



VALUTAZIONE AMBIENTALE

Art. 8 del D.lgs. 190/2010



MSFD

MARINE STRATEGY
FRAMEWORK DIRECTIVE

SUMMARY REPORT

D4 – Rete trofica marina

Inviato alla Commissione Europea il 10 ottobre 2024

Autori

Coordinamento

Tomaso Fortibuoni (ISPRA), Saša Raicevich (ISPRA), Federico Rampazzo (ISPRA), Daniela Berto (ISPRA),

Valutazione Stato Ambientale

Tomaso Fortibuoni (ISPRA), Federico Rampazzo (ISPRA), Daniela Berto (ISPRA), Camilla Antonini (ISPRA), Nicoletta Calace (ISPRA), Danilo Scannella (ISPRA), Saša Raicevich (ISPRA)

Supporto tecnico e scientifico per lo sviluppo di metodi per l'analisi dati e definizione di soglie di riferimento per i criteri primari D4C1 e D4C2

OGS: Simone Libralato, Davide Agnetta, Ivan Vascotto, Igor Celic, Diego Panzeri

Supporto tecnico e scientifico per lo sviluppo di metodi per l'assegnazione delle specie alle gilde trofiche

CONISMA UNIPA: Salvatrice Vizzini, Giovanna Cilluffo, Geraldina Signa, Roberta Bardelli

CONISMA UNIPM: Emanuela Fanelli, Zaira Da Ros, Alice Premici

ISPRA: Federico Rampazzo, Seta Noventa, Malgorzata Formalewicz, Daniela Berto, Claudia Gion, Nicoletta Calace, Gianluca Franceschini, Enrico Tarulli

Indice

1. INTRODUZIONE.....	4
1.1 Approccio metodologico	5
1.2 Assegnazione delle specie alle gilde trofiche MSFD.....	7
1.3 Criteri e indicatori adottati.....	8
1.3.1 Criteri primari: D4C1 e D4C2	8
1.3.2 Criteri secondari: D4C3 e D4C4	10
1.3.3 Analisi delle serie di dati.....	10
2. ARTICOLO 8 DEL D.LGS. 190/2010 - VALUTAZIONE AMBIENTALE.....	11
2.1 Criterio D4C1	11
2.2 Criterio D4C2	14
2.3 Criterio D4C4	15
2.4 Verifica del raggiungimento del Buono Stato Ambientale	16
2.5 Verifica del raggiungimento dei traguardi ambientali	17
3. ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO IN CORSO E PROSPETTIVE FUTURE PER IL CONSOLIDAMENTO DEGLI APPROCCI AL D4.....	19
3.1 Programma di monitoraggio D4-01 - sviluppo di modelli per la stima degli indicatori associati....	19
3.2 Programma di monitoraggio D4-02 - identificazione delle gilde trofiche.....	20
4. BIBLIOGRAFIA	23

Descrittore 4 - Rete trofica marina

1. Introduzione

Descrittore 4: “Tutti gli elementi della rete trofica marina, nella misura in cui siano noti, sono presenti con normale abbondanza e diversità e con livelli in grado di assicurare l’abbondanza a lungo termine delle specie e la conservazione della loro piena capacità riproduttiva”.

Secondo la definizione qualitativa del Descrittore 4 perché la rete trofica di un sistema sia in buono stato ambientale è necessario che: “Tutti gli elementi della rete trofica marina, nella misura in cui siano noti, sono presenti con normale abbondanza e diversità e con livelli in grado di assicurare l’abbondanza a lungo termine delle specie e la conservazione della loro piena capacità riproduttiva” (2010/477/EU). In particolare, la Decisione della Commissione Europea ha chiarito che il Descrittore 4, reti trofiche, “riguarda importanti aspetti funzionali come i flussi energetici e la struttura delle reti trofiche (dimensioni e abbondanza). In questa fase occorre consolidare le conoscenze scientifiche e tecniche per poter elaborare criteri e indicatori potenzialmente utili che consentano di trattare le relazioni all’interno della rete trofica”. Successivi lavori si sono concentrati sulla definizione di indicatori utili a stabilire il GES per il Descrittore 4 (ICES, 2015; Link et al., 2015). La Commissione Europea attraverso la Decisione 2017/848/EU ha successivamente indicato la possibilità di una rivisitazione metodologica per il Descrittore 4, focalizzando le analisi sulle gilde trofiche. Le linee guida della Commissione Europea pubblicate nel maggio 2022 (European Commission, 2022) stabiliscono indicazioni generali per lo sviluppo di tutti i descrittori e i criteri della MSFD seguendo la struttura della Decisione 2017/848, incluso quindi il Descrittore 4 e propongono una serie di gilde trofiche da considerare nelle valutazioni nazionali. Inoltre, sulla base delle definizioni riportate, evidenziano la stretta connessione tra il Descrittore 4 e il Descrittore 1 (Biodiversità) in particolare, ma anche il Descrittore 6 (Integrità del fondale marino) ed il Descrittore 5 (Eutrofizzazione).

Nell’ambito dei programmi di monitoraggio della MSFD relativi al Descrittore 4 implementati in Italia, sono stati posti come focus l’analisi e lo sviluppo di indicatori a partire dai dati di trawl-survey (MEDITS; AA.VV., 2016) e il contestuale test e sviluppo di indicatori mediante modelli ecosistemici di rete trofica (Programma di monitoraggio D04-01). Inoltre, sono state realizzate attività volte alla caratterizzazione della firma isotopica di specie marine e della baseline isotopica nella rete trofica mediante analisi degli isotopi stabili, finalizzata alla assegnazione delle specie alle guild trofiche (Programma di monitoraggio D04-02). Ai fini della presente valutazione, vengono considerati in particolare risultati delle analisi degli indicatori basati su dati da trawl-survey, utilizzati come rappresentativi della verità mare. Gli approcci modellistici, infatti sono ancora

in fase di sviluppo e consolidamento, e permetteranno in futuro di valutare anche la sensibilità degli ecosistemi e delle gilde trofiche ai cambiamenti climatici.

