre gruppi della centrale in assetto a pieno carico.

I nutrienti (N e P) ed i solidi sospesi presenti nell'acqua di scarico sono stati mantenuti identici a quelli ambientali, ossia N-tot = 0.186 g/m³, P-tot = 0.005 g/m³ e solidi sospesi tot = 4.5 g/m³, misurati nell'estate del 2011 in attuazione al Piano di Monitoraggio prescritto dal Ministero dello Sviluppo Economico come precedentemente segnalato.

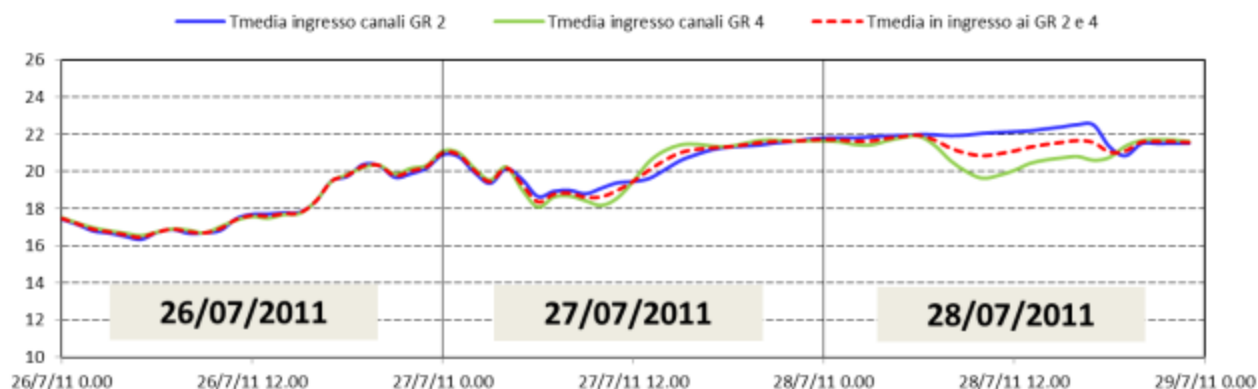


Figura 43 Andamento della temperatura dell'acqua in ingresso ai gruppi 2 e 4 della centrale (sensore di temperatura in ingresso al gruppo 3 non funzionante) e temperatura media nei giorni 26, 27 e 28 luglio 2011

3.4 Schematizzazione numerica

3.4.1 Premessa

L'approccio tridimensionale utilizzato nel presente studio è derivato dalla complessità del sistema e delle variabili in gioco, e dalla conseguente necessità di simulare le correnti e la dispersione da esse operata delle sostanze rilasciate dagli allevamenti ittici in tutte le componenti direzionali, tenendo conto anche dei gradienti di densità dovuti alla variabile temperatura dell'acqua nei diversi punti di calcolo.

Per la simulazione numerica è stato dunque utilizzato il codice MIKE 3 che:

- utilizza un reticolo di calcolo a maglia triangolare; ad ogni cella del dominio è associata una quota del fondo interpolata sulla base dei rilievi batimetrici disponibili. I confini dell'area di calcolo sono stati fatti coincidere con la riva e con tre contorni in mare denominati NORD, SUD e OFFSHORE, trasversali alla riva i primi due e parallelo ad essa il terzo;
- simula la dispersione in ambiente marino di sostanze (per esempio nutrienti) e/o di perturbazioni (per esempio termiche) in base a condizioni iniziali e ai contorni variabili spazialmente e temporalmente, che definiscono lo scenario di analisi.

I risultati ottenuti nelle diverse simulazioni numeriche sono poi esaminati attraverso l'interfaccia grafica del codice ed evidenziati allo scopo di determinare l'andamento del campo di velocità, di concentrazione dei componenti simulati e di temperatura nell'intero dominio di calcolo.

Scopo principale delle simulazioni è la valutazione dell'impatto ambientale prodotto dal nuovo impianto di allevamento ittico in gabbie galleggianti al largo di Civitavecchia, ipotizzato operativo da solo e in combinazione con l'esistente impianto di allevamento in vasche adiacenti alla centrale di Torrevaldaliga Nord, depotenziato del 50%.

3.4.2 Predisposizione del reticolo di calcolo

Al fine di valutare l'insieme dei fenomeni indotti dai rilasci delle reti del nuovo impianto di acquacoltura è stato necessario definire un dominio di calcolo di dimensioni adeguate che comprendesse, oltre alle reti in progetto, anche gli altri scarichi presenti nell'area

riconducibili principalmente a quelli dell'allevamento ittico *inshore* (P1 e P2) e della centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord. Le dimensioni complessive del dominio devono garantire la necessaria accuratezza nell'assegnazione delle condizioni ai contorni e consentire lo sviluppo delle perturbazioni indotte nell'intorno dei punti di scarico coerentemente con le correnti marine simulate.

E' stato infine necessario includere i profili delle aree soggette a vincoli di natura ambientale che, nel caso specifico, rimandano in particolare al Sito di Interesse Comunitario, SIC IT6000005 "Fondali tra Punta S. Agostino e Punta della Mattonara" appartenente alla regione biogeografica *Mediterranea*. Esso occupa una superficie di 557 ha (ampliata con la recente delibera della Regione Lazio di cui al Rif. 14); localizzato nella Provincia di Roma interessa i Comuni di *Tarquinia* e *Civitavecchia*.

Per contro, a fronte delle precedenti considerazioni è anche necessario evitare che il dominio di calcolo sia esageratamente grande poiché ciò potrebbe comportare un prolungamento eccessivo dei tempi di calcolo.

Tutto ciò premesso, allo scopo di assicurare l'accuratezza dei risultati del calcolo la predisposizione del reticolo di calcolo (*mesh*) è stata condotta secondo i seguenti criteri:

- garantire il massimo dettaglio, generando elementi di piccole dimensioni, nelle zone più critiche dal punto di vista idrodinamico e di qualità delle acque, con particolare riferimento alle aree a bassi fondali prossime alla riva ai due scarichi dell'allevamento ittico esistente e al diffusore di scarico della centrale Enel, e in quelle a fondali più elevati in corrispondenza delle reti del nuovo impianto *offshore*;
- operare con elementi il più possibile regolari, allo scopo di incrementare la stabilità e la convergenza del calcolo.

La Figura 44 mostra il reticolo di calcolo ricavato in base ai suddetti criteri. La Figura 45 riporta la batimetria interpolata dal codice di calcolo sulla base delle informazioni topografiche e batimetriche fornite. Compatibilmente con l'estensione complessiva del dominio di calcolo, le dimensioni delle celle di calcolo sono state assunte minime (con lato ≈ 5 m) in corrispondenza delle zone prossime agli impianti, al largo e a riva, e sono state progressivamente aumentate allontanandosi da esse fino a raggiungere la dimensione massima di ≈ 300 m in prossimità dei contorni *Offshore*, Nord e a Sud (i cui profili sono illustrati in Figura 44).

La risoluzione verticale adottata discretizza il battente idrico in 12 strati verticali con spessore minore (0.5 m fino a 2 m di profondità e 2 m fino a 10 m di profondità) in prossimità della superficie, dove avviene la maggior parte dei rilasci e dove si sviluppano i fenomeni di dispersione.

Il reticolo finale è risultato costituito da 499292 elementi triangolari e da 278112 nodi (vertici dei triangoli). Gli elementi sono compresi in un dominio di calcolo la cui area superficiale è di poco inferiore a 6168 ettari.

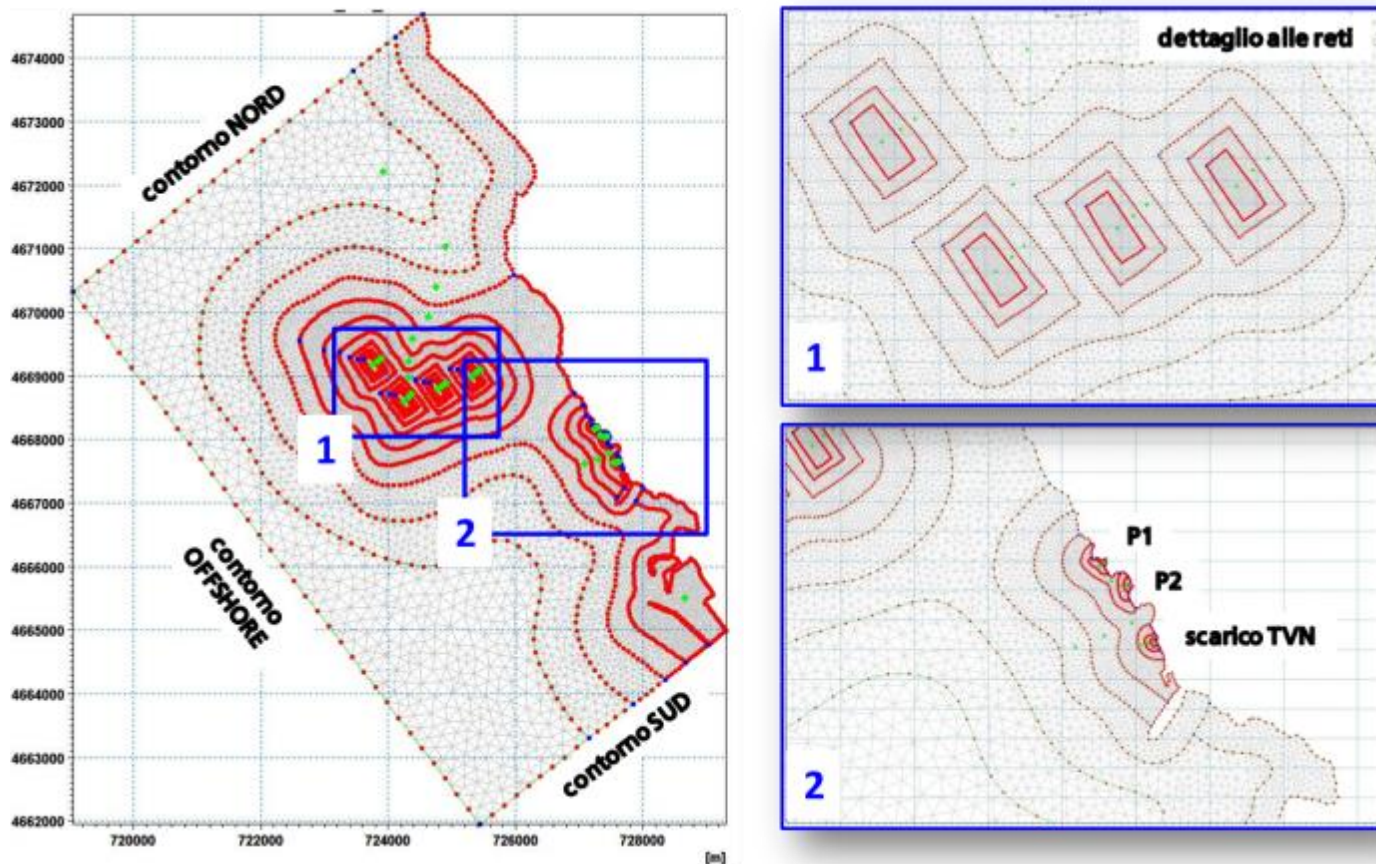


Figura 44 A sinistra: reticolo di calcolo (*mesh*) a risoluzione variabile adottato nella simulazione numerica. A destra: dettagli del reticolo nelle aree dell'impianto *offshore* (riquadro 1) e di quello *inshore* (riquadro 2) dove il reticolo a maglia triangolare è caratterizzato da elementi con lato minimo (5 m)

La Figura 46 mostra, infine, le aree SIC ricadenti, integralmente (IT 6000005) o parzialmente (IT 6000004), nel dominio di calcolo. A sinistra nell'immagine tratta da Rif. 14 è mostrata la recente modifica delle delimitazioni dell'area SIC adiacente alle reti avvenuta in coerenza con l'attuale distribuzione a Sud della prateria di *Posidonia Oceanica*. L'ampliamento del SIC verso costa, soprattutto nella sua porzione più settentrionale, è stato deliberato nell'intento di proteggere in modo pressoché totale la porzione di prateria di *P. oceanica* superficiale originariamente esclusa dal sito nella precedente conformazione (verde nell'immagine). Analogamente l'estensione del sito verso il largo ha consentito, invece, di tutelare un'importante porzione di roccia con popolamenti appartenenti alla biocenosi del coralligeno (habitat 1170) soltanto parzialmente inclusi nella prima delimitazione del sito.

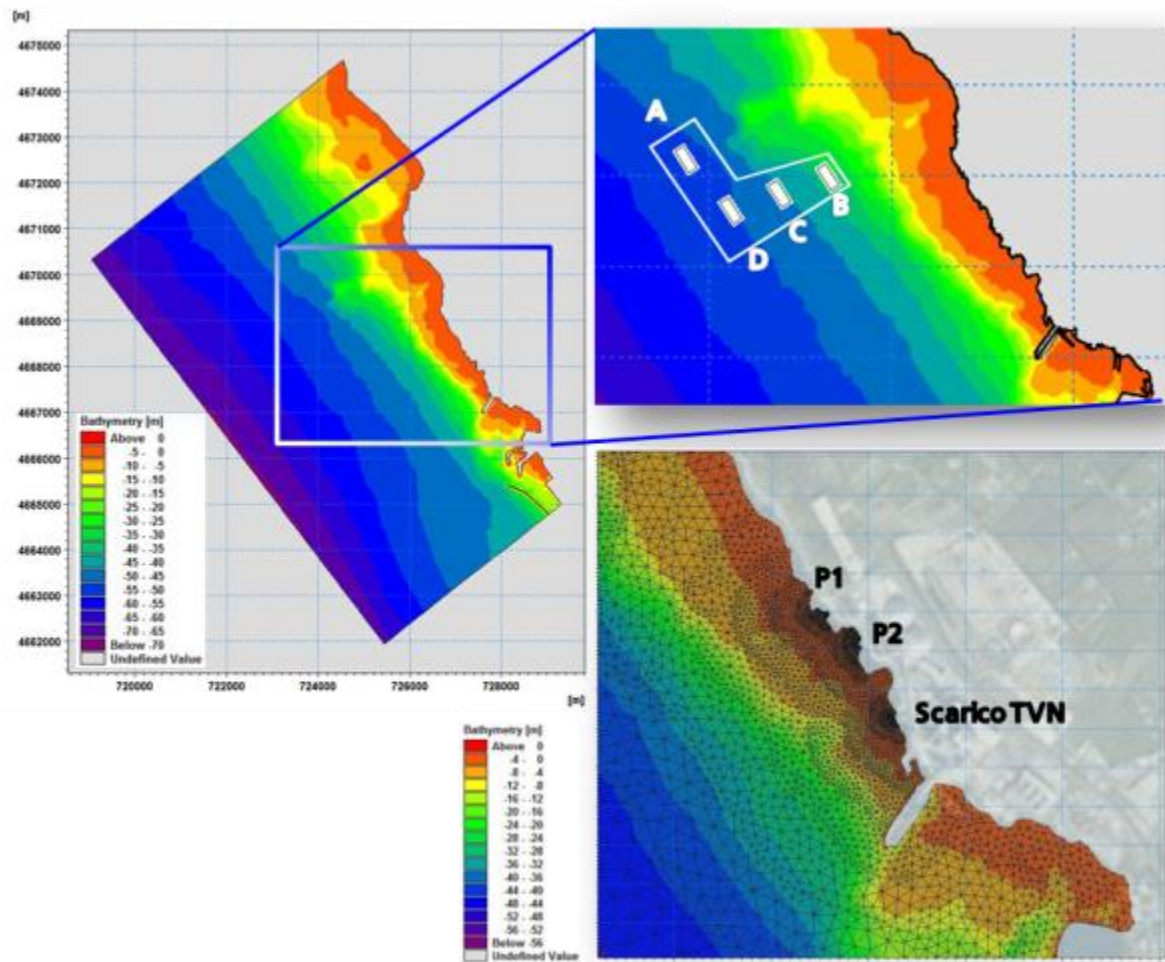


Figura 45 A sinistra: batimetria interpolata dal codice utilizzata per la simulazione numerica. A destra: dettagli della batimetria interpolata nell'area dei quattro moduli dell'allevamento *offshore* (in alto) e di quello *inshore* (in basso)

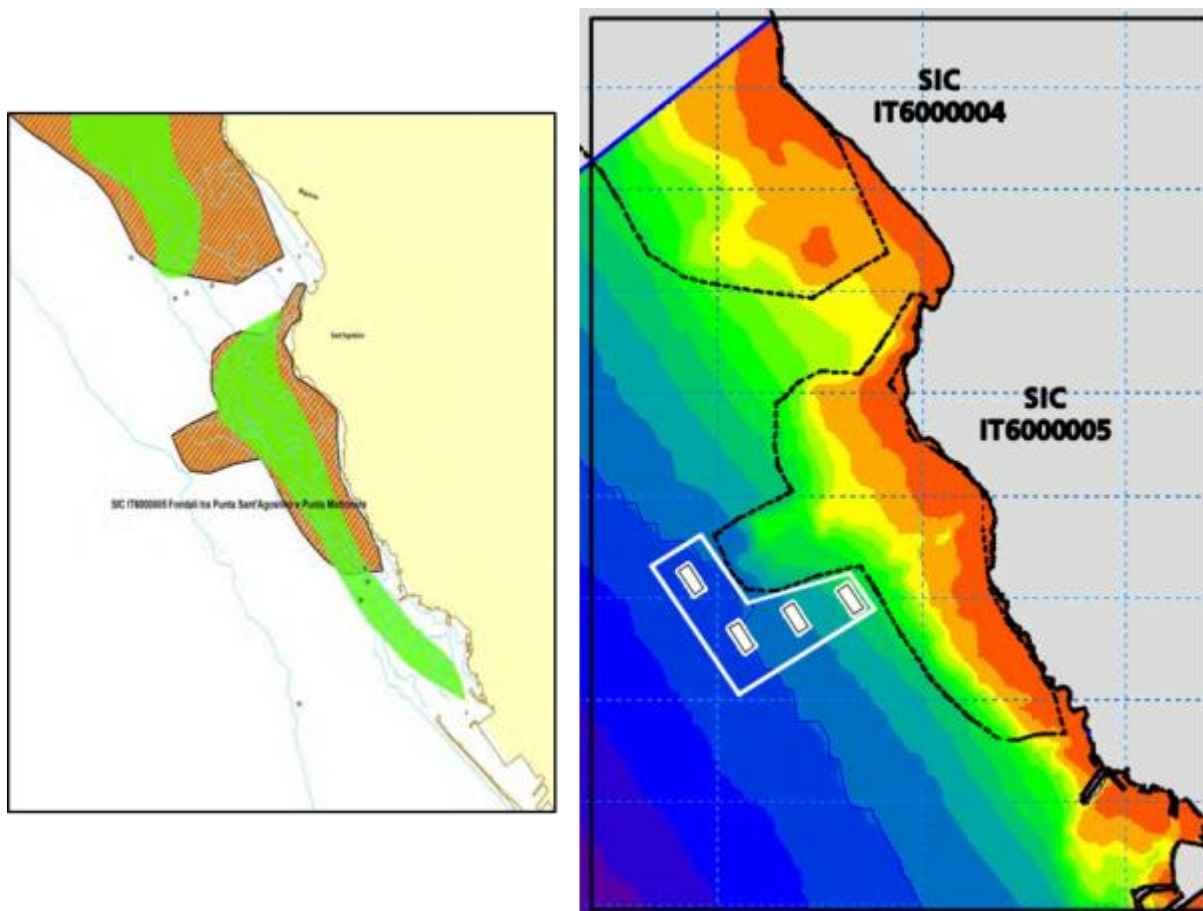


Figura 46 A sinistra: estensione (dalla campitura verde a quella colorata tratteggiata) recentemente approvata (Rif. 14) delle aree dei due SIC prossimi all'impianto *offshore* (SIC IT6000005 *Fondali tra Punta S. Agostino e Punta Mattonara* e SIC IT6000004 *Fondali tra Marina di Tarquinia e Punta delle Quaglie*). A destra: dettaglio dell'inserimento delle aree SIC nel dominio di calcolo con indicazione dell'andamento batimetrico e dell'area di concessione contenente i quattro moduli delle reti *offshore*.

3.4.3 Scenari e ipotesi di calcolo

Gli scenari di calcolo adottati per il presente studio sono derivati dalla combinazione delle condizioni meteomarine più critiche per le tematiche in oggetto, scelte tra quelle tipiche del sito, e degli assetti di esercizio degli impianti ittici (presenti e previsti) nell'area e della centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord.

In merito al primo aspetto, si è fatto riferimento a condizioni di simulazione estive ritenute più critiche per la natura della verifica in oggetto volta all'analisi della concentrazione di nutrienti nell'area del previsto nuovo impianto *offshore* per l'esame degli eventuali impatti sull'ambiente marino e, in particolare, sulle aree protette che si sviluppano in prossimità del nuovo impianto.

