



Campagne di monitoraggio ambientale del Terminale di Rigassificazione  
Adriatic LNG



Fase di esercizio definitivo

Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi

Luglio – Settembre 2023



	<i>Contrattore nome:</i>	Terminale GNL Adriatico srl
	<i>Contrattore Progetto No.:</i>	5500004986
	<i>Data</i>	22/03/2023
	Documento No.: <b>ATZ-00-SR-052-RP-8025</b>	
		<i>Pagina:</i> 1 di 47

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	2 di 47



## Coordinamento stesura relazione

Cinzia Fabbro

## Autori

Cinzia Fabbro - *Idrologia della colonna d'acqua*

Cinzia Fabbro – *Nutrienti, azoto e fosforo disciolti*

Daniela Fornasaro - *Popolamenti fitoplanctonici*

Rocco Auriemma - *Comunità macrobentoniche*

Stefano Querin – *Regime correntometrico*

## Responsabile scientifico

Paola Del Negro

## Coordinamento attività di monitoraggio

Cinzia Fabbro

## Hanno collaborato alle attività sperimentali di campo e di laboratorio

Matteo Bazzaro

Alessandra Davanzo

Tommaso Diociaiuti

Vanessa Cardin



Martina Kralj

Gianluca Zazo

**OGS – Sezione Oceanografia**



**Via Piccard, 54 – 34151 Santa Croce (TS)**

**Borgo Grotta Gigante, 42/C - 34010 - Sgonico (TS)**

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	3 di 47

## SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. IL PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL TERMINALE DI RIGASSIFICAZIONE ADRIATIC LNG	4
2.1 COLONNA D'ACQUA E COMUNITÀ FITOPLANCTONICA	5
2.2 POPOLAMENTI MACROBENTONICI	6
3. COLONNA D'ACQUA	7
3.1 CAMPIONAMENTO	7
3.2 IDROLOGIA DELLA COLONNA D'ACQUA	7
3.2.1. <i>Materiali e Metodi</i>	7
3.2.2 <i>Risultati</i>	7
3.3 NUTRIENTI, AZOTO E FOSFORO TOTALI DISCIOLTI	12
3.3.1 <i>Materiali e Metodi</i>	12
3.3.2 <i>Risultati</i>	12
4. POPOLAMENTI FITOPLANCTONICI	20
4.1 CAMPIONAMENTO	20
4.2 ANALISI QUALITATIVA, QUANTITATIVA E BIOMASSA DEL FITOPLANCTON	20
4.2.1 <i>Materiali e Metodi</i>	20
4.2.2 <i>Risultati</i>	20
5. COMUNITÀ MACROBENTONICHE	28
5.1 CAMPIONAMENTO	28
5.2 ANALISI DEL MACROZOOBENTHOS	28
5.2.1.1 <i>Materiali e metodi</i>	28
5.2.1.2 <i>Risultati</i>	30
6. REGIME CORRENTOMETRICO	37
6.1 ELABORAZIONE E ANALISI DEI DATI CORRENTOMETRICI	37
6.1.1 <i>Materiali e metodi</i>	37
6.1.2 <i>Risultati</i>	38
7. CONCLUSIONI	41
8. BIBLIOGRAFIA	45

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	4 di 47

## 1. PREMESSA

In ottemperanza a quanto previsto dal PMC allegato al D.M. No. 96/2022 di riesame complessivo dell'AIA DM 265/2026, la presente relazione riporta i risultati relativi al monitoraggio svolto nel 2023 nell'area del Terminale al fine della valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi mediante l'applicazione degli indicatori ambientali di cui al D.M. Ambientale 14/04/2009 n. 56.

Nello specifico, la presente relazione riporta i risultati relativi a:

- caratteristiche chimiche e fisico-chimiche della colonna d'acqua;
- composizione, abbondanza e biomassa del fitoplancton;
- composizione e abbondanza di macro-invertebrati bentonici;
- regime correntometrico.



Lo stato ambientale monitorato nel 2023 è stato confrontato con i risultati ottenuti nell'ambito delle campagne di monitoraggio annuali svolte durante il periodo estivo tra il 2017 e il 2022, secondo quanto indicato dal "Piano di Monitoraggio Ambientale del Terminale GNL di Porto Viro (RO) per il secondo quinquennio di esercizio" redatto da ISPRA nell'Ottobre 2016.

## 2. IL PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE DEL TERMINALE DI RIGASSIFICAZIONE ADRIATIC LNG

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) ha elaborato il piano di monitoraggio per la *fase di bianco*, per la *fase di cantiere* del progetto e per la *fase di esercizio*. Le attività di monitoraggio ambientale sono state eseguite da ISPRA fino al 2015, concludendo il primo quinquennio della fase di esercizio. A partire dal 2017, il monitoraggio nella *fase di esercizio definitivo* è stato condotto da OGS.

Il piano di monitoraggio relativo all'esercizio del Terminale offshore e della condotta di collegamento alla rete nazionale di distribuzione è stato progettato da ISPRA considerando la peculiarità dell'ambiente di intervento e della struttura, tenendo conto delle prescrizioni ministeriali riportate nei Decreti autorizzativi emanati dal MATTM (DEC/VIA n. 4407 del 30/12/1999, DEC/DSA/2004/0866 del 8/10/2004) e anche del successivo DSA/DEC/2007/975 del 30.11.2007 per la *fase di esercizio*.

In attuazione del PMA, la società esegue annualmente le prescrizioni di cui al punto 7 del paragrafo 4 del PMC, ad eccezione della "composizione e abbondanza dell'altra flora acquatica". Gli esiti dei monitoraggi fino ad ora eseguiti sulle biocenosi bentoniche hanno evidenziato comunque l'assenza della componente floristica, fatta eccezione per alcune macrofite osservate sporadicamente lungo le pareti e alla base del Gravity Based Structure (GBS) grazie alle indagini qualitative effettuate con Remotely Operated Vehicle (ROV). Pertanto, in considerazione delle caratteristiche geografiche dell'area di ubicazione del Terminale (Alto Adriatico), della distanza rispetto alla linea di costa (15 km, su un fondale a sabbie pelitiche a circa 29 m di profondità) e delle risultanze dei monitoraggi pregressi, le valutazioni su "composizione e abbondanza dell'altra flora acquatica" risultano tecnicamente non eseguibili.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	5 di 47

Inoltre, per quanto concerne le profondità indicate al punto 7 paragrafo 4 del PMC per la valutazione dello stato ricettore marino lungo la colonna d'acqua, in attuazione del PMA stabilito a partire dal 2017 (*fase di esercizio definitivo*) vengono effettuate indagini idrologiche e raccolta di campioni d'acqua a 2 profondità (superficie e fondo) per l'analisi dei nutrienti e dei popolamenti fitoplanctonici; le indagini prevedono il campionamento di quattro stazioni poste a 500 m di distanza dal Terminale in direzione dei principali punti cardinali.

Alla luce di quanto sopra e al fine di garantire la confrontabilità dello stato ambientale del corpo ricettore marino e della biocenosi con le risultanze del periodo pregresso, è stata stabilita una griglia di monitoraggio con le stesse profondità previste dal PMA (superficie e fondo) in sostituzione di quelle indicate nel PMC (1, 5 e 10 m).

Nell'ambito del PMA (ISPRA, 2016), i popolamenti macrozoobentonici sono stati investigati annualmente nel periodo 2017-2022 in tre stazioni posizionate a 500 m di distanza dal Terminale in direzione Sud-Est, Sud e Sud-Ovest. In ottemperanza a quanto previsto dal PMC allegato al D.M. No. 96/2022, i dati raccolti durante l'ultimo anno (2023) di monitoraggio nelle tre stazioni sopra citate verranno descritti e confrontati a quelli ottenuti nelle medesime stazioni nel quinquennio pregresso (2017-2022).



Nell'area del Terminale, in luglio e settembre 2023, OGS ha effettuato le indagini previste dal piano di monitoraggio in merito a caratteristiche idrologiche e chimiche della colonna d'acqua, struttura della comunità fitoplanctonica e dei popolamenti macrozoobentonici.

## 2.1 COLONNA D'ACQUA E COMUNITÀ FITOPLANCTONICA

La valutazione delle caratteristiche idrologiche (Temperatura, Salinità, Ossigeno disciolto e Torbidità) del corpo ricettore marino è stata sviluppata monitorando quattro stazioni poste a 500 m di distanza dal Terminale in direzione dei principali punti cardinali (Tabella 2.1.1; Figura 2.2.1); alle quote superficiali e ai fondi sono stati prelevati campioni per le analisi chimiche (nutrienti inorganici, azoto e fosforo totali disciolti) e biologiche (fitoplancton).

Stazione	Latitudine [°N]	Longitudine [°E]	Posizione rispetto al Terminale	Profondità (m)
TE132	45.0865	12.5846	500 m Sud	28.4
TE147	45.0911	12.5762	500 m Ovest	27.0
TE156	45.0911	12.5934	500 m Est	27.4
TE181	45.0960	12.5846	500 m Nord	27.7

**Tabella 2.1.1:** Piano di campionamento della colonna d'acqua nell'area del Terminale: coordinate, profondità, posizione (direzione e distanza rispetto al Terminale) delle stazioni.

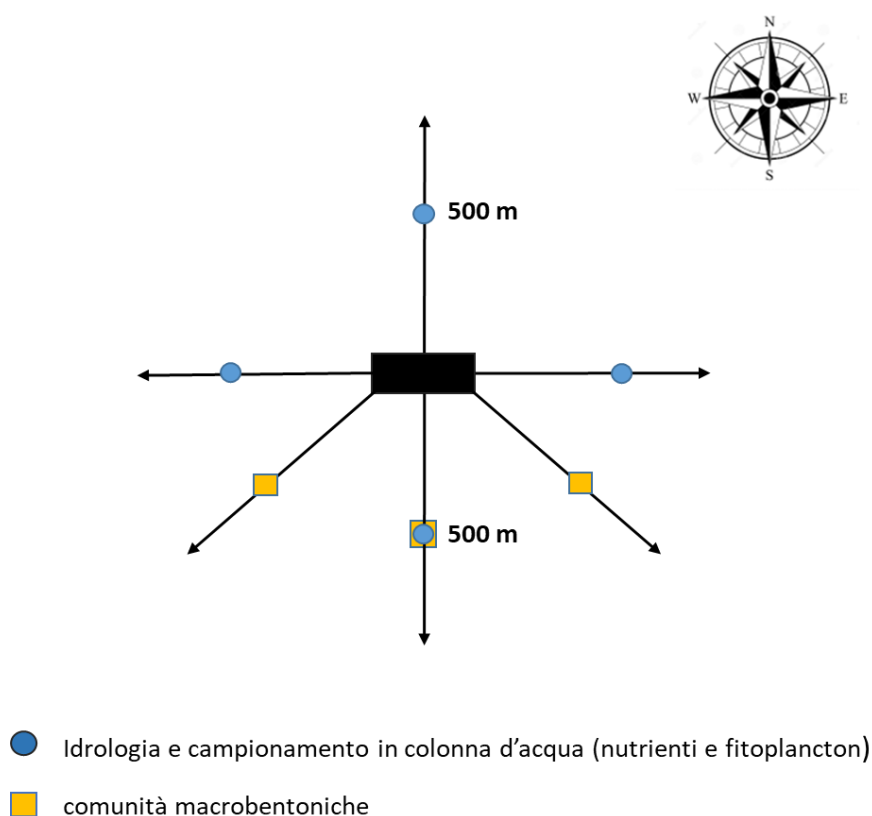
	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	6 di 47

## 2.2 POPOLAMENTI MACROBENTONICI



La campagna di raccolta dei campioni per l'analisi delle comunità macrobentoniche nell'area del Terminale ha previsto il campionamento di 3 stazioni (Tabella 2.2.1), ubicate a 500 m dal Terminale nelle direzioni Sud-Ovest, Sud e Sud-Est secondo lo schema riportato in Figura 2.2.1.

Stazione	Latitudine [°N]	Longitudine [°E]	Posizione rispetto al Terminale	Profondità (m)
T60	45.0893	12.5916	500 m Sud-Est	26.9
T70	45.0865	12.5846	500 m Sud	28.4
T80	45.0890	12.5777	500 m Sud-Ovest	27.0

**Tabella 2.2.1:** Piano di campionamento dei popolamenti macrozoobentonici nell'area del Terminale: coordinate, profondità, posizione (direzione e distanza rispetto al Terminale) delle stazioni.



**Figura 2.2.1:** posizionamento delle stazioni utilizzate per la valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi nell'area del Terminale.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	7 di 47

### 3. COLONNA D'ACQUA

#### 3.1 CAMPIONAMENTO

Le caratteristiche idrologiche del corpo ricettore marino nell'area del Terminale sono state monitorate nelle giornate 25-26 luglio 2023 a bordo della M/N Bellatrix.

In ogni stazione sono stati acquisiti i profili di temperatura, salinità, ossigeno disciolto e torbidità mediante sonda multiparametrica CTD.

I campioni di acqua destinati alle analisi chimiche (nutrienti inorganici, azoto e fosforo totali disciolti) e alla determinazione quali-quantitativa dei popolamenti fitoplanctonici sono stati raccolti, in superficie e sul fondo, con bottiglie Niskin dal volume di 5 L.

#### 3.2 IDROLOGIA DELLA COLONNA D'ACQUA

##### 3.2.1. Materiali e Metodi

I profili di temperatura, conducibilità, ossigeno disciolto e torbidità sono stati acquisiti utilizzando una sonda multiparametrica modello SBE 911plus CTD (Sea Bird Electronics) equipaggiata con i sensori ausiliari SBE43 per la misura dell'ossigeno disciolto ed un turbidimetro Wet Labs ECO-AFL/FL per la misurazione della torbidità attraverso misure di retrodiffusione della luce (backscattering).

La salinità e la densità sono state calcolate come parametri derivati mediante equazioni di stato, i dati di salinità e di anomalia di densità vengono calcolati come parametro derivato mediante l'algoritmo di [Fofonoff e Millard \(1983\)](#) a partire dai valori di temperatura, conducibilità e pressione. La sonda acquisisce dati con una frequenza di 24 Hz (24 dati al secondo) mentre viene calata dalla superficie al fondo per mezzo di un cavo elettro-meccanico.

I dati acquisiti sono stati convertiti e processati mediante le routine modulari del software dedicato SBE Data Processing (Version 7.26.7, 2018), sottoposti ad opportune procedure di controllo qualità, ed infine mediati su intervalli di 50 cm di profondità.



I sensori di temperatura, conducibilità e pH sono stati periodicamente tarati presso il Centro di Taratura e Metrologia Oceanografico-CTMO dell'OGS.

##### 3.2.2 Risultati

##### Caratteristiche idrologiche – Luglio 2023

L'andamento dei profili di temperatura nelle quattro stazioni monitorate in luglio 2023 (Figura 3.2.2.1) ha indicato una situazione prettamente estiva, caratterizzata da una colonna d'acqua ben stratificata con un termocline compreso tra 12 m e 23 m di profondità che separa lo strato superficiale più caldo (media  $26.6 \pm 0.5$  °C) dal fondo ( $\geq 23$  m, media  $18.5 \pm 0.1$  °C). La variazione di temperatura tra strato superficiale e fondo è risultata pari  $\sim 8$  °C).

I profili di salinità hanno evidenziato acque superficiali (0 -5 m) influenzate da scarsi apporti fluviali con valori medi ( $\pm$  DS) lievemente inferiori a 37 nelle stazioni TE132 (sal:  $36.96 \pm 0.02$ ) e TE181 (sal:  $36.68 \pm 0.05$ ), posizionate 500 m a Sud e a Nord del Terminale rispettivamente (Figura 3.2.2.1); nelle stazioni TE156 e TE147 la salinità è risultata costante tra le superfici ed una profondità variabile tra



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	8 di 47

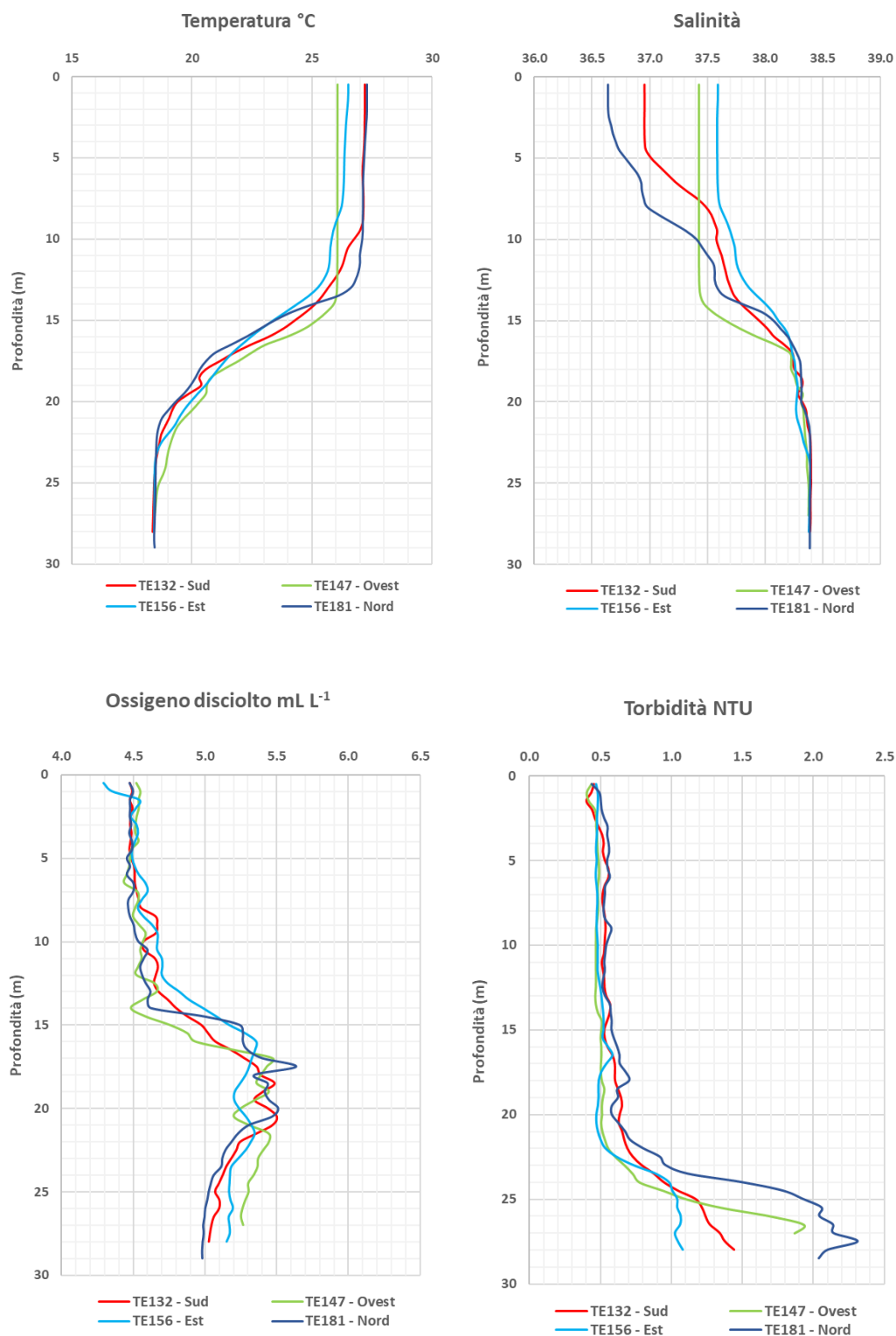
8 e 13 m rispettivamente (sal: 37.59 nella TE156; 37.43 nella TE147). Uno strato profondo ed omogeneo, al di sotto dei 17 m, era caratterizzato da acque più salate (valori medi  $\pm$  DS:  $38.35 \pm 0.05$ ) sopra il quale è stato identificato un aloclino, con spessore variabile tra le diverse stazioni (tra 5 e 17 m nelle stazioni TE132 e TE181; tra 8 e 17 m nella stazione TE156; tra 13 e 17 m nella stazione TE147), recante valori intermedi.

In tutte le stazioni, i valori più contenuti dell'ossigeno disciolto sono stati riscontrati nei primi 5 m della colonna d'acqua (valori medi  $\pm$  DS:  $4.5 \pm 0.1$  mL L<sup>-1</sup>); un minimo (4.3 mL L<sup>-1</sup>) è stato rilevato alla quota superficiale della stazione TE156 (Figura 3.2.2.1). La distribuzione lungo la colonna d'acqua è risultata omogenea tra le stazioni, con valori in graduale aumento fino allo strato compreso tra 15 e 20 m di profondità dove sono stati registrati repentini incrementi e picchi massimi ( $5.4 - 5.6$  mL L<sup>-1</sup>) in tutte le stazioni; lungo lo strato sottostante l'ossigeno disciolto ha subito un lieve decremento attestandosi su valori medi pari a  $5.1 \pm 0.1$  mL L<sup>-1</sup> in prossimità dei fondi.



In tutte le stazioni, la colonna d'acqua è risultata interessata da valori di torbidità molto stabili (0.40 - 0.58 NTU) fino a 15 m di profondità (Figura 3.2.2.1); alle quote più profonde, la torbidità è gradualmente incrementata, raggiungendo picchi massimi ( $\approx 2$  NTU) al fondo delle stazioni TE147 e TE181.