1.1 Approccio metodologico

Le reti trofiche dovrebbero essere valutate alla scala degli ecosistemi marini, e solo in rari casi può essere opportuno valutarle esclusivamente in relazione alle acque nazionali dello Stato Membro (EC, 2022). Nella presente valutazione, quindi, per la sottoregione Mar Adriatico (MAD) sono stati incluse nelle stime degli indicatori anche le stazioni che ricadono nelle acque territoriali di Slovenia e Croazia, mentre per la sottoregione Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale (MIC) sono state incluse anche le stazioni che ricadono nelle acque territoriali di Malta. Tale scelta è determinata anche dal fatto che sono stati utilizzati dati di survey sperimentali della componente ittica, tipicamente caratterizzata dalla presenza di molti stock e risorse ittiche condivise. Gli indicatori sono quindi stati stimati per le tre sottoregioni italiane, ovvero MAD (GSAs 17 e 18), MIC (GSAs 15, 16 e 19) e MWE (GSAs 9, 10 e 11) (Figura 1). Il dataset utilizzato è quello proveniente dalle campagne MEDITS (*International bottom trawl survey in the Mediterranean*), resi disponibili attraverso il focal point della CE, ed include dati di indici di abbondanza e biomassa raccolti mediante strascico demersale a divergenti in stazioni di campionamento a profondità comprese tra 10 e 800 m, secondo un approccio di campionamento random-stratificato. Si osserva che nel caso del MAD la maggior parte delle stazioni sia allocata nella fascia batimetrica compresa tra i 10 ed i 200 m, in particolare tra i 50 ed i 200 m. Allo stesso modo la prevalenza delle stazioni di campionamento del MWE è tra 10 e 200 m, sebbene la prevalenza delle cale appartenga allo strato profondo (200-800 m). La sottoregione MIC presenta la maggiore intensità di campionamento nelle stazioni profonde (200-800 m). Sono stati selezionati i dati 2005-2021 in quanto la distribuzione delle stazioni era più stabile e omogenea in questa finestra temporale.

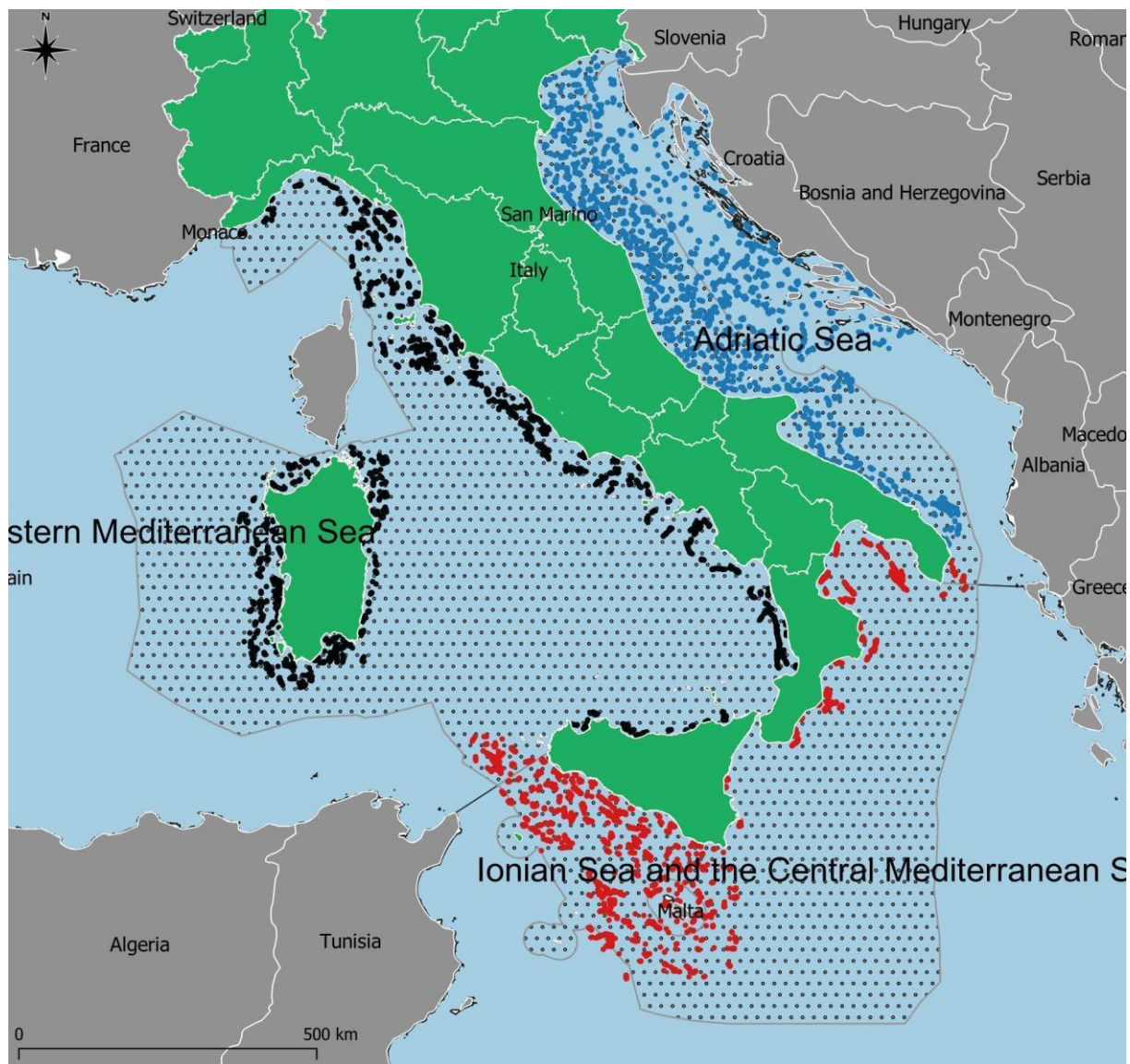


Figura 1. Mappa delle stazioni MEDITS (anni 2005-2021) utilizzate per il calcolo degli indicatori relativi al Descrittore 4. L'area tratteggiata rappresenta la Marine Reporting Unit (MRU) Italiana. Rosso: stazioni associate alla sottoregione MIC (Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale); Nero: stazioni associate alla sottoregione MWE (Mar Mediterraneo occidentale); Blu: stazioni associate alla sottoregione MAD (Mar Adriatico).

Tabella 1. Numero di stazioni realizzate nei diversi strati batimetrici per sottoregione

Sottoregione	Strato batimetrico (m)	2005-2015	2016-2021	Totale
MAD	10-50	751	568	1319
	50-200	1295	950	2245
	200-800	255	163	418
	Totale	2301	1681	3982
MIC	ott-50	219	118	337
	50-200	873	463	1336
	200-800	1409	757	2166
	Totale	2501	1338	3839
MWE	10-50	454	244	698
	50-200	1239	667	1906
	200-800	1486	798	2284
	Totale	3179	1709	4888

1.2 Assegnazione delle specie alle gilde trofiche MSFD

La guida all'implementazione dell'Art. 8 (EC, 2022) suggerisce l'utilizzo di 10 gilde trofiche (*pelagic primary producers, benthic primary producers, secondary producers, benthic filter-feeding invertebrates, benthic feeding invertebrates, planktivorous fish and invertebrates, sub-apex pelagic predators, sub-apex demersal predators, apex marine mammal predators, apex fish predators*) per l'analisi dei criteri associati al Descrittore 4.