Per quanto concerne, invece, gli assetti di impianto essi sono stati ipotizzati come di seguito specificato:

- *allevamento ittico offshore*: ad ogni gabbia è stato attribuito il rilascio, a 1.5 m di profondità, di una portata unitaria caratterizzata da una propria concentrazione di nutrienti calcolata in base a cicli produttivi standard specifici per ciascuna delle gabbie dei quattro moduli in progetto (la specificità dei rilasci attribuibili a ciascuna gabbia è spiegabile con la non uniformità delle taglie dei pesci in esse contenuti, come descritto in maggior dettaglio al paragrafo 3.3.5); la tempistica di rilascio è stata ipotizzata in un'ottica conservativa che vede il rilascio continuo per cinque ore consecutive (identificabili, per esempio, con le ore della mattina in cui si distribuisce il mangime) dei nutrienti con le concentrazioni calcolate, seguito da una fase di dodici ore di riduzione lineare delle stesse fino al raggiungimento del valore ambientale 'indisturbato', mantenuto poi inalterato per le restanti sette ore della giornata. I nutrienti di riferimento adottati per le valutazioni sono stati l'azoto e il fosforo, in quanto corrispondono ai principali elementi prodotti dagli impianti di itticoltura *offshore*;
- *allevamento ittico inshore*: sempre in ottica conservativa, anche in questo caso è stato ipotizzato il rilascio della massima portata agli scarichi P1 e P2 caratterizzata dalle massime concentrazioni di nutrienti (N, P) e solidi sospesi misurate durante la stagione estiva; la tempistica di rilascio dei nutrienti è stata mantenuta identica a quella dell'impianto di allevamento *offshore* consentendo quindi il confronto diretto tra le mappe di dispersione ricavate per i due impianti;
- *impianto termoelettrico di Torrevaldaliga Nord*: l'impianto è stato considerato funzionante alla massima potenza, per la durata consecutiva di 24 ore di ciascuno scenario; in tale assetto la portata scaricata è pari a 60 m³/s e l'incremento termico ΔT allo scarico è di 8 °C.

Rimandando agli specifici paragrafi per i necessari approfondimenti, si riassumono in Tabella 33 gli scenari di calcolo e le condizioni ambientali adottate per ciascuno di essi.

Tabella 33 Scenari di calcolo e valori assegnati ai principali parametri ambientali

SCENARIO N°	CONFIGURAZIONE ALLEVAMENTI	C.LE TVN	PARAM. AMB. CORPO IDRICO RICEVENTE			PARAM. MET.
			Corrente direzione verso	velocità [m/s]	Temperatura [°C]	Vento
1	INSHORE (P1 e P2)					
2	OFFSHORE	operativa (*)	N-NO	profilo misurato il 26/07/2011	profilo misurato il 26/07/2011	assente
3	MISTO (OFFSHORE + 50% INSHORE)					

(*) Q scar. = 60 m³/s; ΔT = +8 °C

La veridicità delle stime derivanti dalla modellazione numerica dei fenomeni in oggetto dipende in maniera sostanziale dalla disponibilità di misure in campo dei principali parametri meteomarinari. Nel caso specifico ci si è potuti avvalere di dati in *input* al modello numerico realmente rappresentativi delle condizioni riscontrate nell'arco di una giornata estiva (26 luglio 2011) e in generale del periodo in cui essa si inserisce (estate 2011). La durata di ciascuna simulazione è stata dunque assunta pari a 24 ore, sia perché il mantenimento delle condizioni applicate ai contorni aperti (principalmente la direzione e intensità della corrente marina e il profilo termico) oltre tale orizzonte temporale appare oltremodo improbabile, sia perché il rilascio dei nutrienti avviene in un ambiente esteso e non confinato all'interno del quale il processo di diffusione (diluizione) è tale da ridurre consistentemente la concentrazione dei nutrienti assunti come riferimento per la verifica.

Le 24 ore di simulazione sono state precedute da una fase di regimazione delle condizioni dinamiche e termiche nel volume di calcolo raggiunta senza rilasci dagli allevamenti ittici. In sostanza si è proceduto alla simulazione di un transitorio iniziale a partire dalle seguenti assegnate condizioni iniziali e ai contorni aperti (ossia quei contorni attraverso cui transitano flussi di corrente):

1. condizione iniziale:

- velocità nulla in ogni punto del dominio,
- livello di medio mare,
- temperatura costante e pari a quella riscontrabile (il giorno prescelto) nella maggior parte del volume simulato, ossia quella degli strati più profondi uniformata al valore di 16.5 °C;

2. condizioni ai contorni aperti (vedi Figura 44):

- al contorno SUD: corrente entrante (ossia diretta verso N-NO) secondo il profilo di velocità illustrato in Figura 40; a ciascuno strato è inoltre associata una temperatura decrescente all'aumentare della profondità secondo il profilo termico mostrato in Figura 39;
- al contorno NORD: condizione mista di livello e corrente tale da mantenere il flusso di corrente parallelo alla costa in 'risalita' verso N-NO;
- al contorno OFFSHORE: condizione di flusso nullo;
- al contorno dello SCARICO di TVN: portata costante di 60 m³/s in uscita con temperatura di 26 °C (ottenuta sommando alla temperatura media in ingresso ai gruppi del giorno 26/7/2011, di 18 °C, il sovrizzo termico di 8 °C imposto dal funzionamento della centrale).

Al termine della fase di regimazione (comune ai tre scenari di Tabella 33), quando in ogni strato del dominio di calcolo sono state raggiunte le condizioni di corrente e di temperatura del giorno 26/7/2011 e al campo termico misurato si è aggiunta la perturbazione termica localmente indotta dal funzionamento della centrale in prossimità

del diffusore, si è proceduto al rilascio dei nutrienti secondo i modi e le tempistiche specificatamente descritti per ciascuno scenario.

Si è inoltre proceduto ad una verifica di congruenza dei risultati del codice per quanto concerne il campo termico antistante la centrale. I risultati scaturiti da questa verifica sono descritti al paragrafo seguente, mentre l'analisi dell'esito di ciascuno dei tre scenari con rilascio di nutrienti è oggetto del capitolo successivo.

3.4.4 Verifica del campo termico sull'arco a 1000 m.

L'accuratezza del modello di simulazione adottato per la presente analisi può essere verificata solo confrontandone i risultati con dati di misura di tutti i parametri in gioco e in condizioni ambientali ben definite. E' evidente che, data l'enorme quantità dei parametri fisico-chimici coinvolti, è stato impossibile avvalersi di un insieme di misure così esteso.

Ciononostante, per la messa a punto dei principali parametri del modello relativi, in particolare, alle condizioni idrodinamiche e termiche dell'area modellata ci si è potuti avvalere di alcune indicazioni riguardanti la configurazione del pennacchio caldo in uscita dalla centrale. Tali indicazioni sono derivate da alcuni dei monitoraggi termici di controllo che periodicamente la centrale esegue sui punti dell'arco a 1000 m dal diffusore di scarico.

Le misure sono eseguite stagionalmente o mensilmente allo scopo di verificare il rispetto dei limiti di legge vigenti in merito agli scarichi termici a mare (Rif. 15). La legislazione stabilisce la posizione dei punti di controllo, le modalità con cui eseguire le misure della temperatura superficiale e la procedura di analisi dei rilievi allo scopo di verificare che l'incremento termico a 1000 m non superi la soglia di 3 °C rispetto alla temperatura indisturbata.

Sono state esaminate, in particolare, le campagne di misura condotte in giornate estive durante le quali fosse presente una corrente diretta verso i quadranti settentrionali e la centrale funzionasse in condizioni prossime al pieno carico, in maniera da ricalcare almeno in parte per quanto possibile alcune delle condizioni adottate nelle simulazioni numeriche.

Il confronto eseguito ha dato esito positivo sia nella forma del pennacchio superficiale, deviato concordemente alla corrente ambientale, sia nella posizione dei punti dell'arco caratterizzati dalle perturbazioni termiche più elevate (sempre, comunque, inferiori al delta termico superficiale di 3 °C ammesso per legge).

4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

4.1 Considerazioni generali

I risultati relativi a ciascuno degli scenari considerati nello studio sono stati analizzati sia graficamente sia mediante elaborazioni analitiche per estrarre l'insieme delle informazioni atte a caratterizzare esaurientemente le condizioni di diffusione dei nutrienti. Tale caratterizzazione è stata posta alla base del confronto tra la configurazione attuale dell'area in presenza del solo allevamento ittico a terra (oggetto dello SCENARIO n. 1, denominato INSHORE) e quella futura, che vede la realizzazione dell'allevamento al largo della costa poco più a Nord di quello esistente, ipotizzato a se stante (nello SCENARIO n. 2, denominato OFFSHORE) e in funzionamento contemporaneo a quello di terra ridotto alle vasche afferenti allo scarico P2 (condizione simulata nello SCENARIO n. 3, denominato MISTO).

I paragrafi che seguono contengono la disamina dei risultati di calcolo relativi a ciascuno scenario in termini di andamento dei campi di moto, termico e di concentrazione dei nutrienti indicati come indicatori della qualità dell'acqua del corpo idrico ricevente. In particolare, per ogni scenario vengono illustrati:

1. il campo di moto e termico superficiali al termine delle cinque ore consecutive di rilascio dei nutrienti alla massima concentrazione, dunque prima dell'inizio della progressiva riduzione lineare degli stessi fino al raggiungimento delle condizioni ambientali 'indisturbate';
2. i campi di concentrazione dei nutrienti a 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio dei nutrienti secondo la tempistica di rilascio precedentemente illustrata.

I limiti di legge dei parametri assunti per le verifiche di qualità dell'acqua sono forniti dalla Tab. 3 (*Valori limiti di emissione in acque superficiali e in fognatura*) dell'Allegato 5 alla parte 3° del Dlgs 152/06 e s.m.i. (Rif. 15) e riassunti qui di seguito:

- AZOTO TOTALE: ≤ 32.3 mg/l definito come somma di tutti i composti previsti dalla normativa (N da ammoniaca, N da nitrito e N da nitrato),
- FOSFORO TOTALE: ≤ 10 mg/l (come P),
- SOLIDI SOSPESI: ≤ 80 mg/l

4.2 SCENARIO n. 1: *inshore*

Lo SCENARIO n. 1 riproduce la condizione attualmente presente sulla costa a Nord del Porto di Civitavecchia con riferimento agli scarichi (P1 e P2) dell'allevamento ittico adiacente alla centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord e a quello della centrale stessa. Entrambi gli impianti sono stati simulati ipotizzandone il funzionamento a pieno carico nella giornata del 26 luglio 2011 secondo le condizioni ambientali descritte ai paragrafi precedenti cui si rimanda per i necessari approfondimenti.

La Figura 47 mostra il campo termico superficiale sviluppato dallo scarico della centrale termoelettrica e dagli scarichi P1 e P2 dell'allevamento di terra. In considerazione della spinta al galleggiamento del pennacchio caldo generata dal gradiente di temperatura esistente tra la temperatura indisturbata e quella degli scarichi, quella illustrata rappresenta la massima estensione della perturbazione termica. L'immagine in alto a sinistra evidenzia che l'area del modulo più interno del previsto nuovo impianto ittico (modulo B, secondo la numerazione qui adottata) è interessata da un lieve incremento

termico ($< 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla temperatura indisturbata superficiale di $22\text{ }^{\circ}\text{C}$) indotto dal pennacchio caldo proveniente dal diffusore della centrale. Peraltro, si segnala che tale incremento scompare a soli 0.5 m di profondità.

L'altra immagine mostra i dettagli della temperatura e della velocità della corrente nell'area degli scarichi. L'analisi del campo di moto ha evidenziato, in particolare, che gli scarichi dell'allevamento *inshore* sono trascinati verso Sud-Est dalla corrente litoranea esistente in quel segmento costiero, generata dalla morfologia dei fondali e della costa ed opposta a quella ambientale. E' inoltre evidente la predominanza (ovvia date le portate in gioco) del campo di moto generato dal diffusore della centrale rispetto a quello dei due scarichi P1 e P2.

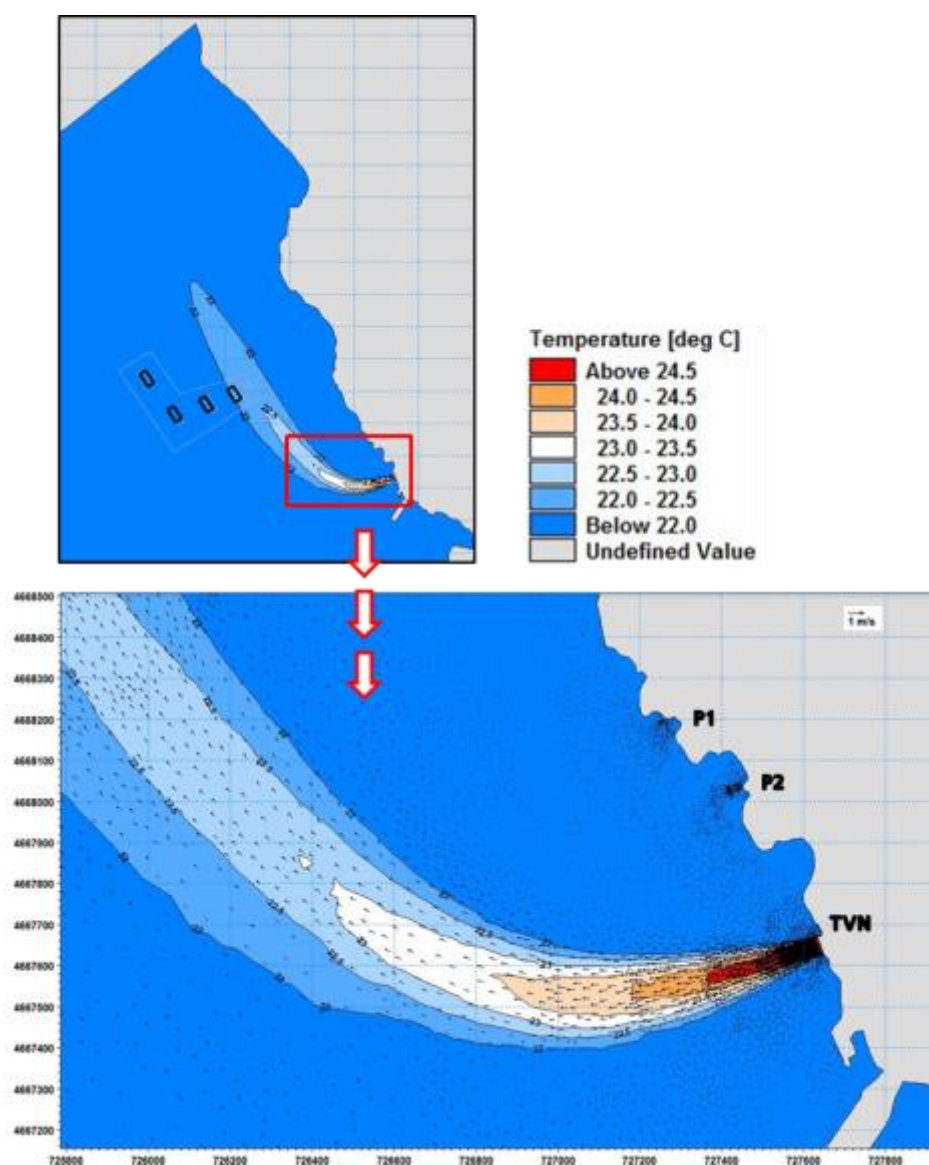


Figura 47 **SCENARIO n. 1 inshore**. Mappe di temperatura superficiale dell'acqua calcolata dopo 5 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dagli scarichi P1 e P2 dell'esistente allevamento ittico a terra. I campi vettoriali si riferiscono alle velocità della corrente superficiale calcolata, nel medesimo istante, in prossimità dei tre scarichi simulati.

Essa è responsabile delle caratteristiche delle mappe di diffusione dei nutrienti illustrate in Figura 48, per l'azoto totale, in Figura 49, per il fosforo totale, e in Figura 50 per i solidi sospesi. E' evidente, infatti, come i nutrienti in uscita dagli scarichi P1 e P2 siano trascinati dalla corrente costiera discendente solo fino all'intersezione con lo scarico del diffusore; qui invertono la direzione muovendosi concordemente alla corrente del pennacchio caldo della centrale, prima, e a quella ambientale, poi.

Le sagome allungate delle mappe di concentrazione si riducono fino quasi a scomparire progredendo sia nel tempo (al termine della giornata è ripristinata la condizione indisturbata), sia in profondità come indicato dalle immagini nei riquadri più piccoli che si riferiscono alle concentrazioni calcolate a soli 0.5 m di profondità.

Infine, si fa osservare che le concentrazioni di nutrienti massime riscontrabili in prossimità delle bocche di scarico si mantengono abbondantemente inferiori ai limiti di legge esistenti per ciascuno dei nutrienti esaminati.

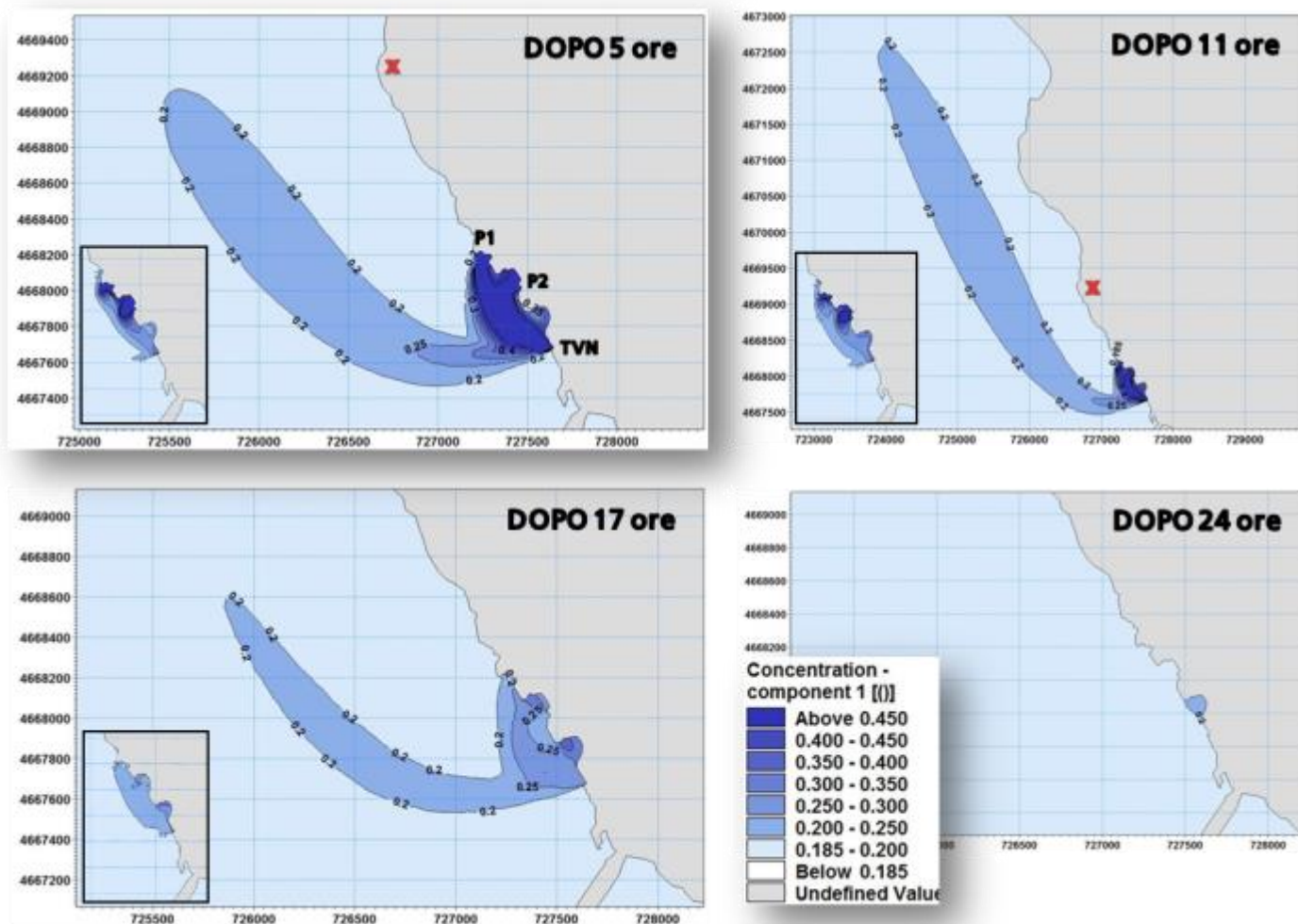


Figura 48 **SCENARIO n. 1 inshore.** Mappe di concentrazione superficiale (mg/l) del componente N (LIMITE DI LEGGE ≤ 32.3 mg/l) Calcolate dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dagli scarichi P1 e P2 dell'esistente allevamento ittico a terra. I riquadri più piccoli mostrano la concentrazione del medesimo nutriente a soli 0.5 m di profondità.

