



Autorità di Sistema Portuale
del Mare di Sicilia Occidentale

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale

PORTO DI PALERMO COMPLETAMENTO DEL MOLO FORANEO DEL PORTO DELL'ARENELLA

CUP: I71J19000040005 (OPERA PNRR) - CIG: 9073719DC8



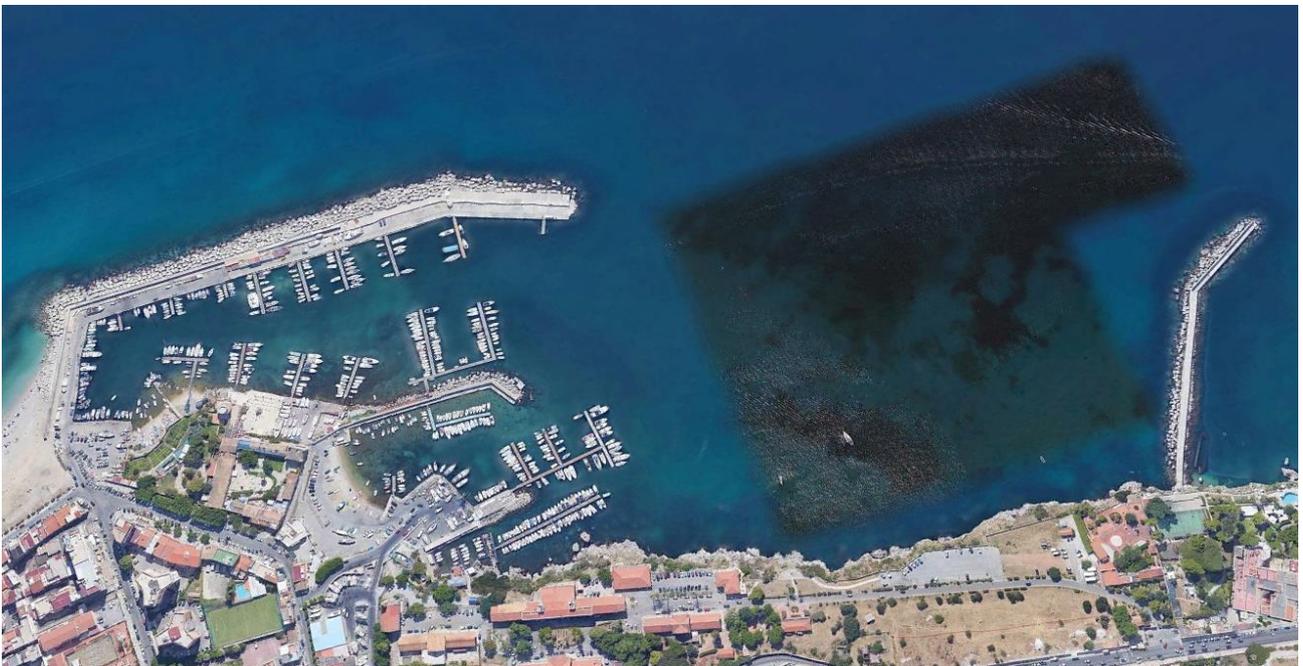
PMA.02 - Integrazione del Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) per gli aspetti di biodiversità marina

(a cura di Biosurvey srl - Resp. Scientifico Prof. S. Calvo)

versione:	descrizione:	preparato:	controllo:	approvato:	data:
01	EMISSIONE	SC	SC	SC	DIC 2022
02	REVISIONE A SEGUITO NOTA MASE	SC	SC	SC	LUG 2023

COMPLETAMENTO DEL MOLO FORANEO DEL PORTO DELL'ARENELLA (PALERMO):

**Integrazione del Piano di Monitoraggio Ambientale
(PMA) per gli aspetti di biodiversità marina**



luglio 2023

Sommario

PREMESSA.....	3
METODI E TECNICHE.....	4
Area di studio e scelta delle stazioni di monitoraggio	4
PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE (PMA)	6
Monitoraggio della colonna d'acqua.....	6
Valutazioni chimico-fisiche, trofiche ed igienico-sanitarie	6
Indice Trofico TRIX	9
Indice di torbidità TRBX	10
Monitoraggio della prateria di <i>P. oceanica</i>	12
Piano di campionamento e monitoraggio.....	12
Descrittori strutturali	13
Fenologia.....	16
Indici ecologici.....	17
Comunità epifitica delle foglie.....	20
Balisage.....	21
Fotomosaico del fondale	21
Monitoraggio del macrozoobenthos.....	22
Determinazioni analitiche nella matrice biota e/o delle sostanze prioritarie	24
Monitoraggio dei sedimenti e test di tossicità.....	25
CRONOPROGRAMMA	26
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI CITATI NEL TESTO.....	28

PREMESSA

Nell'ambito del “Fondo Complementare al PNRR - Porto di Palermo (Arenella), relativo al completamento molo foraneo Porto Arenella - CUP: i71j19000040005”, con Decreto n. 320 del 10.11.2022 del Presidente della AdSP del Mare di Sicilia Occidentale, è stato affidato a Biosurvey S.r.l. il “Servizio tecnico in Biologia Marina finalizzato alla presentazione della nuova procedura di VIA presso il MITE - SMARTCIG: Z47386E036”.

Il Servizio consiste nell'esecuzione delle seguenti prestazioni:

- a) *caratterizzazione e qualificazione della prateria di Posidonia oceanica potenzialmente interferita dalle azioni di progetto;*
- b) *integrazione del Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) per gli aspetti di biodiversità marina;*
- c) *progetto di riforestazione come compensazione dell'impatto dell'opera;*
- d) *aggiornamento della Valutazione preliminare (screening) di Incidenza Ambientale – V.Inc.A.*

Il presente rapporto ha come obiettivo l'integrazione del Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) per gli aspetti di biodiversità marina, per verificare gli eventuali effetti ed impatti sull'ecosistema marino costiero durante la fase *ante operam*, di cantiere (*durante*) e di esercizio (*post operam*) per almeno tre anni dall'entrata in esercizio dell'opera.