Al fine dell'assegnazione delle diverse specie campionate mediante MEDITS alle 10 gilde trofiche è stata basata su conoscenze tassonomiche e dei tratti biologici (dieta, movimento, distribuzione e habitat) delle specie. I dati MEDITS permettono di tracciare specie che rientrano in cinque gilde trofiche sulle dieci menzionate, per cui le analisi degli indicatori sono state condotte per gli invertebrati bentivori (*benthic feeding invertebrates*), pesci e invertebrati planctivori (*planktivorous fish and invertebrates*), predatori pelagici subapicali (*sub-apex pelagic predators*), predatori demersali subapicali (*sub-apex demersal predators*) ed i pesci predatori apicali (*apex fish predators*). Le gilde trofiche considerate permettono di tracciare la parte intermedia e alta della rete trofica, estendendosi da un livello trofico medio di 2,4 (invertebrati bentivori) fino ai predatori apicali (livello trofico medio 4,1) (Tabella 2).

Tabella 2. Numero di specie/taxa per cui sono disponibili dati di biomassa dalla campagna MEDITS che compongono le varie gilde trofiche. È riportata anche la media e deviazione standard del livello trofico delle specie/taxa che compongono ogni gilda.

Gilda trofica	N. specie /taxa	TL (media)	TL (DevStd)
Invertebrati bentivori	512	2,4	0,4
Pesci e invertebrati planctivori	104	3,1	0,5
Predatori demersali subapicali	266	3,6	0,4
Predatori pelagici subapicali	68	3,6	0,5
Pesci predatori apicali	53	4,1	0,3

1.3 Criteri e indicatori adottati

1.3.1 Criteri primari: D4C1 e D4C2

Gli standard metodologici MSFD indicano l'uso di due criteri primari, il D4C1 ed il D4C2 relativi rispettivamente alla diversità all'interno della gilda trofica e al bilancio dell'abbondanza tra le gilde (Tabella 3). Gli indicatori associati al criterio D4C1 - equilibrio nell'abbondanza all'interno delle guild - dovrebbero rappresentare l'abbondanza relativa delle specie (altrimenti detta dominanza) o il cambio relativo nell'abbondanza delle specie all'interno delle gilde, e dovrebbero essere preferibilmente stimati come biomassa e non abbondanza per essere maggiormente consistenti con il criterio D4C2. Allo scopo, è stata calcolata la variazione temporale della composizione in biomassa delle specie per ogni gilda trofica. Viceversa, il criterio D4C2 - bilanciamento nell'abbondanza delle gilde - è riferito al bilanciamento complessivo dell'abbondanza tra le diverse gilde, e può essere valutato mediante l'integrazione di risultati specifici per le diverse gilde. Per il criterio D4C2 sono stati calcolati gli indici di biomassa media (tra le cale di ogni anno) di ogni gilda trofica per ogni anno poi confrontati mediante indici di diversità del sistema.

Tabella 3. Criteri per la valutazione del Descrittore 4 (Fonte: EC, 2022).

DESCRIPTOR PROFILE		D4C1 Diversity of the trophic guild	D4C2 Balance of abundance between trophic guilds	D4C3 Size distribution of individuals across the trophic guild	D4C4 Productivity of the trophic guild
Features		Coastal ecosystems; Shelf ecosystems; Oceanic/deep-sea ecosystems			
Primary criterion		X	X		
Information type		State	State	State	State
Annex III MSFD	State (Table 1)	Ecosystems, including food webs			
	Pressure (Table 2a)	Extraction of or mortality/injury to wild species including target and non-target species			
	Activity (Table 2b)	Fish and shellfish harvesting (professional and recreational)			
GES Decision I	Elements	(Sub)regional	(Sub)regional	(Sub)regional	(Sub)regional
	Threshold values	(Sub)regional	(Sub)regional	(Sub)regional	(Sub)regional
	Use of criteria	(Sub)regional			
Criteria linkages		D1C2*, D3C2*	D1C2*, D1C6*, D2C2*, D3C2*, D5C2*	D1C3*, D3C3*	D1C2*, D1C3*, D3C2*, D3C3*
Descriptor linkages		D1*, D2*, D3*, D5*, D6*			

*Not included in the GES Decision

In particolare, al fine della caratterizzazione dei criteri D4C1 e D4C2 sono stati stimati gli indici di diversità di Shannon-Weiner (H), l'indice di Kempton (Q) e di beta-diversità (BD):

- L'indice H considera due elementi: la ricchezza specifica in un'area (numero di specie, richness) e la distribuzione delle proporzioni delle specie (equitabilità, evenness) presenti nell'area (Legendre e Legendre, 2012). Questi indicatori sono calcolabili per tutte le gilde che contengono almeno due specie. L'indice H aumenta con la ricchezza e l'uniformità, ma attribuisce più peso alla ricchezza che all'uniformità.
- L'indice Q descrive la pendenza della curva di abbondanza cumulativa delle specie in un certo intervallo di distribuzione (Kempton e Taylor, 1976). Anche l'indice Q è pensato per tener conto sia della ricchezza, sia delle proporzioni tra specie.
- L'indice BD consente di esprimere la variabilità della composizione in specie lungo un gradiente spaziale e/o temporale. Quando è calcolata come varianza totale della comunità, ha il vantaggio di poter essere

partizionata a posteriori per punti campionari, per specie, per gruppi di specie e/o per punti campionari nel tempo e nello spazio per comprendere quale sia il contributo di ciascuna componente alla varianza totale del sistema. L'indice BD è stato calcolato a partire dai dati di biomassa per unità di superficie, preventivamente trasformati utilizzando la trasformazione di Hellinger (Legendre e Gallagher, 2001; Legendre et al., 2005, Legendre e De Cáceres, 2013; Anderson et al., 2006).

1.3.2 Criteri secondari: D4C3 e D4C4

Il criterio D4C3 relativo alla ripartizione per taglia all'interno delle guild trofiche non è stato esaminato per mancanza di dati. A fini esplorativi, è stato invece applicato criterio D4C4, relativo alla produttività/produzione delle gilde trofiche. A tale scopo è stato analizzato il livello trofico medio della comunità e porzioni di essa. Tale applicazione appare essere preliminare, e la stessa assegnazione dell'indicatore al criterio D4C4 potrà essere rivista. Secondo le linee guida all'art. 8 infatti (CE, 2022), il livello trofico medio può rappresentare una metrica integrativa la cui interpretazione, ai fini della valutazione dello stato complessivo della rete trofica, deve però essere oggetto di appropriati approfondimenti scientifici, soprattutto in relazione al bilanciamento tra gli elementi della rete trofica pelagica e demersale.

Il livello trofico è definito come la posizione di un determinato organismo nella rete trofica e varia da 1 (per i produttori primari o il detrito) ad oltre 4 per i predatori apicali. Il livello trofico medio di un sistema (mTL) può essere indicatore di stati di alterazione delle reti trofiche, ad esempio in caso di sovrasfruttamento da pesca (effetto fishing down the food web; Pauly et al. 1998).