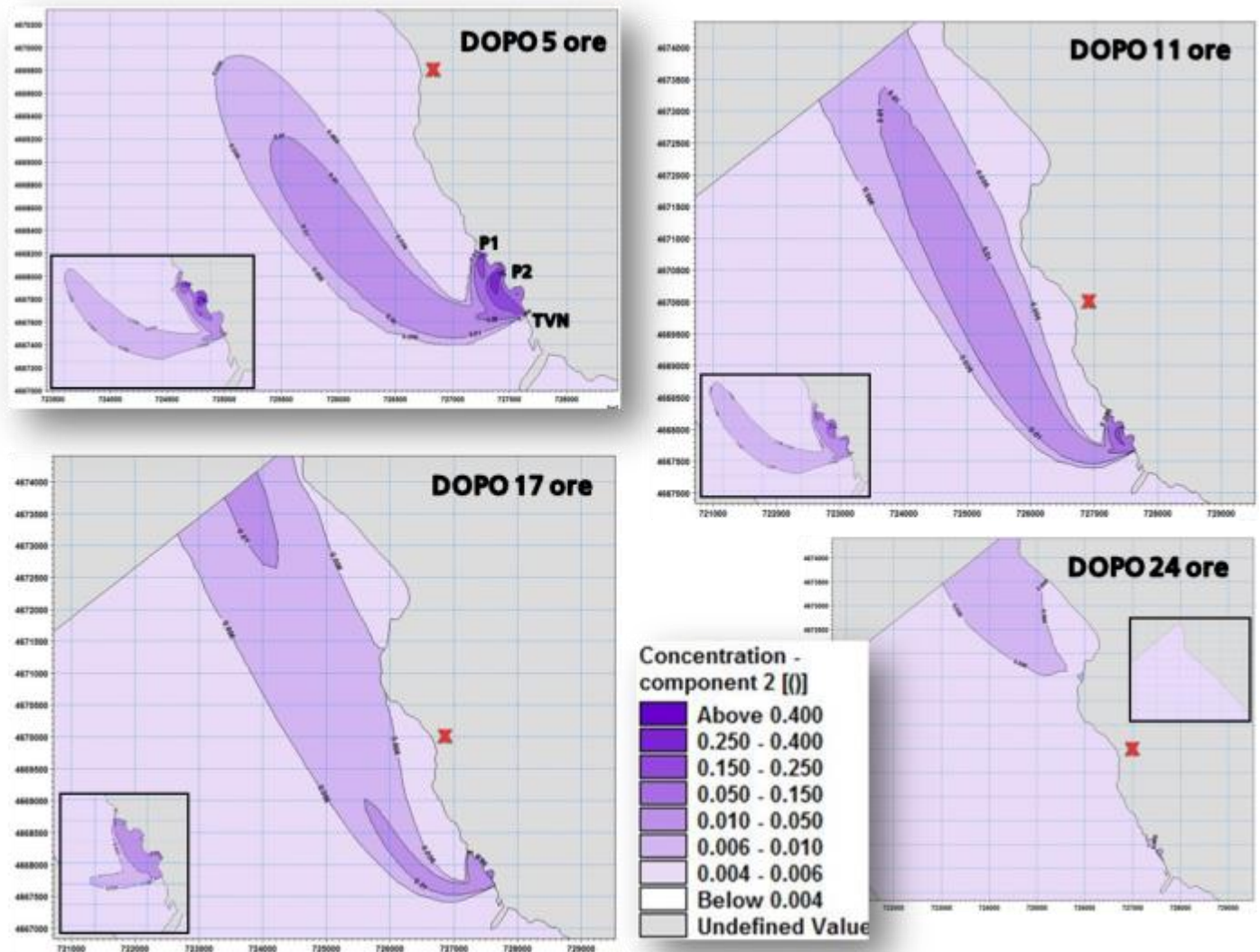


Figura 49 **SCENARIO n. 1 inshore**. Mappe di concentrazione superficiale (mg/l) del componente P (LIMITE DI LEGGE: ≤ 10 mg/l) calcolate dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dagli scarichi P1 e P2 dell'esistente allevamento ittico a terra. I riquadri più piccoli mostrano la concentrazione del medesimo nutriente a soli 0.5 m di profondità.

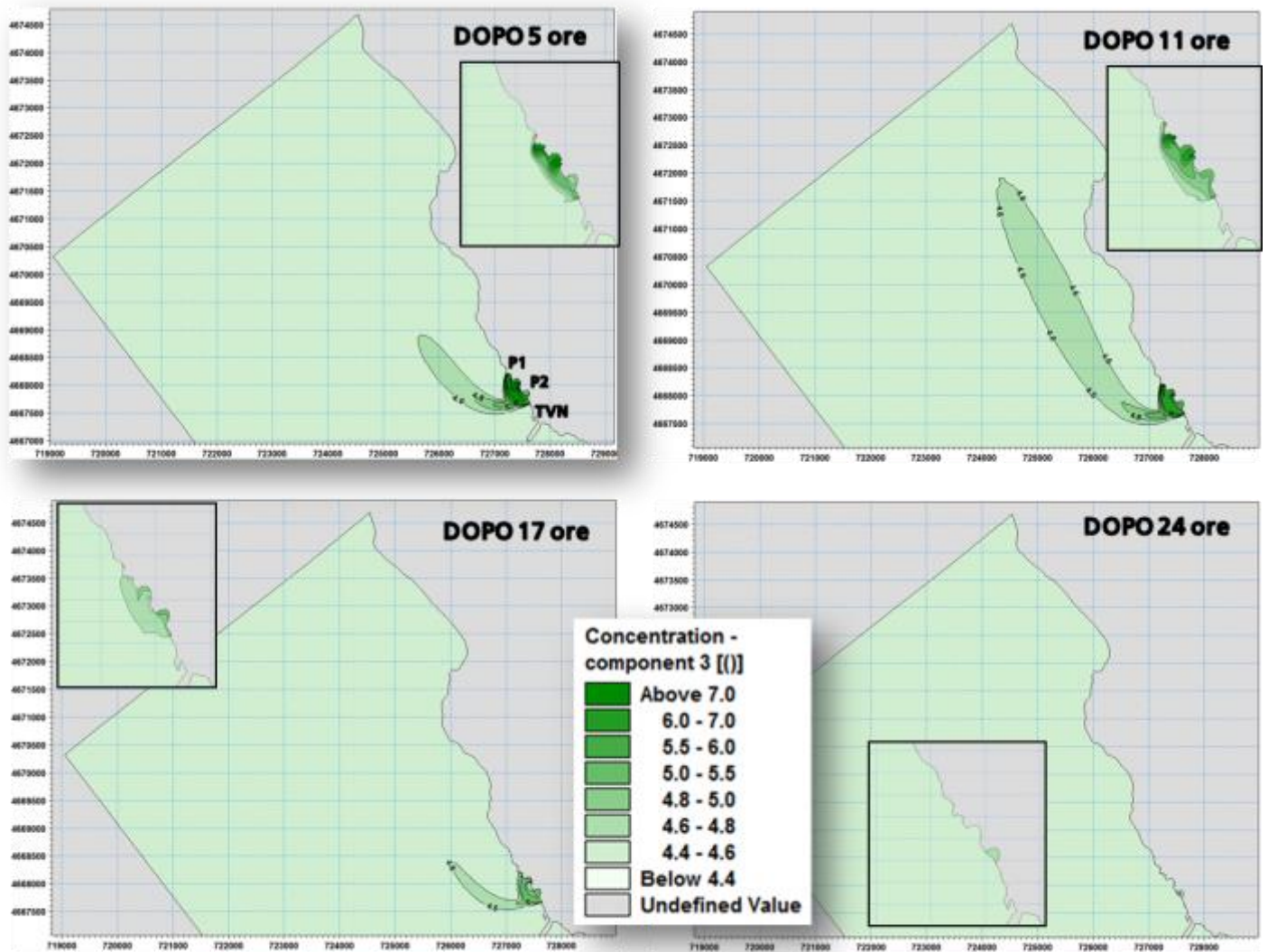


Figura 50 **SCENARIO n. 1 inshore**. Mappe di concentrazione superficiale (mg/l) dei solidi sospesi (LIMITE DI LEGGE: ≤ 80 mg/l) calcolate dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dagli scarichi P1 e P2 dell'esistente allevamento ittico a terra. I riquadri più piccoli mostrano la concentrazione dei solidi sospesi a soli 0.5 m di profondità.

4.3 SCENARIO n. 2: *offshore*

Lo SCENARIO n. 2 riproduce una condizione futura in cui si prevede la realizzazione di un allevamento ittico offshore costituito da 40 reti distribuite in 4 moduli da 10 reti ciascuno. Anche in questo scenario si è ipotizzato il contemporaneo funzionamento a pieno carico della centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord nella giornata del 26 luglio 2011 secondo le condizioni ambientali descritte ai paragrafi precedenti cui si rimanda per i necessari approfondimenti.

La Figura 51 mostra il campo termico superficiale sviluppato dal solo scarico della centrale termoelettrica. L'impatto termico dei rilasci dalle reti del futuro allevamento è stato, infatti, considerato nullo. In considerazione della spinta al galleggiamento del pennacchio caldo generata dal gradiente di temperatura esistente tra la temperatura indisturbata e quella dello scarico, quella illustrata rappresenta la massima estensione della perturbazione termica. L'immagine in alto evidenzia che l'area del modulo più interno del previsto nuovo impianto ittico (modulo B, secondo la numerazione qui adottata) è interessata da un lieve incremento termico (< 0.5 °C rispetto alla temperatura indisturbata) indotto dal pennacchio caldo proveniente dal diffusore della centrale. Peraltro, si segnala che tale incremento scompare a soli 0.5 m di profondità. L'immagine in basso mostra i dettagli della temperatura e della velocità della corrente nell'area del diffusore di scarico della centrale.

Le due figure che seguono si riferiscono alle mappe di concentrazione dell'azoto totale calcolate in sezioni orizzontali (Figura 52) e verticali (Figura 53) del volume d'acqua simulato. La prima figura illustra la concentrazione calcolata alla quota del rilascio (ipotizzato concentrato, come in precedenza descritto, in un punto a 1.5 m di profondità) in quattro diversi istanti presi a riferimento nell'ambito nella tempistica di rilascio ipotizzata. Nella stessa figura il riquadro più piccolo mostra il risentimento in superficie del rilascio dei nutrienti, presente solo dopo le 5 ore consecutive di rilascio costante dalle reti. Al termine del ciclo di rilasci ipotizzato nelle 24 ore si osserva il ripristino della condizione indisturbata.

Le mappe di concentrazione del medesimo nutriente illustrate in Figura 53 sono invece relative a tre sezioni verticali (due trasversali e una circa parallela a riva) scelte in maniera da intersecare le reti al fine di evidenziarne il potenziale massimo impatto. La condizione riportata in figura si riferisce all'istante immediatamente precedente l'inizio della diminuzione graduale dei rilasci dopo le 5 ore di rilascio costante. Le mappe evidenziano la scomparsa degli incrementi di concentrazione provenienti dalle reti a una profondità inferiore a 10 m e dunque tale da non interferire con i fondali su cui si innestano gli habitat protetti racchiusi nel perimetro del Sito di Importanza Comunitaria riportato nelle mappe a sinistra in figura.

Analoghe considerazioni sono deducibili dall'analisi delle mappe di concentrazione del fosforo totale contenute nella Figura 54 (mappe secondo piani orizzontali alla quota di rilascio di 1.5 m) e nella Figura 55 (mappe secondo tre sezioni verticali del volume d'acqua simulato).

Infine, si fa osservare che le concentrazioni di nutrienti massime riscontrabili in prossimità delle reti mantengono valori che non si discostano in maniera significativa da quelli ambientali indisturbati.

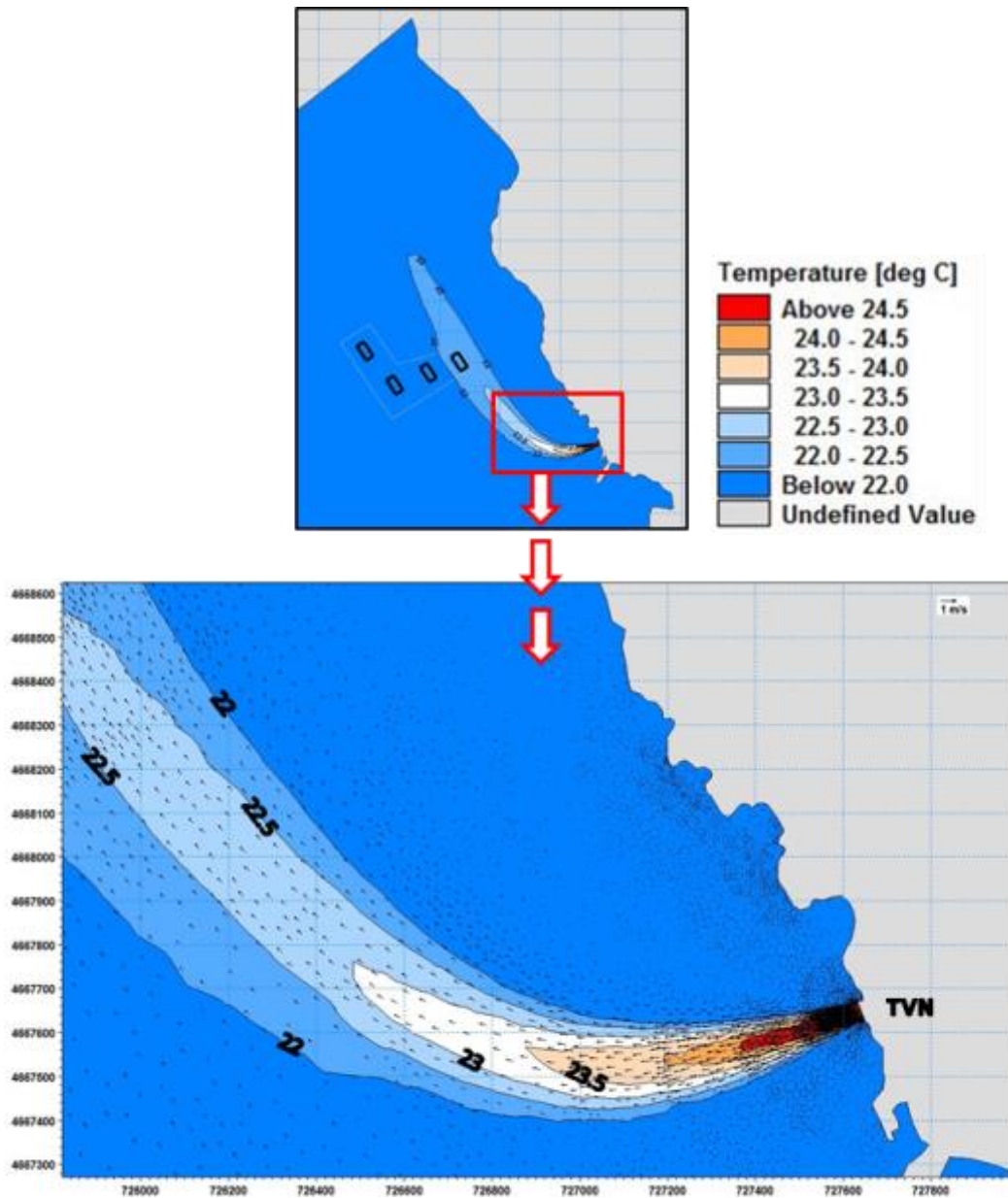


Figura 51 **SCENARIO n. 2 offshore**. Mappe di temperatura superficiale dell'acqua calcolata dopo 5 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore*. I campi vettoriali si riferiscono alle velocità della corrente superficiale calcolata, nel medesimo istante, in prossimità dello scarico della centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord.

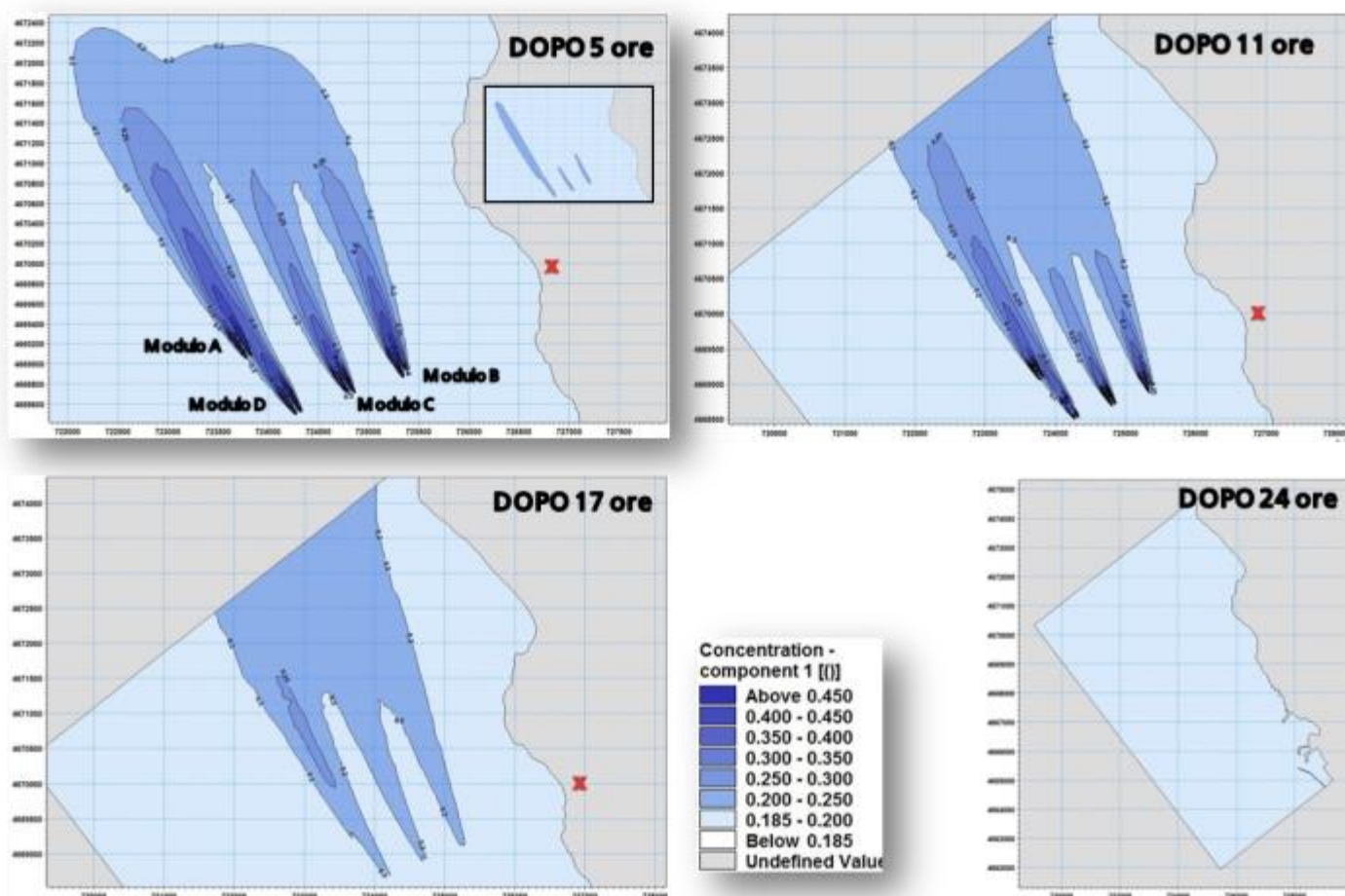


Figura 52 **SCENARIO n. 2 offshore.** Mappe di concentrazione (mg/l) del componente N (valore indisturbato 0.186 mg/l) calcolate a 1.5 m di profondità dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore*. I riquadri più piccoli mostrano la concentrazione del medesimo nutriente in superficie.

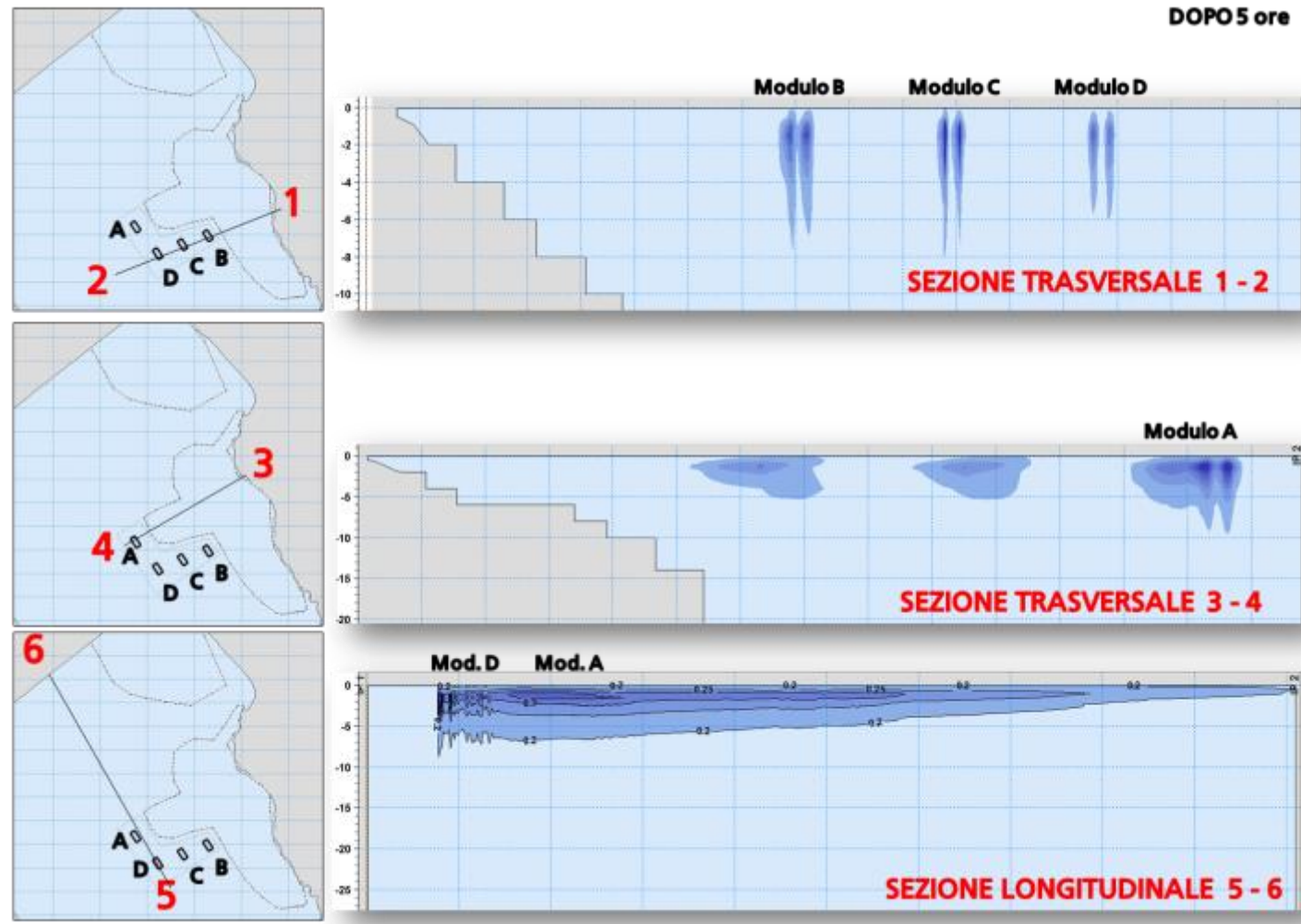


Figura 53 **SCENARIO n. 2 offshore**. Mappe di concentrazione (mg/l) del componente N calcolate secondo tre sezioni verticali (direzione Z), due trasversali a riva e una parallela ad essa, dopo 5 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore*.