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	9 di 47



**Figura 3.2.2.1:** Profili verticali di temperatura, salinità, ossigeno disciolto e torbidità acquisiti nelle 4 stazioni monitorate in luglio 2023.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	10 di 47

### Caratteristiche idrologiche 2017-2023



I risultati delle elaborazioni effettuate sui dati acquisiti mediante la sonda multiparametrica evidenziano nei mesi di luglio tra il 2017 e il 2023 un andamento nella distribuzione spaziale dei parametri coerente con quanto previsto per il periodo estivo. I profili di temperatura indicano chiaramente la presenza di uno strato superficiale omogeneo, nei primi cinque-dieci metri di profondità, distinto da uno strato più profondo da un marcato gradiente verticale. Significativa la variazione di temperatura tra superficie e fondo con un  $\Delta T$  compreso tra 8°C, nel luglio 2020, e 13°C, in luglio 2021. In corrispondenza dell'ultima campagna (luglio 2023) il  $\Delta T$  (~8 °C) non è risultato tra i più spinti a seguito di un riscaldamento anticipato dell'intera colonna d'acqua; i valori di temperatura ai fondi ( $\geq 23$  m di profondità, valori medi  $\pm$  DS: 18.5  $\pm$  0.1 °C; range: 18.4 – 19.0 °C) sono risultati spiccatamente maggiori rispetto alle campagne pregresse (valori medi  $\pm$  DS: 15.4  $\pm$  1.1 °C; range: 13.2 - 17.8 °C) con un  $\Delta T_{\text{medio}}$  pari a +3.1 °C (Figura 3.2.2.2).

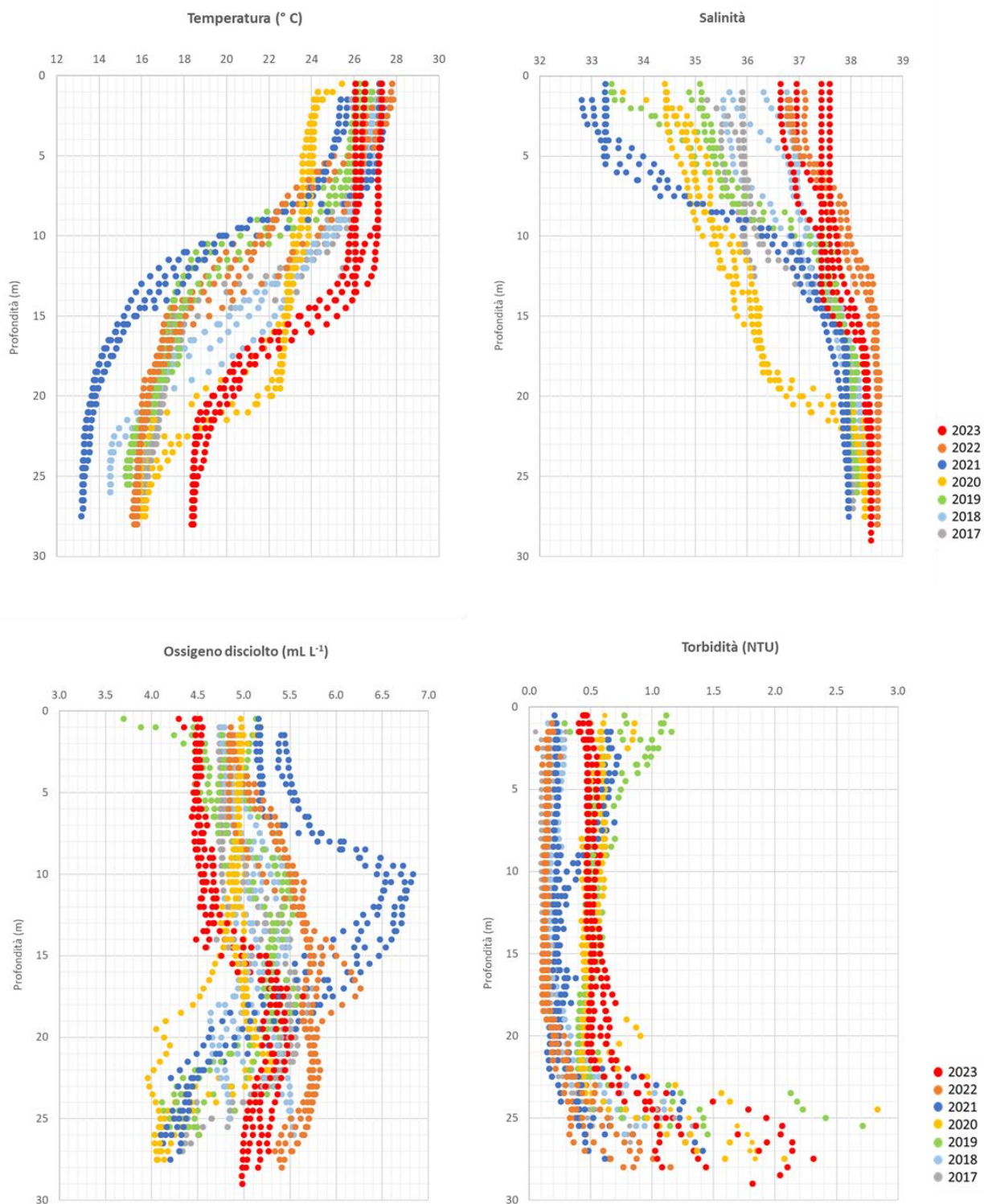
Analogamente a quanto osservato nel 2022, i profili di salinità hanno indicato uno scarso afflusso di acqua di origine fluviale nell'area comprendente le stazioni monitorate (Figura 3.2.2.2), testimoniato da valori superficiali (0-5 m) più elevati (range: 36.8 - 37.2 nel luglio 2022; 36.6 -37.6 nel luglio 2023) rispetto a quelli acquisiti nelle medesime stazioni durante le campagne svolte in luglio nel periodo 2017-2021 (range: 32.8-37.0). La sezione più profonda della colonna d'acqua (>17 m di profondità), al contrario, si è presentata uniforme nel tempo con valori di salinità generalmente  $\geq 37.9$ ; l'unica eccezione è stata riscontrata in luglio 2020, quando la colonna d'acqua era interessata da un aloclino particolarmente profondo (Figura 3.2.2.2).

Il contenuto di ossigeno disciolto è influenzato dalla diversa origine delle masse d'acqua presenti nell'area e dal consumo dovuto ai processi biochimici e dalla produzione via fotosintesi. In generale, durante le campagne svolte in luglio dal 2017 al 2022, lo strato superficiale (0-5 m) ha presentato un buon livello di ossigenazione con concentrazioni di ossigeno disciolto comprese tra 4.8 e 5.5 mL L<sup>-1</sup>, fatta eccezione per il 2019 quando nelle stazioni a Nord ed Ovest del Terminale sono stati rilevati valori minimi (3.7 e 3.9 mL L<sup>-1</sup>) (Figura 3.2.2.2); gli intermedi sono risultati caratterizzati dai maggiori tenori di ossigeno ( $\geq 5$  mL L<sup>-1</sup>), con picchi della concentrazione misurati a 10 m di profondità in tutte le stazioni nel 2021 (~6.5 mL L<sup>-1</sup>) e a 17 m di profondità nella stazione occidentale (TE147) in luglio 2022 (6.3 mL L<sup>-1</sup>). I profili dell'ossigeno disciolto acquisiti durante la campagna di luglio 2023 hanno indicato in tutte le stazioni valori lievemente più modesti nello strato superficiale (range: 4.3 – 4.5 mL L<sup>-1</sup>) ed incrementi esigui ( $\leq 5.2$  mL L<sup>-1</sup>) fino a 15 m di profondità (Figura 3.2.2.2). Le acque al fondo, più salate, hanno mostrato decrementi dell'ossigenazione, con valori compresi tra 4.0 e 4.8 mL L<sup>-1</sup> (eccetto che per sporadici valori  $\approx 5.5$  mL L<sup>-1</sup> in luglio 2018) durante le campagne svolte nel periodo 2017-2021 e tra 5.0 e 5.8 mL L<sup>-1</sup> nel periodo 2022-2023.



Non sono stati evidenziati fenomeni di ipossia o anossia.

La maggior parte dei profili di torbidità indicano valori molto stabili tra le superfici e i 20 m di profondità, risultando < 0.35 NTU nel 2017, 2018 e 2022 e <0.75 NTU nel 2020 e 2023 (Figura 3.2.2.2). Incrementi della torbidità (range: 0.60-1.22 NTU) hanno caratterizzato i primi cinque-dieci metri della colonna d'acqua delle stazioni a Sud e a Est del Terminale, nel 2019 e 2021, in concomitanza con i maggiori afflussi d'acqua dolce rilevati nell'area. Al di sotto dei 20 m, la torbidità mostra repentini incrementi raggiungendo i massimi annuali ai fondi (>1.15 NTU).

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	11 di 47



**Figura 3.2.2.2:** Diagrammi di dispersione di temperatura (°C), salinità (psu), torbidità (NTU) e ossigeno disciolto (% sat) nelle quattro stazioni campionate durante le campagne estive svolte annualmente tra il 2017 e il 2023. I colori distinguono l'anno di campionamento; in rosso luglio 2023.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	12 di 47

### 3.3 NUTRIENTI, AZOTO E FOSFORO TOTALI DISCIOLTI

#### 3.3.1 Materiali e Metodi

##### Nutrienti inorganici

I campioni d'acqua di mare sono stati filtrati a bordo mediante siringa su filtri in fibra di vetro (Watman GF/F, porosità nominale 0.7 µm) precombusti a 450 °C per 4 ore, raccolti in contenitori in polietilene (pre-trattati con acido cloridrico 1M) e conservati a –20°C fino al momento dell'analisi. Le determinazioni analitiche sono state eseguite per via colorimetrica, a temperatura ambiente, con un analizzatore a flusso continuo a quattro canali AA3, Seal Analytical seguendo le metodologie di [Hansen e Koroleff \(1999\)](#). L'azoto ammoniacale è stato determinato in base alla reazione di Berthelot, nella quale si forma un complesso colorato blu-verde che viene misurato a 660 nm. I nitriti sono stati determinati tramite la formazione di un composto diazoico rosso-violaceo che viene misurato a 520 nm. I nitrati sono stati ridotti a nitriti su colonna di cadmio e determinati in base al metodo descritto per i nitriti. Il fosforo reattivo è stato determinato come ortofosfato in base alla formazione di un complesso fosfomolibdico di colore blu che viene misurato a 880 nm.



I limiti di rilevabilità per azoto ammoniacale N-NH<sub>4</sub> e azoto nitroso N-NO<sub>3</sub> sono pari a 0.02 µM, per azoto nitrico N-NO<sub>2</sub> e ortofosfati P-PO<sub>4</sub> sono pari a 0.01 µM.

##### Azoto e fosforo totali disciolti

I campioni di acqua di mare sono stati filtrati a bordo utilizzando filtri in fibra di vetro (Whatman GF/F, porosità nominale 0.7 µm), precombusti (450°C per 4 ore), raccolti in contenitori in polietilene (pre-trattati con acido cloridrico 1M) e conservati a –20°C fino al momento dell'analisi. L'azoto totale e il fosforo totale sono stati determinati dopo la conversione quantitativa a N e P inorganici, tramite l'ossidazione in soluzione con perossidisolfato di potassio ([Hansen e Koroleff, 1999](#)) e la successiva determinazione dell'azoto totale TN, come nitrato, e del fosforo totale TP, come fosfato, su un analizzatore a flusso continuo a quattro canali AA3, Seal Analytical seguendo le metodiche descritte per i nutrienti inorganici.

#### 3.3.2 Risultati

I risultati relativi alle analisi di nutrienti inorganici, azoto e fosforo totale, effettuate sui campioni d'acqua prelevati, in superficie e al fondo, nelle 4 stazioni campionate nell'area del Terminale in luglio 2023 sono riportati nella Tabella 3.3.2.1. Per meglio valutare la distribuzione dei diversi parametri tra le stazioni e le variazioni annuali dei tenori medi, i valori, in superficie e al fondo, sono stati rappresentati con istogrammi (Figure 3.3.2.1-2 e 3.3.2.4-6). I valori medi sono stati calcolati assegnando alle concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale (LR) il valore corrispondente a ½ LR (Middlebound).

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	13 di 47

Stazione	Direzione	Distanza dal Terminale	Profondità	N-NO <sub>2</sub> μmol L <sup>-1</sup>	N-NO <sub>3</sub> μmol L <sup>-1</sup>	N-NH <sub>4</sub> μmol L <sup>-1</sup>	P-PO <sub>4</sub> μmol L <sup>-1</sup>	TDN μmol L <sup>-1</sup>	TDP μmol L <sup>-1</sup>
TE181	N	500	superficie	0.01	0.05	<0.02	0.01	8.64	0.38
			fondo	0.03	0.75	0.07	<0.01	6.71	0.54
TE147	O	500	superficie	0.02	0.11	0.07	0.02	9.42	0.26
			fondo	0.02	0.13	0.08	0.02	3.75	0.31
TE132	S	500	superficie	0.02	0.05	<0.02	0.01	14.56	0.85
			fondo	0.01	0.53	0.12	0.02	10.94	0.48
TE156	E	500	superficie	0.03	0.04	0.04	0.02	5.65	0.35
			fondo	0.05	0.11	0.12	0.02	7.73	0.32

**Tabella 3.3.2.1:** Concentrazione di nutrienti inorganici (azoto nitrico N-NO<sub>2</sub>, azoto nitroso N-NO<sub>3</sub>, azoto ammoniacale N-NH<sub>4</sub> e ortofosfati P-PO<sub>4</sub>), azoto e fosforo totale disciolti (TDN e TDP) nelle 4 stazioni monitorate in luglio 2023.

### Nutrienti inorganici – Luglio 2023

L'azoto nitroso (N-NO<sub>2</sub>) è risultato compreso tra un minimo di 0.01 μmol L<sup>-1</sup>, misurato alla quota superficiale della stazione TE181 e al fondo della stazione TE132, e un massimo di 0.05 μmol L<sup>-1</sup>, riscontrato al fondo della stazione TE156 (Tabella 3.3.2.1; Figura 3.3.2.1). Il valore medio (± DS) di N-NO<sub>2</sub>, considerando le quattro stazioni campionate ad entrambe le quote, è risultato pari a 0.02 ± 0.01 μmol L<sup>-1</sup>. Mediamente, le concentrazioni misurate non risultano significativamente diverse tra le superfici e i fondi (0.03 ± 0.02 μmol L<sup>-1</sup> e 0.02 ± 0.01 μmol L<sup>-1</sup>, al fondo e in superficie, rispettivamente). Il contributo medio del N-NO<sub>2</sub> al DIN (azoto inorganico disciolto, dato dalla somma di nitriti, nitrati e ammonio) è risultato pari a 20.2 ± 6.1 % in superficie e 8.1 ± 7.7 % al fondo.

Le concentrazioni dell'azoto nitrico (N-NO<sub>3</sub>) sono variate tra 0.04 μmol L<sup>-1</sup>, alla quota superficiale della stazione TE156, e 0.75 μmol L<sup>-1</sup>, al fondo della TE181 (Tabella 3.3.2.1; Figura 3.3.2.1). Il valore medio di N-NO<sub>3</sub> è risultato pari a 0.22 ± 0.27 μmol L<sup>-1</sup>. In media, le concentrazioni sono risultate maggiori ai fondi (0.38 ± 0.32 μmol L<sup>-1</sup>) rispetto alle superfici (0.06 ± 0.03 μmol L<sup>-1</sup>).



Tra le diverse forme di azoto inorganico analizzate l'azoto nitrico (N-NO<sub>3</sub>) è risultato lo ione predominante con un contributo medio al DIN pari al 54.8 ± 12.6 % in superficie e al 65.2 ± 22.4 % al fondo.

L'azoto ammoniacale (N-NH<sub>4</sub>) (Tabella 3.3.2.1; Figura 3.3.2.1) è risultato inferiore al limite di rilevabilità strumentale (0.02 μmol L<sup>-1</sup>) alle quote superficiali delle stazioni TE181 e TE132, variando nei restanti campioni tra 0.04 e 0.12 μmol L<sup>-1</sup>. Si nota che, seppure presente in basse concentrazioni in tutte le stazioni, l'N-NH<sub>4</sub> ha presentato valori maggiori ai fondi delle stazioni posizionate a Sud e a Est del Terminal. Il valore medio di N-NH<sub>4</sub>, considerando le quattro stazioni indagate ad entrambe le quote, è risultato pari a 0.06 ± 0.04 μmol L<sup>-1</sup>. Come per i nitrati, le concentrazioni più elevate sono state riscontrate al fondo (0.10 ± 0.02 μmol L<sup>-1</sup> e 0.03 ± 0.03 μmol L<sup>-1</sup>, al fondo e in superficie, rispettivamente).

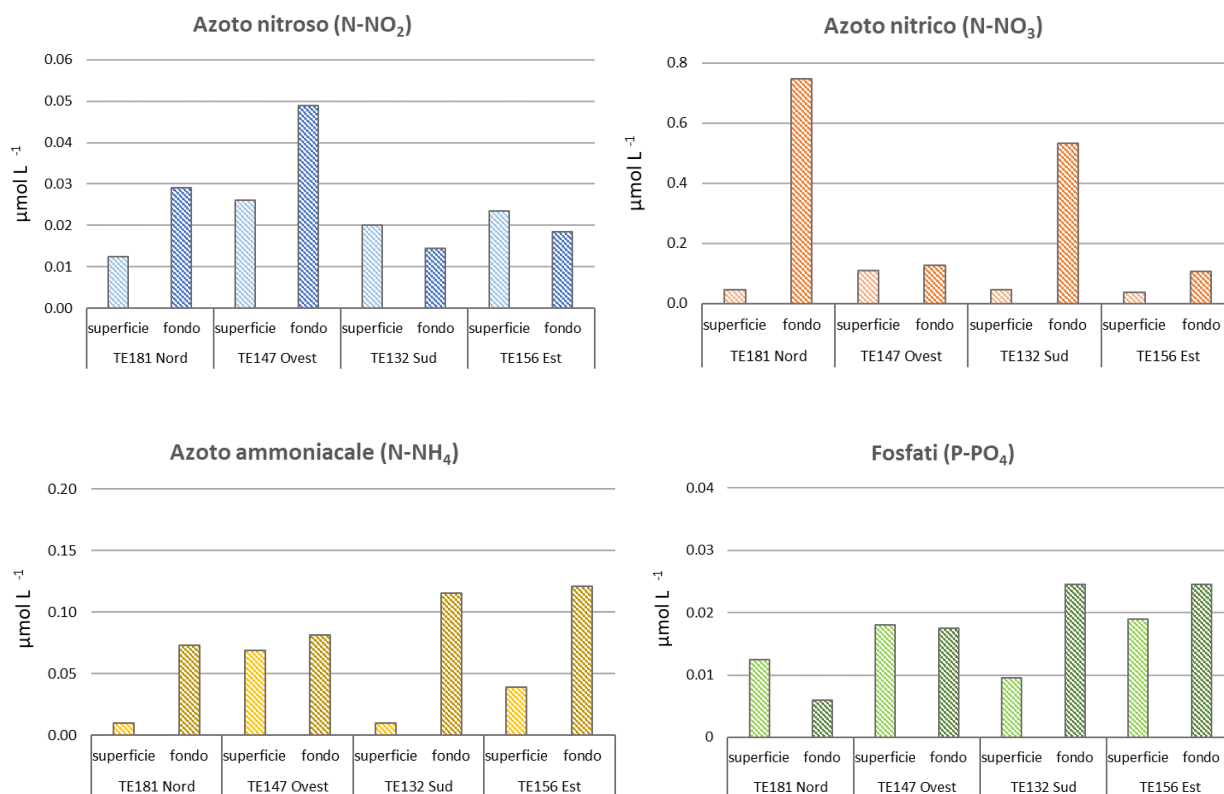
I contributi medi dell'N-NH<sub>4</sub> al DIN in superficie e al fondo sono risultati raffrontabili (25.1 ± 13.1 % in superficie e 26.8 ± 17.9 %) e superiori a quelli dell'azoto nitroso.

L'ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) è variato tra 0.01 e 0.02 μmol L<sup>-1</sup>, risultando inferiore al limite di rilevabilità strumentale (0.01 μmol L<sup>-1</sup>) al fondo della stazione TE181 (Tabella 3.3.2.1; Figura 3.3.2.1). Si nota che, seppure presenti in basse concentrazioni in tutte le stazioni, i fosfati presentano valori maggiori ai fondi delle stazioni posizionate a Sud e a Est del Terminal.



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	14 di 47

Il valore medio di  $P-PO_4$ , considerando le quattro stazioni indagate ad entrambe le quote, è risultato pari a  $0.02 \pm 0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$ .





**Figura 3.3.2.1:** Concentrazione dei nitriti ( $N-NO_2$ ), nitrati ( $N-NO_3$ ), azoto ammoniacale ( $N-NH_4$ ) e fosfati ( $P-PO_4$ ) in superficie e al fondo, nelle 4 stazioni monitorate in luglio 2023.

### Condizione dei nutrienti inorganici nel periodo 2017-2023

Durante il periodo 2017-2023, il nitrito ha presentato valori medi, considerando le quattro stazioni campionate ad entrambe le quote, compresi tra  $0.02 \pm 0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$ , nel luglio 2023, e  $0.15 \pm 0.10 \mu\text{mol L}^{-1}$ , nel luglio 2020 (Tabella 3.3.2.2). I tenori minimi osservati in occasione dell'ultima campagna sono raffrontabili a quelli riscontrati nel luglio 2018 ( $0.04 \pm 0.03 \mu\text{mol L}^{-1}$ ).