Il mTL della comunità è stato calcolato in due modi: escludendo le specie con livello trofico inferiore a 2 (mTL₂), e escludendo le specie con livello trofico inferiore a 3,25 (mTL_{3,25}). Il livello trofico delle singole specie sono stati ottenuti attraverso la consultazione dei database online FishBase e SeaLifeBase. Per le specie per le quali non è stato possibile ottenere un valore dal database, è stato assegnato il livello trofico dell'affiliazione tassonomica più vicina per la quale erano a disposizione delle informazioni. La stima del livello trofico di una specie può essere fatta anche attraverso le analisi degli isotopi stabili dell'azoto e del carbonio e nell'ambito dei monitoraggi MSFD è stata attivata una linea di monitoraggio ad hoc per poter assegnare il livello trofico e la gilda trofica alle specie anche sulla base di dati isotopici (cfr. paragrafo 6).

1.3.3 Analisi delle serie di dati

Gli indicatori adottati sono stati calcolati per gli anni che vanno dal 2005 al 2021. Il calcolo degli indicatori si è basato sui dati di biomassa al più basso livello tassonomico disponibile, cioè a livello di specie. È stato poi confrontato il valore mediano degli indicatori nel sessennio 2016-2021 con i valori del periodo precedente

(2005-2016), come suggerito nel documento-guida redatto dal WGGES (EC, 2022). I confronti sono stati fatti attraverso il test statistico di Mann-Whitney.

2. Articolo 8 del D.lgs. 190/2010 - Valutazione ambientale

La valutazione ambientale viene effettuata applicando una serie di indicatori di diversità e biomassa associata a selezionate guild trofiche o gruppi di guild. I risultati vengono prima stimati con molteplici indicatori per ogni singola gilda per il singolo criterio. Successivamente vengono aggregati a livello di gilda, per singolo criterio. Infine, la valutazione viene integrata a livello di descrittore secondo il principio one-out all-out. Tale principio, pur apparendo conservativo, permette di identificare eventuali deviazioni da condizioni di normalità/riferimento, ed è funzionale allo scopo di utilizzare la valutazione del Descrittore 4 mediante i cosiddetti “surveillance indicators”. Infatti, secondo la decisione della Commissione 2017/848, la significativa distanza tra lo stato di riferimento e il dato rilevato permette di indentificare aree di criticità per le quali sia necessario un approfondimento scientifico e non tanto la realizzazione di interventi specifici.

2.1 Criterio D4C1

Un esempio di andamento nel tempo degli indici stimati per il criterio D4C1 è riportato in Figura 2. Dall’immagine si osserva come gli indici presentino andamenti differenti a seconda delle gilde considerate.

MAD D4C1

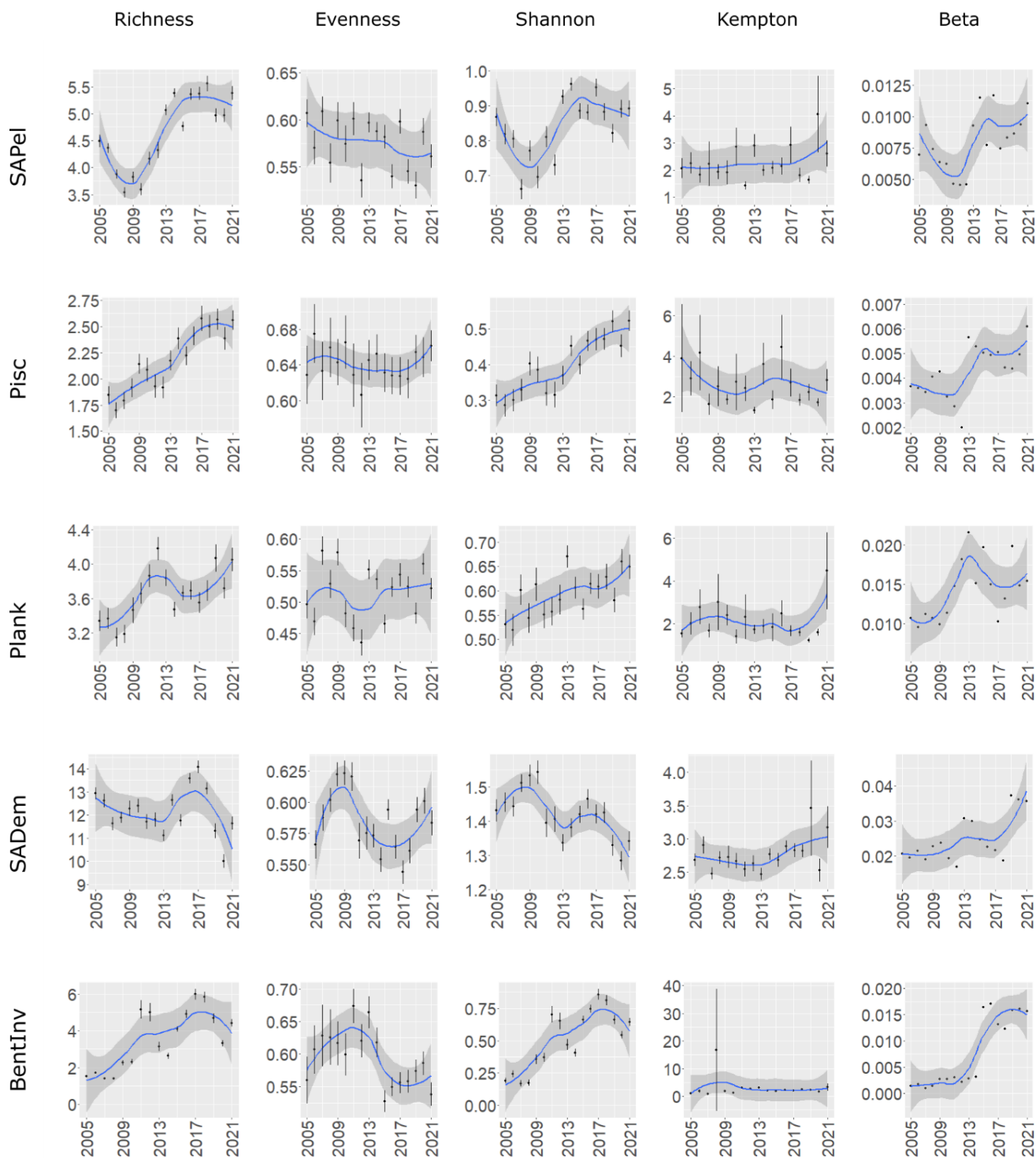


Figura 2. Esempio di andamento temporale (2005-2021) degli indici di diversità di Shannon-Weiner, Kempton e Beta-diversità delle gilde trofiche (criterio D4C1) per gilde trofiche selezionate. Vengono anche riportati gli andamenti della Richness e Evenness. MAD: Mar Adriatico.

Nel complesso, nella sottoregione Mar Adriatico, per la gilda trofica dei predatori pelagici subapicali, dei pesci e invertebrati planctivori e degli invertebrati bentivori si osserva un incremento significativo nei valori di H tra il sessennio attuale di valutazione (2016-2021) e lo storico (2005-2015). L'indice Q è aumentato significativamente solo per i predatori demersali subapicali, mentre la BD solo per gli invertebrati bentivori (Tabella 2).

In Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale l'indice H relativo alle gilde trofiche dei pesci e invertebrati planctivori, demersali e pelagici è diminuito significativamente. L'unica ulteriore variazione statisticamente significativa (negativa) riguarda la BD dei predatori demersali subapicali (Tabella 2).

Nel Mar Mediterraneo occidentale, l'indice H relativo alla gilda trofica dei predatori demersali subapicali è diminuita significativamente, mentre per la gilda degli invertebrati bentivori è aumentato significativamente. Per quanto riguarda l'indice Q, l'unica diminuzione significativa ha riguardato i predatori demersali subapicali. Anche la BD dei predatori demersali subapicali è diminuita significativamente, così come la BD dei predatori pelagici subapicali. Al contrario, per i predatori pelagici si osserva un aumento significativo dei valori mediani della BD tra l'ultimo sessennio e lo storico (Tabella 4).

Tabella 4. Confronto delle mediane (test di Mann-Whitney) degli indici di diversità di Shannon-Weiner, Kempton e Beta-diversità delle gilde trofiche (criterio D4C1) tra il sessennio attuale di valutazione (2016-2021) e lo storico (2005-2015) nelle tre sottoregioni italiane. (+) aumento statisticamente significativo (-) diminuzione statisticamente significativa. (MWE = Mar Mediterraneo occidentale; MIC = Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale; MAD = Mar Adriatico).

Sottoregione	Gilda trofica	Indicatore	Confronto
MAD	Invertebrati bentivori	Shannon-Weiner	+
	Pesci e invertebrati planctivori	Shannon-Weiner	+
	Predatori pelagici subapicali	Shannon-Weiner	+
	Predatori demersali subapicali	Shannon-Weiner	
	Pesci predatori apicali	Shannon-Weiner	
	Invertebrati bentivori	Kempton	
	Pesci e invertebrati planctivori	Kempton	
	Predatori pelagici subapicali	Kempton	
	Predatori demersali subapicali	Kempton	+
	Pesci predatori apicali	Kempton	
	Invertebrati bentivori	Beta-diversità	+
	Pesci e invertebrati planctivori	Beta-diversità	
	Predatori pelagici subapicali	Beta-diversità	
	Predatori demersali subapicali	Beta-diversità	
	Pesci predatori apicali	Beta-diversità	
MIC	Invertebrati bentivori	Shannon-Weiner	
	Pesci e invertebrati planctivori	Shannon-Weiner	-
	Predatori pelagici subapicali	Shannon-Weiner	

Sottoregione	Gilda trofica	Indicatore	Confronto
	Predatori demersali subapicali	Shannon-Weiner	-
	Pesci predatori apicali	Shannon-Weiner	-
	Invertebrati bentivori	Kempton	
	Pesci e invertebrati planctivori	Kempton	
	Predatori pelagici subapicali	Kempton	
	Predatori demersali subapicali	Kempton	
	Pesci predatori apicali	Kempton	
	Invertebrati bentivori	Beta-diversità	
	Pesci e invertebrati planctivori	Beta-diversità	
	Predatori pelagici subapicali	Beta-diversità	
	Predatori demersali subapicali	Beta-diversità	-
	Pesci predatori apicali	Beta-diversità	
MWE	Invertebrati bentivori	Shannon-Weiner	+
	Pesci e invertebrati planctivori	Shannon-Weiner	
	Predatori pelagici subapicali	Shannon-Weiner	
	Predatori demersali subapicali	Shannon-Weiner	-
	Pesci predatori apicali	Shannon-Weiner	
	Invertebrati bentivori	Kempton	
	Pesci e invertebrati planctivori	Kempton	
	Predatori pelagici subapicali	Kempton	
	Predatori demersali subapicali	Kempton	-
	Pesci predatori apicali	Kempton	
	Invertebrati bentivori	Beta-diversità	
	Pesci e invertebrati planctivori	Beta-diversità	
	Predatori pelagici subapicali	Beta-diversità	-
	Predatori demersali subapicali	Beta-diversità	-
Pesci predatori apicali	Beta-diversità	+	

2.2 Criterio D4C2

Nella sottoregione Mar Adriatico, le biomasse di quasi tutte le gilde trofiche (esclusa la gilda dei pesci e invertebrati planctivori) tra il periodo 2005-2015 e 2016-2021 sono aumentate significativamente. Anche gli indici Q e la BD sono aumentati significativamente.

Nella sottoregione Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale, le biomasse delle gilde invertebrati bentivori e pesci e invertebrati planctivori sono aumentate significativamente, mentre gli indicatori H e Q sono diminuiti significativamente.

Nella sottoregione Mar Mediterraneo occidentale, è aumentata significativamente la biomassa delle gilde pesci e invertebrati planctivori e pelagici (Tabella 5).

Tabella 5. Confronto delle mediane (test di Mann-Whitney) degli indici di diversità di Shannon-Weiner, Kempton e Beta-diversità tra gilde trofiche e delle biomasse delle gilde trofiche (criterio D4C2) tra il sessennio attuale di valutazione (2016-2021) e lo storico (2005-2015) nelle tre sottoregioni italiane. (+) aumento statisticamente significativo; (-) diminuzione statisticamente significativa. MWE = Mar Mediterraneo occidentale; MIC = Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale; MAD = Mar Adriatico.

Sottoregione	Gilda trofica	Indicatore	Confronto
MAD	Invertebrati bentivori	Biomassa	+
	Pesci e invertebrati planctivori	Biomassa	
	Predatori pelagici subapicali	Biomassa	+
	Predatori demersali subapicali	Biomassa	+
	Pesci predatori apicali	Biomassa	+
	Comunità	Shannon-Weiner	
	Comunità	Kempton	+
	Comunità	Beta-diversità	+
MIC	Invertebrati bentivori	Biomassa	+
	Pesci e invertebrati planctivori	Biomassa	+
	Predatori pelagici subapicali	Biomassa	
	Predatori demersali subapicali	Biomassa	
	Pesci predatori apicali	Biomassa	
	Comunità	Shannon-Weiner	-
	Comunità	Kempton	-
	Comunità	Beta-diversità	
MWE	Invertebrati bentivori	Biomassa	
	Pesci e invertebrati planctivori	Biomassa	+
	Predatori pelagici subapicali	Biomassa	
	Predatori demersali subapicali	Biomassa	
	Pesci predatori apicali	Biomassa	+
	Comunità	Shannon-Weiner	
	Comunità	Kempton	
	Comunità	Beta-diversità	

2.3 Criterio D4C4

A livello di comunità, nella sottoregione Mar Adriatico i valori del livello trofico medio, sia considerando le sole specie con livello trofico superiore a 2 (mTL_2), che quelle con livello trofico superiore a 3,25 ($mTL_{3,25}$), diminuisce significativamente (Tabella 6). Nelle altre sottoregioni risultano delle dinamiche non lineari, in certi casi con tendenze opposte tra mTL_2 e $mTL_{3,25}$ con una significativa variazione, anche in questo caso di diminuzione, osservata per il mTL_2 nel Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale.