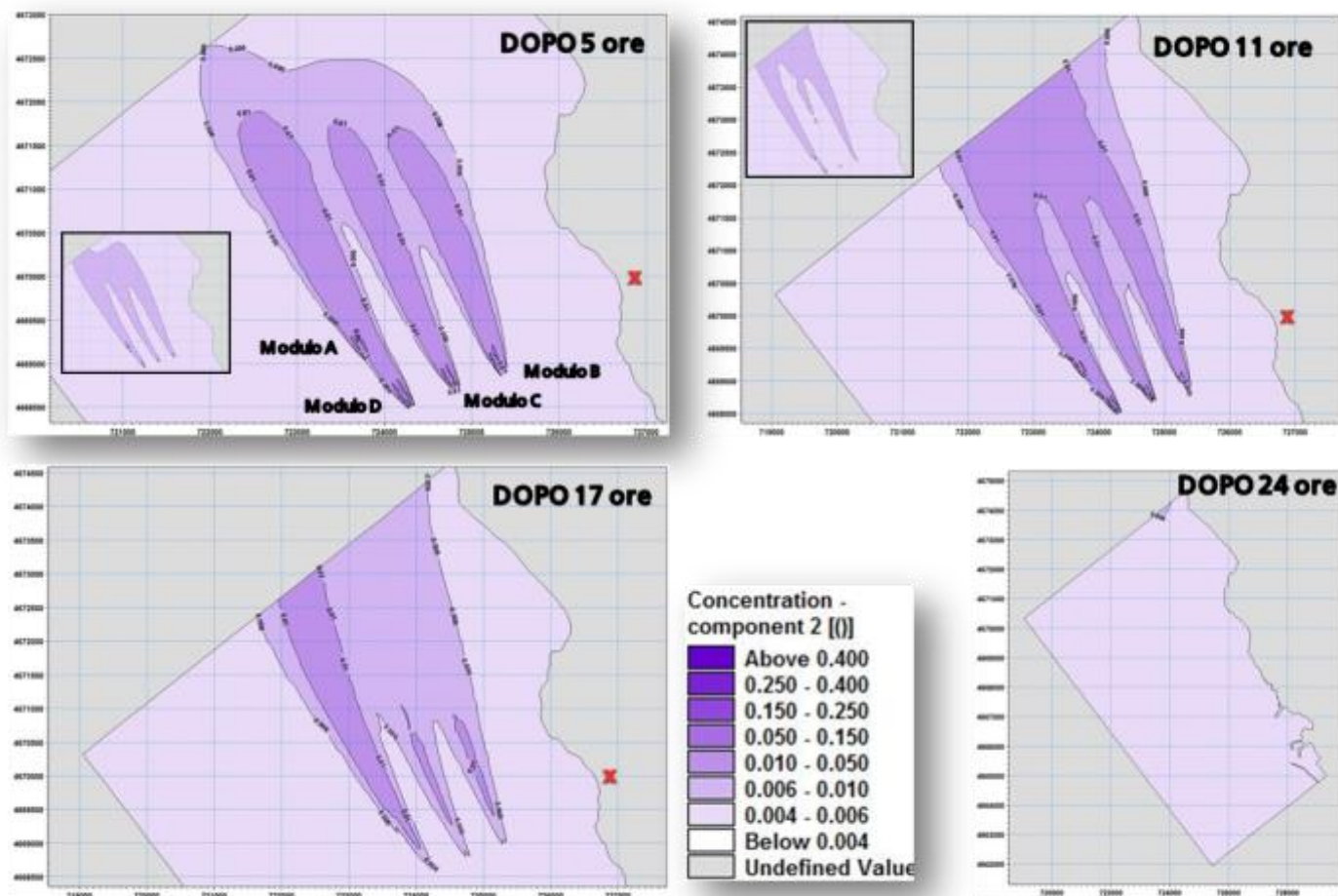


Figura 54 **SCENARIO n. 2 offshore**. Mappe di concentrazione (mg/l) del componente P (valore indisturbato 0.005 mg/l) calcolate a 1.5 m di profondità dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore*. I riquadri più piccoli mostrano la concentrazione del medesimo nutriente in superficie.

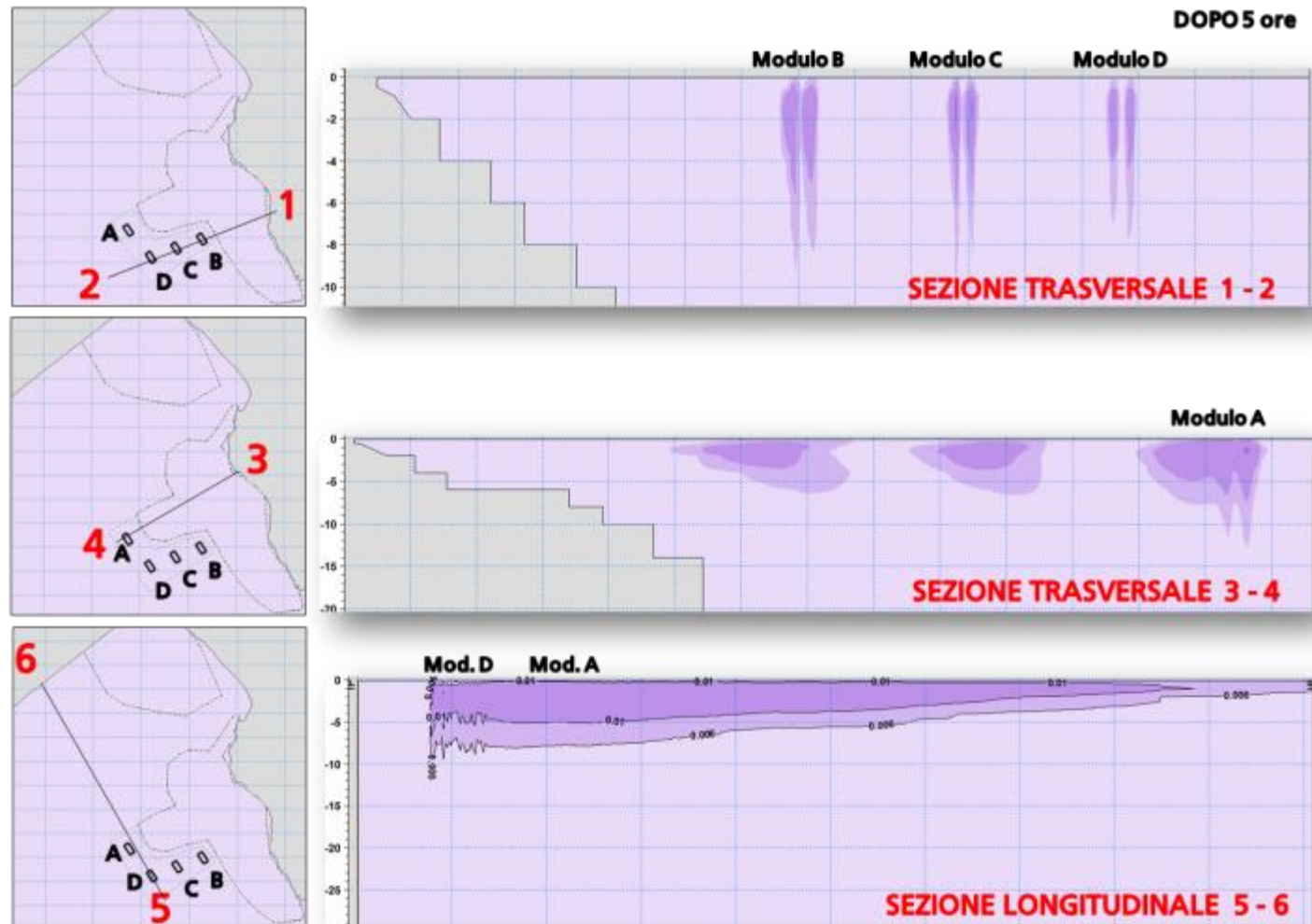


Figura 55 **SCENARIO n. 2 offshore.** Mappe di concentrazione (mg/l) del componente P calcolate secondo tre sezioni verticali (direzione Z), due trasversali a riva e una parallela ad essa, dopo 5 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore*.

4.4 SCENARIO n. 3: *misto*

Lo SCENARIO n. 3 riproduce una condizione futura in cui si prevede il funzionamento contemporaneo del progettato allevamento ittico offshore costituito da 40 reti distribuite in 4 moduli da 10 reti ciascuno e di quello già esistente ubicato a terra adiacente alla centrale termoelettrica di Torrealvaldliga Nord considerato funzionante al 50%, ossia con il rilascio dal solo scarico P2, a Sud. Anche in questo scenario si è ipotizzato il contemporaneo funzionamento a pieno carico della centrale termoelettrica di Torrealvaldliga Nord nella giornata del 26 luglio 2011 secondo le condizioni ambientali descritte ai paragrafi precedenti cui si rimanda per i necessari approfondimenti.

La Figura 56 mostra il campo termico superficiale sviluppato dallo scarico della centrale termoelettrica e dallo scarico P2 dell'allevamento di terra. In considerazione della spinta al galleggiamento del pennacchio caldo generata dal gradiente di temperatura esistente tra la temperatura indisturbata e quella dei due scarichi, quella illustrata rappresenta la massima estensione della perturbazione termica. L'immagine in alto evidenzia che l'area del modulo più interno del previsto nuovo impianto ittico (modulo B, secondo la numerazione qui adottata) è interessata da un lieve incremento termico ($< 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ rispetto alla temperatura indisturbata superficiale di $22\text{ }^{\circ}\text{C}$) indotto dal pennacchio caldo proveniente dal diffusore della centrale. Peraltro, si segnala che tale incremento scompare a soli 0.5 m di profondità.

L'altra immagine mostra i dettagli della temperatura e della velocità della corrente nell'area degli scarichi. Si osserva in particolare come lo scarico P2 dell'allevamento *inshore* sia trascinato verso Sud-Est dalla corrente litoranea esistente in quel segmento costiero, generata dalla morfologia dei fondali e della costa ed opposta a quella ambientale. E' inoltre evidente la predominanza (ovvia date le portate in gioco) del campo di moto generato dal diffusore della centrale rispetto a quello dello scarico P2 dell'impianto *inshore* 'depotenziato'.

Le due figure che seguono si riferiscono alle mappe di concentrazione dell'azoto totale calcolate alla profondità di 1.5 m (Figura 57) e in superficie (Figura 58). Entrambe le figure si riferiscono alla situazione riscontrata nei quattro istanti presi a riferimento nell'ambito nella tempistica di rilascio ipotizzata. Le due serie di immagini evidenziano l'assenza di interferenze tra i pennacchi del nutriente in esame generati dagli scarichi dei due impianti qui simulati; grazie alle differenti quote di emissione e alla distanza esistente tra le aree dei rilasci, infatti, le massime concentrazioni si mantengono in superficie e prossime a riva per l'impianto di terra, e 1.5 m al disotto del pelo libero per l'impianto al largo riducendosi ai valori ambientali indisturbati prima che la corrente ambientale possa produrne una sovrapposizione. Al termine del ciclo di rilasci ipotizzato nelle 24 ore si osserva il ripristino della condizione indisturbata ad entrambe le profondità.

Ciò premesso si mantengono valide le conclusioni cui si è giunti per il precedente SCENARIO n. 2 in merito all'approfondimento dei pennacchi nell'area dell'impianto *offshore*, ossia che l'azoto e il fosforo provenienti dalle reti 'scompaiono' prima di raggiungere i 10 m di profondità annullando, conseguentemente, il potenziale impatto sui fondali (che si collocano in quell'area a profondità decisamente superiori) e sugli habitat in essi ospitati, stando alla recente perimetrazione del Sito di Importanza Comunitaria IT 6000005 (*Fondali tra S. Agostino e Punta Mattonara*).

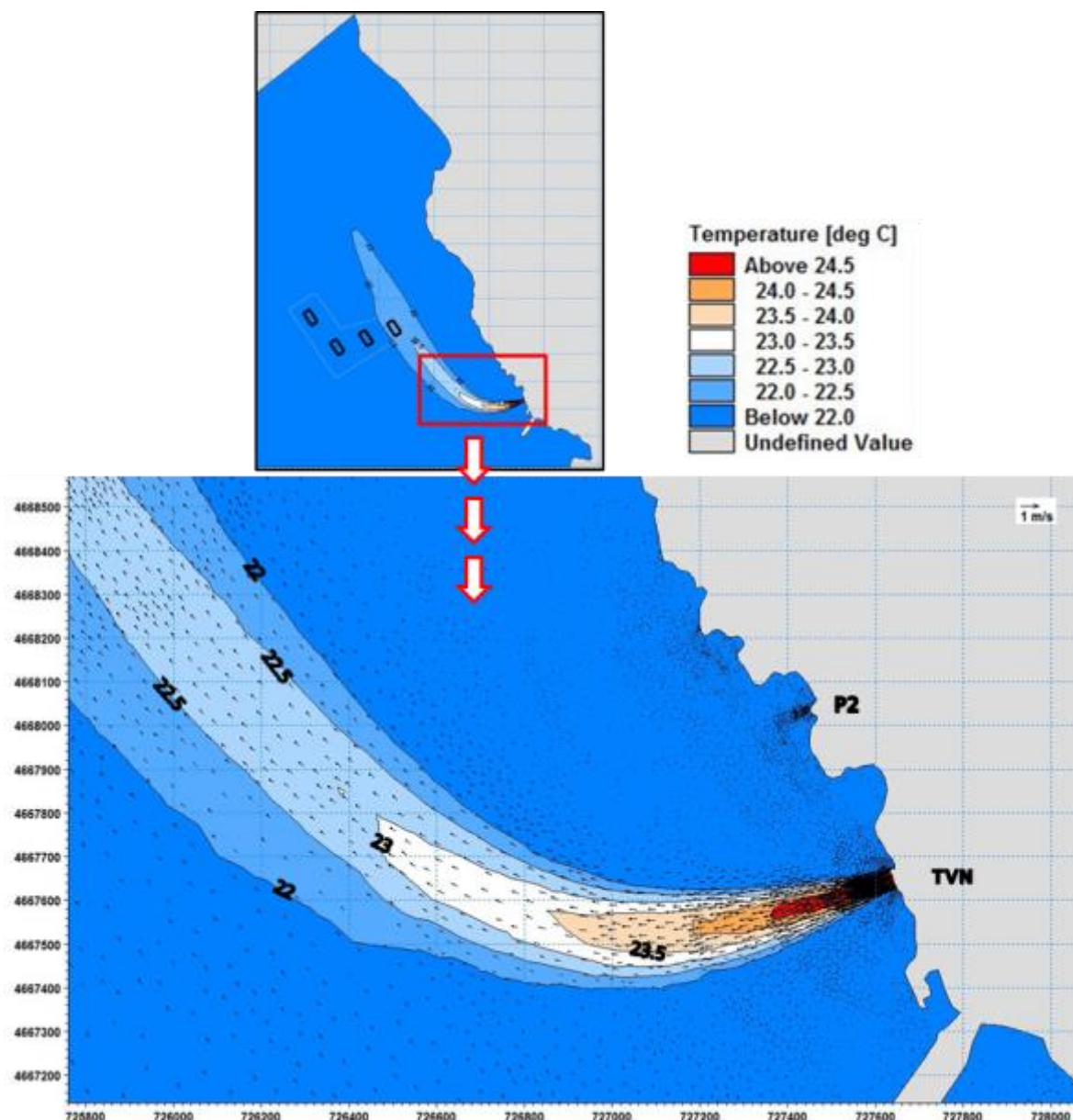


Figura 56 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di temperatura superficiale dell'acqua calcolata dopo 5 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore* e dal solo scarico P2 dell'allevamento esistente a terra. I campi vettoriali si riferiscono alle velocità della corrente superficiale calcolata, nel medesimo istante, in prossimità dello scarico P2 e di quello della centrale termoelettrica di Torrevaldaliga Nord.

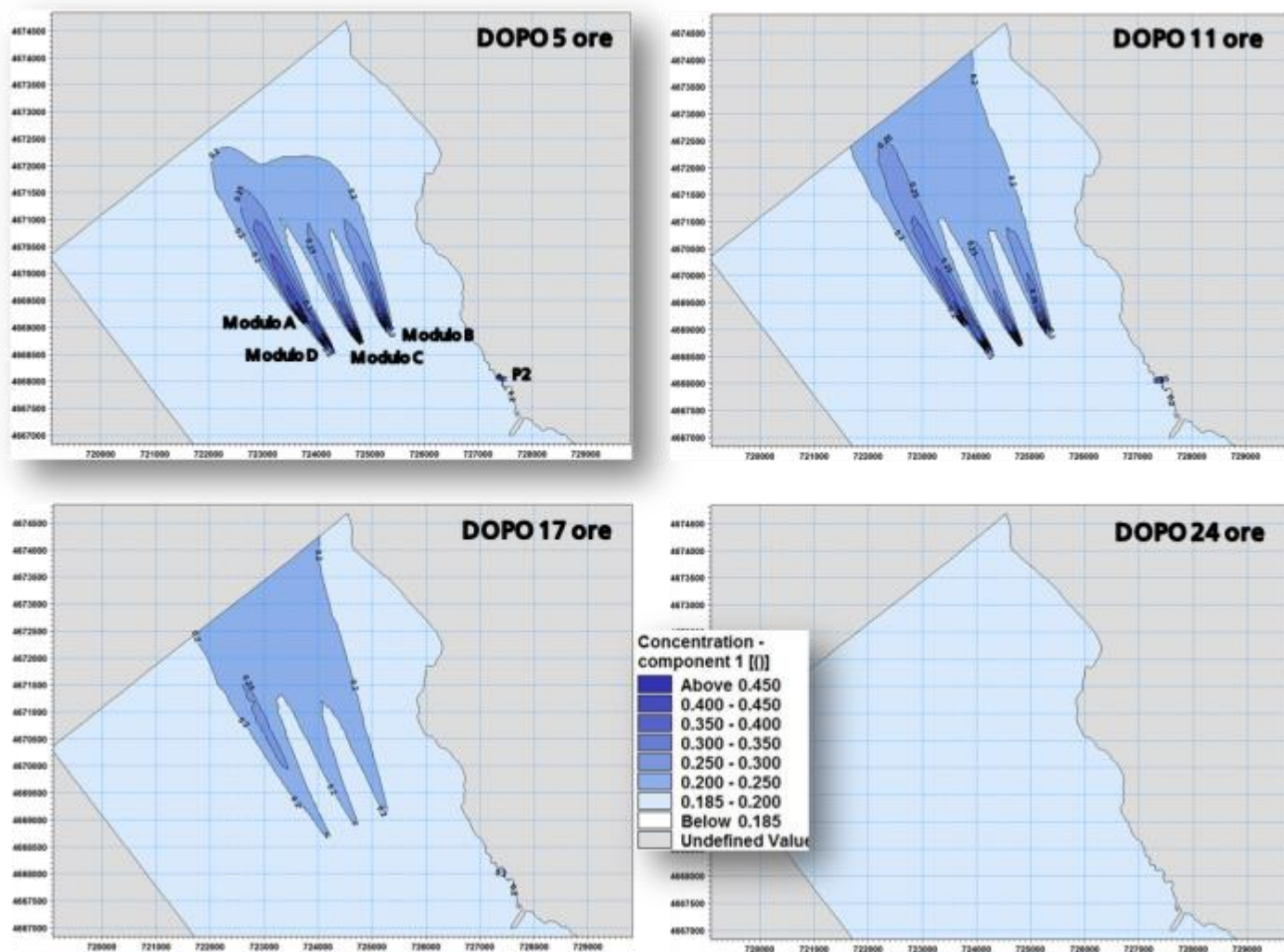


Figura 57 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di concentrazione (mg/l) del componente N (valore indisturbato 0.186 mg/l) calcolate a 1.5 m di profondità dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore* e dallo scarico P2 dell'impianto di terra.