METODI E TECNICHE

Area di studio e scelta delle stazioni di monitoraggio

L'area potenzialmente interessata dal prolungamento del molo foraneo del porto dell'Arenella è localizzata nel settore nord occidentale del Golfo di Palermo, tra le aree portuali di Arenella e Acquisanta (Figura 1).



Figura 1 – Golfo di Palermo. Il rettangolo rosso delimita l'area di studio localizzata tra il porti Arenella e Acquisanta.

L'indagine condotta preliminarmente per caratterizzare e qualificare la prateria di *P. oceanica* potenzialmente interferita dalle azioni di progetto, ha evidenziato uno stato di alterazione e regressione della prateria e, indirettamente, del contesto ambientale nel suo complesso.

Pertanto, in relazione alle caratteristiche ambientali dell'area e alle dimensioni dell'opera, ai fini della predisposizione del PMA sono state selezionate quattro stazioni di misura e prelievo di variabili fisiche, chimiche, biologiche e microbiologiche (Figura 2 e Tabella 1).

In particolare, al fine di valutare il potenziale impatto del prolungamento del molo foraneo del porto dell'Arenella, sono state selezionate le stesse le stazioni (**St_1_IMP**, **St_2_IMP**, **St_3_IMP**) che sono state oggetto di una indagine finalizzata a caratterizzare e qualificare la prateria di *P. oceanica* presente nei fondali tra le aree portuali di Arenella e Acquisanta; invece la stazione di controllo

(St_4_CTR) è stata individuata su un fondale colonizzato da una prateria di *P. oceanica* su *matte* a circa 4 km a nord dal porto dell'Arenella, tra la ex discarica di Vergine Maria e P.ta di Priola (Figura 2).



Figura 2 – Rappresentazione grafica e localizzazione delle 4 stazioni di monitoraggio e dell'area potenzialmente interferita dal prolungamento del molo foraneo del porto dell'Arenella.

Tabella 1 - Coordinate delle stazioni di misura e prelievo.

Stazione	Profondità	Latitudine	Longitudine	Coordinate UTM 33 S	
St 1_IMP	12,0	38° 8'51.02"N	13°22'28.20"E	357567.13 m E	4223429.55 m N
St 2_IMP	12,6	38° 8'48.36"N	13°22'27.22"E	357542.99 m E	4223348.24 m N
St 3_IMP	14,0	38° 8'44.36"N	13°22'26.57"E	357524.18 m E	4223225.36 m N
St 4_CTR	13,0	38°11'16.88"N	13°22'10.95"E	357226.39 m E	4227932.80 m N

PIANO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE (PMA)

Il presente rapporto ha come obiettivo di integrare il PMA per gli aspetti di biodiversità marina, per valutare gli eventuali effetti ed impatti sull'ecosistema marino costiero durante la fase *ante operam*, di cantiere (*durante*) e di esercizio (*post operam*) per almeno tre anni dal completamento del molo foraneo del Porto dell'Arenella, **con particolare riferimento alla qualità della colonna d'acqua ed allo status delle biocenosi potenzialmente interessate dal completamento del molo foraneo del Porto dell'Arenella.**

Sono state individuate nella colonna d'acqua, nella prateria di *P. oceanica* e nelle comunità macrozoobentoniche di fondi mobili le matrici ambientali dove analizzare indicatori e indici ambientali e biotici, idonei a valutare eventuali effetti dell'opera sull'ambiente marino costiero.

Pertanto, nelle quattro stazioni indicate in Figura 2 e Tabella 1 saranno monitorate attraverso indicatori e indici ambientali e biotici:

- ✓ *La qualità chimico-fisica e le condizioni trofiche ed igienico sanitarie della colonna d'acqua.*
- ✓ *La prateria di *P. oceanica*.*
- ✓ *La comunità a macroinvertebrati bentonici.*
- ✓ *Le caratteristiche chimiche e fisiche dei sedimenti.*

Inoltre, è stata prevista le modalità e la frequenza di acquisizione e di restituzione dei dati, in modo da consentire, qualora necessario, di indicare in tempo utile ulteriori misure di mitigazione da adottare per preservare e proteggere l'ecosistema marino.

Monitoraggio della colonna d'acqua

Valutazioni chimico-fisiche, trofiche ed igienico-sanitarie

Con la finalità di monitorare lo stato del corpo idrico potenzialmente interessato dalle attività connesse al prolungamento del molo foraneo del Porto Dell'Arenella, saranno effettuate misure lungo un profilo verticale mediante sonda multiparametrica dei principali parametri fisico chimici e biologici, misure di trasparenza al disco di Secchi e prelievo di campioni di acqua per le analisi di laboratorio nelle quattro stazioni riportate in Figura 1 a Tabella 1.

In ogni stazione saranno effettuate le seguenti misure e prelievi:

- Misure *in situ* dei principali parametri fisico-chimici (temperatura, pH, conducibilità, salinità, O.D., Eh, torbidità), biologici (clorofilla “a”) lungo la colonna d’acqua.
- Misure di trasparenza al disco di Secchi.
- Prelievo di campioni sub-superficiali per la misura in laboratorio dell’azoto minerale disciolto (N-NO₃ + N-NO₂ + N-NH₃), dei Solidi Sospesi Totali (SST), del fosforo totale e dell’azoto totale.
- Prelievo di campioni sub-superficiali per la stima dei principali parametri igienico-sanitari (Escherichia coli, Enterococchi intestinali e Coliformi totali).
- Prelievo di campioni sub-superficiali per analisi di Idrocarburi C>12, MTBE (Metil-t-butil etere), TBT (Tributilstagno), Metalli pesanti e Idrocarburi Policiclici Aromatici.