I valori più elevati sono stati generalmente riscontrati al fondo (media  $\pm$  SD:  $0.13 \pm 0.08 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $0.03 \pm 0.02 \mu\text{mol L}^{-1}$ , al fondo e in superficie, rispettivamente) sebbene in occasione dell'ultima campagna le concentrazioni siano risultate egualmente basse ad entrambe le quote (Figura 3.3.2.2). Le concentrazioni medie più elevate, in superficie (range:  $0.03$ - $0.05 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e al fondo (range:  $0.18$ - $0.24 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), hanno caratterizzato i mesi di luglio tra il 2019 e il 2021 (Figura 3.3.2.2).

Il nitrito ( $N-NO_2$ ), che corrisponde ad una fase intermedia dei processi di nitrificazione-denitrificazione, ha mostrato complessivamente i minori contributi al DIN (azoto inorganico disciolto, dato dalla somma di nitriti, nitrati e ammonio), con valori medi non significativamente diversi tra superficie e fondo ( $10 \pm 9 \%$  in superficie e  $8 \pm 5 \%$  al fondo) (Figura 3.3.2.3).



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	15 di 47

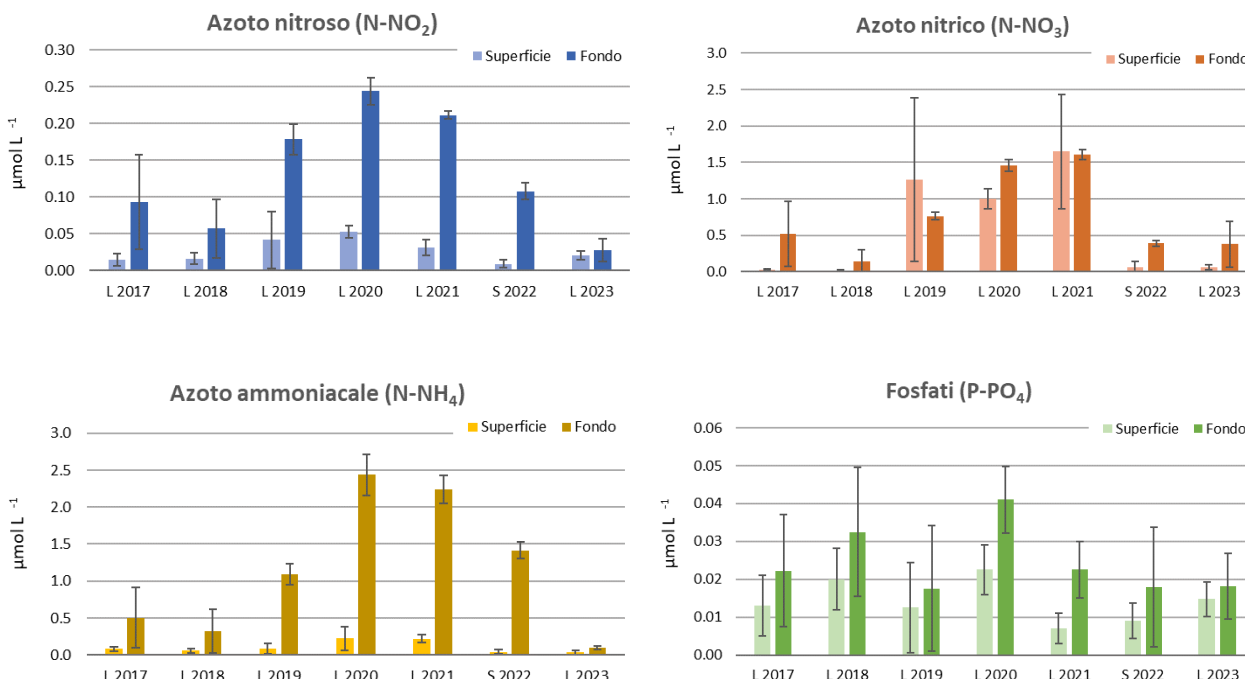
I tenori del nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ), ione generalmente derivante da apporti di acque dolci, hanno mostrato ampia variabilità tra le campagne, con valori medi compresi tra  $0.08 \pm 0.12 \mu\text{mol L}^{-1}$ , in luglio 2018, e  $1.63 \pm 0.52 \mu\text{mol L}^{-1}$ , in luglio 2021 (Tabella 3.3.2.2). Le concentrazioni medie più elevate, in superficie (range:  $1.00\text{-}1.65 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e al fondo (range:  $0.76\text{-}1.61 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), hanno caratterizzato i mesi di luglio tra il 2019 e il 2021 (Figura 3.3.2.2), in concomitanza con i maggiori apporti fluviali registrati nell'area durante l'intero periodo (sal  $\leq 35$ ); nel dettaglio, i picchi massimi di  $\text{N-NO}_3$  ( $2.2 - 2.3 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) sono stati osservati in luglio 2019 e 2021 nelle acque superficiali caratterizzate da salinità  $\leq 33.4$ . I valori osservati in occasione dell'ultima campagna ( $0.38 \pm 0.32 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $0.06 \pm 0.03 \mu\text{mol L}^{-1}$ , al fondo e in superficie, rispettivamente) risultano modesti ma raffrontabili ai tenori riscontrati nel 2017, 2018 e 2022 (valore medio  $\pm$  DS:  $0.35 \pm 0.30 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $0.03 \pm 0.05 \mu\text{mol L}^{-1}$ , al fondo e in superficie, rispettivamente) con concentrazioni sempre maggiori al fondo (Figura 3.3.2.2). I contributi del nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) al DIN sono risultati eterogeneamente distribuiti tra le campagne e le quote, variando tra minimi  $\sim 20$  %, osservati in superficie nel 2017 e 2018 e al fondo nel 2022, e massimi  $\sim 80$  %, rilevati alle quote superficiali tra il 2019 e il 2021 (Figura 3.3.2.3). Mediamente, i contributi del  $\text{N-NO}_3$  sono risultati maggiori in superficie (contributo medio:  $55 \pm 29$  % in superficie;  $30 \pm 18$  % al fondo).

Anche l'azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_4$ ) ha mostrato grande variabilità, con valori medi compresi tra  $0.06 \pm 0.04 \mu\text{mol L}^{-1}$ , nel luglio 2023, e  $1.33 \pm 1.20 \mu\text{mol L}^{-1}$ , nel luglio 2020 (Tabella 3.3.2.2). Come per il nitrito, le concentrazioni più elevate sono sempre state riscontrate al fondo (media  $\pm$  SD:  $1.16 \pm 0.90 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $0.11 \pm 0.10 \mu\text{mol L}^{-1}$ , al fondo e in superficie, rispettivamente), sebbene in luglio 2023 i valori siano risultate egualmente bassi ad entrambe le quote (Figura 3.3.2.2). Il confronto con il pregresso indica che i valori medi rilevati in occasione dell'ultima campagna (2023) alle quote superficiali ( $0.03 \pm 0.03 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) risultano raffrontabili alle concentrazioni rilevate l'anno precedente (2022,  $0.04 \pm 0.03 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e solo lievemente più contenute rispetto al periodo 2017-2019 (valore medio  $\pm$  DS:  $0.07 \pm 0.04 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) (Figura 3.3.2.2). Diversamente, nelle acque di fondo l'apporto di  $\text{N-NH}_4$  misurato in luglio 2023 ( $0.10 \pm 0.02 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) è risultato spiccatamente diminuito rispetto alle campagne precedenti (valore medio  $\pm$  DS:  $1.83 \pm 0.85 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) (Figura 3.3.2.2).

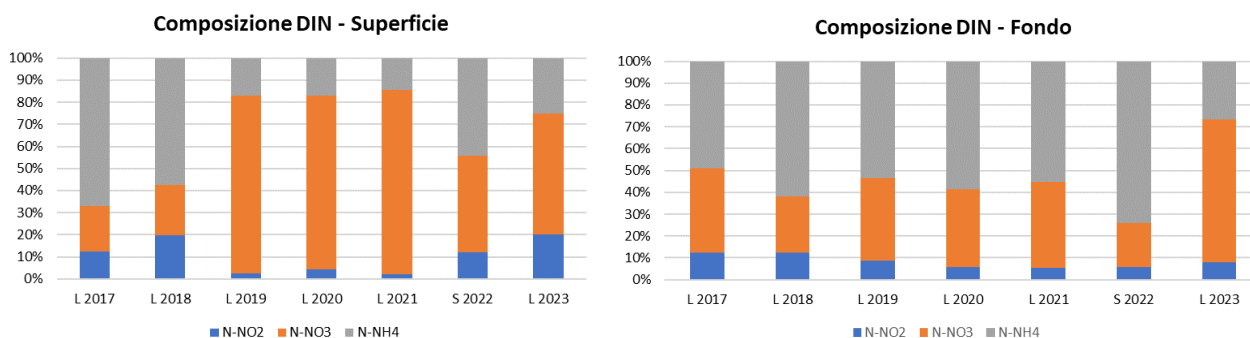
L'azoto ammoniacale, risultato tra le forme inorganiche dell'azoto sempre predominante al fondo nel periodo 2017-2022 (contributo medio  $\pm$  SD al DIN:  $59 \pm 13$ %), ha mostrato in luglio 2023 un contributo ( $27 \pm 19$  %) inferiore a quello dei nitrati (Figura 3.3.2.3). In superficie l' $\text{N-NH}_4$  ha mostrato contributi al DIN eterogeneamente distribuiti tra le campagne con valori mediamente pari a  $35 \pm 25$  %; l'azoto ammoniacale è risultato predominante alle quote superficiali in luglio 2017 ( $67 \pm 5$ %) e 2018 ( $57 \pm 25$ %) mentre i contributi minimi ( $14 - 17$  %) sono stati osservati durante le campagne svolte tra il 2019 e il 2021 (Figura 3.3.2.3).

L'ortofosfato ( $\text{P-PO}_4$ ) si è attestato su concentrazioni medie molto contenute ed omogenee, variando tra  $0.01 \pm 0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$ , in occasione delle campagne di luglio 2021 e settembre 2022, e  $0.03 \pm 0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$ , in luglio 2018 e 2020. Le concentrazioni del  $\text{P-PO}_4$  sono risultate generalmente maggiori nelle acque di fondo (media  $\pm$  SD:  $0.02 \pm 0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $0.01 \pm 0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$ , al fondo e in superficie, rispettivamente) con massimi nel luglio 2020 ( $0.04 \pm 0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) (Figura 3.3.2.2).

  Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	16 di 47



**Figura 3.3.2.2:** Concentrazione medie annuali dei nitriti (N-NO<sub>2</sub>), nitrati (N-NO<sub>3</sub>), azoto ammoniacale (N-NH<sub>4</sub>) e fosfati (P-PO<sub>4</sub>), in superficie e al fondo, in superficie e al fondo, considerando le quattro stazioni campionate durante le campagne estive svolte annualmente tra il 2017 e il 2023.





**Figura 3.3.2.3:** Contributi medi (%) dei nitriti (N-NO<sub>2</sub>), nitrati (N-NO<sub>3</sub>) e azoto ammoniacale (N-NH<sub>4</sub>) all'azoto inorganico disciolto (DIN), in superficie e al fondo, considerando le quattro stazioni campionate durante le campagne estive svolte annualmente tra il 2017 e il 2023.

### Azoto e fosforo totale disciolti – Luglio 2023

Nella figura 3.3.2.4 sono riportate le concentrazioni dell'azoto totale disciolto (TDN) definito come sommatoria delle concentrazioni delle specie organiche e inorganiche disciolte. Le concentrazioni del TDN sono risultate comprese tra un minimo di 3.75  $\mu\text{mol L}^{-1}$  e un massimo di 14.56  $\mu\text{mol L}^{-1}$ , misurati rispettivamente al fondo della Stazione TE147 e alla quota superficiale della stazione TE132. La stazione TE132, posizionata 500 m a Sud del Terminale, è risultata caratterizzata dai valori più elevati di TDN ( $> 10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) sia in superficie che al fondo.



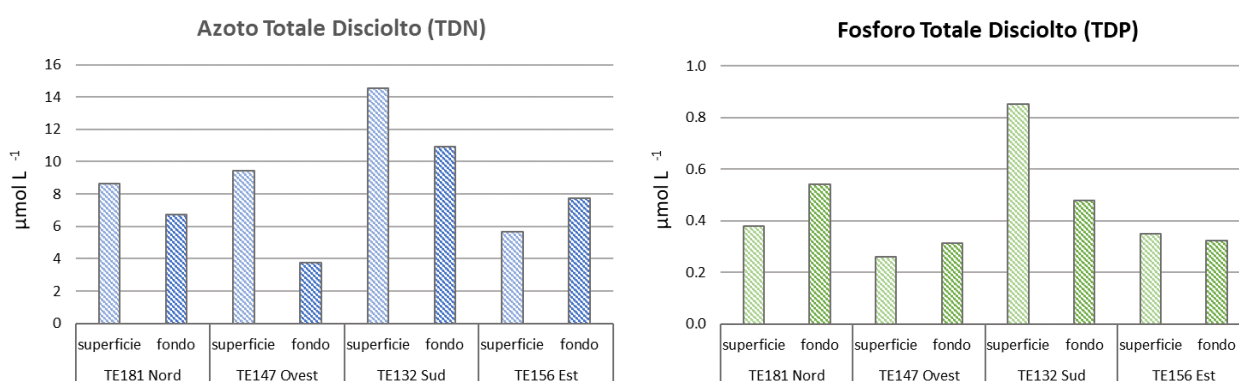
  Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	17 di 47

Il valore medio del TDN, considerando le quattro stazioni indagate ad entrambe le quote, è risultato pari a  $8.42 \pm 3.34 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Concentrazioni medie lievemente maggiori sono state osservate alle quote superficiali (valori medi  $\pm$  DS:  $9.57 \pm 3.70 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $7.28 \pm 2.97 \mu\text{mol L}^{-1}$ , in superficie e al fondo, rispettivamente).

Confrontando il TDN con il DIN, appare evidente come quest'ultimo contribuisca estremamente poco al pool dell'azoto totale disciolto, costituendone in media il  $1 \pm 1 \%$  in superficie e  $7 \pm 4 \%$  al fondo. Ciò indica che la composizione del TDN risulta sempre dominata dalla componente organica.

Nella figura 3.3.2.4, sono riportate le concentrazioni del fosforo totale disciolto (TDP), in superficie e al fondo delle quattro stazioni monitorate. Le concentrazioni del TDP, che sono date dalla sommatoria tra il fosforo inorganico ed organico disciolto, sono risultate comprese tra  $0.26 \mu\text{mol L}^{-1}$ , minimo misurato in superficie nella stazione TE147, e  $0.85 \mu\text{mol L}^{-1}$ , massimo rilevato in superficie nella stazione TE132. Il valore medio del TDP, considerando le quattro stazioni indagate ad entrambe le quote, è risultato pari a  $0.44 \pm 0.19 \mu\text{mol L}^{-1}$ . In media, le concentrazioni in superficie e al fondo non risultano significativamente diverse tra loro ( $0.46 \pm 0.27 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $0.41 \pm 0.11 \mu\text{mol L}^{-1}$ , in superficie e al fondo, rispettivamente).



Il contributo dell'ortofosfato ( $\text{P-PO}_4$ ) al pool del TDP è risultato particolarmente modesto sia in superficie (in media  $4 \pm 3 \%$ ) che al fondo ( $5 \pm 3 \%$ ). La composizione del TDP risulta quindi dominata dalla frazione organica.



**Figura 3.3.2.4:** Concentrazioni di azoto e fosforo totale disciolti (TDN e TDP) in superficie e al fondo nelle 4 stazioni monitorate in luglio 2023.

### Condizione dell'azoto e fosforo totale disciolti nel periodo 2017-2023

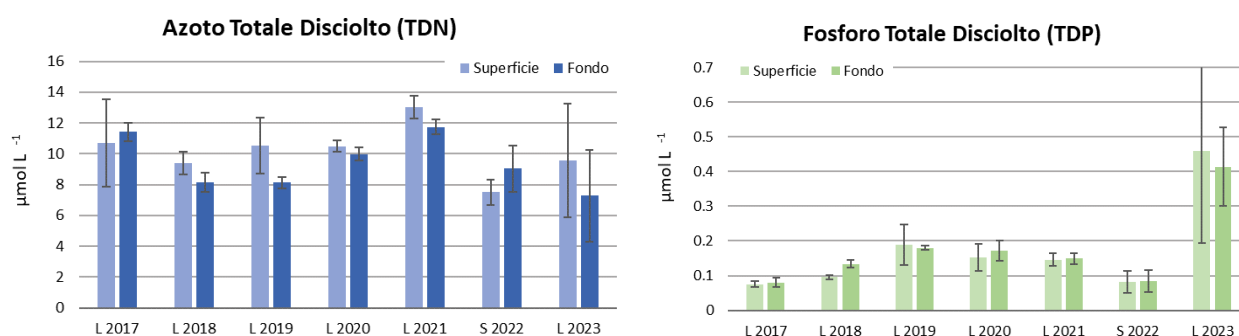
Il confronto tra i dati raccolti nell'ambito delle campagne svolte nel mese di luglio tra il 2017 e il 2023 mostra moderate fluttuazioni dei valori medi dell'azoto totale disciolto (TDN), con tenori minimi ( $8.27 \pm 1.38 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) riscontrati in settembre 2022 e massimi ( $12.39 \pm 0.91 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) in luglio 2021 (Tabella 3.3.2.2). Concentrazioni medie raffrontabili ai minimi sono state rilevate in luglio 2018 ( $8.77 \pm 0.90 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e in luglio 2023 ( $8.42 \pm 3.34 \mu\text{mol L}^{-1}$ ); tenori raffrontabili ai massimi sono stati invece osservati in luglio 2017 ( $11.06 \pm 1.94 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). In corrispondenza dell'ultima campagna di monitoraggio (luglio 2023) è stata riscontrata la maggiore variabilità tra le stazioni e le quote campionate, con concentrazioni minime e massime assolute per l'intero periodo monitorato (min:  $3.75 \mu\text{mol L}^{-1}$  al fondo;  $14.56 \mu\text{mol L}^{-1}$  in superficie) (Tabella 3.3.2.2).

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	18 di 47



Complessivamente, concentrazioni medie lievemente maggiori sono state riscontrate in superficie ( $10.18 \pm 2.34 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $9.39 \pm 2.00 \mu\text{mol L}^{-1}$ , in superficie e al fondo, rispettivamente), sebbene in settembre 2022 la distribuzione sia risultata opposta (Figura 3.3.2.5).

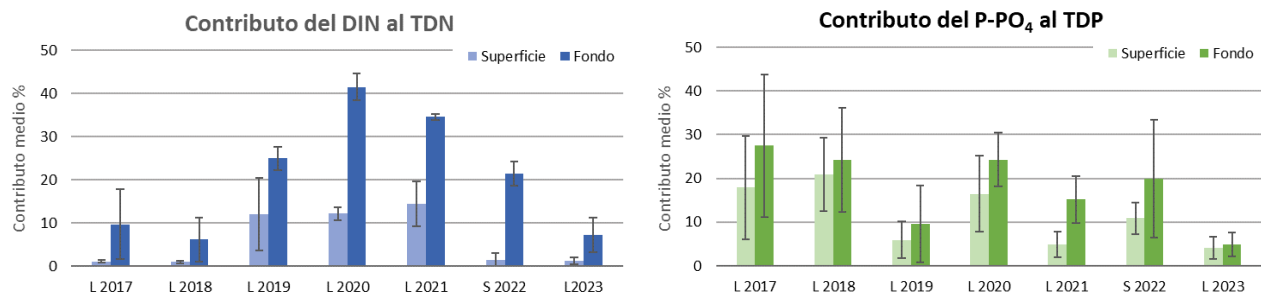
Il pool dell'azoto totale disciolto risulta sempre dominato dalla componente organica. Il confronto del TDN con il DIN, indica che quest'ultimo costituisce una porzione molto ridotta dell'azoto totale disciolto in superficie, costituendone in media il  $6.2 \pm 6.8 \%$ , mentre al fondo il suo contributo equivale al  $20.8 \pm 13.6 \%$ . Ad entrambe le quote, i contributi più modesti sono stati osservati nel 2017, 2018 e 2023 (valore medio  $\pm$  DS:  $1.2 \pm 0.5 \%$  alle quote superficiali;  $7.7 \pm 5.6 \%$  ai fondi) mentre i massimi hanno contraddistinto le campagne di luglio 2020 e 2021 (valore medio  $\pm$  DS:  $13.3 \pm 3.7 \%$  alle quote superficiali;  $38.1 \pm 4.2 \%$  ai fondi) (Figura 3.3.2.6).