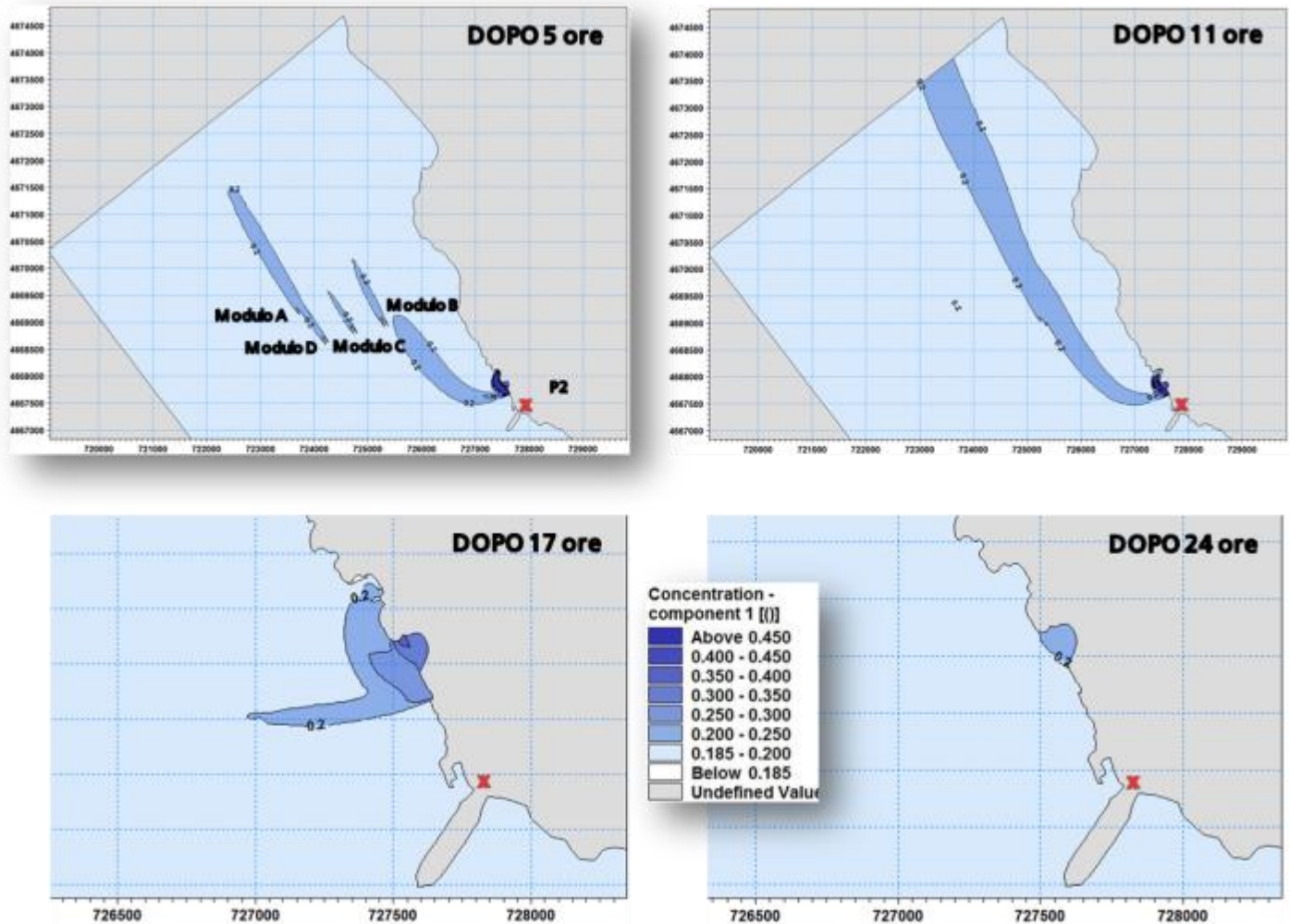


Figura 58 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di concentrazione (mg/l) del componente N (valore indisturbato 0.186 mg/l) calcolate in superficie dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore* e dallo scarico P2 dell'impianto di terra.

L'analisi delle mappe relative al secondo nutriente esaminato (fosforo totale) contenute nella Figura 59 (mappe alla quota di rilascio nelle reti, 1.5 m) e nella Figura 60 (mappe superficiali) evidenziano invece una interferenza tra i pennacchi originati dai due impianti. La sovrapposizione a livello superficiale riscontrabile in Figura 60 è stata analizzata in dettaglio attraverso le sezioni trasversali e longitudinali riportate rispettivamente in Figura 61 e in Figura 62. Da esse si evince che, nonostante la sovrapposizione, la diluizione è tale da limitare entro i 10 m di profondità l'approfondimento del pennacchio del nutriente nell'area delle gabbie. La Figura 62 'segue' nel tempo lo spostamento dei pennacchi lungo due sezioni longitudinali prese in asse alle aree che presentano la massima impronta superficiale. Le mappe a 11 e 17 ore mostrano un assottigliamento degli spessori e una diminuzione della concentrazione del nutriente rispetto alla situazione riscontrabile a 5 ore. Si conferma anche in questo caso il ripristino della condizione indisturbata al termine del ciclo di 24 ore simulato.

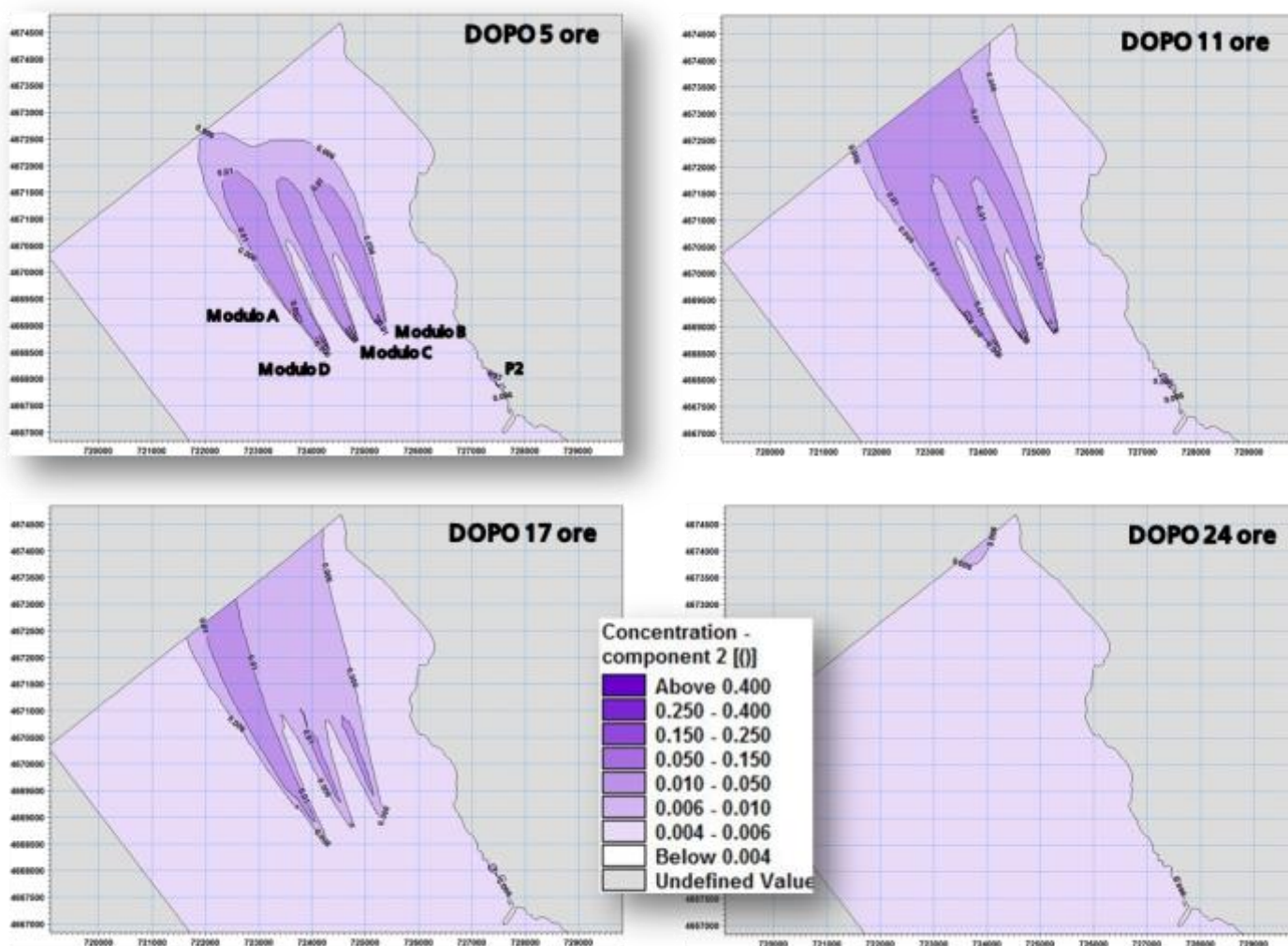


Figura 59 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di concentrazione (mg/l) del componente P (valore indisturbato 0.005 mg/l) calcolate a 1.5 m di profondità dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore* e dallo scarico P2 dell'impianto di terra.

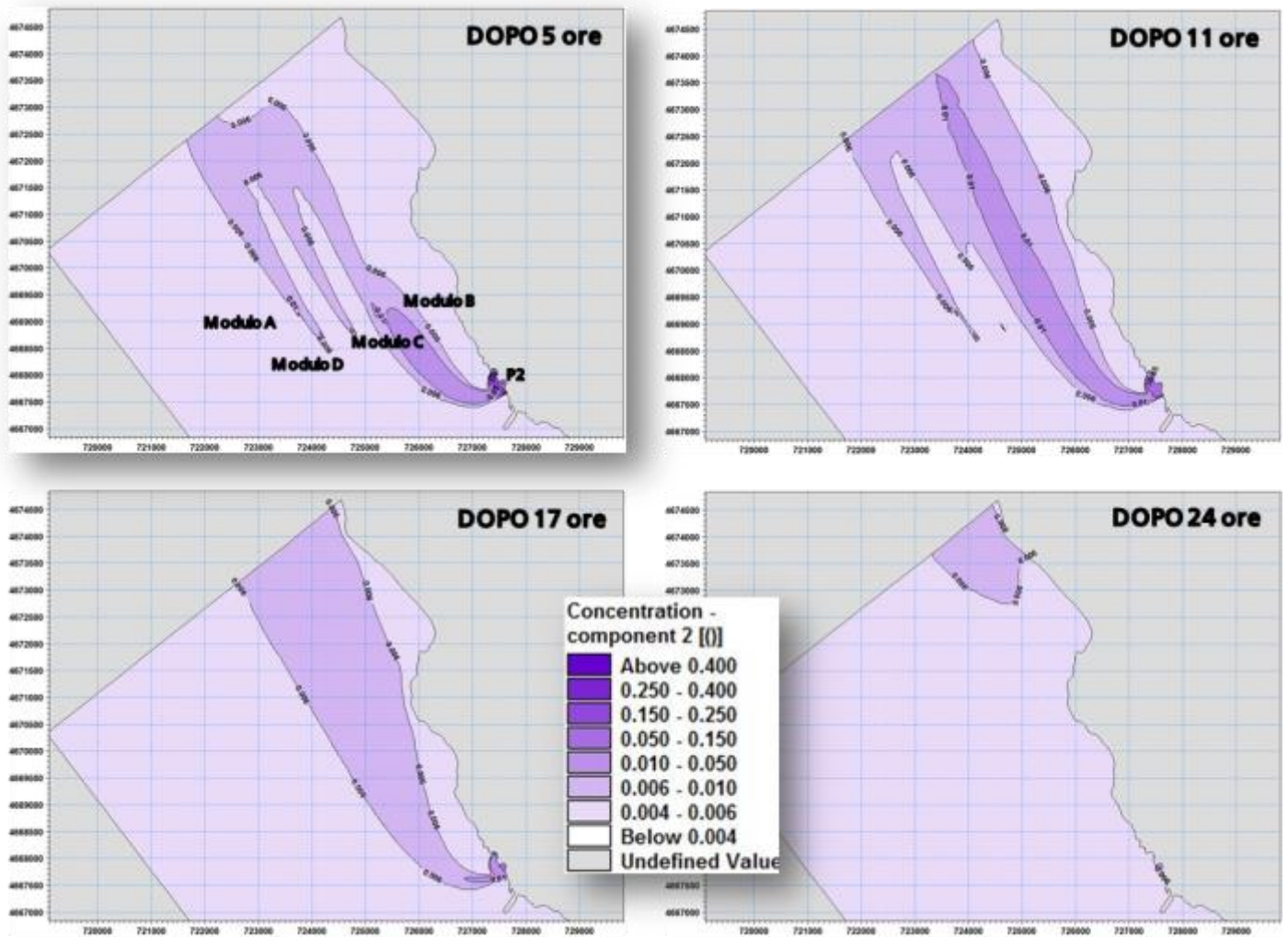


Figura 60 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di concentrazione (mg/l) del componente P (valore indisturbato 0.005 mg/l) calcolate in superficie dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore* e dallo scarico P2 dell'impianto di terra.

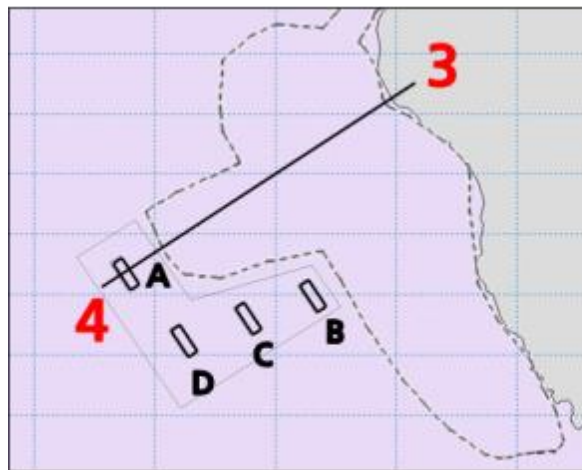
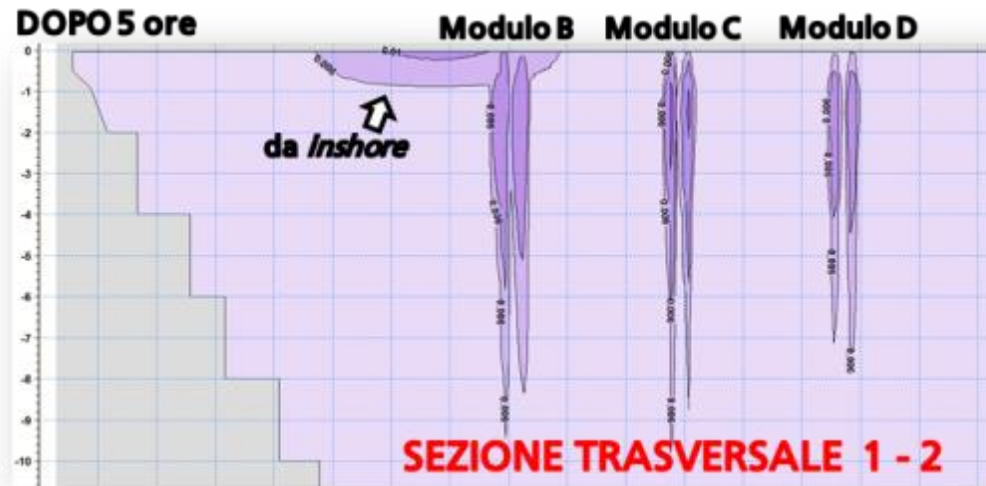
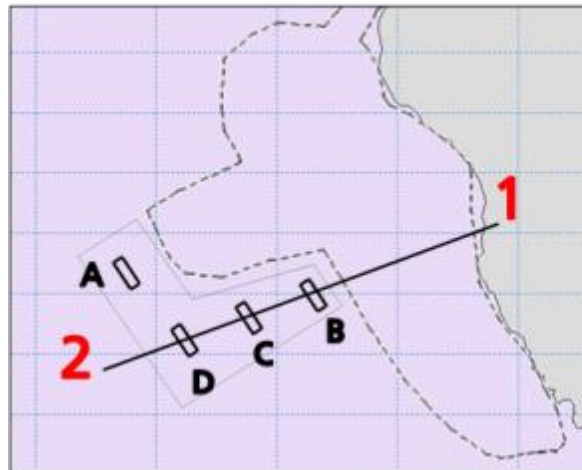


Figura 61 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di concentrazione (mg/l) del componente P calcolate secondo due sezioni verticali (direzione Z) trasversali a riva, dopo 5 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico offshore e dallo scarico P2 di quello esistente a riva.

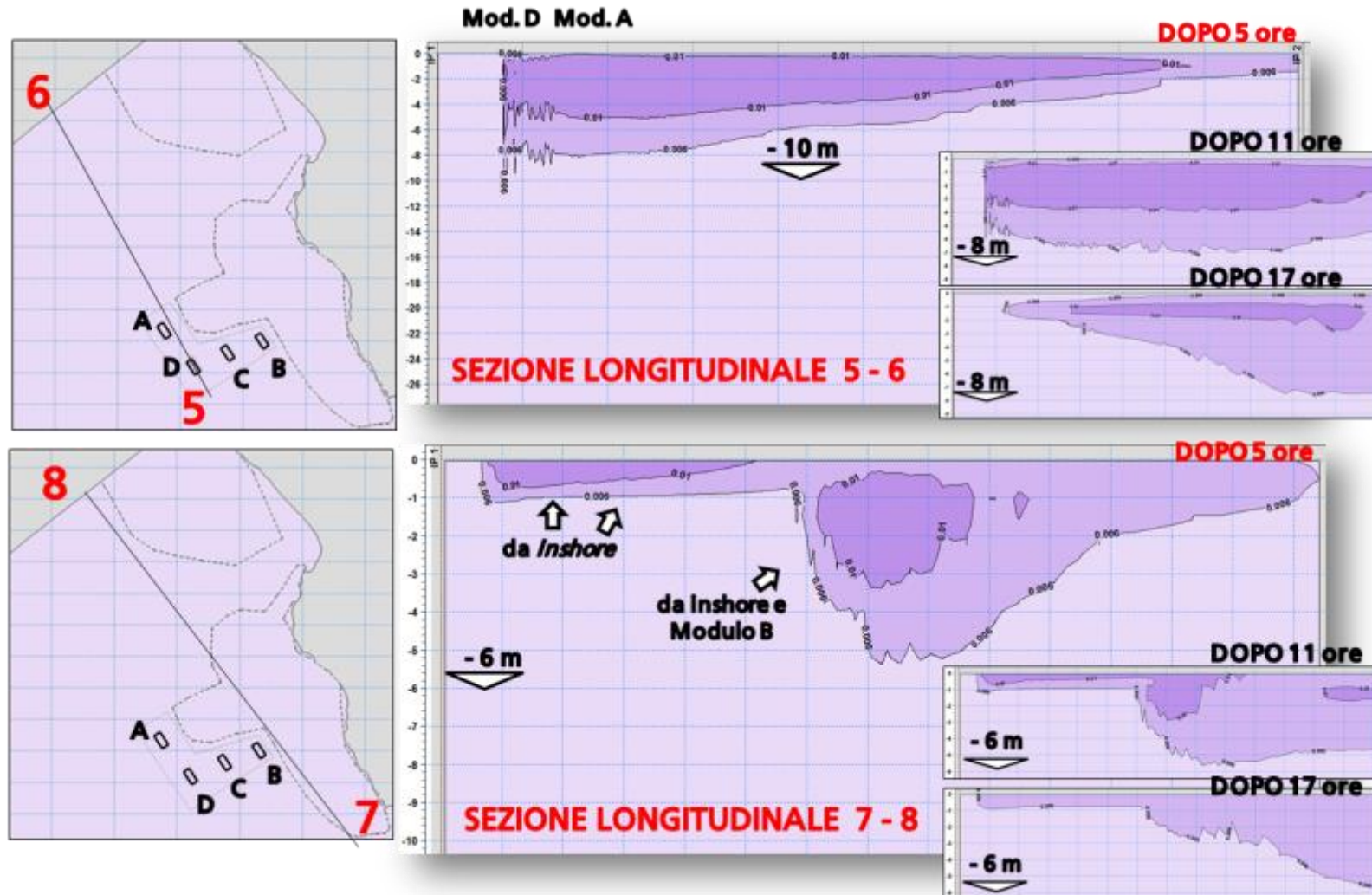


Figura 62 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di concentrazione (mg/l) del componente P calcolate secondo due sezioni verticali (direzione Z) parallele a riva, dopo 5, 11 e 17 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore* e dallo scarico P2 di quello esistente a riva.

La Figura 63 e la Figura 64, infine, mostrano le mappe di concentrazione dei solidi sospesi, calcolate per lo scarico P2 dell'impianto di terra, e del carbonio organico ricavate al largo in corrispondenza delle reti del nuovo impianto di allevamento *offshore*. Anche in questo caso la prima figura riguarda le mappe calcolate alla profondità di 1.5 m, dove è massima la concentrazione del carbonio poiché è a quella profondità che si è ipotizzato il rilascio dalle reti, mentre la seconda si riferisce alle mappe ricavate negli stessi istanti di riferimento ma in superficie, ossia dove avviene il rilascio dallo scarico P2 e dove è quindi massima la concentrazione dei solidi sospesi ad esso associata⁴.

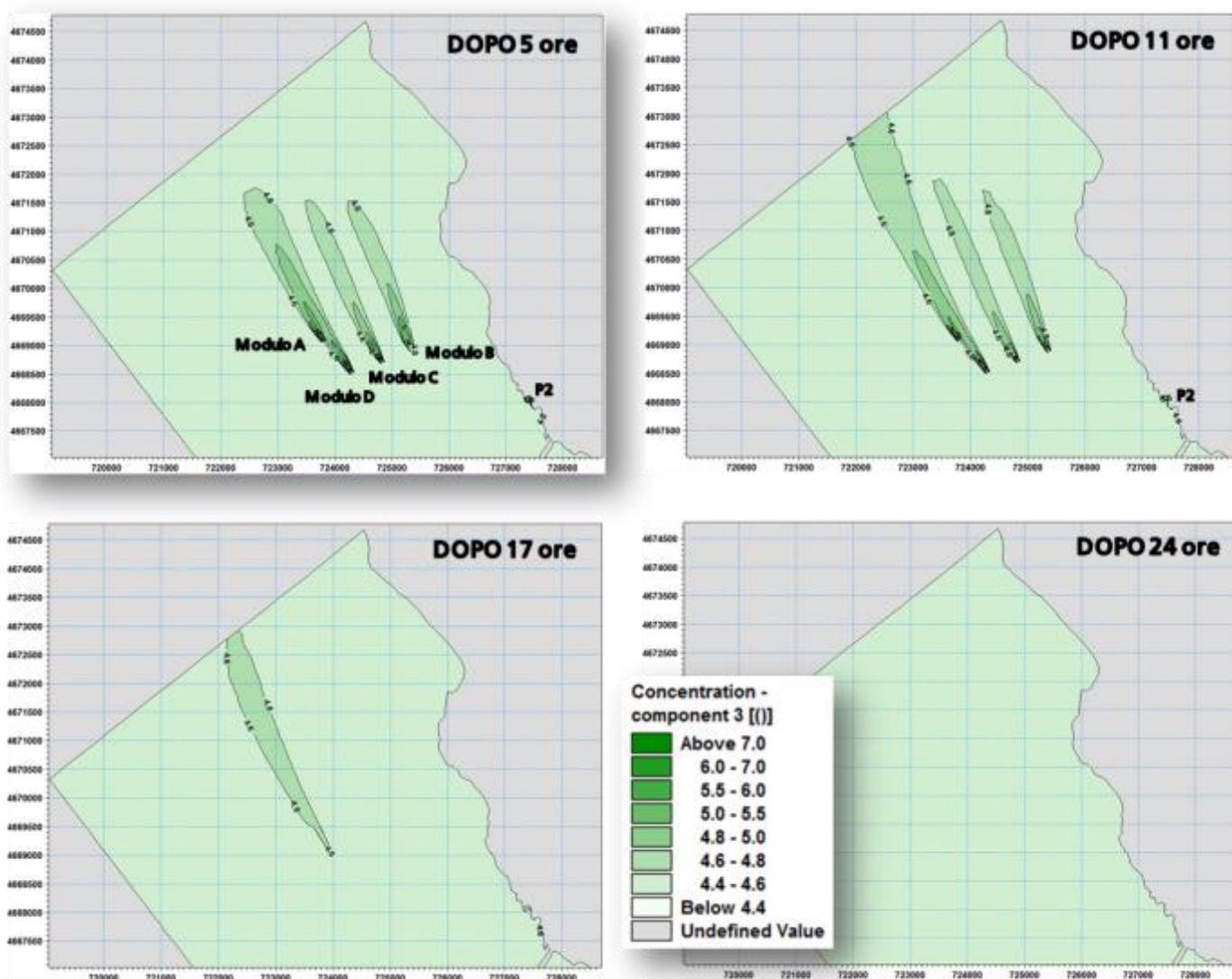


Figura 63 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di concentrazione (mg/l) dei solidi sospesi (LIMITE DI LEGGE: ≤ 80 mg/l) calcolate a 1.5 m di profondità dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore* e dallo scarico P2 dell'impianto di terra.