Tabella 6. Confronto delle mediane (test di Mann-Whitney) del livello trofico medio tra il sessennio attuale di valutazione (2016-2021) e lo storico (2005-2015) nelle tre sottoregioni italiane. mTL₂: livello trofico medio calcolato considerando le specie con livello trofico superiore a 2; mTL_{3,25}: livello trofico medio calcolato considerando le specie con livello trofico superiore a 3,25. (↑) aumento statisticamente significativo (↓) diminuzione statisticamente significativa. MWE = Mar Mediterraneo occidentale; MIC = Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale; MAD = Mar Adriatico.

Sottoregione	Indicatore	Trend
MAD	mTL ₂	↓
MAD	mTL _{3,25}	↓
MIC	mTL ₂	↓
MIC	mTL _{3,25}	
MWE	mTL ₂	
MWE	mTL _{3,25}	

2.4 Verifica del raggiungimento del Buono Stato Ambientale

Nell'ambito delle applicazioni condotte per la valutazione del Buono Stato Ambientale (GES) sono stati stimati indicatori sia mediante analisi di dati che mediante analisi modellistiche. Il secondo approccio permette di associare lo stato delle componenti ecosistemiche alle pressioni antropiche. I risultati hanno però mostrato una scarsa congruenza tra gli andamenti osservati (dati reali) e stime modellistiche, indicando che - con l'attuale stadio di sviluppo degli strumenti modellistici e con i dati disponibili - il nesso causale tra indicatori di stato e pressione non è sufficientemente robusto per la valutazione del buono stato ambientale. In particolare, sebbene mediante gli indicatori applicati sia possibile rilevare trend di modifica, non è possibile comprendere se lo stato sia (o sia stato) significativamente alterato dalle pressioni antropiche e quali siano i valori soglia di riferimento da utilizzare.

In tal senso la valutazione condotta non permette di esprimersi sul GES, che rimane quindi classificato come sconosciuto per tutte le gilde trofiche considerate (Tabella 7).

Tabella 7. Risultati della valutazione a livello di criterio nelle tre sottoregioni (GES “conseguito” in verde; GES “non conseguito” in rosso; GES “sconosciuto” in giallo; GES “non valutato” in grigio).

Criterio	Gilda trofica					Comunità
	Invertebrati bentivori	Pesci e invertebrati planctivori	Predatori pelagici subapicali	Predatori demersali subapicali	Pesci predatori apicali	Tutte le gilde
Mar Mediterraneo occidentale						
D4C1						
D4C2						
D4C1+D4C2						
Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale						
D4C1						
D4C2						
D4C1+D4C2						
Mar Adriatico						
D4C1						
D4C2						
D4C1+D4C2						

2.5 Verifica del raggiungimento dei traguardi ambientali

La verifica del raggiungimento dei traguardi ambientali è stata condotta confrontando i valori osservati negli indici associati alle gilde trofiche (o alla comunità) nel sessennio oggetto di analisi (2016-2021) con quelli relativi al periodo 2005-2015, utilizzato come periodo di riferimento. È stata applicata la definizione di traguardo ambientale “Lo status di componenti trofiche selezionate degli ecosistemi è migliorato o si mantiene entro margini di variazione precauzionale indicando l’assenza di sostanziali modifiche strutturali e funzionali degli ecosistemi marini (...)”, implementando le seguenti assunzioni:

1. Il periodo di riferimento 2005-2015 viene considerato il periodo rispetto al quale non devono essere osservati deterioramenti della rete trofica e delle sue componenti, o rispetto al quale devono essere stati osservati miglioramenti;
2. viene considerato miglioramento l’aumento significativo nel periodo 2016-2021 rispetto al periodo precedente degli indici di diversità stimati, o degli indici di biomassa;
3. lo status delle componenti ecosistemiche (gilde, comunità) viene considerato mantenuto in caso di assenza di cambiamento significativo;
4. la riduzione significativa di un solo indicatore associato alla diversità o biomassa delle gilde trofiche indica lo scostamento dal raggiungimento del target ambientale.

L'applicazione dei principi sopra riportati ha portato alle valutazioni di raggiungimento dei target ambientali riportate in Tabella 8.

Tabella 8. Risultati della valutazione a livello di criterio, e complessiva nelle tre sottoregioni (MWE = Mar Mediterraneo occidentale; MIC = Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale; MAD = Mar Adriatico) del raggiungimento del traguardo ambientale T4.1 (target "conseguito" in verde; target "non conseguito" in rosso; target "sconosciuto" in giallo; target "non valutato" in grigio).

Gilda trofica	Sottoregione					
	MWE	MIC	MAD	MWE	MIC	MAD
	Valutazione criterio D4C1			Valutazione criterio D4C2		
Gruppo A						
Invertebrati bentivori (<i>benthic feeding invertebrates</i>) - INV_BENT	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Pesci e invertebrati planctivori (<i>planktivorous fish and invertebrates</i>) - PESC_INV_PLANC	Red	Green	Green	Green	Green	Green
Predatori pelagici subapicali (<i>sub-apex pelagic predators</i>) - PRED_PEL_SUB	Red	Red	Green	Green	Green	Green
Predatori demersali subapicali (<i>sub-apex demersal predators</i>) - PRED_DEM_SUB	Red	Red	Green	Green	Green	Green
Pesci predatori apicali (<i>apex fish predators</i>) - PRED_AP	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Comunità: Shannon-Weiner (H), Kempton (Q), beta-diversità (BD)				Green	Red	Green

Poiché la valutazione del raggiungimento del Target 4.1 viene condotta a livello di Descrittore (integrando i risultati dei criteri D4C1 e D4C2), il target ambientale appare conseguito nella sottoregione Mar Adriatico (MAD), mentre per le altre due sottoregioni - nelle quali per alcune gilde sono presenti differenze significative indicative di un possibile peggioramento dello stato ambientale - il target non è stato conseguito.

3. Attività di monitoraggio in corso e prospettive future per il consolidamento degli approcci al D4

Lo sviluppo dell'approccio alla valutazione del Descrittore 4 è, come già affermato dalla Commissione (EC, 2022), in una fase iniziale. In particolare, da un lato l'utilizzo delle gilde trofiche e la definizione di valori soglia appare ancora preliminare. Dall'altra, è necessario che il nesso tra stato ambientale (espresso attraverso le gilde) e le pressioni (inclusi i cambiamenti climatici) sia adeguatamente compreso per permettere di definire obiettivi (e misure di intervento) adeguati. In tal senso nell'ambito dei programmi nazionali MSFD D4-01 e D4-02 sono in fase di realizzazione degli approfondimenti specifici che permetteranno, nel prossimo ciclo di valutazione, di migliorare l'approccio nazionale al Descrittore 4. Si sottolinea infine come le sinergie con lo sviluppo dei Descrittori 1 e 5 permetterà di tracciare anche l'andamento di altre gilde trofiche in particolare per la parte dei produttori (primari, e secondari) e dei predatori apicali.