Mediamente, considerando le quattro stazioni campionate ad entrambe le quote, il fosforo totale disciolto (TDP) ha mostrato variazioni contenute in occasione delle campagne effettuate nel periodo 2017-2022 mentre in luglio 2023 ha toccato valori spiccatamente maggiori ad entrambe le quote (valore medio  $\pm$  DS:  $0.44 \pm 0.11 \mu\text{mol L}^{-1}$  (Tabella 3.3.2.2; Figura 3.3.2.5). Nel periodo 2017-2022, le concentrazioni minori sono state rilevate in luglio 2017 e in settembre 2022 ( $0.08 \pm 0.01 \mu\text{mol L}^{-1}$  e  $0.08 \pm 0.03 \mu\text{mol L}^{-1}$ , rispettivamente), mentre i tenori massimi hanno caratterizzato luglio 2019 ( $0.18 \pm 0.04 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) (Tabella 3.3.2.2). Nel complesso, le concentrazioni del TDP hanno mostrato valori medi non significativamente diversi tra superfici e fondi; nel periodo 2017-2022, i valori medi si sono attestati su  $0.12 \pm 0.05 \mu\text{mol L}^{-1}$  in superficie e  $0.13 \pm 0.04 \mu\text{mol L}^{-1}$  al fondo; nel 2023 sono stati osservati valori medio pari a  $0.46 \pm 0.27 \mu\text{mol L}^{-1}$  in superficie e a  $0.41 \pm 0.11 \mu\text{mol L}^{-1}$  ai fondi. Il confronto tra le concentrazioni dei fosfati ( $\text{P-PO}_4$ ) e del TDP indica che il fosforo inorganico contribuisce poco ( $<30\%$ ) alla concentrazione del fosforo totale disciolto (Figura 3.3.2.6), costituendone, in media, il  $11.4 \pm 9.0 \%$  in superficie e il  $17.8 \pm 12.2 \%$  al fondo. Nel luglio 2023, i contributi dei fosfati ( $\text{P-PO}_4$ ) al TDP sono risultati minimi ( $4.5 \pm 2.5 \%$ ) (Figura 3.3.2.6) indicando un apporto della componente organica disciolta.



**Figura 3.3.2.5:** Concentrazioni medie di azoto e fosforo totale disciolti (TDN e TDP), in superficie e al fondo, considerando le quattro stazioni campionate durante le campagne estive svolte annualmente tra il 2017 e il 2023.



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	19 di 47



**Figura 3.3.2.6:** Contributi medi (%) dell'azoto inorganico disciolto (DIN) all'azoto totale disciolto (TDN) e degli ortofosfati (P-PO<sub>4</sub>) al fosforo totale disciolto (TDP), in superficie e al fondo, considerando le quattro stazioni campionate durante le campagne estive svolte annualmente tra il 2017 e il 2023.

N-NO <sub>2</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	L 2017	L 2018	L 2019	L 2020	L 2021	S 2022	L 2023
Media	0.05	0.04	0.11	0.15	0.12	0.06	0.02
Dev. std.	0.06	0.03	0.08	0.10	0.10	0.05	0.01
Min	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	0.02	<0.01	0.01
Max	0.15	0.11	0.21	0.27	0.22	0.12	0.05
N-NO <sub>3</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	L 2017	L 2018	L 2019	L 2020	L 2021	S 2022	L 2023
Media	0.27	0.08	1.01	1.23	1.63	0.23	0.22
Dev. std.	0.39	0.12	0.78	0.27	0.52	0.18	0.27
Min	<0.02	<0.02	0.21	0.82	0.61	<0.02	0.04
Max	0.90	0.35	2.26	1.54	2.30	0.42	0.75
N-NH <sub>4</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	L 2017	L 2018	L 2019	L 2020	L 2021	S 2022	L 2023
Media	0.29	0.19	0.59	1.33	1.23	0.73	0.06
Dev. std.	0.35	0.24	0.55	1.20	1.09	0.74	0.04
Min	0.06	<0.02	<0.02	0.08	0.16	<0.02	<0.02
Max	0.87	0.75	1.29	2.78	2.44	1.53	0.12
P-PO <sub>4</sub> (μmol L <sup>-1</sup> )	L 2017	L 2018	L 2019	L 2020	L 2021	S 2022	L 2023
Media	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02
Dev. std.	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Min	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01
Max	0.04	0.05	0.04	0.05	0.03	0.04	0.02
TDN (μmol L <sup>-1</sup> )	L 2017	L 2018	L 2019	L 2020	L 2021	S 2022	L 2023
Media	11.06	8.77	9.35	10.24	12.39	8.27	8.42
Dev. std.	1.94	0.90	1.77	0.46	0.91	1.38	3.34
Min	6.49	7.53	7.75	9.64	11.28	6.63	3.75
Max	12.66	10.32	12.35	10.75	13.79	11.22	14.56
TDP (μmol L <sup>-1</sup> )	L 2017	L 2018	L 2019	L 2020	L 2021	S 2022	L 2023
Media	0.08	0.11	0.18	0.16	0.15	0.08	0.44
Dev. std.	0.01	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.19
Min	0.07	0.09	0.14	0.10	0.12	0.04	0.26
Max	0.09	0.14	0.24	0.21	0.17	0.13	0.85

**Tabella 3.3.2.2:** Valori medi (±SD), minimi e massimi di nutrienti inorganici (azoto nitrico N-NO<sub>2</sub>, azoto nitroso N-NO<sub>3</sub>, azoto ammoniacale N-NH<sub>4</sub> e ortofosfati P-PO<sub>4</sub>), azoto e fosforo totale disciolti (TDN e TDP), considerando le quattro stazioni campionate in superficie e al fondo, durante le campagne estive svolte annualmente tra il 2017 e il 2023.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	20 di 47

## 4. POPOLAMENTI FITOPLANCTONICI

### 4.1 CAMPIONAMENTO

I campioni d'acqua destinati allo studio della comunità fitoplanctonica nelle quattro stazioni posizionate a 500 m dal Terminale, in direzione dei principali punti cardinali, sono stati raccolti il 25-26 luglio 2023; il campionamento è stato effettuato con bottiglie Niskin dal volume di 5 L, in superficie e sul fondo, contestualmente all'acquisizione dei parametri idrologici (temperatura, salinità, ossigeno disciolto e torbidità) e il prelievo dei campioni per la determinazione dei nutrienti.

### 4.2 ANALISI QUALITATIVA, QUANTITATIVA E BIOMASSA DEL FITOPLANCTON

#### 4.2.1 Materiali e Metodi

Per l'analisi qualitativa e quantitativa del fitoplancton sono stati raccolti 500 mL di acqua in superficie e al fondo nelle 4 stazioni posizionate a 500 m dal Terminale (TE181, TE156, TE132 e TE147 rispettivamente a Nord, Est, Sud e Ovest). I campioni raccolti sono stati immediatamente fissati con formalina neutralizzata con dolomite (concentrazione finale 1.6 % di formaldeide) e successivamente analizzati al microscopio ottico invertito (Zeiss Axiovert 40 C) secondo il protocollo di Utermöhl ([Zingone et al., 2010](#)). Il conteggio e il riconoscimento tassonomico sono stati effettuati su subcampioni di volume variabile (5-50 mL) analizzando mezza camera di sedimentazione a un ingrandimento di 200X per le specie sporadiche e di grandi dimensioni ( $> 20 \mu\text{m}$ ), mentre per le specie di piccole dimensioni ( $< 20 \mu\text{m}$ ) o molto abbondanti il conteggio è stato effettuato su 1 o 2 transetti a 400X. Il riconoscimento tassonomico è stato realizzato con l'ausilio di manuali ([Rampi and Bernhard, 1980](#); [Tomas, 1997](#)) fino al livello tassonomico più basso possibile.



Per la stima della biomassa autotrofa è stato ricavato il biovolume cellulare partendo dalla misurazione delle dimensioni lineari delle cellule associate a figure geometriche, in accordo con [Hillebrand et al. \(1999\)](#) e [Olenina et al. \(2006\)](#), e successivamente è stato convertito in concentrazione di carbonio organico tramite le formule di conversione proposte da [Menden-Deuer and Lessard \(2000\)](#).

#### 4.2.2 Risultati

Le comunità fitoplanctoniche campionate in luglio 2023 hanno mostrato abbondanze superficiali omogeneamente distribuite tra le stazioni (abbondanza media  $\pm$  DS:  $1.3 \pm 0.1 \times 10^6$  cell.  $\text{L}^{-1}$ ) e lievemente maggiori rispetto ai fondi (abbondanza media  $\pm$  DS:  $1.1 \pm 0.2 \times 10^6$  cell.  $\text{L}^{-1}$ ) (Figura 4.2.2.1). L'abbondanza media totale è risultata pari a  $1.2 \pm 0.2 \times 10^6$  cell.  $\text{L}^{-1}$ .

L'analisi quali-quantitativa ha evidenziato una comunità fitoplanctonica dominata dal gruppo dei flagellati ( $77 \pm 8$  % del fitoplancton totale) con un'abbondanza media ( $\pm$  DS) di  $9.3 \pm 1.5 \times 10^5$  cell  $\text{L}^{-1}$ ; nel complesso, le abbondanze dei flagellati non sono risultate significativamente diverse tra le quote (in media,  $9.3 \pm 1.5 \times 10^5$  cell.  $\text{L}^{-1}$  nelle acque superficiali e  $8.3 \pm 1.6 \times 10^5$  cell.  $\text{L}^{-1}$  ai fondi) sebbene i valori più contenuti siano stati osservati alle quote profonde (Figura 4.2.2.1).

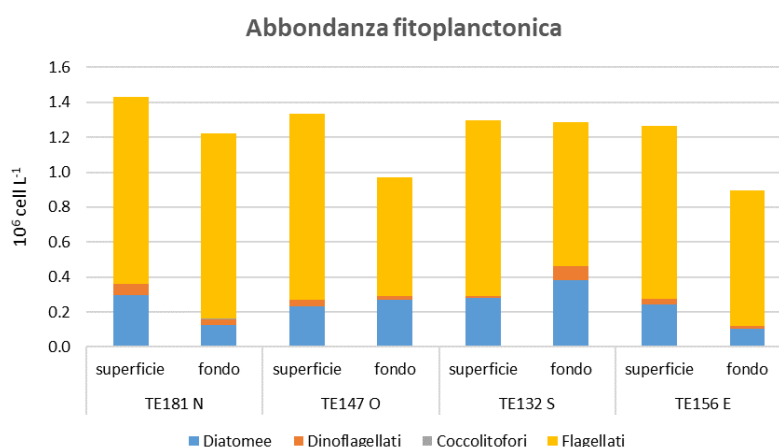
Le diatomee hanno rappresentato il secondo gruppo più abbondante, andando a costituire il  $20 \pm 7$  % della comunità totale. L'abbondanza media ( $\pm$  DS) è risultata pari a  $2.4 \pm 0.9 \times 10^5$  cell.  $\text{L}^{-1}$ , con

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	21 di 47

valori più variabili ai fondi (in media,  $2.2 \pm 1.3 \times 10^5$  cell. L<sup>-1</sup>) rispetto alle superfici (in media,  $2.6 \pm 0.3 \times 10^5$  cell. L<sup>-1</sup>) (Figura 4.2.2.1); le abbondanze minima ( $1.0 \times 10^5$  cell. L<sup>-1</sup>) e massima ( $3.8 \times 10^5$  cell. L<sup>-1</sup>) sono state riscontrate ai fondi delle stazioni TE156 e TE132, rispettivamente.

I dinoflagellati hanno rappresentato il  $3 \pm 2$  % del fitoplancton totale con un'abbondanza media di  $3.7 \pm 2.6 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup> (Figura 4.2.2.1); anche per questo gruppo non sono state osservate differenze tra lo strato superficiale e il fondo, sia in termini di abbondanza ( $3.6 \pm 2.3 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup> in superficie;  $3.8 \pm 3.1 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup> al fondo) che di contributi al fitoplancton totale.



Infine, i coccolitofori hanno rappresentato il gruppo meno abbondante (<0.1 % del fitoplancton totale) mostrando abbondanze grossomodo omogenee in superficie ( $1.0 \pm 0.4 \times 10^2$  cell. L<sup>-1</sup>) e presenza sporadica ai fondi (range: 0 -  $5.4 \times 10^3$  cell. L<sup>-1</sup>); l'abbondanza massima è stata riscontrata al fondo della stazione TE181.



**Figura 4.2.2.1:** Abbondanze del popolamento fitoplanctonico totale e dei singoli gruppi che lo compongono, in superficie e al fondo, nelle 4 stazioni monitorate in luglio 2023.

Sia alle quote superficiali che ai fondi, il gruppo dei flagellati è risultato costituito per la maggior parte da forme indeterminate < 10 µm (abbondanza media  $8.4 \pm 1.6 \times 10^5$  cell. L<sup>-1</sup>) e da Criptofite (abbondanza media  $6.1 \pm 2.9 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>), che insieme hanno rappresentato il 97 % del gruppo; i rimanenti flagellati appartenevano ai taxa Ochrofitia (*Dictyocha fibula*, *Ollicola vangorii*), Cercozoa (*Paulinella ovalis*, *Hermesinum adriaticum*), Clorofita (*Tetraselmis* spp.) e Katablefaridofita (*Leucocryptos marina*).

Il popolamento delle diatomee ha mostrato una diversificazione in termini di abbondanza e struttura tra le superfici e i fondi. I generi *Leptocylindrus*, *Pseudo-nitzschia* e *Chaetoceros* sono risultati i maggiormente abbondanti ad entrambe le quote. *Leptocylindrus* spp. è risultato dominante ai fondi (53% del gruppo, con abbondanze medie pari a  $1.1 \times 10^5$  cell. L<sup>-1</sup>) e rappresentato prevalentemente da *L. danicus*, mentre in superficie ha mostrato valori dimezzati (23% del gruppo, con abbondanza media pari a  $0.6 \times 10^5$  cell. L<sup>-1</sup>). *Chaetoceros* spp. è risultato il secondo genere maggiormente rappresentato alle quote di fondo (33% del gruppo) con abbondanze pari a  $7.8 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>; in superficie, anche questo genere ha mostrato valori ridotti, con abbondanze pari a  $2.8 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup> e ancor minore contributo al genere (11% del gruppo). Tra le specie identificate, *C.*

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	22 di 47

*socialis* è risultato presente ad entrambe le quote, con abbondanze maggiori in superficie ( $2.6 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>) rispetto ai fondi ( $1.9 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>); *C. anastomosans* ha raggiunto invece abbondanze apprezzabili solo ai fondi ( $4.3 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>) risultando sporadicamente presente alle quote superficiali ( $\leq 320$  cell. L<sup>-1</sup>).

Diversamente, il genere *Pseudo-nitzschia* ha mostrato abbondanze maggiori alle quote superficiali (abbondanza media  $5.6 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>) rispetto ai fondi (abbondanza media  $1.5 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>) andando a rappresentare rispettivamente il 22% e 7% delle diatomee determinate; la specie *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* è risultata predominante al fondo (abbondanza media  $9.5 \times 10^3$  cell. L<sup>-1</sup>) ed assente in superficie. Anche il genere *Bacteriastrium* è risultato maggiormente rappresentato in superficie (5 % del gruppo, abbondanze pari a  $1.2 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>) che ai fondi (<1 % del gruppo, abbondanze pari a  $1.4 \times 10^3$  cell. L<sup>-1</sup>).



Tra le altre specie identificate ad entrambe le quote anche *Proboscia alata* e *Cerataulina pelagica* sono risultate maggiormente rappresentate in superficie (*P. alata*: 14 % del gruppo, abbondanze pari a  $3.5 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>; *C. pelagica*: 6 % del gruppo, abbondanze pari a  $1.5 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>) rispetto ai fondi (*P. alata*: 3 % del gruppo, abbondanze pari a  $5.4 \times 10^3$  cell. L<sup>-1</sup>; *C. pelagica*: 3 % del gruppo, abbondanze pari a  $0.7 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>).

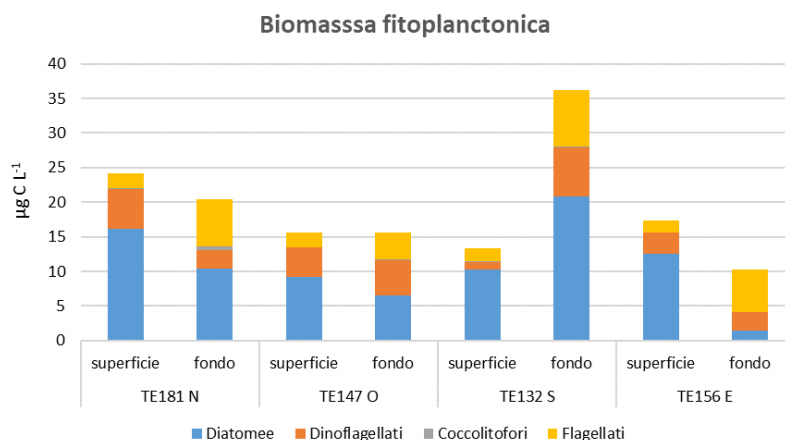
Infine, alle quote superficiali sono state determinate specie appartenenti al genere *Cyclotella* (9 % del popolamento a diatomee), oltre a *Guinardia striata* (<6%), *Dactyliosolen fragilissimus* (<4%) e *Hemiaulus hauckii* (<2%).

Tra i dinoflagellati, le forme nude indeterminate (<20 µm) hanno presentato le abbondanze maggiori, sia in superficie (in media,  $1.2 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>) che al fondo (in media,  $3.5 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>), rappresentando più del 95% del gruppo. Specie appartenenti ai generi *Prorocentrum*, *Protoperidinium*, *Gymnodinium* e *Tripos* sono stati riconosciuti sporadicamente con abbondanze esigue ( $\leq 160$  cell. L<sup>-1</sup>).

Il gruppo dei coccolitofori determinati al fondo è risultato composto prevalentemente da *Emiliania huxleyi* (91% del gruppo) oltre che da *Syracosphaera pulchra* mentre in superficie quest'ultima specie risultava costituire il 60% del gruppo, ed era associata a *Rabdolithes claviger* e forme indeterminate.

In termini di biomassa autotrofa, i valori hanno seguito grossomodo la distribuzione delle diatomee, che, dato il loro maggior biovolume cellulare con conseguente maggior contenuto in carbonio, risultano responsabili dei più elevati contributi (Bernardi Aubry *et al.*, 2004). Infatti, la maggiore variabilità ha caratterizzato le quote profonde; il minimo ( $10.3 \mu\text{gC L}^{-1}$ ) ed il massimo ( $36.2 \mu\text{gC L}^{-1}$ ) sono stati calcolati per i popolamenti ai fondi delle stazioni TE156 e TE132, rispettivamente (Figura 4.2.2.2). Mediamente, i valori osservati per le quote superficiali ( $16.6 \pm 4.7 \mu\text{gC L}^{-1}$ ) e ai fondi ( $20.6 \pm 11.2 \mu\text{gC L}^{-1}$ ) non sono risultati significativamente diversi; va rilevato che alle quote di fondo sussiste una marcata variabilità dovuta alla differente distribuzione delle diatomee.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	23 di 47



**Figura 4.2.2.2:** Valori di biomassa autotrofa totale e dei singoli gruppi che compongono il popolamento fitoplanctonico, in superficie e al fondo, nelle 4 stazioni monitorate in luglio 2023.

#### Popolamenti fitoplanctonici nel periodo 2017-2023



La disponibilità dei dati relativi alle abbondanze fitoplanctoniche monitorate annualmente nelle medesime stazioni nei mesi di luglio tra il 2017 e il 2022 (per le quote di fondo 2018-2021) consente di formulare alcune considerazioni di confronto.

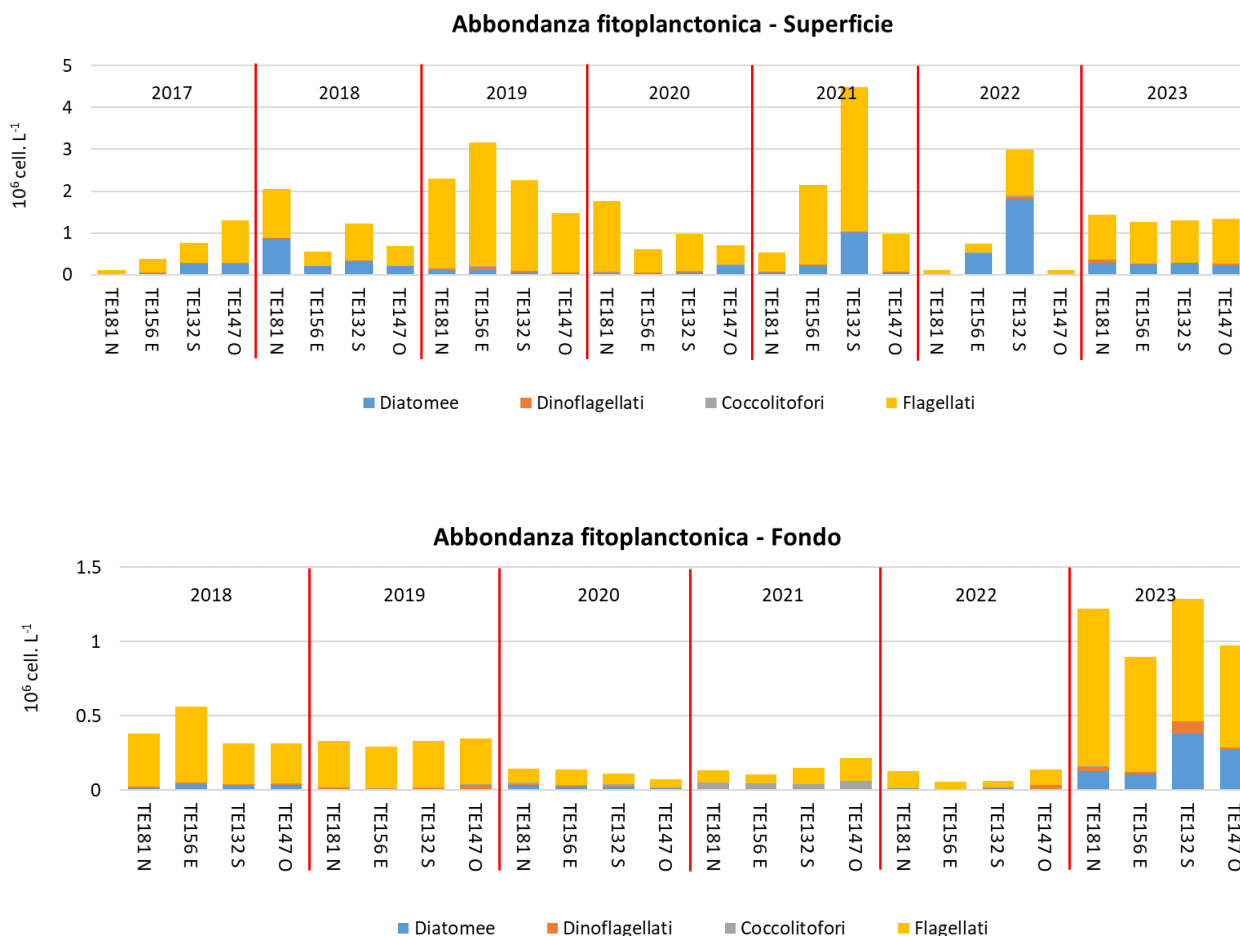
In generale, i popolamenti risultano soggetti a una grande variabilità sia interannuale che spaziale, soprattutto alla quota superficiale.