La Tabella 2 riporta i parametri da misurare e analizzare nella colonna d’acqua.

Tabella 2 – Parametri relativi alla colonna d’acqua da misurare in campo e analizzare in laboratorio.

Set parametri nelle acque	
Parametro	Determinazione
Temperatura	in campo
pH	in campo
Salinità	in campo
Conducibilità	in campo
Ossigeno disciolto (mg/l)	in campo
Ossigeno disciolto [%]	in campo
Potenziale Redox	in campo
Torbidità	in campo
Trasparenza disco Secchi	in campo
Clorofilla-a	in campo/laboratorio
Solidi Sospesi Totali	in laboratorio
Nitriti	in laboratorio
Nitrati	in laboratorio
Azoto ammoniacale	in laboratorio
Azoto totale	in laboratorio
Fosforo totale	in laboratorio
Idrocarburi C>12	in laboratorio
MTBE (Metil-t-butil etere)	in laboratorio
TBT (Tributilstagno)	in laboratorio
METALLI	
Antimonio	in laboratorio
Manganese	in laboratorio
Cobalto	in laboratorio
Tallio	in laboratorio
Vanadio	in laboratorio
Arsenico	in laboratorio
Cadmio	in laboratorio
Cromo Totale	in laboratorio
Mercurio e composti	in laboratorio
Nichel	in laboratorio
Piombo	in laboratorio
Rame	in laboratorio
Zinco	in laboratorio
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	
Naphthalene	in laboratorio
Acenaphthylene	in laboratorio
Acenaphthene	in laboratorio
Fluorene	in laboratorio
Phenanthrene	in laboratorio
Anthracene	in laboratorio
Fluoranthene	in laboratorio
Pyrene	in laboratorio
Benz[a]anthracene	in laboratorio
Chrysene	in laboratorio
Benzo[b]fluoranthene	in laboratorio
Benzo[k]fluoranthene	in laboratorio
Benzo[e]pyrene	in laboratorio
Benzo[a]pyrene	in laboratorio
Dibenzo[a,l]pyrene	in laboratorio
Dibenzo[a,e]pyrene	in laboratorio
Dibenzo[a,i]pyrene	in laboratorio
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	in laboratorio
Dibenz[a,h]anthracene	in laboratorio
Dibenzo[a,h]pyrene	in laboratorio
Benzo[ghi]perylene	in laboratorio
Sommatoria	in laboratorio

Indice Trofico TRIX

Al fine di qualificare sotto l'aspetto trofico l'ambiente marino saranno utilizzati degli indici, ottenuti da una combinazione lineare di fattori, che consentono di ordinare in classi di trofia le acque costiere (Indice Trofico TRIX) e di valutare attraverso un Indice di Torbidità (TRBIX) il contributo delle biomasse e del particolato minerale alla trasparenza dell'acqua (Vollenweider *et al.*, 1989).

In particolare, l'indice TRIX è una combinazione lineare di indicatori ambientali quali il fosforo totale, l'azoto minerale disciolto, la clorofilla "a" e l'ossigeno disciolto che rappresentano fattori nutrizionali, disponibili e/o direttamente espressione di produttività. L'impiego del TRIX, integrando nell'indice più fattori, consente;

- ✓ di ridurre la complessità dei sistemi marini costieri;
- ✓ di conseguire un giudizio più oggettivo delle condizioni trofiche dei corpi idrici esaminati;
- ✓ di discriminare tra differenti situazioni spazio-temporali, rendendo possibile un confronto quantitativo.

L'Indice Trofico TRIX si calcola con la seguente formula:

$$TRIX = \frac{\log_{10}(Chl \cdot |100 - O_2\%| \cdot N \cdot P) + a}{b}$$

dove:

Chl (mg/m³) = clorofilla "a"

O.D. (%) = [100 - O.D.%] (espresso in valore assoluto come deviazione dalla saturazione)

N (mg/m³) = Azoto minerale disciolto (N-NO₃ + N-NO₂ + N-NH₃)

P (mg/m³) = Fosforo totale

a = 1,5

b = 1,2

I valori di tale indice discriminano 4 classi e risultano compresi tra 0 (oligotrofia) e 10 (eutrofia) secondo Vollenweider *et al.* (1989), sebbene vada rilevato che nella maggioranza dei casi i valori vanno tra 2 e 8, come peraltro prevede il D. Lgs. 152/99. Nella Tabella 3 sono riportate la classificazione e le condizioni delle acque marine costiere in base alla scala trofica secondo Vollenweider *et al.* (1989) e secondo il D.Lgs. n.152 dell'11 maggio 1999.

Tabella 3 - Classificazione delle acque marine costiere in base all'Indice trofico TRIX (Allegato 1 – D. Lgs. 152/99).