3.1 Programma di monitoraggio D4-01 - sviluppo di modelli per la stima degli indicatori associati

Gli indicatori associati ai criteri del Descrittore 4 possono essere calcolati anche utilizzando le stime di biomassa ottenuta tramite modellistica ecologica (EU, 2022). L'analisi dei risultati da modello è fatta in maniera del tutto simile a quanto fatto per i risultati degli indicatori calcolati sui dati MEDITS, ma nei modelli sono rappresentate tutte le 10 gilde trofiche, che a loro volta sono definite da gruppi funzionali e non da specie.

Nel contesto del programma di monitoraggio D4-01, sono state condotte le analisi che si basano sugli output dei modelli di ecosistema già sviluppati relativi alle sottoregioni Mar Adriatico (MAD) e Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale (MIC):

1. MAD: modello dell'Adriatico (GSAs 17 e 18) documentato in "Deliverable D4.7.1 – Calibrated Ecopath with Ecosim model for the Adriatic and Ionian region" del Progetto FAIRSEA Interreg IT-HR (2019-2021).
2. MIC: modello dello Stretto di Sicilia (GSAs 16 e 15), documentato in Agnetta et al. (2019, 2022). Modello dello Ionio nord-occidentale (GSA 19), documentato in FAIRSEA (2021; "Deliverable D4.7.1 – Calibrated Ecopath with Ecosim model for the Adriatic and Ionian region" del Progetto FAIRSEA Interreg IT-HR (2019-2021)).

Tutti i modelli sopra riportati sono modelli di rete trofica, con una struttura simile, sviluppati con il software Ecopath with Ecosim (EwE, www.ecopath.org) e calibrati (Agnetta et al., 2022, FAIRSEA Deliverable D4.7.1 –

Calibrated Ecopath with Ecosim model for the Adriatic and Ionian region) con serie temporali di dati ufficiali relativi a biomasse (es. MEDITS) e catture (DCF).

L'utilizzo di modelli permette di valutare la sensibilità delle simulazioni della rete trofica alle variazioni della biomassa di singoli gruppi funzionali, esaminando contemporaneamente la sensibilità alle variazioni degli indicatori di alfa e beta diversità, così come quelli del livello trofico medio. L'utilizzo di modelli permette anche di fare simulazioni future e studiare l'impatto sulle reti trofiche di forzanti ambientali e antropiche quali ad esempio, gli effetti dei cambiamenti climatici. Dopo la prima fase di sviluppo nel periodo 2012-2023 è previsto il consolidamento degli approcci modellistici nel prossimo triennio 2024-2026.

3.2 Programma di monitoraggio D4-02 - identificazione delle gilde trofiche

Al fine del consolidamento dell'approccio al Descrittore 4 è necessario poter assegnare le specie a gilde trofiche in modo univoco, oltre che esser in grado di stimare in modo corretto il livello trofico, tenendo conto anche delle differenze ecologiche tra sottoregioni marine. In tal senso il programma D4-02 ha come scopo la determinazione della firma isotopica di specie marine nei diversi ecosistemi, oltre che la caratterizzazione di come gli stessi (ed in particolare i rapporti degli isotopi stabili di carbonio e azoto nella componente planctonica) rispondano alle diverse forzanti ambientali. Il livello trofico rappresenta infatti la posizione degli organismi all'interno delle reti trofiche. I livelli trofici possono essere stimati mediante analisi degli isotopi stabili.

Il calcolo per la stima del livello trofico di un consumatore secondario utilizza le misure del $\delta^{15}\text{N}$, seguendo la seguente equazione (McCutchan et al., 2003; Post, 2002):

$$TL = \lambda + (\delta^{15}\text{N consumatore secondario} - \delta^{15}\text{N Nbase}) / Dn$$

dove TL è il livello trofico, λ è la posizione trofica dell'organismo utilizzata per stimare $\delta^{15}\text{N}$ base (ad esempio, $\lambda = 1$ per i produttori primari, $\lambda = 2$ per i produttori secondari), $\delta^{15}\text{N}_{\text{consumatore secondario}}$ viene misurato direttamente e Dn è l'arricchimento in $\delta^{15}\text{N}$ per livello trofico, normalmente assunto in 3.4‰.

Quando si confrontano gli ecosistemi, i valori $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ di un organismo da soli forniscono poche informazioni sulla sua posizione trofica assoluta o sulla fonte di carbonio. Questo perché vi sono notevoli differenze tra gli ecosistemi nei valori di $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ della base della rete alimentare ($\delta^{15}\text{N}_{\text{base}}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{base}}$) da cui gli organismi traggono azoto e carbonio. Per tale motivo, all'interno del triennio di monitoraggio 2021-2023 sono state eseguite delle indagini isotopiche su campioni di fitoplancton, zooplancton e particolato sospeso nelle tre sottoregioni MSFD, al fine di valutare la possibilità di ottenere delle baseline specifiche per

le sottoregioni. A tale scopo sono stati utilizzati modelli di mixing isotopico mediante l'uso di tecniche di statistica Bayesiana avanzata.

I risultati preliminari dei valori isotopici del $\delta^{15}\text{N}$ ottenuti hanno evidenziato differenze significative tra i valori medi dei tre sottobacini per lo zooplancton (MAD 6,77‰ > MIC 4,70‰ > MWE 3,49‰), suggerendo come il calcolo dei livelli trofici nelle rispettive reti alimentari possa variare in relazione a diverse baseline specifiche a livello geografico.

Le distribuzioni delle medie del $\delta^{13}\text{C}$ evidenziato, a differenza del $\delta^{15}\text{N}$, l'assenza di differenze statisticamente significative tra le tre subregioni MAD, MIC e MWE. Le medie sono risultate rispettivamente -21,97‰, -21,52‰ e -21,50‰.

Tale dato verrà consolidato nella prossima programmazione 2024-2026, unitamente alla capitalizzazione del database isotopico del Mediterraneo costruito sulla base della integrazione di dati di letteratura del periodo 2009-2021 e di dati rilevati con analisi condotte ad hoc nell'ambito del programma D4-02.

Mediante approcci bayesiani di mixing (SIAR) è stato possibile stimare quantitativamente il contributo percentuale di cinque fonti per il seston (particellato/fitoplancton) nelle tre sottoregioni, evidenziando come le fonti terrestri prevalgono nel MAD (particellato fluviale, depuratori e scarichi non trattati, 67%) mentre nel MWE risulta predominante la componente autoctona marina (fitoplancton marino e macrofite, 54%).