Nell'ambito delle campagne svolte tra il 2018 e il 2022, i valori di abbondanza totale registrati al fondo (in media,  $0.2 \pm 0.1 \times 10^6$  cell. L<sup>-1</sup>) sono risultati sempre inferiori a quelli osservati in superficie (in media,  $1.5 \pm 1.2 \times 10^6$  cell. L<sup>-1</sup>), in accordo con quanto riscontrato da [Bernardi Aubry et al. \(2004, 2006\)](#) nell'area dell'Adriatico settentrionale; diversamente in luglio 2023, le abbondanze medie ( $\pm$ SD) superficiali ( $1.3 \pm 0.1 \times 10^6$  cell. L<sup>-1</sup>) sono risultate raffrontabili a quelle registrate ai fondi ( $1.1 \pm 0.2 \times 10^6$  cell. L<sup>-1</sup>), spiccatamente maggiori rispetto al pregresso (Figure 4.2.2.3-4).

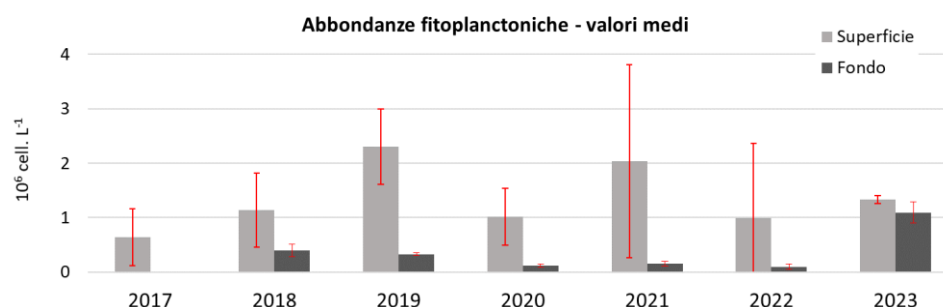
Complessivamente, i popolamenti campionati in superficie si attestano su abbondanze che rientrano sempre nel range interannuale e stagionale dell'Adriatico settentrionale ([Bernardi Aubry et al., 2012](#); [Cabrini et al., 2012](#); [Cerino et al., 2019](#)).



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	24 di 47





**Figura 4.2.2.3:** Abbondanze ( $10^6 \text{ cell. L}^{-1}$ ) fitoplanctoniche nelle 4 stazioni poste a 500 m dal Terminale in direzione dei principali punti cardinali (TE181 Nord, TE156 Est, TE132 Sud e TE147 Ovest) nel periodo 2017-2023 (superficie) e 2018-2023 (fondo). Nel 2017, in accordo con il Piano di Monitoraggio (ISPRA, 2016), i popolamenti fitoplanctonici al fondo non sono stati campionati.

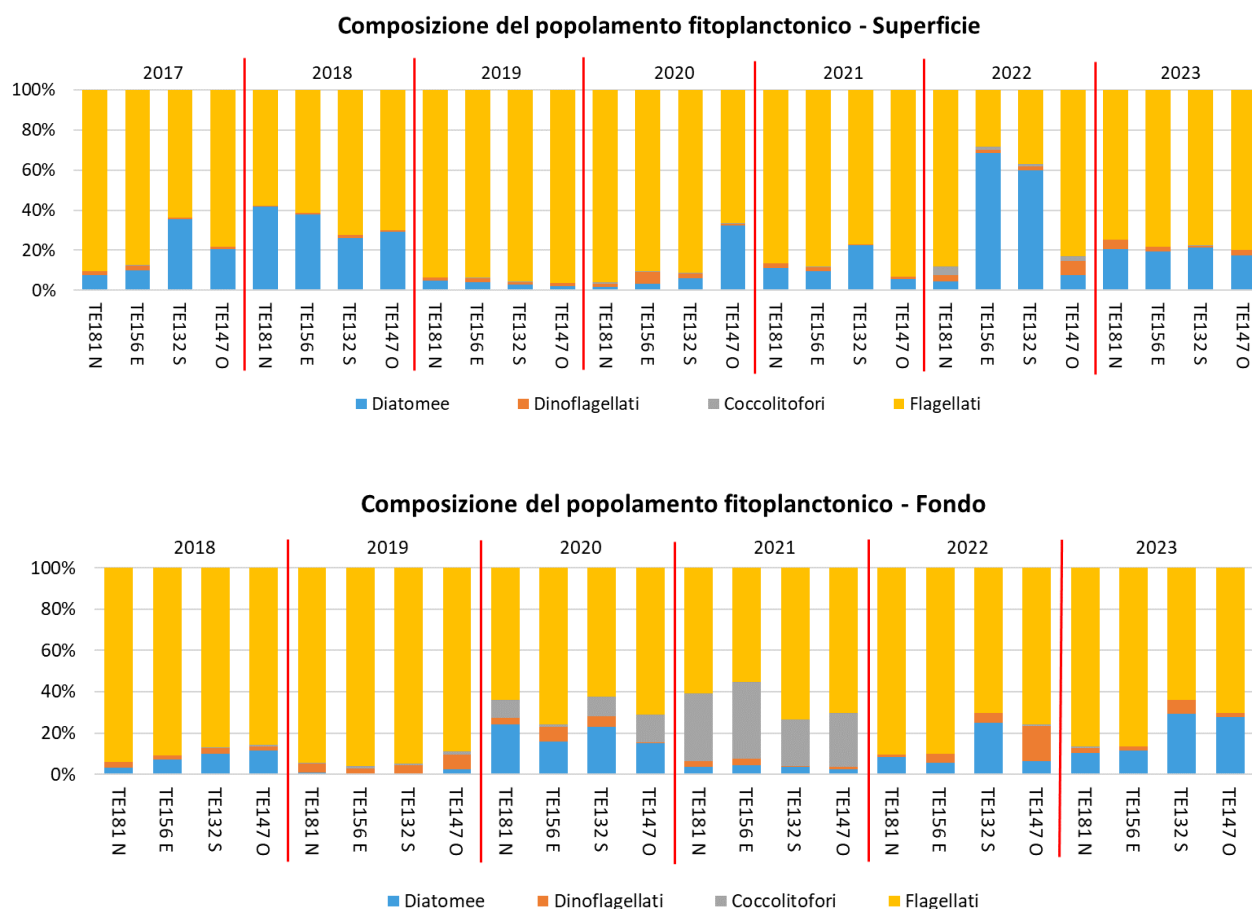


**Figura 4.2.2.4:** Abbondanza ( $10^6 \text{ cell. L}^{-1}$ ) fitoplanctonica (media e deviazione standard) nelle 4 stazioni a 500 m dal Terminale nel periodo 2017-2023 (superficie) e 2018-2023 (fondo). Nel 2017, in accordo con il Piano di Monitoraggio (ISPRA, 2016), i popolamenti fitoplanctonici al fondo non sono stati campionati.





  Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	25 di 47

Da un punto di vista di composizione del popolamento, la comunità fitoplanctonica risulta generalmente dominata dai flagellati (in media, 79 % in superficie e 80 % al fondo del fitoplancton totale) (Figura 4.2.2.5); l'unica eccezione è stata riscontrata alle quote superficiali delle stazioni poste 500 m a Sud (TE132) ed a Est (TE156) del Terminal nel 2022, dove, in seguito al passaggio di una perturbazione che ha determinato l'afflusso di acque costiere e il rimescolamento della colonna d'acqua (vedasi "Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi 2022"), le diatomee hanno rappresentato più del 60 % del fitoplancton totale.



**Figura 4.2.2.5:** Composizione dei popolamenti fitoplanctonici nelle 4 stazioni poste a 500 m dal Terminale in direzione dei principali punti cardinali (TE181 Nord, TE156 Est, TE132 Sud e TE147 Ovest) nel periodo 2017-2023 (superficie) e 2018-2023 (fondo). Nel 2017, in accordo con il Piano di Monitoraggio (ISPRA, 2016), i popolamenti fitoplanctonici al fondo non sono stati campionati.

Le indagini svolte in luglio 2023 hanno evidenziato un contributo delle diatomee ai popolamenti fitoplanctonici analoghi in superficie e al fondo (in media, 20 % del fitoplancton totale); alle quote di fondo il gruppo è risultato quindi maggiormente rappresentato rispetto alle campagne pregresse (in media, 9 % del fitoplancton totale), sebbene valori analoghi siano stati già stati osservati in luglio 2020 (Figura 4.2.2.5). Alle quote superficiali il contributo delle diatomee durante l'ultima campagna è risultato in linea con il pregresso (in media, 19 %); va comunque rilevato che il gruppo delle



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	26 di 47

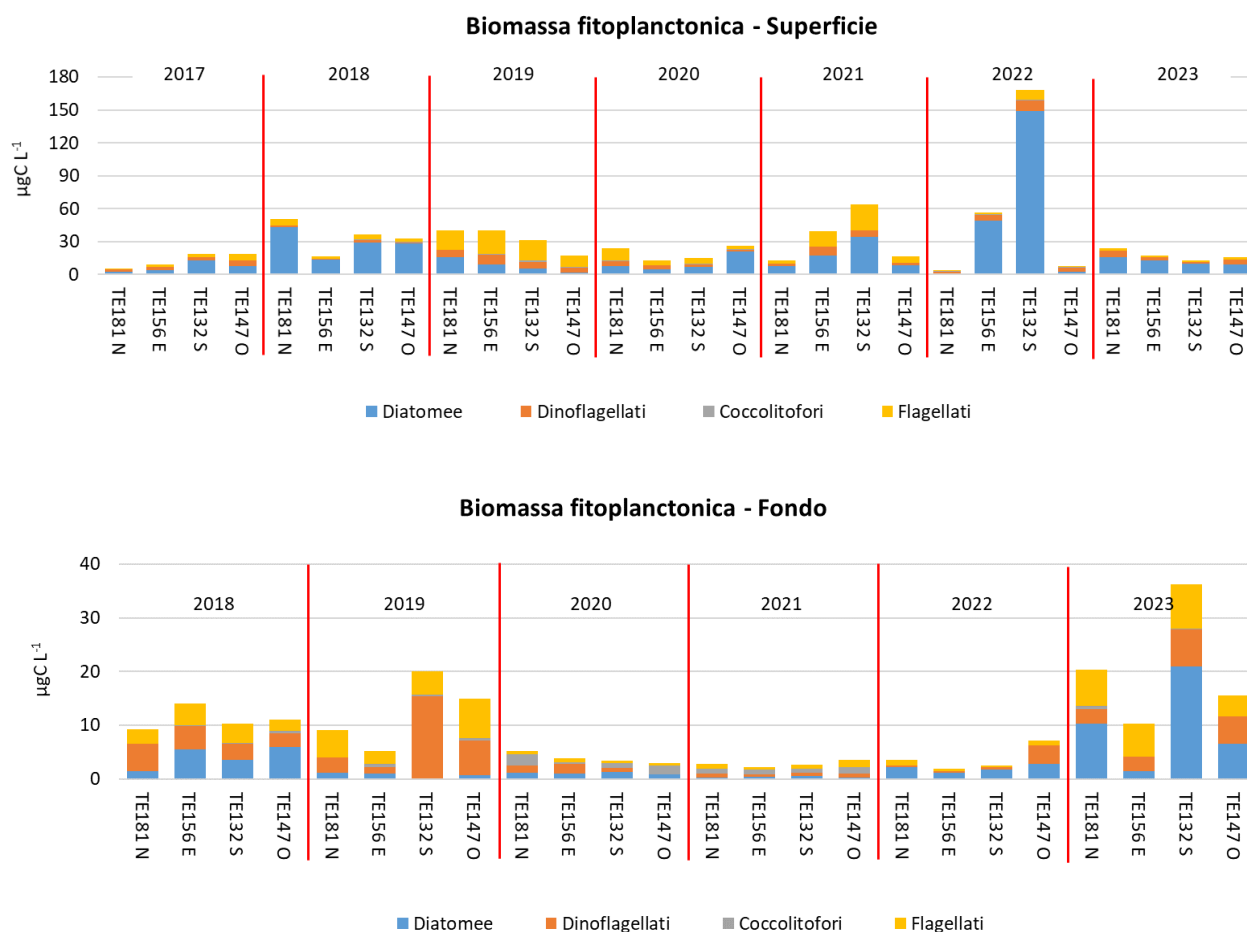
diatomee ha mostrato grande variabilità alle quote superficiali, con contributi minimi registrati in luglio 2019 (in media, 3 %) e massimi nel 2018 (in media, 33 %). Ciò può essere dovuto alla successione stagionale del popolamento, alla spiccata variabilità interannuale e alle proprietà idrodinamiche dell'area che possono favorire fioriture di fitoplancton a diatomee durante il periodo estivo (Bernardi Aubry *et al.*, 2004, 2006, 2012).

Per quanto riguarda la presenza di specie potenzialmente tossiche coinvolte nell'ASP (Amnesic Shellfish Poisoning), il genere *Pseudo-Nitzschia*, spesso caratterizzante la comunità microalgale delle acque costiere dell'Adriatico settentrionale (Cabrini *et al.*, 2012), è risultato costantemente rappresentato nell'area di indagine durante il periodo 2017-2023, soprattutto alle quote superficiali dove a volte ha raggiunto valori  $> 0.2 \times 10^6$  cell. L<sup>-1</sup> (2017). In luglio 2023, le diatomee appartenenti al genere *Pseudo-Nitzschia* hanno costituito una parte consistente del gruppo alle quote superficiali (22%) mostrando valori di abbondanza comunque contenuti (abbondanza media:  $5.6 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>). Nel periodo 2017-2022, sono stati inoltre osservati dinoflagellati appartenenti al genere *Dinophysis*, che comprende specie ritenute potenzialmente tossiche perché coinvolte nella DSP (Diarrethic Shellfish Poisoning). La loro presenza, tipica del periodo tardo estivo (Cabrini *et al.*, 2012; Cerino *et al.*, 2019), è risultata in generale sporadica e con abbondanze esigue ( $< 200$  cell. L<sup>-1</sup>); nell'ambito dell'ultima campagna (luglio 2023) il genere *Dinophysis* non è stato rilevato.



In termini di biomassa autotrofa, i valori medi ( $\pm$ SD) osservati in superficie in luglio 2023 ( $17.6 \pm 4.7$  µgC L<sup>-1</sup>) risultano tendenzialmente contenuti rispetto al pregresso (mediamente  $\sim 32$  µgC L<sup>-1</sup>), a seguito dei modesti valori di abbondanza mostrati dal popolamento a diatomee. Va comunque rilevato che valori di biomassa analoghi sono stati rilevati nel 2020 ( $19.6 \pm 6.7$  µgC L<sup>-1</sup>) mentre i minimi hanno contraddistinto il 2017 ( $13.0 \pm 7.1$  µgC L<sup>-1</sup>), sempre in relazione a bassi contributi delle diatomee (Figura 4.2.2.6); i massimi superficiali hanno invece caratterizzato settembre 2022 ( $59.2 \pm 76.6$  µgC L<sup>-1</sup>) con un picco di biomassa ( $149.2$  µgC L<sup>-1</sup>) alla quota superficiale della stazione TE132, in corrispondenza dell'abbondanza massima assoluta ( $1.8$  µgC L<sup>-1</sup>) raggiunta dalle diatomee durante l'intero periodo di monitoraggio.

Al fondo, i valori di biomassa hanno rispecchiato l'andamento osservato per quelli di abbondanza, con valori massimi registrati nel luglio 2023, sebbene eterogeneamente distribuiti tra le stazioni (range:  $10.3 - 36.2$  µgC L<sup>-1</sup>; valore medio  $\pm$  DS:  $20.6 \pm 11.2$  µgC L<sup>-1</sup>); i valori osservati nelle stesse stazioni durante il periodo 2017-2022 sono risultati sempre più omogenei e contenuti (valore medio  $\pm$  DS:  $6.8 \pm 5.1$  µgC L<sup>-1</sup>) (Figura 4.2.2.6).

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	27 di 47



**Figura 4.2.2.6:** Valori di biomassa fitoplanctonica nelle 4 stazioni poste a 500 m dal Terminale in direzione dei principali punti cardinali (TE181 Nord, TE156 Est, TE132 Sud e TE147 Ovest) nel periodo 2017-2023 (superficie) e 2018-2023 (fondo). Nel 2017, in accordo con il Piano di Monitoraggio (ISPRA, 2016), i popolamenti fitoplanctonici al fondo non sono stati campionati.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	28 di 47

## 5. COMUNITÀ MACROBENTONICHE

### 5.1 CAMPIONAMENTO

I campioni destinati all'analisi delle comunità macrobentoniche nell'area del Terminale sono stati raccolti il 4 e il 6 settembre 2023.

Il campionamento delle tre stazioni ubicate a 500 m dal Terminale nelle direzioni Sud-Ovest, Sud e Sud-Est, è stato svolto seguendo le indicazioni riportate da [Gambi e Dappiano \(2003\)](#) e dai riferimenti ivi contenuti. In ognuna delle stazioni campionate, il sedimento è stato prelevato in due repliche utilizzando una benna van Veen con una superficie di presa di 0.1 m<sup>2</sup>. Il sedimento relativo ad ogni replica, una volta giunto a bordo dell'imbarcazione d'appoggio, è stato diluito con acqua di mare e vagliato su un setaccio con maglie di 1mm.

Durante la vagliatura gli organismi più fragili sono stati raccolti con una pinzetta onde evitare il loro danneggiamento. Al termine del lavaggio di ogni replica (bennata), il setaccio è stato accuratamente controllato affinché tra le sue maglie non vi fossero rimasti organismi potenzialmente trasferibili alle repliche e/o stazioni successive. Il materiale trattenuto dalla setacciatura (>1mm) è stato riposto in contenitori di polietilene ad alta densità (HDPE), precedentemente etichettati con le informazioni necessarie: sito di campionamento, giorno di campionamento, codice della stazione e numero della replica. Gli organismi sono stati quindi fissati in una soluzione di etanolo all'80%.



### 5.2 ANALISI DEL MACROZOOBENTHOS

#### 5.2.1 Identificazione e abbondanza del popolamento macrozoobentonico e analisi strutturale-multivariata

##### 5.2.1.1 Materiali e metodi

In laboratorio, dopo la rimozione della soluzione di fissaggio ed opportuna sgocciolatura, i campioni sono stati posti in appositi contenitori dove sono state effettuate le operazioni di smistamento (*sorting*). Gli organismi sono stati separati dal sedimento residuo e divisi nei gruppi tassonomici di appartenenza: molluschi, policheti, crostacei, echinodermi e altri (poriferi, antozoi, briozoi, priapulidi, sipunculidi, nemertini, foronidei e ascidiacei). In seguito, tutti gli animali sono stati identificati fino al più basso livello tassonomico possibile, utilizzando stereomicroscopi con ingrandimenti fino a 150x (Zeiss Discovery V20) e quindi contati. Nel caso di animali frammentati sono stati considerati solo quelli con parti del corpo che ne permettevano il riconoscimento (es. la parte cefalica). Per la determinazione tassonomica sono stati consultati tra gli altri anche i testi elencati in [Morri et al., \(2004\)](#). La nomenclatura dei taxa e delle specie utilizzata in questo lavoro, fa riferimento agli ultimi aggiornamenti disponibili sul portale di ricerca WoRMS (World Register of Marine Species) rivisti al dicembre 2023.

Sulla base dei dati ottenuti dalla determinazione degli organismi campionati, è stato possibile stimarne la numerosità in specie e la relativa **abbondanza**. Le abbondanze totali sono state riportate come numero di individui al m<sup>2</sup> basandosi sulla media delle repliche per sito nel seguente modo:

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	29 di 47

Ind.  $m^{-2}$  = n° individui medi per stazione/ $a$ , dove  $a$  corrisponde alla superficie di presa della benna ( $0.1 m^2$ ).