SCALA TROFICA	STATO	CONDIZIONI
2-4	Elevato	Acque scarsamente produttive Livello di trofia basso Buona trasparenza delle acque Assenza di anomale colorazioni delle acque Assenza di ipossie/anossie
4-5	Buono	Acque moderatamente produttive Livello di trofia medio Occasionali intorbidimenti delle acque Occasionali anomale colorazioni delle acque Occasionali ipossie
5-6	Mediocre	Acque molto produttive Livello di trofia elevato Scarsa trasparenza delle acque Anomali colorazioni delle acque Ipossie e occasionali anossie Stato di sofferenza a livello di ecosistema bentonico
6-8	Scadente	Acque fortemente produttive Livello di trofia molto elevato Elevata torbidità delle acque Diffuse e persistenti anomalie nella colorazione delle acque Diffuse e persistenti ipossie/anossie Morie di organismi Alterazione/semplicificazione delle comunità bentoniche Danni economici nei settori del turismo, pesca ed acquacoltura

Classe	TRIX	Trofia
1	0-3,9	Bassa
2	4-4,8	Media
3	4,9-5,6	Elevata
4	5,7-10	Molto elevata

Secondo Vollenweider *et al.* (1989)

Classe	TRIX	Stato
1	2 - 4	ELEVATO
2	4 - 5	BUONO
3	5 - 6	MEDIOCRE
4	6 - 8	SCADENTE

Secondo il D.Lgs. 152/99

Indice di torbidità TRBX

La qualità dell'ecosistema marino sarà ulteriormente valutata attraverso un apposito Indice di Torbidità (TRBIX = Turbidity Index) elaborato da Vollenweider *et al.* (1989). È noto che la trasparenza negli ecosistemi acquatici è la risultante di almeno tre componenti che determinano l'attenuazione della intensità luminosa lungo il gradiente di profondità ed i processi di "scattering":

- le sostanze organiche disciolte come ad esempio gli acidi umici;
- la biomassa;
- la torbidità dovuta al particellato minerale.

Si può assumere che, eccetto particolari situazioni, le sostanze organiche disciolte non contribuiscono, a breve scala temporale, alla variabilità della trasparenza delle acque marine; questa è pertanto determinata essenzialmente dalla biomassa fitoplanctonica e dal particolato inorganico minerale in sospensione.

Se l'assorbimento della luce lungo la colonna d'acqua è dovuto principalmente alla biomassa, allora le acque, a qualsiasi grado di trasparenza, sono “*biomasse sature*”; per cui esiste una relazione tra la trasparenza espressa come profondità di Disco Secchi ed il massimo possibile della biomassa.

Se è presente una torbidità di carattere minerale allora le acque possono essere “*biomasse sature*” e le concentrazioni di queste biomasse sono al di sotto di questo potenziale.

È stata ricavata una semplice relazione tra clorofilla e trasparenza sotto condizioni di saturazione ottica in termini di clorofilla “a”:

$$\text{TRSP}_{(p)} = 30/\text{CHL}^a \text{”a”}^{(0,7)}$$

Range di variabilità:	Clorofilla	da 0,2 a 300 mg/m ³
	Trasparenza	da 48 a 0,3 m

La relazione Torbidità/Clorofilla (TRBR = Turbidity Ratio) è definita dal rapporto tra la trasparenza potenziale (TRSP_(p)) e la trasparenza attuale (TRSP_(a)) misurata con disco di Secchi:

$$\text{TRBR} = \text{TRSP}_{(p)} / \text{TRSP}_{(a)}$$

L'Indice di Torbidità (TRBIX) è calcolato come logaritmo in base 2 del TRBR

$$\text{TRBIX} = \text{Log}_2 (\text{TRBR})$$

I valori ottenibili dal calcolo del TRBIX ed i relativi giudizi sintetici sono di schematizzati seguito:

- TRBIX = 0 le acque sono otticamente biosature riguardo la clorofilla
- TRBIX = 1 il contributo della clorofilla e del particolato inorganico risulta equivalente
- TRBIX = 2 la clorofilla contribuisce per 1/4
- TRBIX = 3 la clorofilla contribuisce per 1/8
- TRBIX = 4 la clorofilla contribuisce per 1/16

Monitoraggio della prateria di *P. oceanica*

Piano di campionamento e monitoraggio

Il monitoraggio sulla prateria di *P. oceanica* sarà svolto nelle quattro stazioni riportate in Figura 2 e Tabella 1. La strategia di monitoraggio proposta si sviluppa a partire e in coerenza con le indicazioni di cui alle “Specifiche per il piano di monitoraggio relativo alle praterie di *P. oceanica*” (ICRAM - APAT), e tiene conto della più recente e qualificata letteratura scientifica sul tema.

In particolare, nelle stazioni di *P. oceanica* il campionamento prevede di seguire una metodologia gerarchica secondo lo schema riportato in Figura 3.

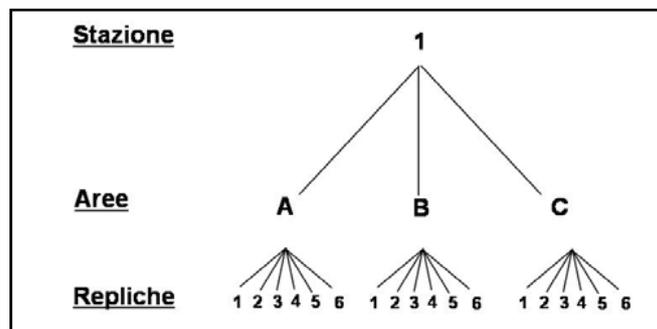


Figura 3 - Schema di una strategia di campionamento gerarchica.

La strategia di campionamento gerarchica consente di avere una confidenza statistica elevata e di ridurre la probabilità di includere errori di interpretazione dei dati dovuti alla variabilità naturale della prateria.

In particolare, la strategia prevista per ciascuna delle stazioni, include per ogni stazione la definizione di 3 aree di circa 400 m² secondo lo schema riportato in Figura 4.