⁴ La sovrapposizione in una stessa mappa di due parametri differenti, i solidi sospesi e il carbonio organico, deriva dalla mancanza di dati di riferimento sia per quanto riguarda il carbonio organico in mare aperto (per questo motivo nell'analisi dello SCENARIO n. 2 si è fatto riferimento ai soli parametri N e P), sia per quanto concerne il carbonio organico dell'impianto *inshore* (analizzato nello SCENARIO n. 1 considerando N, P e solidi sospesi di cui sono invece disponibili misure recenti). Non esistendo limiti di legge per il carbonio organico in mare si è ritenuto opportuno riferirsi al limite dei solidi sospesi (80 mg/l) (Rif. 15). Analogamente per il valore indisturbato da attribuire al corpo idrico ricevente si è fatto riferimento a quello dei solidi sospesi misurato recentemente per le acque in ingresso alla centrale di Torrealvaliga.

Anche in questo caso non si evidenziano interferenze tra i pennacchi alle due quote esaminate e la verifica della profondità di penetrazione nell'area delle reti secondo le tre sezioni verticali utilizzate per il precedente SCENARIO n. 2 ha evidenziato il riassorbimento dei nutrienti già a 6 m circa dal pelo libero.

Infine, si fa osservare che, anche per questo scenario, le concentrazioni di nutrienti massime riscontrabili in prossimità dello scarico P2 a riva si mantengono abbondantemente inferiori ai limiti di legge esistenti per ciascuno dei nutrienti esaminati.

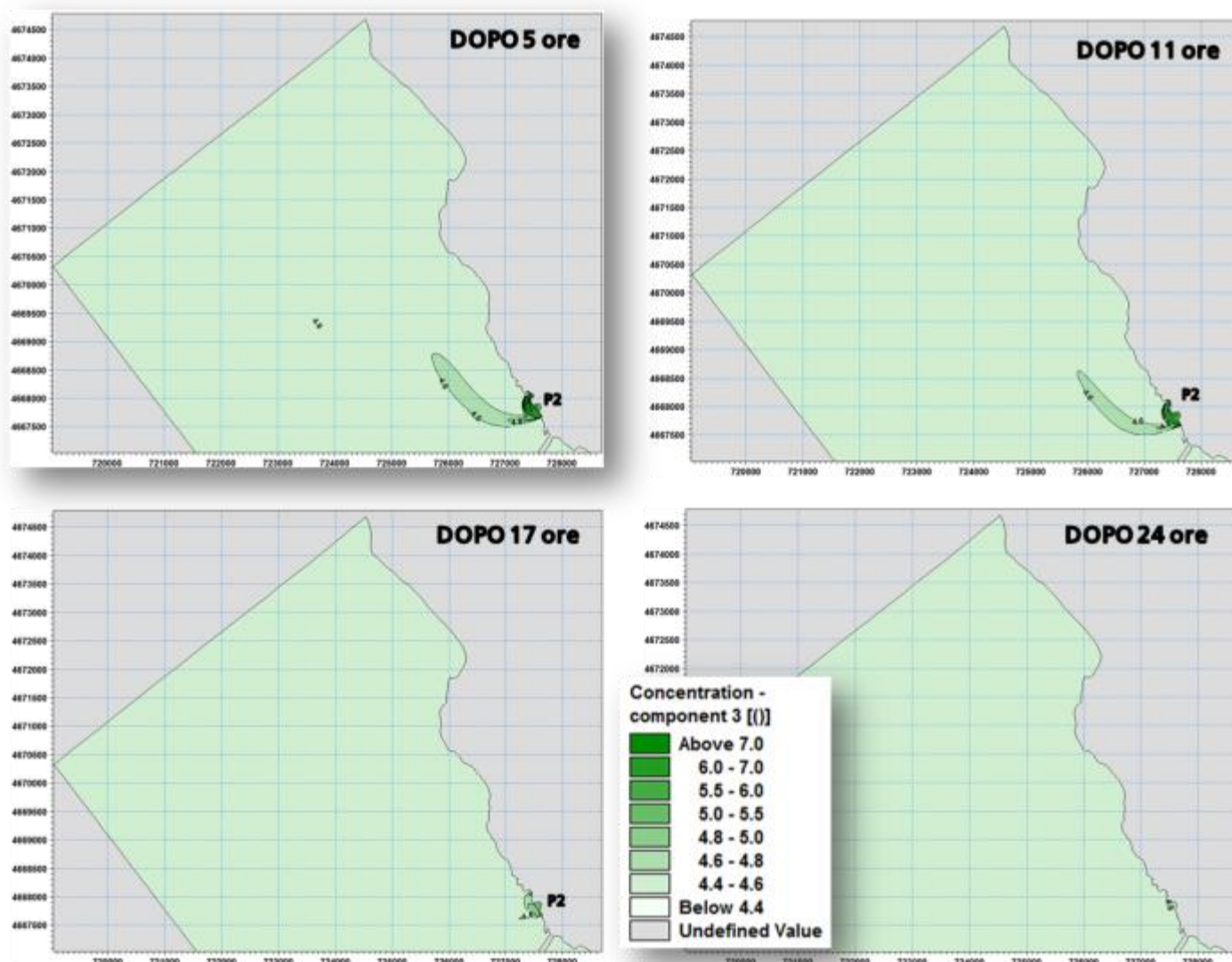


Figura 64 **SCENARIO n. 3 misto**. Mappe di concentrazione (mg/l) dei solidi sospesi (LIMITE DI LEGGE: ≤ 80 mg/l) calcolate in superficie dopo 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio di nutrienti dalle reti del futuro allevamento ittico *offshore* e dallo scarico P2 dell'impianto di terra.

4.5 Interferenze con le aree SIC

4.5.1 Premessa

La precedente Figura 46 evidenzia la perimetrazione delle aree SIC ricadenti nel dominio di calcolo. Si tratta del SIC IT 6000005 *Fondali tra Punta S. Agostino e Punta Mattonara*, completamente incluso, e del SIC IT6000004 *Fondali tra Marina di Tarquinia e Punta delle Quaglie* ricadente nell'area simulata solo nella sua parte meridionale. I profili di tali siti sono stati oggetto di una recente revisione che ha inteso garantire, in particolare, la tutela dell'habitat 1120 *Posidonia oceanica* nella sua massima estensione.

Nella relazione tecnica che accompagna la delibera (Rif. 14) di modifica delle delimitazioni dei SIC marini del Lazio e l'aggiornamento degli habitat d'interesse comunitario in essi inclusi si forniscono le caratteristiche dei due SIC sopra citati; alcune di esse sono riprese nella seguente Tabella 34.

Tabella 34 Caratteristiche delle aree dei SIC marini della Regione Lazio (Rif. 14) incluse nel dominio di calcolo delle simulazioni numeriche

CODICE SITO	CODICE HABITAT	SUPERFICIE (ha)
IT 6000004 <i>Fondali tra Marina di Tarquinia e Punta delle Quaglie (1841 ha)</i>	1110 (Associazione a <i>Cymodocea nodosa</i>)	11.39
	1120 (praterie di <i>P. oceanica</i>)	887.93
	1170 (Coralligeno)	56.17
IT 6000005 <i>Fondali tra Punta S. Agostino e Punta Mattonara (557 ha)</i>	1120 (praterie di <i>P. oceanica</i>)	287.16
	1170 (Coralligeno)	29.12

L'ampliamento dell'area del SIC IT6000004 è stato dettato sia dalla necessità di includere nel suo perimetro la parte superficiale della prateria, posizionata su roccia, sia dalla presenza di altri due habitat di interesse comunitario individuati in questa zona. Si tratta nella porzione più superficiale dell'habitat 1110 (Associazione a *Cymodocea nodosa*), mentre nella parte più profonda, all'incirca dal limite inferiore⁵ della prateria di *P. oceanica* in poi, è stato osservato l'habitat 1170 (Coralligeno).

L'ampliamento del SIC IT 6000005 *Fondali tra Punta S. Agostino e Punta Mattonara* verso costa, soprattutto nella sua porzione più settentrionale, è stato invece deliberato nell'intento di proteggere in modo pressoché totale la porzione di prateria di *P. oceanica* superficiale originariamente esclusa dal sito. L'estensione del sito verso il largo ha consentito, invece, di tutelare un'importante porzione di roccia con popolamenti

⁵ Le praterie presentano un limite superiore e un limite inferiore. Il primo, il punto in cui ha inizio la prateria partendo dalla costa, è piuttosto netto, mentre il secondo, il punto dove finisce, può essere di diverso tipo (dipendendo da vari fattori quali, ad esempio, la penetrazione della luce, il tipo di substrato, l'idrodinamismo dell'area, l'eventuale inquinamento).

appartenenti alla biocenosi del coralligeno (habitat 1170) soltanto parzialmente inclusi nella prima delimitazione del sito.

L'analisi delle caratteristiche riassunte in Tabella 34 evidenzia la predominanza, almeno in termini di estensione, dell'habitat 1120 con cui si individuano le praterie di *Posidonia oceanica*. Peraltro, come si deduce dal nome stesso dei siti, tutti gli habitat segnalati si sviluppano in corrispondenza dei fondali.

4.5.2 Effetti delle sostanze disciolte

L'analisi dei risultati dei singoli scenari simulati ha evidenziato la generale assenza di interferenza tra i rilasci di azoto e fosforo ed il fondale, in particolare per l'impianto *offshore* progettato al largo su fondali superiori a 30 m.

Possibili interferenze si potrebbero verificare in corrispondenza dell'impianto *inshore*, i cui scarichi si collocano appunto a riva. Peraltro gli scarichi dell'impianto *inshore* si posizionano al limite meridionale della delimitazione SIC, in un'area caratterizzata, nelle condizioni qui simulate, da una corrente discendente che allontanerebbe la potenziale interferenza con i fondali protetti. Tale circostanza sarebbe oltremodo verificata nel caso in cui, come simulato nello scenario n. 3 (misto) ci si venisse a trovare nella condizione di funzionamento del solo scarico P2, il più a Sud dei due ora operativi.

Ciò premesso, si è comunque proceduto a quantificare l'interferenza tra i pennacchi degli elementi simulati, calcolati alle diverse profondità di rilascio, e l'area marina protetta IT 6000005 che ricade interamente nel dominio di calcolo ed è la più vicina ad entrambi i siti di rilascio dei nutrienti (dunque, potenzialmente esposta alle maggiori perturbazioni).

I risultati scaturiti dall'analisi delle interferenze con l'area SIC IT 6000005 sono illustrati nel seguito sia numericamente (dalla Tabella 35 alla Tabella 38), sia mediante grafici di confronto tra i diversi assetti d'impianto esaminati.

Le tabelle riportano, per ciascuno degli scenari simulati e per ogni elemento esaminato, la percentuale dell'area SIC perturbata nei quattro istanti della giornata utilizzati come riferimento (ossia a 5, 11, 17 e 24 ore dall'inizio del rilascio dei nutrienti secondo la tempistica di rilascio illustrata in Tabella 29). In dettaglio:

- la Tabella 35 riguarda il primo scenario (configurazione *inshore*) e fornisce la quantificazione percentuale delle aree perturbate dai nutrienti calcolate in superficie, ossia alla quota di rilascio degli scarichi P1 e P2;
- la Tabella 36 riporta per il secondo scenario (configurazione *offshore*) la quantificazione percentuale delle aree perturbate dai nutrienti calcolate alla quota di -1.5 m dal pelo libero, ovvero la quota a cui è stato ipotizzato in ognuna delle 40 reti il rilascio concentrato dei nutrienti;
- la Tabella 37 e la Tabella 38 si riferiscono entrambe al terzo scenario (configurazione mista con impianto *offshore* al 100% e impianto *inshore* ridotto al solo scarico P2) e forniscono le percentuali di aree perturbate alla quota superficiale e alla profondità di -1.5 dal pelo libero, rispettivamente; la successiva Tabella 39 contiene i valori massimi delle percentuali di area SIC perturbata nel terzo scenario rilevate in superficie o a -1.5 m di quota.

Le percentuali ricavate sono state riunite nel grafico di Figura 65 che confronta le configurazioni *inshore* e *offshore* con riferimento alle aree perturbate ricavate in corrispondenza delle rispettive profondità di rilascio (ossia nei piani in cui sono riscontrabili

le massime concentrazioni dei nutrienti); le percentuali relative alla configurazione cosiddetta *mista*, invece, sono state ricavate per ciascun livello di concentrazione con riferimento alla quota in cui si è riscontrata la massima area perturbata (superficiale oppure a -1.5 m dal medio mare come riassunto in Tabella 39).

A titolo illustrativo la Figura 66 mostra la definizione delle aree perturbate incluse nel perimetro superficiale dell'area SIC in esame dopo undici ore dal rilascio di fosforo utilizzate per il calcolo delle percentuali riportate nell'istogramma (in alto nella figura) di confronto tra gli scenari 1 e 3 alla quota superficiale.

L'analisi delle tabelle e dei grafici di confronto evidenzia quanto segue:

- al termine delle 24 ore simulate le concentrazioni di tutte le sostanze rilasciate riassumono il valore ambientale indisturbato, ossia le aree perturbate incluse nel SIC si annullano; ciò denota, nelle condizioni meteomarine e di assetto impianti qui simulate, l'assenza di fenomeni di accumulo;
- le maggiori percentuali di aree perturbate si osservano generalmente a 11 e a 17 ore dall'inizio dei rilasci, quando, terminata la fase di rilascio costante per cinque ore consecutive della massima concentrazione ed iniziata la progressiva diminuzione fino al ripristino dei valori ambientali, i pennacchi si sviluppano e si allargano dai punti di emissione per effetto delle correnti ambientali e di gradiente;
- le maggiori percentuali di area SIC perturbata dalle sostanze rilasciate sono sempre associate a concentrazioni prossime a quelle ambientali indisturbate e diminuiscono significativamente all'aumentare della concentrazione; in sostanza le aree perturbate rispetto al valore ambientale tendono a ridursi considerevolmente all'aumentare della concentrazione;
- il confronto di Figura 65 tra gli assetti *inshore* 100%, *offshore* 100% e *misto* (100% *offshore* e 50% *inshore*) delle percentuali di area SIC IT 6000005 perturbata, calcolate alle diverse quote secondo quanto specificato, evidenzia una generale minore influenza sull'area protetta dell'impianto *offshore* rispetto a quello che lo vede in funzionamento accoppiato all'impianto *inshore*, ridimensionato al 50% circa e a quello *inshore*;

In ogni caso, come già osservato ai precedenti paragrafi, la perturbazione indotta dagli impianti simulati presenta i suoi valori massimi in corrispondenza degli strati più superficiali senza arrivare a interferire con i fondali protetti di entrambe le aree SIC.

Tabella 35 SCENARIO n. 1_ *inshore*. Percentuale dell'area del SIC IT 6000005 perturbata dagli elementi rilasciati dagli scarichi P1 e P2 (quota di rilievo delle aree: 0 m s.l.m.)

N ambientale = 0.186 mg/l						
	> 0.2	> 0.25	> 0.3	> 0.35	> 0.4	> 0.5
INSH_dopo 5 ore	11%	1.7%	1.2%	1.1%	0.9%	0.7%
INSH_dopo 11 ore	41%	1.6%	1.1%	0.8%	0.7%	0.0%
INSH_dopo 17 ore	4.8%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
INSH_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
P ambientale = 0.005 mg/l						
	> 0.006	> 0.01	> 0.05	> 0.15		
INSH_dopo 5 ore	25%	12%	1.1%	0.3%		
INSH_dopo 11 ore	67%	44%	0.8%	0.0%		
INSH_dopo 17 ore	66%	6.5%	0.0%	0.0%		
INSH_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
SOLIDI SOSP amb = 4.5 mg/l						
	> 4.6	> 4.8	> 5	> 5.5	> 6	
INSH_dopo 5 ore	9.3%	2.6%	1.6%	1.2%	0.9%	
INSH_dopo 11 ore	39%	2.9%	1.5%	1.1%	0.7%	
INSH_dopo 17 ore	4.5%	0.9%	0.6%	0.0%	0.0%	
INSH_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	

Tabella 36 SCENARIO n. 2_ *offshore*. Percentuale dell'area del SIC IT 6000005 perturbata dagli elementi rilasciati dalle reti (quota di rilievo delle aree: -1.5 m s.l.m.)

N ambientale = 0.186 mg/l						
	> 0.2	> 0.25	> 0.3	> 0.35	> 0.4	> 0.5
OFFSH_dopo 5 ore	17%	10%	4.4%	1.8%	0.5%	0.0%
OFFSH_dopo 11 ore	17%	8.6%	2.8%	0.8%	0.0%	0.0%
OFFSH_dopo 17 ore	11%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
OFFSH_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
P ambientale = 0.005 mg/l						
	> 0.006	> 0.01	> 0.05			
OFFSH_dopo 5 ore	19%	14%	0.0%			
OFFSH_dopo 11 ore	19%	13%	0.0%			
OFFSH_dopo 17 ore	15%	3.4%	0.0%			
OFFSH_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%			
(CARBONIO) SOLIDI SOSPESI amb = 4.5 mg/l						
	> 4.6	> 4.8	> 5	> 5.5		
OFFSH_dopo 5 ore	12%	3.3%	0.5%	0.0%		
OFFSH_dopo 11 ore	11%	2.0%	0.0%	0.0%		
OFFSH_dopo 17 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
OFFSH_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		

Tabella 37 SCENARIO n. 3_misto. Percentuale dell'area del SIC IT 6000005 perturbata dagli elementi rilasciati dalle reti e dallo scarico P2 (quota di rilievo delle aree: 0 m s.l.m.)

N ambientale = 0.186 mg/l						
	> 0.2	> 0.25	> 0.3	> 0.35	> 0.4	> 0.5
MISTO (sup)_dopo 5 ore	12%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%
MISTO (sup)_dopo 11 ore	24%	0.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
MISTO (sup)_dopo 17 ore	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MISTO (sup)_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
P ambientale = 0.005 mg/l						
	> 0.006	> 0.01	> 0.05	> 0.15		
MISTO (sup)_dopo 5 ore	32%	10%	0.2%	0.0%		
MISTO (sup)_dopo 11 ore	62%	29%	0.1%	0.0%		
MISTO (sup)_dopo 17 ore	58%	0.3%	0.0%	0.0%		
MISTO (sup)_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
SOLIDI SOSP amb = 4.5 mg/l						
	> 4.6	> 4.8	> 5	> 5.5	> 6	> 7
MISTO (sup)_dopo 5 ore	6.3%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%
MISTO (sup)_dopo 11 ore	4.0%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
MISTO (sup)_dopo 17 ore	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MISTO (sup)_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Tabella 38 SCENARIO n. 3_misto. Percentuale dell'area del SIC IT 6000005 perturbata dagli elementi rilasciati dalle reti e dallo scarico P2 (quota di rilievo delle aree: -1.5 m s.l.m.)