Per ottenere le abbondanze relative ai principali gruppi sistematici, i taxa sono stati divisi in 5 categorie principali: Mollusca (bivalvi e gasteropodi), Polychaeta (Anellida), Crustacea (cirripedi, stomatopodi, decapodi, anfipodi, isopodi, misidacei e cumacei), Echinodermata (asteroidei, ofiuroidei, echinoidei e oloturoidei) e altri (nemertini e antozoi, sipunculidi ecc.) e calcolate nel seguente modo:

% relativa del gruppo tassonomico =  $100 \times (\text{n° individui appartenenti al gruppo tassonomico} / \text{abbondanza totale})$ .

La diversità specifica (o biodiversità) è definita come una misura dell'importanza delle diverse specie in un ecosistema, in termini di numero ed abbondanza relativa ([Legendre & Legendre, 1983](#)). Essa è quindi il risultato della reciproca influenza di alcuni parametri legati alla presenza e distribuzione delle specie, quali ricchezza specifica, equitabilità (o equipartizione) e dominanza. Al fine di valutare la diversità e le sue componenti, nelle comunità bentoniche indagate, quattro specifici indici sono stati presi in considerazione:

- l'indice di ricchezza di Margalef ( $d$ ), espresso dalla formula:

$d = S - 1 / \ln N$ , dove  $S$  è il numero totale di specie ed  $N$  corrisponde al numero totale degli individui per stazione campionata.

- l'indice di diversità di Shannon-Weaver ( $H'$ ), espresso dalla formula:



$H' = -\sum p_i \log_2 p_i$ , dove  $p_i$  è la frequenza della specie  $i$ -esima.

Questo indice è di gran lunga il più usato in letteratura e misura la biodiversità assumendola come il grado di incertezza nell'estrarre casualmente una data specie da un insieme di specie campionate. Tale incertezza e conseguentemente la biodiversità, aumenta sia all'aumentare del numero di specie (ricchezza) nonché all'aumentare dell'omogeneità delle loro distribuzioni (equitabilità) ([Gray e Elliott, 2009](#)). Questo indice può variare da un valore minimo di  $H'=0$  (una sola specie presente), in questo caso non c'è alcuna incertezza, ad un valore massimo di  $H'=\log S$  che corrisponde alla massima incertezza, in cui tutte le specie sono equamente distribuite (massima omogeneità).

Per stimare il solo valore dell'omogeneità a partire dall'indice di Shannon è stato calcolato l'indice di equitabilità di Pielou ( $J'$ ), con la formula:

$J' = H' / H_{max}$ , dove  $H'$  è l'indice di Shannon misurato, mentre  $H_{max}$  corrisponde alla massima entropia possibile, ovvero quella che si otterrebbe assumendo tutte le specie presenti in egual numero. I valori di questo indice sono compresi tra 0 e 1, dove 1 rappresenta l'equidistribuzione massima.

Per testare l'esistenza di differenze nei valori di abbondanza e nei valori degli indici di diversità tra i diversi anni campionati è stata utilizzata l'analisi della varianza non parametrica ANOVA di Kruskal-Wallis.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	30 di 47

Al fine di applicare l'analisi dei cluster alla matrice taxa-stazione i valori di abbondanza sono stati preventivamente trasformati con radice quadra. La trasformazione si rende necessaria al fine di evitare di attribuire un'eccessiva importanza alle specie numericamente più abbondanti (Wilding, 2006). Alla matrice dei dati trasformati è stato applicato il coefficiente di similarità di Bray-Curtis, mediante il quale si è costruita una matrice triangolare di similarità tra le stazioni campionate. Questo coefficiente è espressamente consigliato da molti autori per lo studio di comunità bentoniche ed è considerato un'ottima misura della similarità, in quanto ben conserva la "distanza ecologica" delle comunità indagate (Clarke *et al.*, 2014).

Per applicare una *cluster analysis* e suddividere le stazioni in gruppi, tra loro più simili ecologicamente, alla matrice di similarità ottenuta è stato applicato l'algoritmo di classificazione gerarchica del legame medio (*group average*), permettendo di rilevare le maggiori discontinuità all'interno dell'insieme di dati. Al fine di valutare la significatività dei gruppi derivanti dalla classificazione, evitando di operare un "taglio" arbitrario a un determinato livello di similarità dei dendrogrammi ottenuti, è stata applicata l'analisi SIMPROF (SIMilarities PROFile). Quest'analisi permette perciò di identificare quali gruppi di oggetti (le diverse stazioni nel nostro caso) scaturiti da una *cluster analysis* siano raggruppamenti significativi ad un determinato livello di probabilità scelto, nel nostro caso il 5% ( $P < 0.05$ ) (Clarke *et al.*, 2014). Nel nostro caso i gruppi SIMPROF derivanti dalla classificazione sono poi stati riversati nell'ordinamento (nMDS) e rappresentati in un unico grafico.



Contestualmente alla classificazione, per ottenere dei raggruppamenti spaziali delle stazioni esaminate, le comunità sono state ordinate in uno spazio bidimensionale mediante analisi nonmetric Multi-Dimensional Scaling (nMDS). Questo metodo di ordinamento necessita di una matrice triangolare di similarità (o distanza) e si basa su un algoritmo iterativo che prevede un aggiustamento dei punti nello spazio in cui si desidera ottenere l'ordinamento, minimizzando lo stress tra la struttura delle distanze nello spazio originale (multidimensionale) e quella ottenuta nello spazio ridotto dell'ordinamento. Nel nostro caso la matrice triangolare utilizzata per l'analisi nMDS è la stessa utilizzata per la classificazione (*cluster analysis*) ovvero quella relativa ai valori di abbondanza trasformati con radice quadra ai quali si è applicato il coefficiente di similarità di Bray-Curtis.

Per testare l'esistenza di differenze tra le comunità relative alle stazioni dei diversi anni campionati (2017-2023) è stata applicata l'analisi ANOSIM (Analysis Of SIMilarities). Tale procedura permette di verificare se le differenze fra due o più gruppi (definiti a priori) di osservazioni multivariate (le stazioni nel nostro caso) risultano significative o meno (Clarke *et al.*, 2014).

Tutte le analisi univariate e multivariate sono state effettuate, utilizzando i software PRIMER V.7 (PRIMER\_E Ltd, Plymouth, UK) e STATISTICA V.12 StatSoft.

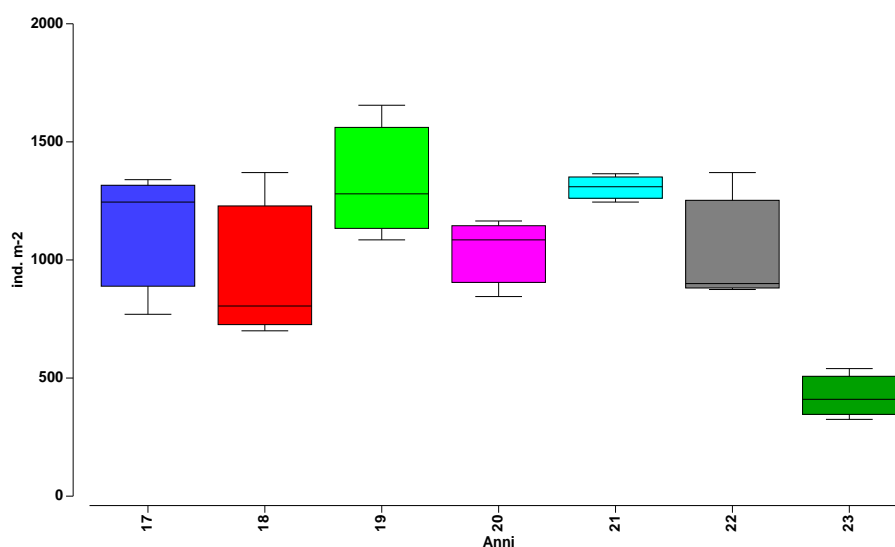
#### 5.2.1.2 Risultati

Complessivamente, nelle 3 stazioni saggiate (T60, T70 e T80), poste a distanza di 500 metri dal Terminal ed utilizzate per la valutazione delle comunità macrobentoniche, nel confronto tra il 2023 e i precedenti 6 anni (2017-2022), sono stati campionati 327 diversi taxa di cui 273 identificati a

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	31 di 47

livello della specie e appartenenti ai seguenti gruppi sistematici: Anellida (Policheti), Mollusca (bivalvi e gasteropodi), Crustacea (decapodi, anfipodi, isopodi, tanaidacei, cumacei), Echinodermata (oloturoidei, echinoidei, ofiuroidi), mentre gli organismi come Porifera, Anthozoa, Nemertea, Nematoda, Phoronida, Sipuncula e Ascidiacea sono stati accorpati nel gruppo “Altri”.



In termini di abbondanza complessiva, le tre stazioni indagate hanno mostrato, nei 6 anni monitorati dal 2017 al 2022, un’abbondanza media di  $1241 \pm 297$  individui al metro quadro ( $\text{ind. m}^{-2}$ ), alquanto maggiore rispetto a quella osservata nel 2023 che è risultata di  $425 \pm 108$   $\text{ind. m}^{-2}$ . L’abbondanza complessiva media della fauna macrobentonica, nel complesso dei 7 anni monitorati, è risultata di  $1124 \pm 402$   $\text{ind. m}^{-2}$ . Considerando l’insieme delle tre stazioni a 500 m monitorate nel corso dei 7 anni (2017-2023), l’abbondanza maggiore è stata registrata nella stazione T80 del 2019 con  $1820$   $\text{ind. m}^{-2}$  mentre la più bassa nella stazione T80 del 2023 con  $325$   $\text{ind. m}^{-2}$ . Come è possibile osservare anche dal grafico di Figura 5.2.1.2.1 l’andamento nei valori dell’abbondanza espressa come  $\text{ind. m}^{-2}$  è risultato piuttosto uniforme nei primi 6 anni monitorati, mostrando poi un chiaro decremento nel 2023. L’abbondanza non ha comunque mostrato differenze statisticamente significative nel complesso dei 7 anni monitorati; ANOVA K-W:  $H(6, N=21) = 10.1$ ;  $p = n.s.$ .



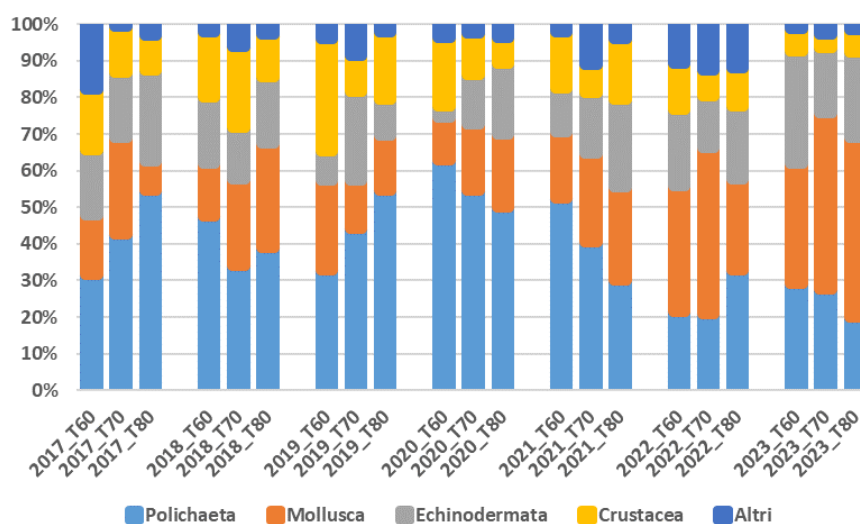
**Figura 5.2.1.2.1:** Andamento dei valori di abbondanza, espressi come individui al metro quadro ( $\text{ind. m}^{-2}$ ) osservato nelle tre stazioni, raggruppate per anno, e poste a 500 m di distanza dal Terminale GNL nel complesso dei sette anni monitorati: 2017-2022.

Considerando i valori di abbondanza dei principali gruppi tassonomici, espressa in termini percentuali (A%), è possibile osservare in ciascuna delle stazioni campionate durante tutti gli anni un andamento complessivamente dominato dai policheti che risultano il gruppo tassonomico più numeroso (Figura 5.2.1.2.2). Il taxon dei policheti è risultato infatti, il gruppo più abbondante in 16 delle 21 stazioni monitorate, nel corso dei 7 anni considerati, con l’eccezione delle stazioni T60 e T70 del 2022 e T60, T70 e T80 del 2023 dove più abbondante è sempre risultato il taxon dei molluschi seguiti, in queste 5 stazioni, sempre dai policheti, con la sola eccezione della stazione T80 del 2023



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	32 di 47



dove i crostacei sono risultati secondi in termini di abbondanza. In queste 5 stazioni (2 del 2022 e 3 del 2023) ad innalzare i valori di abbondanza dei molluschi sono state essenzialmente 3 piccole specie di bivalvi, ovvero *Jousseaumia concharum*, *Kurtiella bidentata* e *Varicorbula gibba*, specie di piccole dimensioni (2-5 mm), che normalmente possono risultare abbondanti in sedimenti misti sabbioso/fangosi come quelli presenti nei dintorni del terminale di rigassificazione. Complessivamente, a seguito dei policheti, i gruppi più numerosi sono risultati i molluschi, secondo taxon più numeroso in 9 stazioni (più numeroso in 5), seguiti dagli echinodermi, secondo taxon più numeroso in 6 stazioni e dai crostacei, risultati il secondo taxon più numeroso in tre stazioni complessivamente (Figura 5.2.1.2.2).

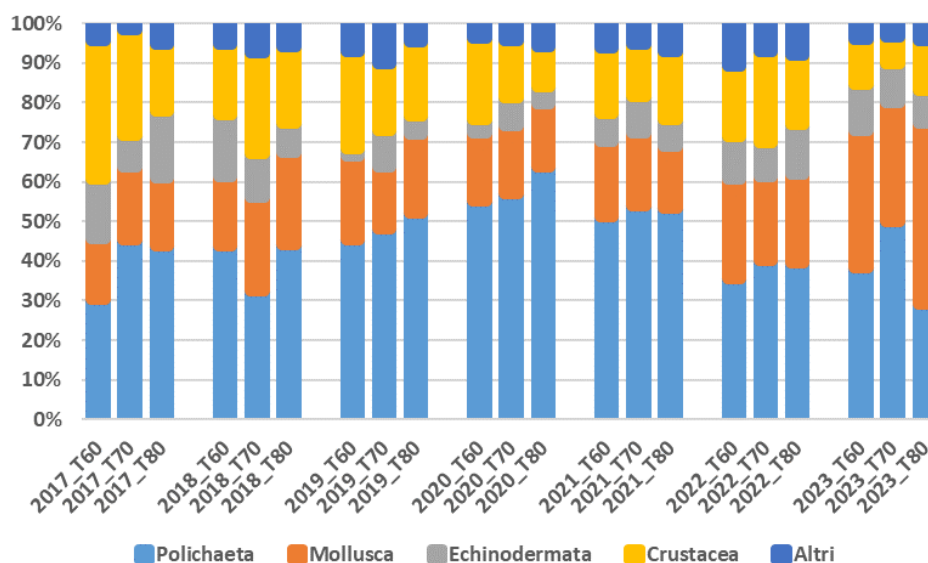


**Figura 5.2.1.2.2:** Percentuale di policheti, molluschi, crostacei, echinodermi ed “Altri”, espressa in termini di abbondanza (A%), osservata nelle tre stazioni, raggruppate per anno, e poste a 500 m di distanza dal Terminale GNL nel complesso dei sette anni monitorati: 2017-2022.

Considerando i valori di ricchezza in specie, espressa come numero di specie percentuale (S%) appartenenti ai principali gruppi tassonomici per ciascuna stazione campionata (Figura 5.2.1.2.3), l’andamento è risultato non molto dissimile rispetto ai valori di abbondanza. I policheti, infatti, hanno evidenziato i valori più elevati nel numero di specie in 19 delle 21 stazioni complessivamente campionate, con le sole eccezioni delle stazioni T60 del 2017 e T80 del 2023 dove, i taxa con il maggior numero di specie sono risultati quello dei crostacei e quello dei molluschi rispettivamente. A seguito dei policheti, i gruppi tassonomici presenti con il più alto numero di specie per stazione sono risultati: il gruppo dei molluschi, secondo taxon con più specie in 12 stazioni e quello dei crostacei, secondo taxon più numeroso in 9 stazioni (in T80\_2017 con lo stesso numero di specie dei molluschi ed echinodermi e in T60\_2018 con lo stesso numero di specie dei molluschi ed echinodermi) (Figura 5.2.1.2.3).





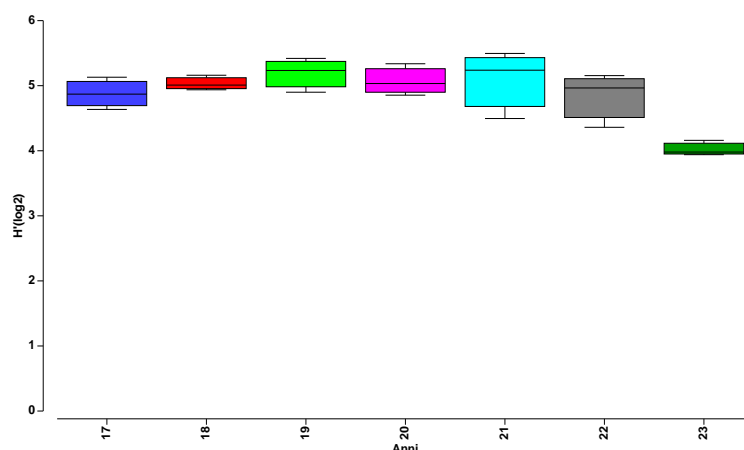
	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	33 di 47



**Figura 5.2.1.2.3:** Percentuale di policheti, molluschi, crostacei, echinodermi ed “Altri”, espressa in termini di ricchezza di specie (S%), osservata nelle tre stazioni, raggruppate per anno, e poste a 500 m di distanza dal Terminale GNL nel complesso dei sette anni monitorati: 2017-2022.

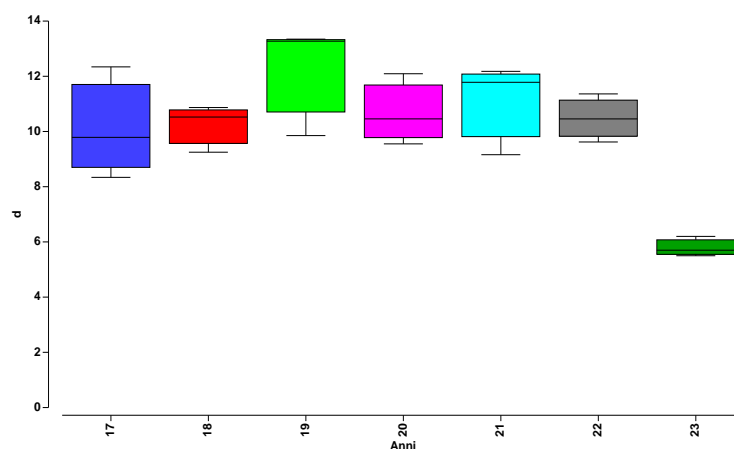
Anche l’andamento della biodiversità, qui intesa come diversità specifica di Shannon ( $H'$ ), osservata nei sette anni monitorati, ha mostrato valori costantemente molto elevati e complessivamente poco variabili con un leggero calo osservato nel 2023 (Figura 5.2.1.2.4). La biodiversità dell’area è risultata sempre superiore ad un valore di  $H'=4$ , in tutti gli anni monitorati, con un valore medio di  $H'=4.87 \pm 0.45$ ; valore che configura come molto elevata la biodiversità di comunità macrobentoniche di fondo mobile come queste (Gray, 2000). Nel complesso delle tre stazioni monitorate, poste a 500 m di distanza dal terminale di rigassificazione GNL, il valore massimo di diversità specifica è stato osservato nel 2019 con  $H'=5.2 \pm 0.3$ , mentre il valore meno elevato è stato osservato nel 2023 con  $H'=4.0 \pm 0.1$ . Come per l’abbondanza, anche la diversità specifica, non ha mostrato differenze statisticamente significative nel complesso dei 7 anni monitorati; ANOVA K-W:  $H(6, N=21) = 9.64$ ;  $p = n.s.$  (Figura 5.2.1.2.4).

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	34 di 47





**Figura 5.2.1.2.4:** Valori della diversità specifica di Shannon ( $H'$ ) delle comunità macrobentoniche campionate nelle tre stazioni, raggruppate per anno, e poste a 500 m di distanza dal Terminale GNL nel complesso dei sette anni monitorati: 2017-2022.