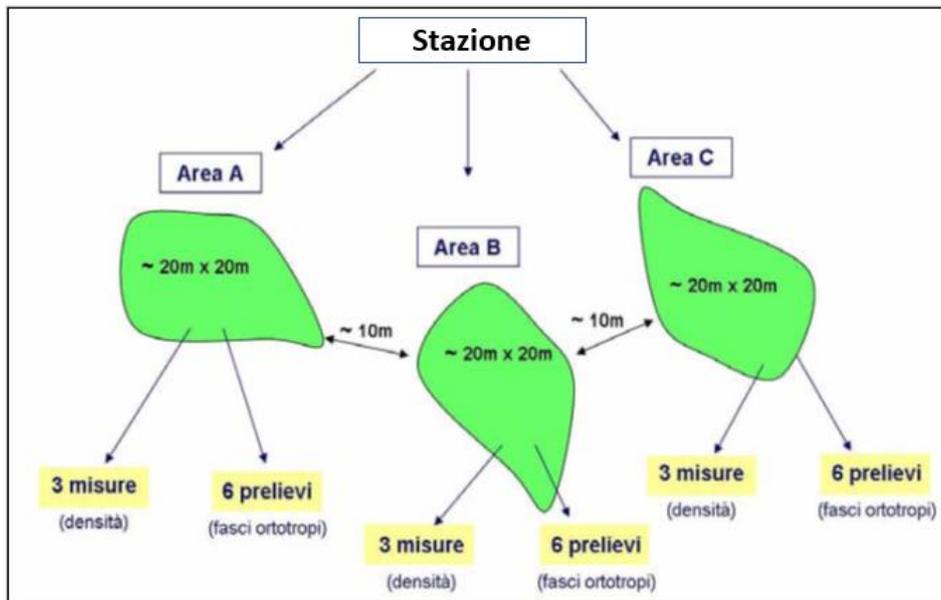


Figura 4 - Strategia di campionamento gerarchica, proposta per il monitoraggio di *P. oceanica*.

In ciascuna delle aree riportate, al fine di uniformare le metodiche di campionamento e di analisi dei dati il piano di campionamento, si segue lo schema descritto in Figura 3 dove, per ogni stazione, saranno effettuate:

- ✓ 3 repliche per le misure di densità;
- ✓ 6 repliche per i prelievi di fasci ortotropi.

Le repliche all'interno di ogni area saranno effettuate almeno 1,0m – 1,5m l'una dall'altra. In totale, quindi, in corrispondenza di ciascuna stazione saranno effettuate 9 misure di densità e prelevati 18 fasci ortotropi.

Descrittori strutturali

In ogni stazione, oltre alle misure e i prelievi di cui sopra, saranno effettuate delle stime relative a:

- ✓ Ricoprimto della prateria;
- ✓ Tipologia del substrato;
- ✓ Continuità della prateria;
- ✓ Percentuale di copertura a *matte* morta;
- ✓ Percentuale di copertura di specie algali autoctone e alloctone appartenenti al genere *Caulerpa*;

- ✓ Percentuale di copertura di *Cymodocea nodosa*.

Scheda di monitoraggio: Stazione		Luogo		data	
Operatore		Profondità		Coordinate Geografiche	
Parametro	AREA A	AREA B	AREA C		
Continuità della prateria	<input type="checkbox"/> Continua <input type="checkbox"/> Discontinua	<input type="checkbox"/> Continua <input type="checkbox"/> Discontinua	<input type="checkbox"/> Continua <input type="checkbox"/> Discontinua		
Ricoprimento % matte morta					
Ricoprimento % <i>P. oceanica</i> viva					
Ricoprimento % <i>Caulerpa cylindracea</i>					
Ricoprimento % <i>Cymodocea nodosa</i>					
Tipo di substrato	<input type="checkbox"/> Roccia <input type="checkbox"/> Sabbia <input type="checkbox"/> Matte	<input type="checkbox"/> Roccia <input type="checkbox"/> Sabbia <input type="checkbox"/> Matte	<input type="checkbox"/> Roccia <input type="checkbox"/> Sabbia <input type="checkbox"/> Matte		
Fonti di disturbo evidenti	<input type="checkbox"/> Presenza <input type="checkbox"/> Assenza	<input type="checkbox"/> Presenza <input type="checkbox"/> Assenza	<input type="checkbox"/> Presenza <input type="checkbox"/> Assenza		
Composizione prateria	<input type="checkbox"/> Pura <input type="checkbox"/> Mista	<input type="checkbox"/> Pura <input type="checkbox"/> Mista	<input type="checkbox"/> Pura <input type="checkbox"/> Mista		
Presenza alghe alloctone	<input type="checkbox"/> <i>C. cylindracea</i> <input type="checkbox"/> <i>C. taxifolia</i> <input type="checkbox"/> Entrambe	<input type="checkbox"/> <i>C. cylindracea</i> <input type="checkbox"/> <i>C. taxifolia</i> <input type="checkbox"/> Entrambe	<input type="checkbox"/> <i>C. cylindracea</i> <input type="checkbox"/> <i>C. taxifolia</i> <input type="checkbox"/> Entrambe		
Densità dei fasci fogliari Numero fasci / quadrato 50*50					

Osservazioni:

La densità è uno dei descrittori di macroripartizione più in uso nelle indagini sullo stato delle praterie di *P. oceanica*. Essa serve per valutare l'importanza quantitativa di una formazione vegetale (Giraud, 1977; Panayotidis *et al.*, 1981); l'analisi dei dati pluriennali di densità rende conto della dinamica dell'entità prateria nel tempo, permettendo di risalire, in maniera diretta, ai fenomeni evolutivi che la governano (Chessa *et al.*, 1995).

La stima della densità sarà effettuata mediante conta *in situ* dei fascicoli fogliari in quadrati di 50 cm di lato all'interno della prateria di *P. oceanica*. Tale conta sarà replicata 9 volte per stazione ed i risultati saranno estrapolati ad 1 m² (Panayotidis *et al.*, 1981).

Tra i criteri di classificazione basati sulla densità e riportati in letteratura, sarà utilizzato sia quello indicato da Giraud (1977) che quello proposto da Pergent *et al.* (1995); quest'ultimo tiene conto della variazione della densità lungo il gradiente batimetrico. Nella Figura 5 e nelle Tabelle 4 e 5 sono riportati i due sistemi di classificazione.