N ambientale = 0.186 mg/l						
	> 0.2	> 0.25	> 0.3	> 0.35	> 0.4	> 0.5
MISTO (-1.5m)_dopo 5 ore	17%	10%	4.3%	1.8%	0.5%	0.0%
MISTO (-1.5m)_dopo 11 ore	17%	8.6%	2.8%	0.8%	0.0%	0.0%
MISTO (-1.5m)_dopo 17 ore	11%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MISTO (-1.5m)_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
P ambientale = 0.005 mg/l						
	> 0.006	> 0.01	> 0.05	> 0.15		
MISTO (-1.5m)_dopo 5 ore	20%	14%	0.0%	0.0%		
MISTO (-1.5m)_dopo 11 ore	19%	13%	0.0%	0.0%		
MISTO (-1.5m)_dopo 17 ore	15%	3.1%	0.0%	0.0%		
MISTO (-1.5m)_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
SOLIDI SOSP amb = 4.5 mg/l						
	> 4.6	> 4.8	> 5	> 5.5		
MISTO (-1.5m)_dopo 5 ore	12%	3.3%	0.4%	0.0%		
MISTO (-1.5m)_dopo 11 ore	12%	2.0%	0.0%	0.0%		
MISTO (-1.5m)_dopo 17 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		
MISTO (-1.5m)_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		

Tabella 39 SCENARIO n. 3_misto. Percentuale MASSIME (rilevate in superficie o a -1.5 m di profondità) dell'area del SIC IT 6000005 perturbata dagli elementi rilasciati dalle reti e dallo scarico P2

N ambientale = 0.186 mg/l						
	> 0.2	> 0.25	> 0.3	> 0.35	> 0.4	> 0.5
MISTO_dopo 5 ore	17%	9.8%	4.3%	1.8%	0.5%	0.1%
MISTO_dopo 11 ore	24%	8.6%	2.8%	0.8%	0.0%	0.0%
MISTO_dopo 17 ore	11.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
MISTO_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
P ambientale = 0.005 mg/l						
	> 0.006	> 0.01	> 0.05			
MISTO_dopo 5 ore	32%	14%	0.2%			
MISTO_dopo 11 ore	62%	29%	0.1%			
MISTO_dopo 17 ore	58%	3.1%	0.0%			
MISTO_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%			
SOLIDI SOSP amb = 4.5 mg/l (LIMITE DI LEGGE = 80 mg/l)						
	> 4.6	> 4.8	> 5			
MISTO_dopo 5 ore	12.3%	3.3%	0.4%			
MISTO_dopo 11 ore	12%	2.0%	0.1%			
MISTO_dopo 17 ore	0.1%	0.0%	0.0%			
MISTO_dopo 24 ore	0.0%	0.0%	0.0%			

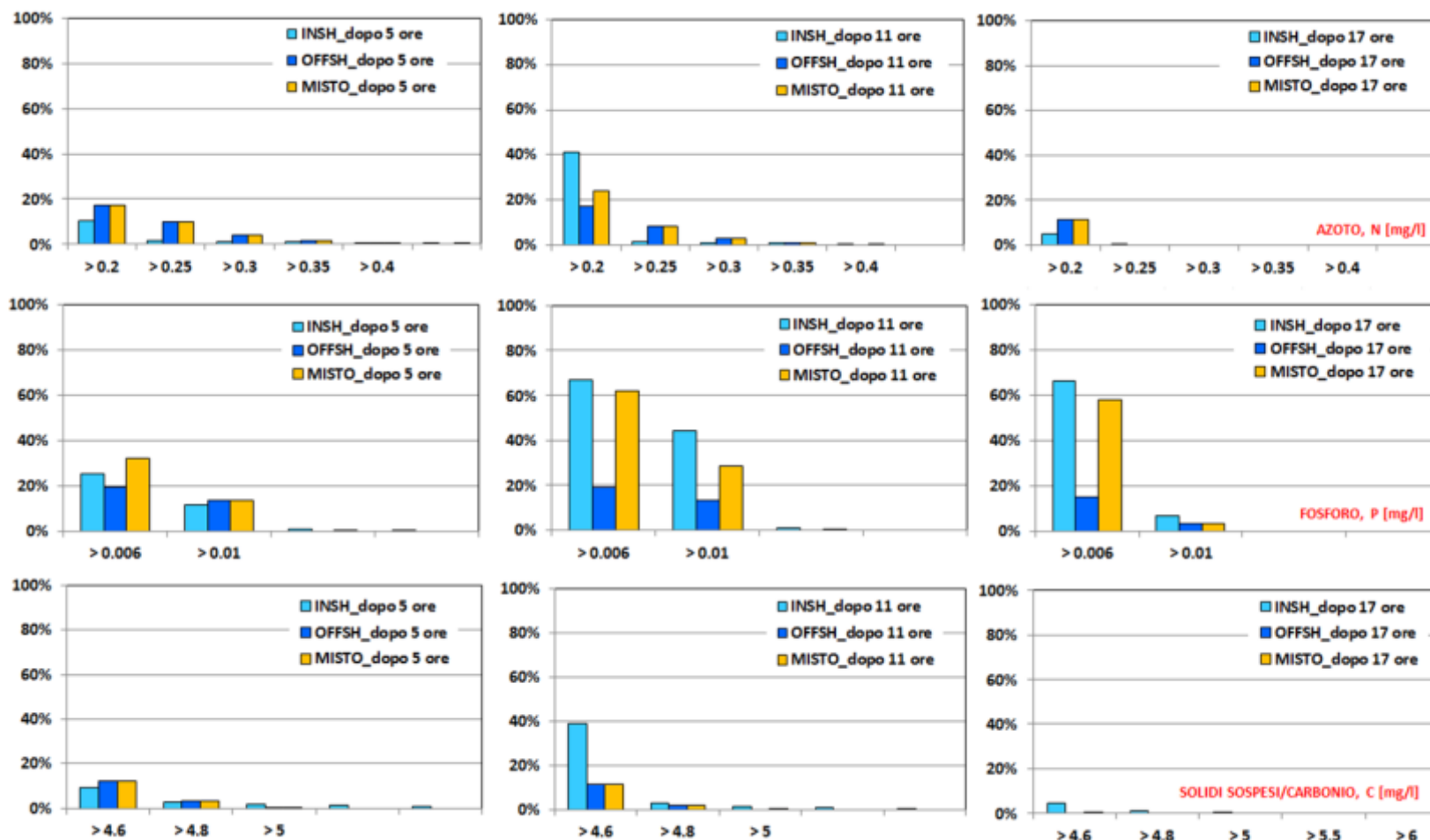


Figura 65 Confronto tra le configurazioni *inshore* (SCENARIO n. 1), *offshore* (SCENARIO n. 2) e *mista* (SCENARIO n. 3) in termini di percentuale dell'area SIC IT 6000005 perturbata dai rilasci degli impianti. Le aree perturbate sono state ricavate alle rispettive quote di rilascio per i primi due scenari (in superficie per l'impianto *inshore* e a 1.5 m di profondità per l'impianto *offshore*) e, per il terzo scenario, alla quota in cui si è riscontrata la massima area perturbata per ciascun livello di concentrazione.

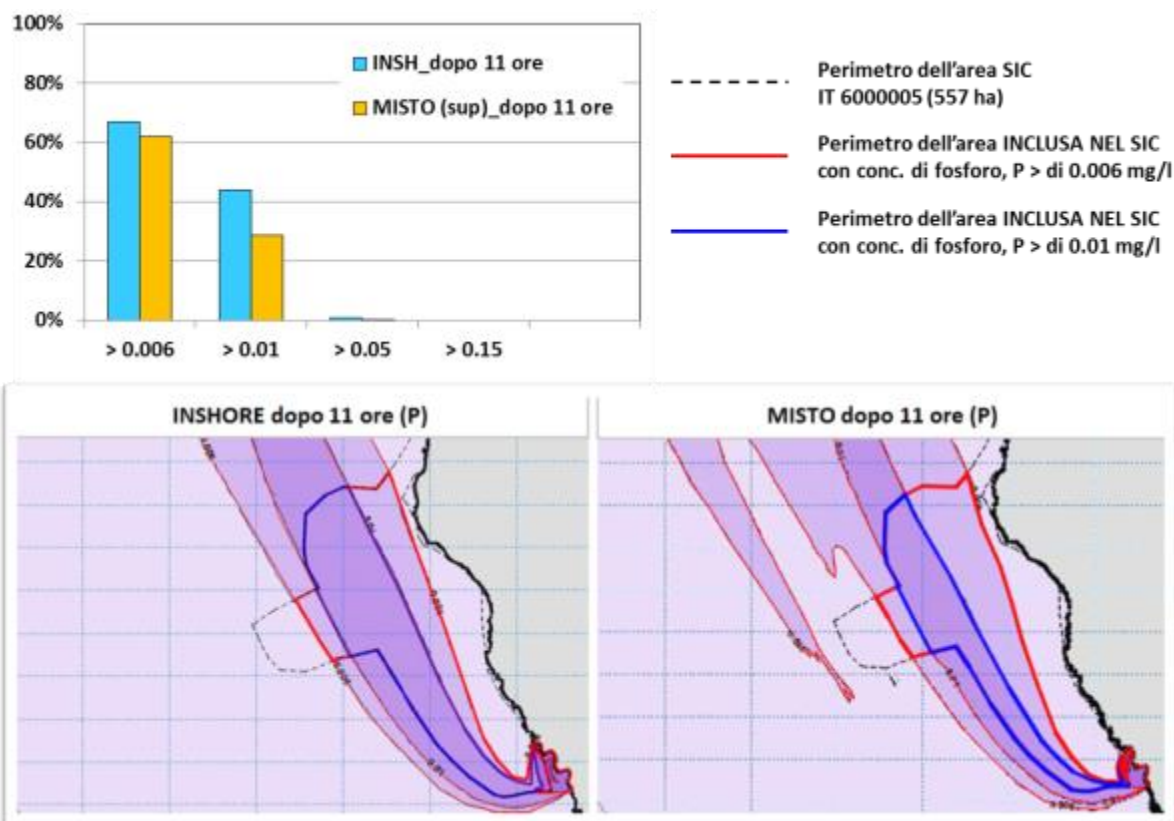


Figura 66 Confronto tra le aree perturbate dopo 11 ore dall'inizio dei rilasci di fosforo (P) nelle configurazioni *inshore* e *mista*. (le mappe sono entrambe riferite alla superficie)

4.5.1 Effetti del particolato

E' generalmente riconosciuto che gli effetti di un allevamento in mare si possono riscontrare anche nel sedimento del fondale marino. Difficile è invece trovare unicità di informazioni circa l'estensione dell'area in cui avviene la deposizione del materiale fuoriuscito dalle gabbie.

I risultati riportati negli studi condotti nel Mediterraneo considerano modesto l'impatto della maricoltura sull'ambiente con effetti che non si estendono sul sedimento a oltre 20 m ÷ 50 m dall'allevamento.

La rilevanza degli effetti dipende dalle specie allevate, dal cibo fornito, dalla gestione dell'allevamento e da tutte le forzanti e le caratteristiche ambientali fortemente sito-specifiche (correntometria, andamenti batimetrici, ...). Nel caso di forti input di materiale organico sul sedimento si registrerebbe un aumento della domanda di ossigeno nel sedimento per i processi di degradazione con conseguenti rischi per la biodiversità e per le specie macrobentoniche.

Peraltro metodi moderni di preparazione del mangime consentono di ottenere pellet molto più stabili in acqua, dal maggiore apporto energetico e con una galleggibilità tale da facilitarne l'assunzione e minimizzarne la dispersione. Queste tecniche di preparazione del cibo, affiancate da un'opportuna metodologia di distribuzione, permettono di ridurre significativamente il quantitativo di mangime non assimilato dai pesci e il conseguente impatto ambientale.

Nel caso dell'allevamento in esame la preparazione e la distribuzione del mangime seguono le migliori tecniche disponibili e producono una perdita irrisoria di cibo in acqua (circa 2%). E' pertanto ragionevole supporre che la componente di particolato originata dal mangime non consumato possa essere considerata trascurabile e comunque tale da produrre l'eventuale sedimentazione direttamente sotto le gabbie o a poca distanza da esse.

Per quanto concerne, invece, la componente di particolato originata dalle deiezioni, la velocità di sedimentazione, unitamente a quella della corrente, alla profondità e alle quantità in gioco, sono fattori chiave per l'identificazione delle aree del fondale potenzialmente interessate dal deposito.

I monitoraggi eseguiti recentemente da ISPRA su un impianto di maricoltura *offshore* (Rif. 17) nel Golfo di Follonica forniscono indicazioni utili in tal senso poiché basate su misure di campo condotte in cinque stazioni di controllo ubicate in prossimità dell'impianto stesso. L'ubicazione delle stazioni è illustrata in Figura 67; si tratta precisamente di una stazione al di sotto del modulo di allevamento composto da sei gabbie (stazione S0), una sopra-corrente a 25 m dal perimetro esterno del modulo di allevamento (stazione S3), due sotto-corrente a 25 e 50 m dal perimetro esterno del modulo di allevamento (stazioni S1 e S2) e di una stazione (S4) a circa 500 m dal modulo di allevamento identificata come stazione di controllo. La campagna di campionamento è stata effettuata nel mese di dicembre 2015.

L'esito dei monitoraggi conferma sostanzialmente quanto indicato in precedenza, ossia che l'area di deposito del particolato proveniente dalle reti si mantiene a distanza massima di qualche decina di metri dalle reti stesse. In particolare:

- la stazione sotto le gabbie (S0) risulta caratterizzata da concentrazioni più elevate rispetto alle altre solo per quanto riguarda il Carbonio; alcuni parametri sono segnalati come possibili indicatori di un iniziale stadio di accumulo di materiale organico proveniente dal cibo fornito e non ingerito;
- le comunità bentoniche ritrovate non mostrano segnali di alterazione sia strutturale che di composizione specifica; in particolare, la stazione S0, posta a minore distanza dalla fonte di arricchimento organico, mostra una composizione quali-quantitativa leggermente diversa dalle altre in quanto l'apporto organico, al di sotto del limite di potenziale tossicità, attrae numerose specie grazie alla maggiore risorsa trofica disponibile;
- la stazione di controllo S4, che non risente dell'apporto organico di cui al punto precedente, mostra valori di biodiversità inferiori rispetto alle altre stazioni molto probabilmente a seguito della mancanza di questo surplus di risorsa trofica generato dal sistema gabbie.

Quest'ultima circostanza è stata tra l'altro già messa in evidenza in altri studi che confermano che, laddove l'apporto di sostanza organica generato dalle biomasse allevate è al di sotto della capacità portante dell'ambiente in cui si svolge l'allevamento, si genera un aumento della biodiversità causato dalla maggiore risorsa trofica (Rif. 18, Rif. 19).

Il rapporto di ISPRA conclude che lo stato attuale del sedimento al di sotto e nelle vicinanze dell'impianto presso il Golfo di Follonica non appare destare segnali di impatto dovuto all'allevamento. Peraltro, in considerazione della trama del sedimento con una forte presenza di fango (che sembra "soffrire" di un carico organico eccessivo in quanto incapace di operare, nei suoi primi strati superficiali, efficienti scambi con l'ossigeno circostante disponibile) si suggerisce di operare un monitoraggio annuale per verificare nel tempo l'andamento dei parametri monitorati.

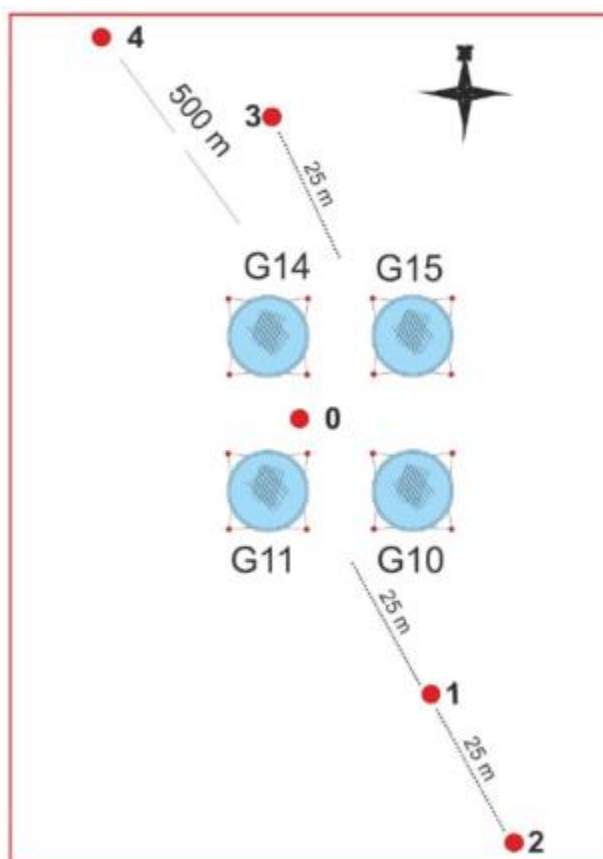


Figura 67 Ubicazione delle stazioni per il prelievo di sedimenti in prossimità dell'impianto di maricoltura nel Golfo di Follonica (da Rif. 17)

Traslando all'impianto *offshore* in oggetto le risultanze del monitoraggio eseguito nel golfo di Follonica è dunque possibile concludere che il maggiore impatto atteso dalla eventuale sedimentazione di particolato sul fondale rimarrebbe confinato in aree poco distanti dalle reti, ovvero a qualche decina di metri dalle reti stesse e, dunque, esterno alla vicina area SIC.

Tra l'altro, la natura dei fondali nelle aree delle reti e del SIC vede la prevalenza di materiali sciolti grossolani (sabbia, ghiaia, rocce organogene) che contrastano bene l'accumulo di materia organica e la diffusione di essa nell'acqua e nel sedimento circostante (secondo quanto ai Rif. 20 e Rif. 21).

5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

5.1 Introduzione

La società Civita Ittica intende procedere alla realizzazione di un impianto produttivo in mare per l'allevamento di spigole e orate in gabbie galleggianti in un'area prossima all'attuale stabilimento di Torrevaldaliga Nord (sito di Civitavecchia). Il previsto nuovo impianto di acquacoltura di tipo *offshore* è costituito da 4 moduli di ancoraggio progettato per ospitare 10 gabbie galleggianti ciascuno, per un totale di 40 gabbie ciascuna con diametro pari a 30 m. Le gabbie si troveranno a distanza maggiore di 1.5 km dalla costa, nella porzione di mare al largo del segmento costiero compreso tra Torrevaldaliga (a Sud) e Punta S. Agostino (a Nord), con una batimetrica variabile da 35 a 50 metri.

Accanto alla creazione del nuovo impianto al largo di quello esistente è inoltre prevista la riduzione di circa il 50% della produzione a terra.

Nell'ambito delle ipotesi progettuali descritte, la società Civita Ittica ha chiesto a CESI di predisporre il presente studio in merito ai seguenti aspetti:

1. analisi delle principali forzanti marine (onda, corrente, oscillazioni di marea e vento) che agirebbero in corrispondenza dell'area di posizionamento del nuovo impianto di maricoltura allo scopo di disporre di elementi utili sia al corretto dimensionamento delle linee di ancoraggio, sia alla più probabile quantificazione delle *giornate utili di lavoro in impianto*;
2. valutazione dell'impatto ambientale indotto dal nuovo impianto d'itticoltura rapportato a quello indotto dall'impianto attuale,
3. valutazione dell'impatto ambientale complessivamente generato dalla coesistenza del nuovo impianto *offshore* e di quello esistente a riva depotenziato di circa il 50%.

Si riportano nel seguito le principali considerazioni conclusive in merito a ciascuno degli argomenti in elenco, rimandando agli specifici capitoli per i necessari approfondimenti.

5.2 Analisi delle forzanti meteomarine

La disamina del complesso delle forzanti agenti in mare nell'area del previsto nuovo impianto di itticoltura *offshore* è stata oggetto della prima parte del presente studio ed è specificatamente trattata al capitolo 2.

Avvalendosi di un consistente insieme di misure condotte nell'area in esame, derivate principalmente dalla strumentazione ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) collocata in prossimità del pontile carboni della centrale di Torrevaldaliga Nord al fine di garantire il rispetto delle prescrizioni dettate dalla locale Autorità Portuale in merito alle operazioni di ormeggio-scarico-disormeggio delle navi carboniere a servizio dell'impianto, è stato possibile definire:

- il regime ondoso medio annuale e stagionale del paraggio da cui si evince la prevalenza dei mari da SO (libeccio) e dal III quadrante in generale: a tali direzioni sono infatti associate sia le maggiori frequenze di accadimento sia gli eventi più intensi;

- il regime correntometrico locale che, con particolare riferimento alle profondità comprese tra 5 e 12 m, presenta correnti con direzione lungo l'asse Nord Ovest-Sud Est con le maggiori frequenze di accadimento associate alle correnti dirette verso Nord Ovest;
- le variazioni del livello marino nell'area, modeste e solo eccezionalmente significative;
- il regime dei venti annuale e stagionale caratteristico del sito (attraverso l'utilizzo dei dati della stazione anemometrica della centrale termoelettrica) che presenta le maggiori frequenze di accadimento associate alle direzioni di provenienza da NNE, da NE, da SE e da S.

La conoscenza delle caratteristiche di tali forzanti e delle rispettive frequenze di accadimento ha consentito, inoltre, di avere indicazioni utili in merito alle "finestre" di operatività per le varie operazioni a mare, dal traino alla posa delle strutture durante la fase realizzativa, fino alle operazioni di gestione e di manutenzione dell'impianto.

In tal senso sono stati ricavati i giorni (considerati sia di 24 ore, sia limitati alle 6 ore di lavoro a mare della mattina) di superamento di alcune soglie di velocità della corrente e di altezza d'onda considerate limitanti per le operazioni a mare.

5.3 Stima degli impatti degli impianti nelle diverse configurazioni

La stima degli impatti prodotti dagli impianti di allevamento, oggetto della seconda parte dello studio (descritta ai capitoli 3 e 4), è stata condotta attraverso opportuna modellistica numerica tridimensionale applicata a tre diverse configurazioni progettuali da cui sono scaturiti i seguenti tre scenari di calcolo:

- SCENARIO n. 1_ *inshore* che considera operativo al 100% solo l'attuale impianto di allevamento in vasche a terra al sito di Civitavecchia;
- SCENARIO n. 2_ *offshore* in cui è stato considerato funzionante al 100% solo il futuro impianto al largo;
- SCENARIO n. 3_ *misto* che ha analizzato il funzionamento contemporaneo dell'impianto *offshore* in progetto (operativo al 100%) e di quello esistente a terra depotenziato a circa il 50%.

L'approccio tridimensionale utilizzato è derivato dalla complessità del sistema e delle variabili in gioco, e dalla conseguente necessità di simulare le correnti e la dispersione da esse operata delle sostanze rilasciate in tutte le componenti direzionali, tenendo conto anche dei gradienti di densità dovuti alla variabile temperatura dell'acqua nei diversi punti di calcolo.