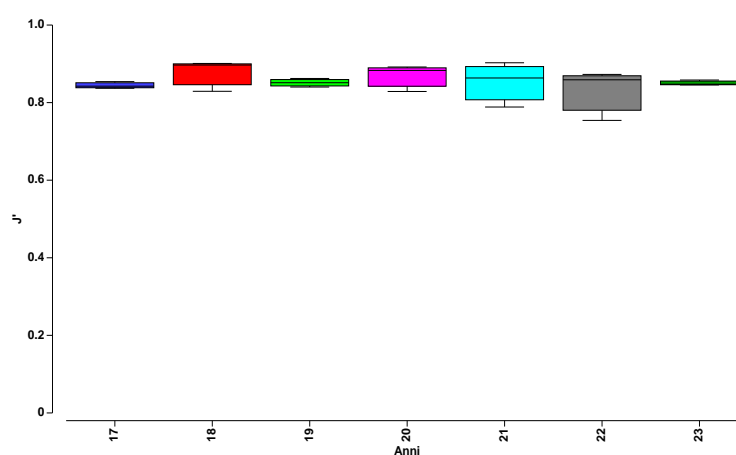
Anche considerando l'indice di ricchezza di Margalef ( $d$ ) è stato possibile osservare una costanza dei valori dell'indice  $d$ , nel complesso dei primi 6 anni monitorati con un calo più pronunciato rispetto alla diversità nelle stazioni relative al 2023 (Figura 5.2.1.2.5). L'andamento dell'indice di ricchezza è infatti, risultato piuttosto uniforme con valori abbastanza elevati e sempre superiori a  $d=10$  nei primi 6 anni monitorati, mentre nel 2023 ha manifestato un chiaro decremento. Complessivamente la ricchezza di Margalef media è risultata di  $d=10.0 \pm 2.2$  con il valore più elevato osservato nelle tre stazioni del 2019 con  $d=12.2 \pm 2.0$  e il valore meno elevato osservato nelle tre stazioni del 2023 con  $d=5,8 \pm 0.4$ . Come per l'abbondanza e la diversità ( $H'$ ), anche la ricchezza specifica ( $d$ ), non ha comunque mostrato differenze statisticamente significative nel complesso dei 7 anni monitorati; ANOVA K-W:  $H(6, N=21) = 9.52$ ;  $p = n.s.$  (Figura 5.2.1.2.5).



**Figura 5.2.1.2.5:** Valori della ricchezza specifica di Margalef ( $d$ ) delle comunità macrobentoniche campionate nelle tre stazioni, raggruppate per anno, e poste a 500 m di distanza dal Terminale GNL nel complesso dei sette anni monitorati: 2017-2022.



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	35 di 47

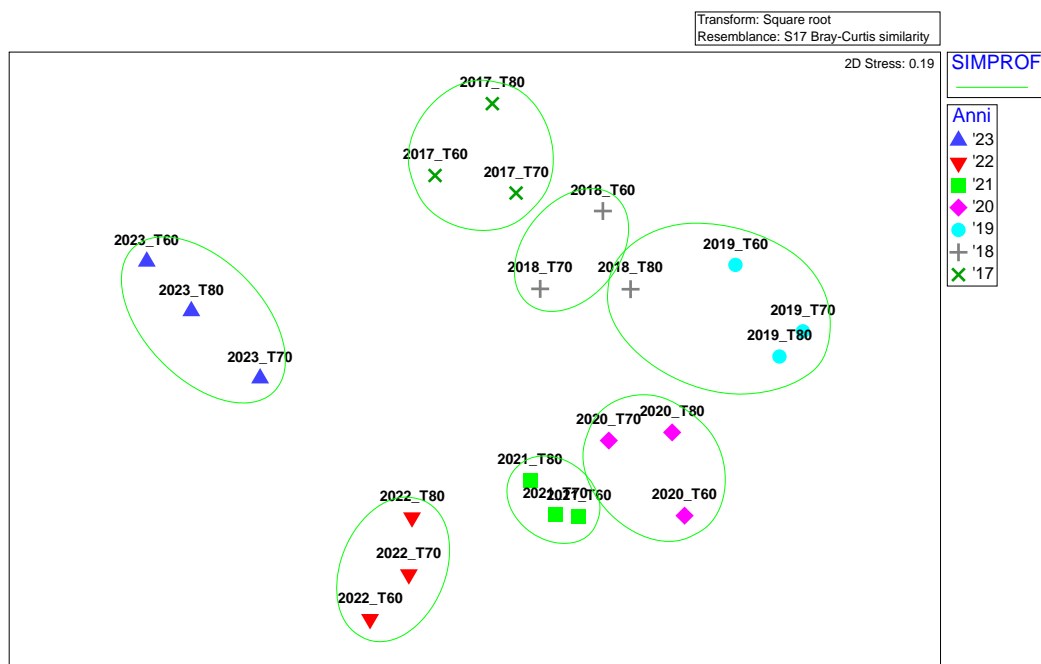
Considerando l'equitabilità (equidistribuzione o *evenness*), componente essenziale, assieme alla ricchezza, della biodiversità, si può osservare come nelle stazioni poste a 500 m dal terminale GNL, nei sette anni monitorati, l'andamento sia risultato sostanzialmente identico. L'equitabilità è infatti sempre risultata molto elevata con un valore medio di  $J' = 0.85 \pm 0.04$ , risultando maggiore nelle tre stazioni campionate nel 2018 con  $J' = 0.88 \pm 0.04$  e più bassa nelle tre stazioni campionate nel 2022  $J' = 0.83 \pm 0.06$  (Figura 5.2.1.2.6). Anche l'equitabilità non ha mostrato differenze statisticamente significative nel complesso dei 7 anni monitorati; ANOVA K-W:  $H(6, N=21) = 2.46$ ;  $p = n.s.$  (Figura 5.2.1.2.6).



**Figura 5.2.1.2.6:** Valori dell'equitabilità (*evenness*) di Pielou ( $J'$ ) delle comunità macrobentoniche campionate nelle tre stazioni, raggruppate per anno, e poste a 500 m di distanza dal Terminale GNL nel complesso dei sette anni monitorati: 2017-2022.



Considerando infine le stazioni da un punto di vista multivariato, i valori di abbondanza di tutte le specie campionate (trasformati con radice quadra) sono stati utilizzati per produrre una classificazione gerarchica (*cluster analysis*). Dal dendrogramma, eseguito applicando il legame medio (*group average*) ai valori di similarità di Bray-Curtis, misurata sulle abbondanze complessive delle stazioni analizzate è stato possibile osservare come dall'analisi SIMPROF (i cui gruppi sono stati riversati sull'ordinamento *nMDS*) le stazioni siano risultate distinte in gruppi statisticamente separati ( $p < 0.05$ ) e appartenenti ai diversi anni campionati. Anche dall'ordinamento *nMDS* (Figura 5.2.1.2.7) è possibile osservare come le stazioni risultino infatti differenziate in sette gruppi, ciascuno appartenente ad un distinto anno di monitoraggio (con la sola eccezione della stazione T80 del 2018 compresa nel gruppo delle stazioni relative al 2019).

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	36 di 47



**Figura 5.2.1.2.7:** nMDS dell'insieme delle stazioni campionate poste a 500 m di distanza dal Terminale GNL nel complesso dei sei anni monitorati: 2017-2023. Si evidenziano (in verde) i raggruppamenti ottenuti riversando sull'ordinamento i gruppi significativi (SIMPROF) derivanti dalla classificazione (cluster analysis).

Le differenze tra i diversi anni sono risultate confermate anche dall'analisi ANOSIM, effettuata per testare la consistenza statistica delle differenze tra le stazioni poste a 500m dal Terminale, campionate nei diversi anni ( $R=0.97$ ,  $p<0.01$ ). Dall'ordinamento di Figura 5.2.1.2.7 è possibile osservare come le stazioni, raggruppate nei diversi anni, risultino grossomodo equidistanti, con la parziale eccezione del 2023, leggermente più separata rispetto agli altri anni, sottintendendo nel complesso una costante magnitudine nell'evoluzione temporale dei popolamenti macrozoobentonici indagati. La dissimilarità media (dissimilarità di Bray-Curtis; dis) tra tutti gli anni campionati è risultata di  $dis=64.8\pm5.2$  con il valore maggiore è stato osservato tra il 2019 vs 2023 con  $dis=74.9$  mentre con il valore minore osservato tra il 2020 vs 2021 con  $dis=56.4$ . La dissimilarità media del 2023 rispetto a tutti gli anni precedentemente campionati è risultata di  $dis=70.6\pm2.5$  leggermente superiore alla dissimilarità media complessiva.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	37 di 47

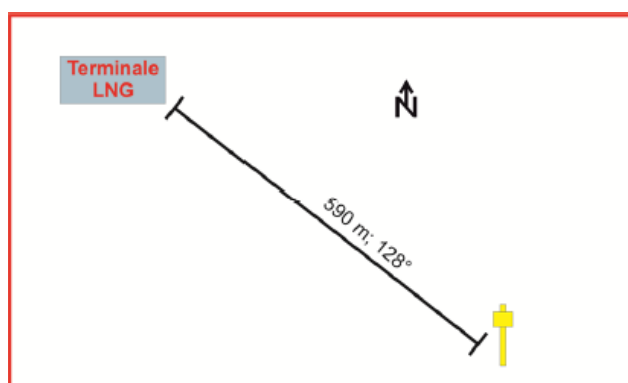
## 6. REGIME CORRENTOMETRICO

### 6.1 ELABORAZIONE E ANALISI DEI DATI CORRENTOMETRICI

#### 6.1.1 Materiali e metodi



I dati correntometrici utilizzati per la caratterizzazione del regime idrodinamico in prossimità del Terminale nel periodo 2017-2023 sono stati acquisiti da un correntometro ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) montato su una struttura ancorata al fondo in corrispondenza della boa meda, gestita dalla Orion s.r.l., per conto della Società Adriatic LNG.

La meda si trova a circa 590 m in direzione Sud-Est rispetto al Terminale di rigassificazione (Latitudine 45° 05' 14.7" N; Longitudine 12° 35' 30.7" E), dove la profondità è di circa 29 metri (Figura 6.1.1.1).



**Figura 6.1.1.1:** Rappresentazione della posizione della boa meda rispetto al Terminale (fonte immagine ISPRA 2017, Relazione tecnico-scientifica 53E).

Il correntometro è configurato per registrare dati di velocità e direzione della corrente lungo l'intera colonna d'acqua con una frequenza di campionamento di 2 Hz. Lo strumento misura le componenti meridionale e zonale della velocità restituendo i dati con frequenza oraria e con una discretizzazione verticale (celle o *bins*) di 50 cm, a partire da circa 2.5 metri dal fondo. I dati orari sono il risultato di un'acquisizione dal minuto 0 al minuto 20 di ogni ora. La copertura spaziale parte da 2.5 metri dal fondo a causa dell'ingombro della struttura di sostegno del correntometro (0.9 metri) e del fatto che lo strumento non è in grado di effettuare misure nei primi 1.6 metri al di sopra dai sensori. Sono state infine considerate solo le prime 50 celle (25 metri) del dataset, in quanto le celle successive non forniscono dati validi, per ragioni tecniche tipiche dei sensori ADCP e legate, ad esempio, alle oscillazioni di livello (i.e., moto ondoso). Sono stati inoltre analizzati i dati di vento (medie giornaliere) misurati dalla stazione "Rosolina" (45° 4' 16.1832" N; 12° 15' 42.3648" E, dati ARPAV) nello stesso periodo, al fine di trovare le correlazioni più significative fra eventi meteorologici e circolazione marina. Con tale configurazione è stato possibile studiare le caratteristiche correntometriche del sito lungo l'intera colonna d'acqua per l'anno 2023 e confrontarle con gli esiti dei monitoraggi effettuati negli anni precedenti (2017-2022).



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	38 di 47

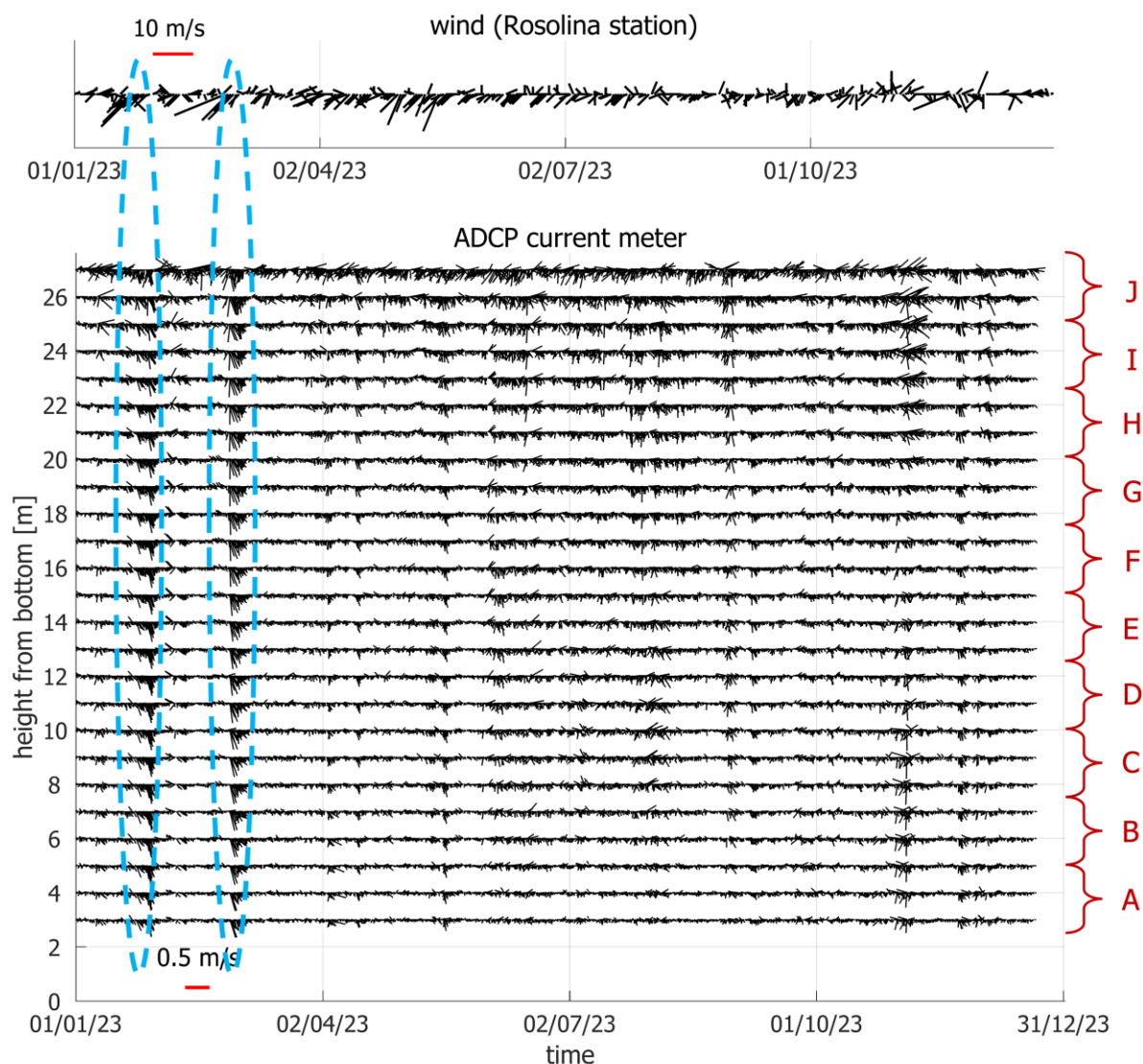
### 6.1.2 Risultati

La Figura 6.1.2.1 mostra una rappresentazione vettoriale (*stick diagram*) dei campi di corrente lungo la colonna d'acqua e nel tempo durante il 2023. Per migliorare la resa grafica e la leggibilità, i dati sono stati mediati ad intervalli di 6 ore e ogni due celle in verticale (quindi ogni metro). In modo analogo, nel diagramma superiore sono stati rappresentati anche i dati di vento (valori medi giornalieri).

L'analisi effettuata evidenzia una significativa variabilità del regime delle correnti, sia negli strati superficiali, maggiormente influenzati dal vento e dalla presenza di eventuali *plume* di acqua dolce (quindi più leggera) di origine fluviale, che negli strati intermedi e al fondo. La circolazione media segue comunque la struttura generale presente in Alto Adriatico ([Artegiani et al., 1997](#), [Poulain e Raicich, 2001](#)) con correnti che, lungo la fascia costiera italiana a sud della laguna di Venezia, si dirigono prevalentemente verso Sud-Est e che, nelle aree meno profonde, tendono ad allinearsi al profilo batimetrico. La direzione prevalentemente meridionale delle correnti è in accordo con i risultati delle analisi e degli studi modellistici relativi agli anni precedenti. Le due ellissi tratteggiate in colore blu evidenziano due episodi di Bora particolarmente intensi (fine gennaio e fine febbraio), che hanno indotto forti correnti in direzione meridionale. Tali correnti interessano tutta la colonna d'acqua, decrescendo d'intensità con la profondità, ma mantenendo comunque velocità elevata e direzione costante (S-SE).



Per avere un'idea più dettagliata della distribuzione statistica delle correnti nell'arco dell'anno, i dati ADCP sono stati rappresentati sotto forma di rose delle correnti (Figura 6.1.2.2). In questo caso, sono stati utilizzati i dati orari, raggruppati ad intervalli di 2.5 m, come indicato in Figura 6.1.2.1 (strati A-J evidenziati in colore rosso). I dati mostrano una direzione prevalente verso S-SE, con correnti più intense negli strati superficiali. La variabilità della direzione è piuttosto stabile lungo la colonna d'acqua. Il confronto con il regime correntometrico durante i sei anni precedenti è sintetizzato nella Tabella 6.1.2.1: in tutti gli anni considerati si nota la diminuzione dell'intensità delle correnti con l'aumentare della profondità, con valori medi annuali inferiori ai 20 cm/s nello strato superficiale e inferiori ai 10 cm/s verso il fondo. La direzione media è sempre compresa fra 165 e 190 gradi (in senso orario a partire dal Nord geografico - notazione oceanografica), con valori per il 2023 orientati, di pochi gradi (4-5), maggiormente verso Est.

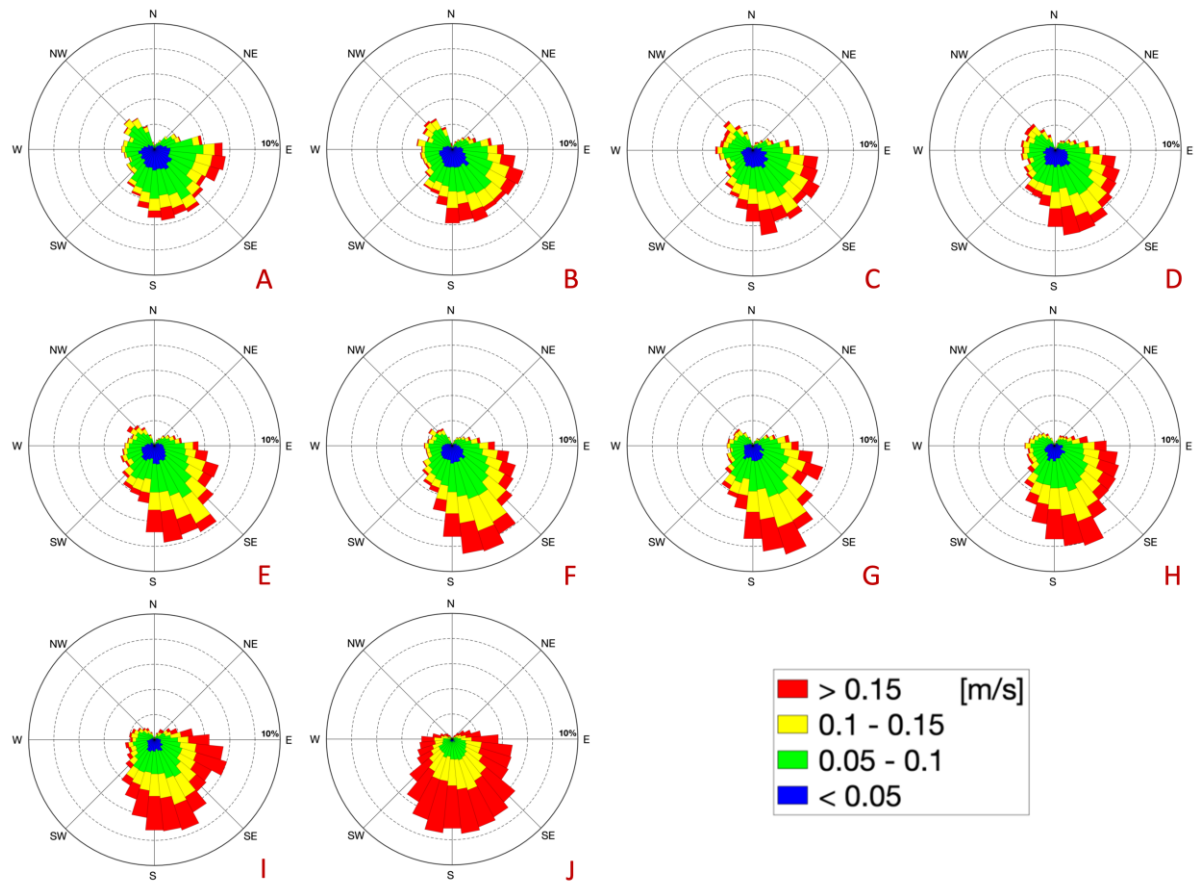
	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	39 di 47



**Figura 6.1.2.1:** Stick diagram (profondità-tempo) che mostra la componente orizzontale delle correnti misurate dal sensore ADCP per l'anno 2023. I dati sono stati mediati ogni 6 ore e ogni 2 celle ADCP (1 metro). Il diagramma superiore mostra l'andamento del vento misurato dall'anemometro della stazione Rosolina (dati medi giornalieri, ARPAV). La direzione del vento è stata rappresentata seguendo la convenzione oceanografica: i vettori indicano la direzione verso cui soffia il vento, non la provenienza. La scala dei vettori (0.5 m/s per le correnti, 10 m/s per il vento) è indicata dai vettori in rosso. Le ellissi tratteggiate in blu evidenziano due episodi di Bora particolarmente intensi. La suddivisione delle celle utilizzata in Figura 6.1.2.2 è indicata in rosso a destra (strati A-J).