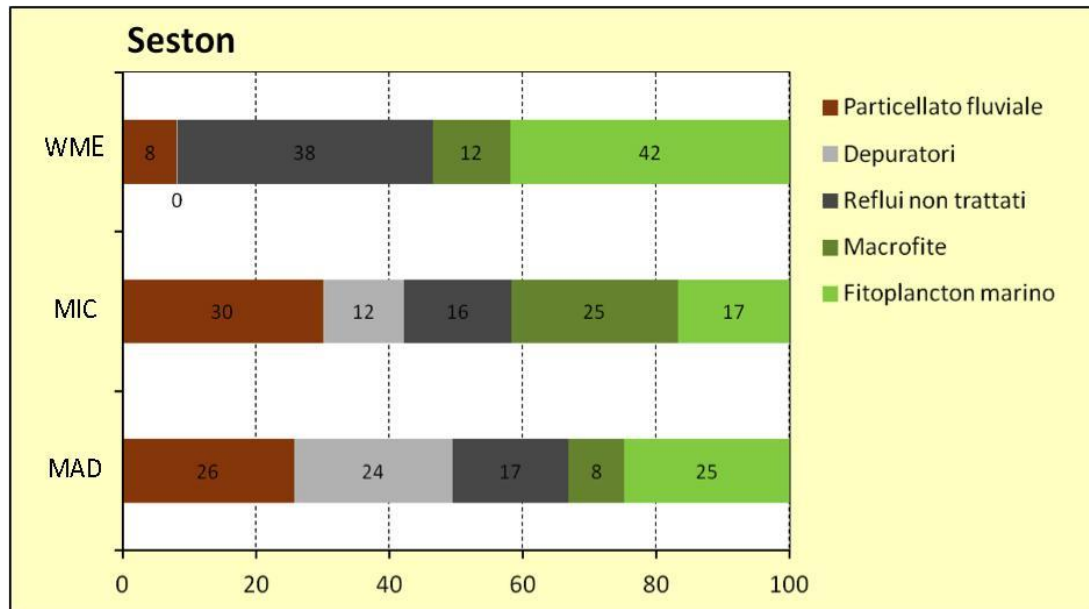


Figura 3. Distribuzione percentuale dei vari contributi al seston (particellato/fitoplancton) per i diversi sottobacini. (MWE = Mar Mediterraneo occidentale; MIC = Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale; MAD = Mar Adriatico).

Il contributo proporzionale alla dieta dello zooplancton ha evidenziato l'uso preferenziale del seston nel MAD (46%) mentre nel MWE la principale fonte di cibo è ascrivibile alla sostanza organica disciolta (55%).

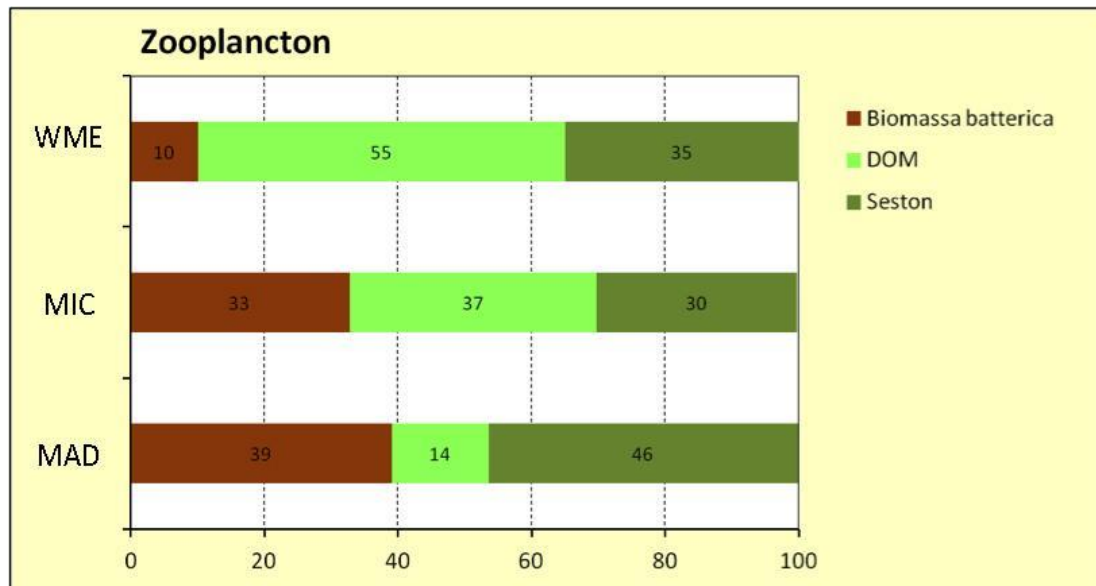


Figura 4. Distribuzione percentuale dei vari contributi al zooplancton per le diverse sottoregioni. (MWE = Mar Mediterraneo occidentale; MIC = Mar Ionio e Mar Mediterraneo centrale; MAD = Mar Adriatico).

Alla luce dei risultati ottenuti dall'analisi isotopica e dall'applicazione dei modelli bayesiani si può ritenere sufficientemente robusta la scelta della componente zooplanctonica quale baseline per la definizione dei livelli trofici.

4. Bibliografia

- 2010/477/EU: Commission Decision of 1 September 2010 on criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters (notified under document C(2010) 5956) Text with EEA relevance.
- AA.VV. (2016) MEDITS-Handbook. Version n. 8, 2016, MEDITS Working Group: 177 pp.
- Anderson, M. J., Ellingsen, K. E., & McArdle, B. H. (2006) Multivariate dispersion as a measure of beta diversity. *Ecology letters*, 9(6), 683-693.
- European Commission (2022) MSFD CIS Guidance Document No. 19, Article 8 MSFD, May 2022.
<https://doi.org/10.17895/ices.pub.19283912>
- ICES (2015) Report of the Workshop on guidance for the review of MSFD decision descriptor 4 – foodwebs II (WKGMSFDD4-II), 24-25 February 2015, ICES Headquarters, Denmark. ICES CM 2015\ACOM:49. 52 pp.
- Kempton, R. A., and L. R. Taylor (1976) "Models and statistics for species diversity." *Nature* 262.5571: 818-820.
- Legendre, P., & Gallagher, E. D. (2001) Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia*, 129(2), 271-280.
- Legendre, P., Borcard, D. and Peres-Neto, P.R., (2005) Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. *Ecological monographs*, 75(4), pp. 435-450.
- Legendre, Pierre, and Louis Legendre (2012) *Numerical ecology*. Elsevier.
- Legendre, Pierre, and Miquel De Cáceres (2013) Beta diversity as the variance of community data: dissimilarity coefficients and partitioning. *Ecology letters* 16, no. 8 (2013): 951-963.
- McCutchan, J.H., Jr, Lewis, W.M., Jr, Kendall, C. and McGrath, C.C. (2003) Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur. *Oikos*, 102: 378-390. <https://doi.org/10.1034/j>.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R., & Torres Jr, F. (1998). Fishing down marine food webs. *Science*, 279(5352), 860-863.
- Post, D.M. (2002) Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions. *Ecology*, 83: 703-718. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[0703:USITET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[0703:USITET]2.0.CO;2)