La metodologia tipicamente utilizzata per studi di questa natura prevede l'adozione di condizioni ambientali e di operatività degli impianti conservative con riferimento alle tematiche in gioco; si sono quindi scelte, tra quelle tipiche del sito, condizioni meteomarine critiche e si sono ipotizzati funzionamenti a regime di pieno carico per gli impianti che scaricano reflui nel segmento costiero esaminato. In particolare, in aggiunta agli scarichi degli allevamenti ittici di volta in volta operativi è stato considerato funzionante a pieno carico anche l'impianto termoelettrico di proprietà Enel che scarica in

mare le acque calde provenienti dal circuito di raffreddamento dei condensatori attraverso il diffusore superficiale localizzato poco più a Sud degli scarichi dell'impianto ittico *inshore*.

Sono state considerate condizioni di simulazione estive ritenute più critiche per la natura della verifica in oggetto volta all'analisi della concentrazione di nutrienti nell'area degli allevamenti ittici per l'esame degli eventuali impatti sull'ambiente marino e, in particolare, sulle aree protette che si sviluppano in prossimità del nuovo impianto.

La veridicità delle stime derivanti dalla modellazione numerica dei fenomeni in oggetto dipende in maniera sostanziale dalla disponibilità di misure in campo dei principali parametri meteomarinari. Nel caso specifico ci si è potuti avvalere di dati in *input* al modello numerico realmente rappresentativi delle condizioni ambientali misurate nell'arco di una giornata estiva (26 luglio 2011) e in generale del periodo in cui essa si inserisce (estate 2011). Ci si riferisce, per esempio, ai profili di corrente marina, misurati in continuo al largo del terminal carbone a servizio della centrale, a quelli di temperatura (con stratificazione verticale tipicamente estiva) e ai nutrienti che caratterizzano il corpo idrico indisturbato nel periodo estivo prescelto, rilevati nell'ambito del Piano di Monitoraggio del tratto di mare antistante la centrale di Torrevaldaliga Nord prescritto dal Decreto di Autorizzazione alla conversione a carbone dell'impianto emesso dal Ministero dello Sviluppo Economico 55/02/2003 del 24.12.2003.

La durata di ciascuna simulazione è stata assunta pari a 24 ore, sia perché il mantenimento delle condizioni applicate ai contorni aperti (principalmente la direzione e intensità della corrente marina e il profilo termico) oltre tale orizzonte temporale appare oltremodo improbabile, sia perché il rilascio dei nutrienti avviene in un ambiente esteso e non confinato all'interno del quale il processo di diffusione (diluizione) è tale da ridurre consistentemente la concentrazione dei nutrienti assunti come riferimento per la verifica.

Le 24 ore di simulazione sono state precedute da una fase di regimazione delle condizioni dinamiche e termiche nel volume di calcolo raggiunta senza rilasci dagli allevamenti ittici.

Per quanto concerne i rilasci degli impianti presenti nel tratto costiero esaminato, dell'impianto termoelettrico si è già detto, mentre per gli scarichi degli allevamenti ittici simulati nei diversi scenari le condizioni ipotizzate sono state:

- per l'*allevamento ittico offshore*: ad ogni gabbia è stato attribuito il rilascio concentrato in un unico punto a 1.5 m di profondità (si tratta evidentemente di una forzatura adottata sempre in un'ottica conservativa), di una portata unitaria caratterizzata da una propria concentrazione di nutrienti calcolata in base a cicli produttivi standard specifici per ciascuna gabbia derivante dalla non uniformità delle taglie dei pesci in esse contenuti (come descritto in maggior dettaglio al paragrafo 3.3.5); la tempistica di rilascio è stata ipotizzata anch'essa in un'ottica conservativa che vede il rilascio continuo per cinque ore consecutive (identificabili, per esempio, con le ore della mattina in cui si distribuisce il mangime) dei nutrienti con le concentrazioni calcolate, seguito da una fase di dodici ore di riduzione lineare delle stesse fino al raggiungimento del valore ambientale 'indisturbato', mantenuto poi inalterato per le restanti sette ore della giornata;
- per l'*allevamento ittico inshore*: sempre in ottica conservativa, è stato ipotizzato il rilascio della massima portata agli scarichi P1 e P2 caratterizzata dalle massime concentrazioni di nutrienti misurate durante la stagione estiva; la tempistica di rilascio dei nutrienti è stata mantenuta identica a quella dell'impianto di allevamento *offshore* consentendo quindi il confronto diretto tra le mappe di dispersione ricavate per i due impianti.

I risultati delle simulazioni sono presentati al capitolo 4 separatamente per ciascuno scenario di simulazione con riferimento alle mappe della temperatura dell'acqua di mare, della velocità della corrente marina e, ai fini ultimi della verifica degli impatti, della concentrazione degli elementi individuati per l'analisi di qualità delle acque. Si tratta di solidi sospesi, azoto e fosforo totali per lo SCENARIO n. 1 (*inshore*), di azoto totale e fosforo totale, per lo SCENARIO n. 2 (*offshore*) e, per lo SCENARIO n. 3 (*misto*), di solidi sospesi, azoto, fosforo per lo scarico P2 *inshore*, e carbonio organico, azoto e fosforo per quello *offshore*.

I limiti di legge dei parametri assunti per le verifiche di qualità dell'acqua sono forniti dalla Tab. 3 (*Valori limiti di emissione in acque superficiali e in fognatura*) dell'Allegato 5 alla parte 3° del Dlgs 152/06 e s.m.i. (Rif. 15) e riassunti qui di seguito:

- AZOTO TOTALE: ≤ 32.3 mg/l definito come somma di tutti i composti previsti dalla normativa (N da ammoniaca, N da nitrito e N da nitrato),
- FOSFORO TOTALE: ≤ 10 mg/l (come P),
- SOLIDI SOSPESI: ≤ 80 mg/l

Nei limiti di affidabilità del modello numerico utilizzato, in base all'esito delle simulazioni dei tre scenari descritti è possibile formulare alcune considerazioni conclusive qui di seguito elencate.

- Le concentrazioni massime dei nutrienti e dei solidi sospesi riscontrabili in prossimità degli scarichi dell'impianto a riva, si mantengono notevolmente inferiori ai limiti di legge esistenti; per quanto concerne i nutrienti rilasciati in prossimità delle reti (per i quali non esistono limiti di legge) le concentrazioni massime raggiunte si mantengono superiori ai valori ambientali indisturbati in aree e per tempi limitati; in sostanza nessuno degli assetti di funzionamento simulati ha evidenziato alcuna criticità in termini di superamento dei limiti di legge e/o di concentrazioni eccessivamente elevate rispetto ai valori ambientali indisturbati.
- La circostanza precedente è avvalorata dall'assenza, nelle situazioni complessivamente simulate, di fenomeni di accumulo localizzato che possano produrre condizioni di residuo di nutrienti al termine di un 'ciclo di rilascio giornaliero'; in sostanza al termine delle 24 ore simulate le concentrazioni dei nutrienti nel corpo idrico ricevente, sia in superficie sia negli strati più profondi, sono tornate ad assumere i valori della situazione iniziale 'indisturbata'.
- La corrente ambientale al largo del sito, responsabile del trascinarsi dei nutrienti rilasciati, assunta parallela alla costa e diretta verso Nord Ovest subisce naturali modifiche (di direzione ed intensità) in prossimità della riva a causa della morfologia del profilo costiero e dei fondali decrescenti; a queste variazioni naturali si aggiunge l'influenza dello scarico delle acque di raffreddamento della centrale termoelettrica; esso costituisce un elemento di contrasto alla dispersione dei nutrienti presenti negli scarichi dell'impianto a riva che, in quel tratto, subirebbero gli effetti di una corrente marina localmente diretta verso Sud Est. Le mappe di concentrazione ricavate per le simulazioni con rilasci dall'impianto *inshore* (scenari 1 e 3) mostrano come i nutrienti in uscita dagli scarichi P1 e P2 siano trascinati dalla corrente costiera discendente solo fino all'intersezione con lo scarico del diffusore ove invertono la direzione muovendosi concordemente alla corrente del pennacchio caldo della centrale, prima, e a quella ambientale, poi, risalendo verso Nord Ovest. I nutrienti rilasciati dall'allevamento offshore in progetto, invece, si collocano in

un'area in cui predomina la corrente risultante diretta verso Nord Ovest ed è in tale direzione che sono trascinati per l'intervallo temporale che precede la loro totale dispersione.

- Le concentrazioni delle sostanze rilasciate assumono i loro massimi valori alle quote di emissione, ossia in superficie per la configurazione *inshore* e a 1.5 m di profondità per quella *offshore*. Immediatamente dopo il rilascio, la corrente marina localmente risultante e la diffusione naturale producono la progressiva scomparsa della perturbazione delineando mappe di concentrazione caratterizzate da sagome allungate (coerentemente con la direzione e l'intensità della corrente che si riduce all'aumentare della profondità) che vanno via via assottigliandosi sia in superficie che in profondità. Peraltro, le linee di iso-concentrazione che delimitano le aree perturbate più estese denotano incrementi di concentrazione minimi rispetto ai livelli iniziali indisturbati, come dimostrano le drastiche riduzioni delle aree perturbate alle quote immediatamente adiacenti a quelle di rilascio.
- In particolare, con riferimento alla capacità di penetrazione in profondità degli incrementi di concentrazione prodotti dai rilasci, la verifica puntuale condotta nell'area delle reti dell'impianto *offshore* al termine del periodo di 5 ore di rilascio costante e continuativo ha evidenziato la loro scomparsa (annullamento degli aumenti delle concentrazioni di azoto e fosforo totali) a una profondità inferiore a 10 m, quindi senza interferenza con i fondali e gli habitat protetti che lì si trovano.
- La simulazione del funzionamento simultaneo dei due allevamenti (condizioni dello scenario n. 3 *misto*) ha evidenziato l'assenza di interferenze tra i pennacchi di azoto totale e solidi sospesi generati dagli scarichi dei due impianti. Grazie alle differenti quote di emissione e alla distanza esistente tra le aree dei rilasci, infatti, le massime concentrazioni si mantengono in superficie e prossime a riva per l'impianto di terra, e 1.5 m al disotto del pelo libero, per l'impianto al largo riducendosi ai valori ambientali indisturbati prima che la corrente ambientale possa produrne la sovrapposizione. Ciò comporta nuovamente la non interferenza tra i rilasci dei nutrienti dell'impianto *offshore* in progetto e gli habitat protetti presenti sui fondali dell'area SIC prossima all'impianto. Tale circostanza è confermata anche per il fosforo totale, nonostante il verificarsi di alcune sovrapposizioni in prossimità del modulo B, il più interno dei quattro, che si viene a trovare 'in scia' al pennacchio proveniente dall'impianto a riva.

5.4 Confronto tra le configurazioni d'impianto: interferenze con le aree SIC

La precedente Figura 46 evidenzia la perimetrazione delle aree SIC ricadenti nel dominio di calcolo. Si tratta del sito denominato IT 6000005 *Fondali tra Punta S. Agostino e Punta Mattonara*, completamente incluso, e del SIC IT6000004 *Fondali tra Marina di Tarquinia e Punta delle Quaglie* ricadente nell'area simulata solo nella sua parte meridionale. I profili di tali siti sono stati oggetto di una recente revisione che ha inteso garantire, in particolare, la tutela dell'habitat 1120 *Posidonia oceanica* nella sua massima estensione. Gli altri habitat ricadenti nei due SIC citati sono il 1170 (Coralligeno) e il 1110 (Associazione a *Cymodocea nodosa*). Tutti gli habitat segnalati si sviluppano in corrispondenza dei fondali.

L'analisi dei risultati dei singoli scenari simulati ha evidenziato la generale assenza di interferenza tra i rilasci di azoto e fosforo ed il fondale, in particolare per l'impianto *offshore* progettato al largo su fondali superiori a 30 m.

Possibili interferenze si potrebbero verificare in corrispondenza dell'impianto *inshore*, i cui scarichi si collocano appunto a riva. Peraltro gli scarichi dell'impianto *inshore* si collocano al limite meridionale della delimitazione SIC, in un'area caratterizzata, nelle condizioni qui simulate, da una corrente discendente che allontanerebbe la potenziale interferenza con i fondali protetti. Tale circostanza sarebbe oltremodo verificata nel caso in cui, come simulato nello scenario n.3 (misto) ci si venisse a trovare nella condizione di funzionamento del solo scarico P2, il più a Sud dei due ora operativi.

Ciò premesso, si è proceduto a quantificare l'interferenza tra i pennacchi degli elementi simulati, calcolati alle diverse profondità di rilascio, e l'area del SIC IT 6000005 che ricade interamente nel dominio di calcolo ed è la più vicina ad entrambi i siti di rilascio dei nutrienti (dunque, potenzialmente esposta alle maggiori perturbazioni).

La procedura è consistita nella definizione delle aree dei pennacchi di concentrazione, per ciascun livello di concentrazione, ricadenti all'interno del perimetro SIC. Le aree di interferenza sono state ricavate alla quota dei rilasci caratteristica dell'impianto simulato, ove unica (quindi per lo scenario n. 1, in superficie, e per lo scenario n. 2, a 1.5 m di profondità), e alla quota in cui si è manifestata la massima estensione nel solo caso dello scenario n. 3 con funzionamento contemporaneo dei due impianti *inshore* depotenziato e *offshore* al 100% con rilasci a due differenti quote.

Le aree così calcolate sono state rapportate a quella totale dell'area SIC e le percentuali così ricavate per ciascuna configurazione sono servite al confronto tra i tre assetti di impianto in termini di interferenza con i fondali marini protetti.

Rimandando al paragrafo 4.5 per la descrizione dettagliata della procedura di calcolo e dei risultati ottenuti, si riportano nel seguito le principali evidenze scaturite dall'analisi:

- le aree di interferenza con il SIC esaminato si annullano (ovvero le concentrazioni di tutte le sostanze rilasciate riassumono il valore ambientale indisturbato) al termine delle 24 ore simulate; ciò denota, nelle condizioni meteomarine e di assetto impianti qui simulate, l'assenza di fenomeni di accumulo;
- le maggiori percentuali di aree perturbate si osservano generalmente a 11 e a 17 ore dall'inizio dei rilasci, quando, terminata la fase di rilascio costante per cinque ore consecutive della massima concentrazione ed iniziata la progressiva diminuzione fino al ripristino dei valori ambientali, i pennacchi si sviluppano e si allargano dai punti di emissione per effetto delle correnti ambientali e di gradiente;
- le maggiori percentuali di area SIC perturbata dalle sostanze rilasciate sono sempre associate a concentrazioni prossime a quelle ambientali indisturbate e diminuiscono significativamente all'aumentare della concentrazione; in sostanza le aree perturbate rispetto al valore ambientale tendono a ridursi considerevolmente all'aumentare della concentrazione;
- il confronto di Figura 65 tra gli assetti *inshore* 100%, *offshore* 100% e *misto* (100% *offshore* e 50% *inshore*) delle percentuali di area SIC IT 6000005 perturbata, calcolate alle diverse quote secondo quanto specificato, evidenzia una generale minore influenza sull'area protetta dell'impianto *offshore* rispetto a quello che lo vede in funzionamento accoppiato all'impianto *inshore*, ridimensionato al 50% circa e a quello *inshore*;

In ogni caso si conferma che la perturbazione indotta dagli impianti simulati presenta i suoi valori massimi in corrispondenza degli strati più superficiali senza arrivare ad interferire con i fondali protetti delle aree SIC poste in loro prossimità.

5.5 Considerazioni in merito al particolato organico dell'impianto *offshore*

E' generalmente riconosciuto che gli effetti di un allevamento in mare sono riscontrabili anche nel sedimento del fondale marino. Difficile è invece trovare unicità di informazioni circa l'estensione dell'area dove avviene la deposizione del materiale fuoriuscito dalle gabbie.

I risultati riportati negli studi condotti nel Mediterraneo considerano modesto l'impatto della maricoltura sull'ambiente con effetti che non si estendono sul sedimento ad oltre 20 m – 50 m dall'allevamento. A simili risultati conduce anche il recente monitoraggio condotto da ISPRA sull'analogo impianto di maricoltura *offshore* (Rif. 17) nel Golfo di Follonica.

Tali distanze sono di per sé sufficienti a presupporre la non interferenza con le aree SIC del particolato residuo prodotto dall'impianto *offshore* in oggetto, considerato che questo presenta una distanza minima (nella direzione verso Nord Ovest della corrente ambientale) di oltre 180 m dal profilo del SIC più prossimo alle reti.

Traslando all'impianto *offshore* in oggetto le risultanze del monitoraggio eseguito nel Golfo di Follonica, infatti, è possibile concludere che il maggiore impatto atteso dalla eventuale sedimentazione di particolato sul fondale rimarrebbe confinato in aree poco distanti dalle reti, ovvero a qualche decina di metri dalle reti stesse e, dunque, esterno alla vicina area SIC. Tra l'altro, la natura dei fondali nelle aree delle reti e del vicino SIC vede la prevalenza di materiali sciolti grossolani (sabbia, ghiaia, rocce organogene) che contrastano bene l'accumulo di materia organica e la diffusione di essa nell'acqua e nel sedimento circostante.

Infine, l'effetto di oscuramento generato dalla presenza fisica delle reti e dei pesci non produce, nella fattispecie, impatti negativi sulle biocenosi di pregio stante la posizione di progetto dei moduli che ospitano le reti, collocati esternamente alle aree SIC.

6 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. 1 <http://www.flashearth.com/?lat=41.466868&lon=13.631583&z=17&r=0&src=msl>
- Rif. 2 maps.google.it
- Rif. 3 ENEL GEM AT-SRI 30.01.2006 " *Impianto di Torrevaldaliga Nord. Trasformazione a carbone. Allontanamento scarichi acquacoltura dalla linea di costa. Planimetria.*" P12TN05530. File: P12TN05530-02.dwg
- Rif. 4 ENEL GEM AT-SRI 24.04.2006 " *Impianto di Torrevaldaliga Nord. Trasformazione a carbone. Allontanamento scarichi acquacoltura. Relazione illustrativa generale.*" P12TN01849. File: P12TN0184900. 24.04.2006.
- Rif. 5 Soc. Agr. CIVITA ITTICA srl. " *Comune di Civitavecchia (provincia di Roma). Realizzazione di impianto per allevamento ittico in gabbie galleggianti. Relazione tecnico illustrativa.*" BOZZA 26.01.2016.
- Rif. 6 IIM. Carta nautica n° 6. " *Dal promontorio Argentario a Capo Linaro.*" Scala 1:100.000
- Rif. 7 Franco L. " *Costruzioni marittime. Estratto da: G.B. Ormea. Manuale pratico per l'ingegnere civile (Volume II).*", gennaio 1989, edizioni Kappa
- Rif. 8 <http://www.mareografico.it/>
- Rif. 9 MIKE by DHI (2016). " *MIKE 21 & MIKE 3 FLOW MODEL FM. Hydrodynamic and Transport Module. Scientific documentation.*"
- Rif. 10 MIKE by DHI (2016). " *ECO LAB. Short Scientific Description*"
- Rif. 11 MIKE by DHI (2014). " *Coast & Sea. Hydrodynamic modelling. MIKE 3. User Guide.*"
- Rif. 12 IIM Istituto Idrografico della Marina. File: *Isobate UTM84F32.DWG, Linea di costa UTM84F32 da ENC 76.DWG, Linea di costa UTM84F32. da ENC 123.DWG* (da S. Margesin, CIVITA ITTICA, E_mail del 13 aprile 2016)
- Rif. 13 Comunicazione Enel. E_mail da ing. N. Bracaloni a ing. D. Colombo
- Rif. 14 Regione Lazio. Giunta Regionale. Deliberazione N. 604 del 03/11/2015. Proposta N. 7800 del 15/05/2015. Oggetto: *Direttiva 92/43/CEE (Habitat), relativa alla conservazione degli Habitat naturali e semi-naturali e della flora e fauna selvatiche. Modifica delle delimitazioni di alcuni dei Siti d'Importanza Comunitaria (SIC) in aree marine di cui agli Allegati C1 e C2 della Deliberazione della Giunta Regionale 19 luglio 2005, n. 651.*
- Rif. 15 DLgs 152/06, " *Norme in materia ambientale*", 3 aprile 2006 n.152 (Suppl. ordinario gazz. Uff. n. 88 del 14/04/2006)
- Rif. 16 Lupatsch I., Kissil G.W, 1998. " *Predicting aquaculture waste from gilthead seabream (Sparus aurata) culture using a nutritional approach.*" *Aquat. Living Resour.* 11 (4) (1998) 265-268.
- Rif. 17 Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale, ISPRA. " *Monitoraggio ambientale delle attività di maricoltura svolte nell'impianto Civita Ittica. Anno 2016.*"
- Rif. 18 Tomassetti P., Gennaro P., Lattanzi L., Mercatali I., Persia E., Vani D., Porrello S. (2016) " *Benthic community response to sediment organic enrichment by Mediterranean fish farms: case studies.*" *Aquaculture*, 450: 262-272
- Rif. 19 Tomassetti P., Persia E., Mercatali I., Vani D., Marusso V., Porrello S. (2009) " *Effects of mariculture on macrobenthic assemblages in a western Mediterranean site*" *Marine Pollution Bulletin*, 58: 533-541.
- Rif. 20 Rosenthal, H., Weston, D., Gowen, R., Black, E. (1988). *In Report of the ad hoc study group on "Environmental Impact of Mariculture"* ICES, 154: 83 pp
- Rif. 21 Uriarte Villalba, A. (2001). *Environmental considerations for site selection of marine fish farms. Proceedings of the seminar "Environmental impact assessment of Mediterranean aquaculture farms"* jointly organized by CIHEAM and FAO, Zaragoza (Spain), 17-21 January 2000. In: *Cahiers Options Mediterraneennes (France)*, Uriarte, A. and Basurco, B. (Eds) 2001, 55: 67-74