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	40 di 47





**Figura 6.1.2.2:** Rose delle correnti: dati orari raggruppati in strati da 2.5 m come indicato in Figura 2.1: A (fondo) – J (superficie). Il raggio dei settori circolari indica la frequenza delle correnti in una determinata direzione mentre i colori indicano, all'interno di ciascun settore, la frequenza degli episodi con intensità compresa negli intervalli indicati nella legenda (0-0.05, 0.05-0.1, 0.1-0.15, >0.15 m/s).

		2017		2018		2019		2020		2021		2022		2023	
		vel. [m/s]	dir. [°]	vel. [m/s]	dir. [°]	vel. [m/s]	dir. [°]	vel. [m/s]	dir. [°]	vel. [m/s]	dir. [°]	vel. [m/s]	dir. [°]	vel. [m/s]	dir. [°]
profondità (strati)	J	0.161	181	0.172	179	0.178	174	0.175	173	0.172	182	0.162	181	0.161	171
	I	0.122	176	0.127	178	0.140	170	0.133	170	0.127	177	0.115	174	0.121	168
	H	0.103	179	0.112	178	0.122	171	0.114	171	0.111	177	0.102	176	0.106	170
	G	0.100	177	0.105	179	0.112	177	0.107	176	0.103	178	0.095	177	0.099	170
	F	0.096	179	0.099	181	0.109	181	0.104	181	0.100	179	0.092	178	0.096	173
	E	0.094	179	0.095	181	0.108	185	0.101	184	0.096	180	0.090	180	0.094	176
	D	0.091	178	0.093	182	0.102	183	0.099	185	0.091	181	0.085	181	0.095	179
	C	0.084	179	0.091	182	0.097	184	0.095	184	0.085	182	0.081	182	0.093	179
	B	0.084	179	0.088	180	0.092	186	0.090	184	0.081	181	0.077	182	0.088	178
	A	0.084	181	0.081	178	0.082	186	0.082	183	0.074	178	0.071	181	0.079	177

**Tabella 6.1.2.1:** Andamento del regime correntometrico monitorato nel 2023, a confronto con il periodo 2017-2022. L'intensità delle correnti è espressa in m/s, mentre la direzione indica il moto delle correnti (notazione oceanografica) in riferimento al nord geografico, in senso orario. I livelli analizzati sono gli stessi evidenziati nelle Figure 6.1.2.1 e 6.1.2.2, dalla superficie al fondo (J-A).



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	41 di 47

## 7. CONCLUSIONI

### COLONNA D'ACQUA



I risultati delle elaborazioni effettuate sui dati acquisiti mediante la sonda multiparametrica durante le campagne di monitoraggio svolte annualmente, durante il mese di luglio tra il 2017 e il 2023, evidenziano un andamento nella distribuzione spaziale dei parametri coerente con quanto previsto per il periodo estivo. I profili di temperatura indicano chiaramente la presenza di uno strato superficiale omogeneo con profondità variabile tra cinque e dieci metri, in relazione all'evoluzione del riscaldamento estivo, distinto da uno strato più profondo da un marcato gradiente verticale. Significativa la variazione di temperatura tra superficie e fondo con un  $\Delta T$  compreso tra 8 °C e 13 °C. I dati acquisiti nell'ambito dell'ultima campagna (luglio 2023) hanno evidenziato un riscaldamento anticipato dell'intera colonna d'acqua; i valori di temperatura ai fondi ( $\geq 23$  m di profondità, valori medi  $\pm$  DS: 18.5  $\pm$  0.1 °C; range: 18.4 – 19.0 °C) sono risultati sensibilmente maggiori rispetto alle campagne pregresse (valori medi  $\pm$  DS: 15.4  $\pm$  1.1 °C; range: 13.2 - 17.8 °C) con un  $\Delta T$  medio pari a 3.1 °C.

In occasione delle campagne svolte nel 2022 e nel 2023 è stato rilevato un minore afflusso di acqua di origine fluviale nell'area comprendente le stazioni monitorate testimoniato da valori di salinità superficiale (0-5 m) più elevati (range: 36.6 -37.6) rispetto a quelli acquisiti nelle medesime stazioni durante le campagne svolte in luglio nel periodo 2017-2021 (range: 32.8-37.0); la salinità superficiale si è attestata su valori lievemente inferiori a 37, identificata come soglia per la definizione acque influenzate da apporti fluviali nel Mare Adriatico Settentrionale ([Giani et al., 2005](#); [Celussi et al., 2019](#)), in alcuni settori dell'area indagata durante la campagna del 2022 e solamente in una stazione nel 2023.

Il contenuto di ossigeno disciolto è influenzato dalla diversa origine delle masse d'acqua presenti nell'area, dal consumo dovuto ai processi respiratori e dalla produzione via fotosintesi. In generale, le concentrazioni di ossigeno disciolto hanno indicato una colonna d'acqua ben ossigenata e non sono stati evidenziati fenomeni di ipossia o anossia ([Kralj et al., 2019](#)). Gli strati intermedi sono risultati caratterizzati dai maggiori incrementi di ossigeno, verosimilmente in relazione ad una più spinta proliferazione microalgale essendo i primi frutto dei processi fotosintetici operati dal fitoplancton. Le acque al fondo, più salate, mostrano i tipici decrementi dell'ossigenazione dovuti ad eventi di intensa respirazione planctonica favoriti dalla marcata stratificazione termoclinale ([Kralj et al., 2019](#)). Fa eccezione luglio 2023 quando l'area è risultata caratterizzata da valori di ossigeno disciolto grossomodo costanti fino a 15 m di profondità, incrementi nello strato sottostante.

La torbidità, relazionata agli apporti fluviali negli strati superficiali, mostra sempre repentini incrementi nello strato profondo dove vengono costantemente raggiunti i massimi annuali.

Relativamente alle concentrazioni di nutrienti inorganici, l'area indagata risulta nel complesso fosforo limitata, come indicato da diversi studi focalizzati sull'alto Adriatico ([Degobbis et al., 2000](#); [Aubry et al., 2004](#); [Grilli et al., 2020](#)); anche le diverse forme di azoto inorganico non raggiungono, in generale, concentrazioni particolarmente elevate. Ciò suggerisce che siano le frazioni organiche di azoto e fosforo ad avere un ruolo predominante nella composizione del TDP e TDN.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	42 di 47

Fatta eccezione per gli incrementi del nitrato, ione generalmente derivante da apporti di acque dolci, riscontrati nelle acque superficiali caratterizzate dalle minori salinità, i macronutrienti hanno mostrato valori maggiori alle quote di fondo, probabilmente quale conseguenza dei fenomeni di rimineralizzazione della sostanza organica a livello del sedimento. Solamente in luglio 2023 i tenori di azoto nitroso ed ammoniacale ai fondi sono risultati particolarmente esigui e raffrontabili alle concentrazioni superficiali. Tuttavia, le concentrazioni riscontrate per tutti i parametri in fase disciolta rientrano nella naturale variabilità del sistema alto Adriatico ([Giani et al., 2005](#); [Socal et al., 2008](#), [Grilli et al., 2020](#), [Ivančić et al., 2021](#)).



### POPOLAMENTI FITOPLANCTONICI

In generale, i popolamenti fitoplanctonici nell'area indagata risultano soggetti a una grande variabilità sia inter-annuale che spaziale, soprattutto alla quota superficiale dove generalmente si registrano abbondanze maggiori rispetto ai fondi. Le indagini sui popolamenti fitoplanctonici svolte in luglio 2023 hanno evidenziato una distribuzione delle abbondanze e della biomassa fototrofa in contrasto rispetto al pregresso, con valori raffrontabili alle due quote monitorate. Mentre in superficie i popolamenti fitoplanctonici hanno mostrato abbondanze mediamente costanti ( $1.3 \pm 0.1 \times 10^6$  cell. L<sup>-1</sup> nel 2023) e una biomassa modesta ( $17.6 \pm 4.7 \mu\text{gC L}^{-1}$ ) rispetto alle precedenti campagne, al fondo sono stati osservati i valori massimi (in media,  $1.1 \pm 0.1 \times 10^6$  cell. L<sup>-1</sup>;  $20.6 \pm 11.2 \mu\text{gC L}^{-1}$ ). I valori di abbondanza riscontrati durante l'intero periodo di monitoraggio (2017-2023) rientrano comunque nel range interannuale e stagionale descritto per l'Adriatico settentrionale ([Bernardi Aubry et al., 2012](#); [Cerino et al., 2019](#); [Cabrini et al., 2012](#)).

La comunità fitoplanctonica è risultata generalmente dominata dai flagellati (in media, ~79% del fitoplancton totale) mentre il gruppo delle diatomee ha contribuito in modo più consistente alle quote superficiali (in media, 19%) rispetto ai fondi (in media, 9%), fatta eccezione per luglio 2023 (in media, ~20 % del fitoplancton totale ad entrambe le quote).

Il genere *Pseudo-Nitzschia*, che include specie coinvolte nell'ASP (Amnesic Shellfish Poisoning) e spesso caratterizza la comunità microalgale delle acque costiere dell'Adriatico settentrionale ([Cabrini et al., 2012](#)), è risultato costantemente rappresentato nell'area di indagine durante il periodo 2017-2023, soprattutto alle quote superficiali dove a volte ha raggiunto valori  $> 0.2 \times 10^6$  cell. L<sup>-1</sup> (2017). In luglio 2023, il genere *Pseudo-Nitzschia* ha costituito una parte consistente del gruppo delle diatomee alle quote superficiali (22%) mostrando valori di abbondanza comunque contenuti (abbondanza media:  $5.6 \times 10^4$  cell. L<sup>-1</sup>).

Tra le specie potenzialmente tossiche, dinoflagellati appartenenti al genere *Dinophysis*, che comprende specie coinvolte nella DSP (Diarrethic Shellfish Poisoning) e risulta tipico del periodo tardo estivo ([Cabrini et al., 2012](#); [Cerino et al., 2019](#)), sono stati osservati nel periodo 2017-2022, sebbene con presenza sporadica e abbondanze esigue ( $< 200$  cell. L<sup>-1</sup>); in luglio 2023 il genere *Dinophysis* non è stato rilevato.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	43 di 47

## COMUNITA' MACROBENTONICA

I popolamenti macrozoobentonici hanno mostrato un'evoluzione temporale costante tra i diversi anni monitorati, senza particolari variazioni nel tasso di differenziazione interrannuale, con una buona omogeneità dei valori di biodiversità complessiva.

L'abbondanza complessiva della fauna macrobentonica osservata nelle tre stazioni poste a 500 m dal Terminale nel 2023 ( $425 \pm 108$  ind.  $m^{-2}$ ) è risultata minore rispetto ai valori medi riscontrati nelle medesime stazioni tra il 2017 e il 2022 ( $1133 \pm 265$  ind.  $m^{-2}$ ). Ciò potrebbe essere parzialmente relazionato al diverso periodo dell'anno in cui è stato eseguito l'ultimo campionamento (settembre) rispetto al pregresso (luglio) e/o all'effetto del riscaldamento anticipato riscontrato alle quote di fondo.

Durante l'intero periodo di monitoraggio, sono stati campionati complessivamente 327 diversi taxa di cui 273 identificati a livello della specie identificati a livello della specie e appartenenti ai seguenti gruppi sistematici: Anellida (Policheti), Mollusca (bivalvi e gasteropodi), Crustacea (decapodi, anfipodi, isopodi, tanaidacei, cumacei), Echinodermata (oloturoidei, echinoidei, ofiuroidei), mentre gli organismi come Porifera, Anthozoa, Nemertea, Nematoda, Phoronida, Sipuncula e Ascidiacea sono stati accorpati nel gruppo "Altri".



In generale, i policheti hanno costituito sempre il gruppo sistematico più numeroso eccetto nelle stazioni T60 e T70 campionate nel 2022 e in tutte le stazioni (T60, T70 e T80) campionate nel 2023, dove il taxon dei molluschi è risultato il più abbondante seguito dai policheti (con la sola eccezione della stazione T80 del 2023 dove i crostacei sono risultati secondi in termini di abbondanza). Nelle stesse cinque stazioni, ad innalzare i valori di abbondanza dei molluschi sono state essenzialmente 3 piccole specie di bivalvi, ovvero *Jousseaumia concharum*, *Kurtiella bidentata* e *Varicorbula gibba*, specie di piccole dimensioni (2-5 mm), che normalmente possono risultare abbondanti in sedimenti misti sabbioso/fangosi come quelli presenti nell'area del Terminale di rigassificazione.

Nel complesso la biodiversità è apparsa comunque sempre elevata, sostanzialmente invariata nel corso dei primi 6 anni monitorati e con un leggero calo osservato nel 2023, a seguito di una riduzione della ricchezza specifica ma non dall'equitabilità, costantemente elevata tra le campagne.



La diversità specifica, intesa come diversità specifica di Shannon ( $H'$ ), è infatti risultata sempre superiore ad un valore di  $H'=4$  (valore medio di  $H'=4.87 \pm 0.45$ ), configurando come molto elevata la biodiversità delle comunità macrobentoniche di fondo mobile (Gray, 2000) monitorate nell'area circostante il Terminale di rigassificazione.

## REGIME CORRENTOMETRICO

Le caratteristiche oceanografiche evidenziate dai dati acquisiti da un correntometro ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) montato su una struttura ancorata al fondo in corrispondenza della boa meda, situata a circa 590 m in direzione Sud-Est rispetto al Terminale di rigassificazione, risultano in linea con quanto noto dalla letteratura scientifica per l'Alto Adriatico e in buon accordo con i risultati ottenuti nei monitoraggi relativi agli anni precedenti. Dal punto di vista della circolazione generale, le correnti marine, in media, seguono la batimetria e sono orientate in direzione S-SE, con valori di velocità inferiori ai 20 cm/s in superficie e via via decrescenti con l'aumentare della profondità. A



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	44 di 47

questa situazione media, si aggiunge una significativa variabilità ambientale legata ai processi meteo-oceanografici caratteristici dell'area: regime dei venti, apporti fluviali, stratificazione termoclinala.



	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	45 di 47

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Artegiani A, Bregant D, Paschini E, Pinardi N, Raicich F, Russo A (1997) The Adriatic Sea general circulation: Part I. Air-sea interaction and water mass structure; Part II. Baroclinic circulation structure, *Journal of Physical Oceanography*, 27: 1492–1532.
- Bernardi Aubry F, Berton A, Bastianini M, Socal G, Acri F (2004) Phytoplankton succession in a coastal area of the NW Adriatic, over a 10-year sampling period (1990–1999). *Continental Shelf Research*, 24: 97–115.
- Bernardi Aubry F, Acri F, Bastianini M, Bianchi M, Cassin D, Pugnetti A, Socal G (2006) Seasonal and interannual variations of phytoplankton in the Gulf of Venice (Northern Adriatic Sea). *Chemistry and Ecology*, 22(1): 71-91.
- Bernardi Aubry F, Cossarini G, Acri F, Bastianini M, Bianchi F, Camatti E, De Lazzari A, Pugnetti A, Solidoro C, Socal G (2012) Plankton communities in the northern Adriatic Sea: Patterns and changes over the last 30 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15: 125-137.
- Cabrini M, Fornasaro D, Cossarini G, Lipizer M, Virgilio D (2012) Phytoplankton temporal changes in a coastal northern Adriatic site during the last 25 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115: 113-124.
- Cerino F, Fornasaro D, Kralj M, Giani M, Cabrini M (2019) Phytoplankton temporal dynamics in the coastal waters of the north-eastern Adriatic Sea (Mediterranean Sea) from 2010 to 2017. *Nature Conservation*, 34: 343–372.
- Clarke KR, Gorley RN, Sommerfield PJ, Warwick RM (2014) Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 3rd edition. PRIMER-E: Plymouth.
- Degobbis D, Precali R, Ivancic I, Smolaka N, Fuks D, Kveder S (2000) Long-Term Changes in the Northern Atlantic Ecosystem Related to Anthropogenic Eutrophication. *International Journal of Environmental Pollution*, 13: 495–533.
- Fofonoff NP, Millard RC Jr (1983) Algorithms for computation of fundamental properties of seawater, *UNESCO Technical Papers in Marine Science* 44: 1-53.
- Gambi MC, Dappiano M (2003) Manuale di metodologie di campionamento e studio del benthos marino mediterraneo. Edizioni Biologia Marina Mediterranea Vol 10 (suppl): 109-144.
- Giani M, Savelli F, Berto D, Zangrando V, Čosović B, Vojvodić V (2005) Temporal dynamics of dissolved and particulate carbon in the northern Adriatic Sea in relation to the mucilage events. *Science of the Total Environment*, 353: 126-138.
- Gray JS (2000) The measurement of marine species diversity, with an application to the benthic fauna of the Norwegian continental shelf. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 250: 23-49.
- Gray JS, Elliott M (2009) Ecology of marine sediments. Oxford University Press, 1-225.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	46 di 47

- Grilli F, Accoroni S, Acri F, Bernardi Aubry F, Bergami C, Cabrini M, Campanelli A, Giani M, Guicciardi S, Marini M, et al. (2020) Seasonal and Interannual Trends of Oceanographic Parameters over 40 Years in the Northern Adriatic Sea in Relation to Nutrient Loadings Using the EMODnet Chemistry Data Portal. *Water*, 12, 2280.
- Hansen HP, Koroleff F (1999) Determination of nutrients. In: Grasshoff K, Kremling K, Ehrhardt M (eds), *Methods of seawater analysis*, 3rd edn. Wiley-VCH, Weinheim, 159–228.
- Hillebrand H, Dürselen CD, Kirschtel D, Pollinger U, Zohary T (1999) Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. *Journal of Phycology*, 35: 403-424.
- Kralj M, Lipizer M, Čermelj B, Celio M, Fabbro C, Brunetti F, Francé J, Mozetič P, Giani M (2019) Hypoxia and dissolved oxygen trends in the northeastern Adriatic Sea (Gulf of Trieste). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 164: 74-88.
- ISPRA (2017) Piano di monitoraggio ambientale (fase di esercizio) del Terminale GNL di Porto Viro e della condotta di collegamento alla terraferma. Relazione tecnico-scientifica (53E). Monitoraggio area del Terminale GNL di Porto Viro (RO). Fase di esercizio provvisorio - V anno di monitoraggio. 784 pp.
- Ivančić I, Kraus R, Najdek M, Cozzi S (2021) Ecological Importance of Alkaline Phosphatase Activity in Changing Marine Environmental Conditions. *Water*, 13, 2750.  
<https://doi.org/10.3390/w13192750>
- Legendre L, Legendre P (1983) *Numerical ecology. Developments in environmental modelling.* Elsevier Scient. Publ. Co. Amsterdam. XVI: 419.
- Menden-Deuer S, Lessard J E (2000) Carbon to volume relationship for dinoflagellates, diatoms and others protist plankton. *Limnology and Oceanography* 45(3): 569-579.
- Morri C, Bellan-Santini D, Giaccone G, Bianchi C (2004) Principles of bionomy: definition of assemblages and use of taxonomic descriptors (macrobenthos). *Biologia Marina Mediterranea*, 11 (1): 573-600.
- Olenina I, Hajdu S, Edler L, Andersson A, Wasmund N, Busch S, Göbel J, Gromisz S, Huseby S, Huttunen M, Jaanus A, Kokkonen P, Ledaine I, Niemkiewicz E (2006) Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea. *HELCOM Baltic Sea Environment Proceedings* N.106. 144 pp.
- Poulain P-M, and Raicich F (2001) Forcings, in *Physical Oceanography of the Adriatic Sea: Past, Present and Future*, edited by B. Cushman-Roisin, Gacić M, Poulain P-M, and Artegiani A, pp. 45–65, Springer, New York.
- Rampi L and Bernhard M (2008) Chiave per la determinazione delle Peridinee Pelagiche Mediterranee. C.N.E.N., Ré P. and Meneses I. Early stages of marine fishes occurring in the Iberian Peninsula, IPIMAR-IMAR, 282 pp.
- Socal G, Acri F, Bastianini M, Barnardi Aubry F, Bianchi F, Cassin D, Coppola J, De Lazzari A, Bandelj V, Cossarini G, Solidoro C (2008) Hydrological and biogeochemical features of the Northern Adriatic Sea in the period 2003–2006. *Marine Ecology* 29: 449–468.

	Doc. Titolo:	Valutazione del corpo ricettore marino e delle biocenosi	Rev. No.:	0
		Documento No.: ATZ-00-SR-052-RP-8025	Pag.:	47 di 47

Tomas, C.R., 1997. Identifying marine phytoplankton. Elsevier. 874 pp.

Wilding TA (2006) The benthic impacts of the Loch Linnhe Artificial Reef. Hydrobiologia, 555: 345-353.

Zingone A, Totti C, Sarno D, Cabrini M, Caroppo C, Giacobbe MG, Lugliè A, Socal G (2010) Fitoplancton: metodiche di analisi quali-quantitativa. In: Metodologie del plancton. Socal G, Buttino I, Cabrini M, Mangoni O, Penna A, Totti C. (eds), ISPRA - Manuali e Linee Guida 56/2010: 213-237.