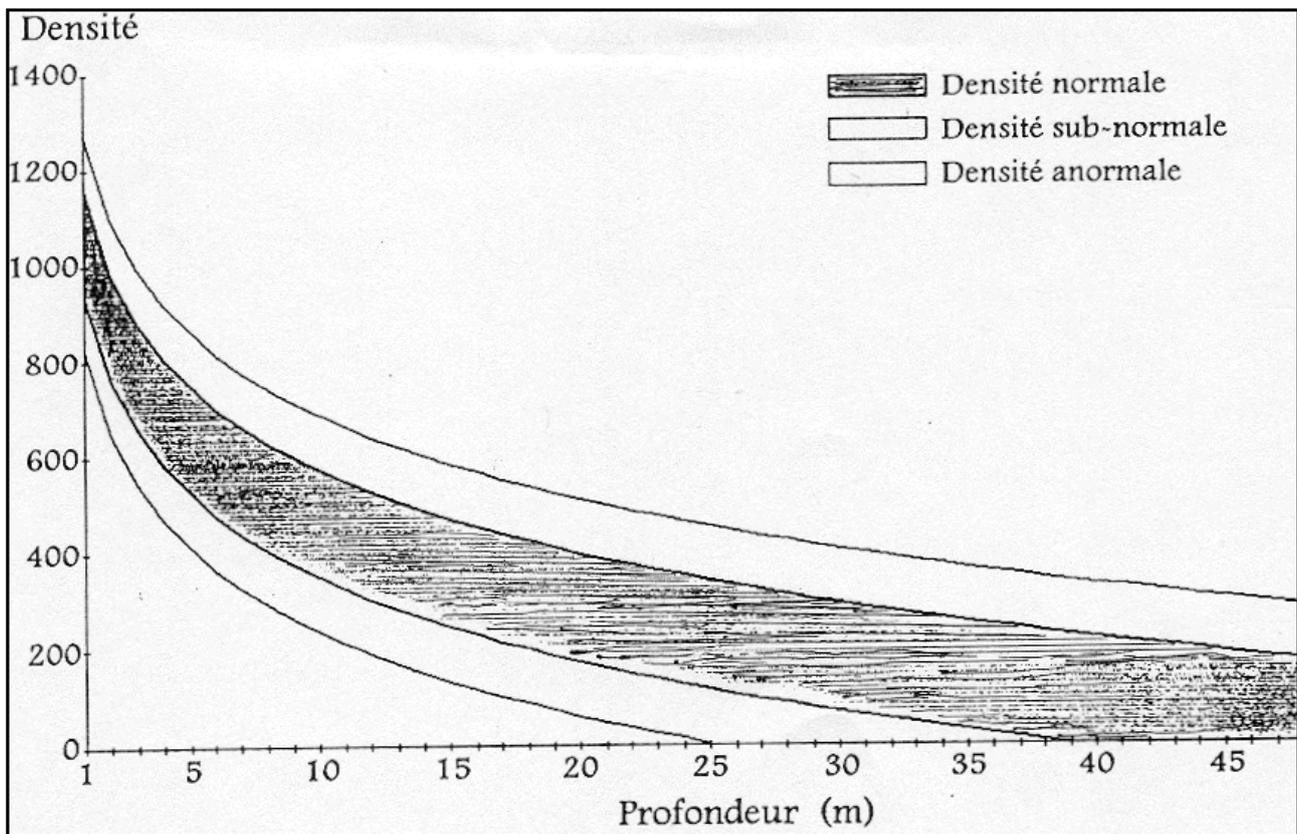


Figura 5 - Classificazione della densità della prateria in funzione della profondità.

Tabella 4 - Classificazione delle praterie in base alla densità dei fasci (da Giraud, 1977).

Classe	Densità dei fasci	Stima di densità
I	oltre 700 fasci/m ²	Prateria molto densa
II	da 400 a 700 fasci/m ²	Prateria densa
III	da 300 a 400 fasci/m ²	Prateria rada
IV	da 150 a 300 fasci/m ²	Prateria molto rada
V	da 50 a 150 fasci/m ²	Semiprateria

Tabella 5 - Classificazione della densità delle praterie in funzione della profondità. DA: densità anormale; DSI: densità sub-normale inferiore; DN: densità normale (in grigio); DSS: densità sub-normale superiore (da Pergent *et al.*, 1995).

Prof	DA	DSI	DN	DSS	Prof	DA	DSI	DN	DSS
1	← 822	↔	934 ↔ 1158	→	21	← 48	↔	160 ↔ 384	→
2	← 646	↔	758 ↔ 982	→	22	← 37	↔	149 ↔ 373	→
3	← 543	↔	655 ↔ 879	→	23	← 25	↔	137 ↔ 361	→
4	← 470	↔	582 ↔ 806	→	24	← 14	↔	126 ↔ 350	→
5	← 413	↔	525 ↔ 749	→	25	← 4	↔	116 ↔ 340	→
6	← 367	↔	479 ↔ 703	→	26		↔	106 ↔ 330	→
7	← 327	↔	439 ↔ 663	→	27		↔	96 ↔ 320	→
8	← 294	↔	406 ↔ 630	→	28		↔	87 ↔ 311	→
9	← 264	↔	376 ↔ 600	→	29		←	78 ↔ 302	→
10	← 237	↔	349 ↔ 573	→	30		←	70 ↔ 294	→
11	← 213	↔	325 ↔ 549	→	31		←	61 ↔ 285	→
12	← 191	↔	303 ↔ 527	→	32		←	53 ↔ 277	→
13	← 170	↔	282 ↔ 506	→	33		←	46 ↔ 270	→
14	← 151	↔	263 ↔ 487	→	34		←	38 ↔ 262	→
15	← 134	↔	246 ↔ 470	→	35		←	31 ↔ 255	→
16	← 117	↔	229 ↔ 453	→	36		←	23 ↔ 247	→
17	← 102	↔	214 ↔ 438	→	37		←	16 ↔ 240	→
18	← 88	↔	200 ↔ 424	→	38		←	10 ↔ 234	→
19	← 74	↔	186 ↔ 410	→	39		←	3 ↔ 227	→
20	← 61	↔	173 ↔ 397	→	40		←	↔ 221	→

Fenologia

L'analisi della biometria fogliare permetterà di ottenere i seguenti parametri di base:

- lunghezza base;
- lunghezza totale;
- lunghezza tessuto bruno;
- larghezza tessuto bruno;
- foglie con apici erosi;
- numero di foglie adulte, intermedie e giovanili.

Dai parametri di base saranno derivati i seguenti indicatori e indici:

- numero medio di foglie per fascio;
- fenomeni di necrosi (annerimenti, marciumi, ecc.) e grazing sulla lamina fogliare, stimandone l'ampiezza per poi rapportarla alla superficie fogliare;
- indice fogliare (L.A.I - Leaf Area Index) ovvero la superficie fogliare fotosinteticamente attiva espressa in metri quadri di superficie fogliare funzionale (viva) presenti in un metro quadro di prateria;
- coefficiente 'A' (percentuale di apici rotti sul numero totale di foglie, indice di stress idrodinamico);
- Altezza della prateria derivata della foglia più lunga.

Indici ecologici

Sulla base dei dati e delle informazioni acquisite sono stati calcolati i seguenti indici ecologici:

- 1) *L'Indice PREI che valuta lo Stato Ecologico attraverso il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) ai sensi del D.M. 260/2010*

La metodologia PREI per il calcolo dell'EQB (Elementi di Qualità Biologica) di *P. oceanica* è stata valutata in tutte le stazioni esaminate. Tale indice include il calcolo di cinque descrittori:

- la densità della prateria (fasci * m⁻²);
- la superficie fogliare fascio, (cm² * fascio⁻¹);
- il rapporto tra la biomassa degli epifiti (mg * fascio⁻¹) e la biomassa fogliare fascio (mg * fascio⁻¹);
- la profondità del limite inferiore;
- la tipologia del limite inferiore.

La densità della prateria, la superficie fogliare fascio ed il rapporto tra la biomassa degli epifiti e la biomassa fogliare vengono valutati normalmente alla profondità standard di -15 m, su substrato sabbia o *matte*; nel caso specifico delle praterie oggetto d'indagine del presente rapporto, si localizzano principalmente su substrato misto (*matte* e sabbia) e presentano un limite inferiore netto su sabbia alla profondità massima di -20m. L'indice è stato comunque applicato tenendo conto di queste peculiarità. Per il calcolo del PREI è stata utilizzata la seguente formula:

$$RQE = (RQE' + 0,11) / (1 + 0,10)$$

dove

$$RQE' = \frac{N_{\text{densità}} + N_{\text{superficie fogliare fascio}} + N_{\text{biomassa epifiti/biomassa foglie}} + N_{\text{limite inferiore}}}{3,5}$$

dove:

$N_{\text{densità}}$ = valore misurato - 0 / valore di riferimento - 0, in cui 0 viene considerato il valore di densità indicativo di pessime condizioni .

$N_{\text{superficie fogliare fascio}}$ = valore misurato - 0 / valore di riferimento - 0, in cui 0 viene considerato il valore di superficie fogliare fascio indicativo di pessime condizioni .

$N_{\text{biomassa epifiti/biomassa foglie}}$ = [1 - (biomassa epifiti/biomassa foglie)] * 0,5.

$N_{\text{limite inferiore}}$ = (N' - 12) / (valore di riferimento profondità - 12), in cui 12 m viene considerata la profondità minima del limite inferiore indicativa di pessime condizioni. N' = profondità limite inferiore misurata + λ, dove λ = 0 (limite inferiore stabile), λ = 3 (limite inferiore progressivo), λ = -3 (limite inferiore regressivo).

Il valore del PREI varia tra 0 ed 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Il risultato finale dell'applicazione dell'Indice PREI non fornisce un valore assoluto, ma direttamente il rapporto di qualità ecologica (RQE) (Tabella 6).

Tabella 6 - Significato dei valori del PREI - RQE

Classi di qualità	RQE	Stato Ecologico
Classe 1	1 - 0,775	elevato
Classe 2	0,774 - 0,550	buono
Classe 3	0,549 - 0,325	sufficiente
Classe 4	0,324 - 0,100	scarso
Classe 5	< 100 - 0	cattivo

2) *L'Indice di Conservazione (I.C.) che fornisce una misura della quantità di matte morta presente all'interno di una prateria e si calcola e stima secondo la formula e la scala di giudizi di seguito indicata (Moreno et al., 2001, Montefalcone, 2009):*

$$I.C. = L / (L + D)$$

dove:

L = % *P. oceanica* viva e D = % matte morta

Classi di conservazione	Intervallo di classe	Stato di conservazione
Classe 1	C.I.<0,3	pessimo
Classe 2	0,3<C.I.<0,5	cattivo
Classe 3	0,5<C.I.<0,7	moderato
Classe 4	0,7<C.I.<0,9	buono
Classe 5	C.I.≥0,9	elevato

3) L'Indice di Sostituzione (I.S.) che quantifica il grado di sostituzione di una prateria invasa da uno dei potenziali sostituti ed è calcolato e stimato secondo la formula e la scala di giudizi di seguito indicata (Montefalcone, 2009):

$$I.S. = Cn/(Po+Cn)$$

dove:

Cn= % *C. nodosa* e Po= % *P. oceanica*

Classi di sostituzione	Intervallo di classe	Sostituzione
Classe 1	S.I.<0,1	limitata
Classe 2	0,1<S.I.<0,25	bassa
Classe 3	0,25<S.I.<0,4	moderata
Classe 4	0,4<S.I.<0,7	significativa
Classe 5	S.I.≥0,7	elevata

4) L'Indice di Cambiamento di Fase (Phase-Shift Index – P.S.I.) che considera sinotticamente sia lo stato di conservazione della prateria sia la gerarchia dei sostituti, per identificare e misurare l'intensità del cambiamento di fase che si verifica in un ecosistema a fanerogame (Montefalcone et al., 2007).

il P.S.I. è calcolato attraverso la formula:

$$PSI=((D/(P+D) \times 1) + (Cn/(P+Cn) \times 2) + (Cp/(P+Cp) \times 3) + (Ct/(P+Ct) \times 4) + (Cr/(P+Cr) \times 5)) / 6$$

dove D è la percentuale di *matte* morta, P quella di *P. oceanica* viva, Cn di *Cymodocea nodosa*, Cp di *Caulerpa prolifera*, Ct di *Caulerpa taxifolia* e Cr la percentuale di *Caulerpa cylindracea*.

Il P.S.I. varia da 0 (solo prateria vivente di *P. oceanica*, nessuna *matte* morta e nessuna sostituzione) a 1 (quando lo sfasamento ha portato alla completa sostituzione con *C. racemosa*), secondo la seguente scala e la corrispondente rappresentazione grafica:

- (1) PSI tra 0 e 0,08 escluso: la prateria inizia a presentare aree di *matte* morta (comunque <50%) o la percentuale di copertura dei sostituti, se presenti, è bassa; lo sfasamento è quindi ancora in una fase iniziale.
- (2) PSI tra 0,08 e 0,16 escluso: o la *matte* morta è dominante (*matte* morta tra il 50% e il 100% esclusa) o i sostituti coprono porzioni significative del prato; lo sfasamento è moderato.
- (3) PSI tra 0,16 e 0,25 incluso: la prateria di *P. oceanica* vivente è assente (*matte* morta 100%) o i sostituti sono molto abbondanti; lo sfasamento è avanzato.
- (4) PSI tra 0,25 e 0,5 incluso: la *matte* morta è sempre abbondante e uno o più sostituti sono sempre presenti e possono essere dominanti; lo sfasamento è forte.
- (5) PSI > 0,5: la *matte* morta è sempre dominante (>50%) e uno o più sostituti sono sempre dominanti (>50%) o hanno completamente sostituito la *P. oceanica* vivente; lo sfasamento è molto forte e potrebbe essere irreversibile.

Fase	Intervallo di Fase	Sfasamento
Fase 1	P.S.I. <0,08	iniziale
Fase 2	0,08 ≥ P.S.I. <0,16	moderato
Fase 3	0,16 ≥ P.S.I. <0,25	avanzato
Fase 4	0,25 ≥ P.S.I. <0,5	forte
Fase 5	P.S.I. ≥0,5	molto forte / irreversibile

Comunità epifitica delle foglie

In ogni stazione di Posidonia saranno prelevati cinque fasci ortotropi e conservati in acqua di mare e formalina al 4% per le osservazioni in laboratorio.

Per l'analisi quali-quantitativa della comunità epifita delle foglie, si procederà all'osservazione, mediante stereo- e microscopio, delle due foglie esterne di ciascuno dei cinque fasci (Buia *et al.*, 2004). In particolare, sarà esaminata la parte più vecchia (i primi 10 cm a partire dall'apice) della pagina interna delle foglie perché considerata più colonizzata rispetto a quella esterna (Casola e

Scardi, 1989; Alcoverro *et al.*, 2004). I dati relativi alle due foglie di ogni fascio saranno mediati per fornire delle repliche nelle analisi (Balata *et al.*, 2008).

Gli epifiti macroalgali e animali saranno identificati a livello di specie o genere e la loro abbondanza sarà valutata come proiezione ortogonale rispetto alla superficie della foglia. I valori di abbondanza saranno espressi in termini di percentuale di ricoprimento. Il ricoprimento percentuale delle alghe incrostanti sarà misurato dopo la rimozione delle specie erette che si sviluppano sopra di esse.

Gli epifiti macroalgali saranno suddivisi nei seguenti gruppi morfologici: filamentose, incrostanti calcificate, incrostanti non calcificate, corticate erette, fogliose, articolate calcaree) secondo Steneck e Dethier (1994).

Balisage

Al fine di monitorare la dinamica della prateria ed evidenziare nel medio e lungo periodo la presenza di fenomeni regressivi conseguenti alle attività svolte, saranno collocati dei *balise* vicino ai margini della prateria potenzialmente interessata dal prolungamento del molo foraneo del Porto Dell'Arenella. Nel complesso saranno posizionati 3 *balise* in ognuna delle tre stazioni considerate potenzialmente impattate (St_1_IMP, St_2_IMP e St_3_IMP). Per ogni *balise* saranno rilevati i seguenti dati:

- profondità;
- distanza del *balise* dal limite della prateria;
- tipologia del substrato di impianto (sabbia, *matte*, roccia);
- verifica dello stato di continuità della prateria;
- stima del ricoprimento della prateria, della *matte* morta, di *Cymodocea nodosa* e di alghe alloctone.

Fotomosaico del fondale

In corrispondenza dei *balise* saranno effettuati rilievi fotogrammetrici al fine di ottenere una immagine ad altissima risoluzione, che consentirà di stimare con elevata precisione (Rende *et al.*, 2022) le superfici occupate dalla prateria di *P. oceanica*, nelle fasi *ante operam*, di cantiere (*durante*) e di esercizio (*post operam*).

I fotogrammi ottenuti dal rilievo fotogrammetrico, elaborati con apposito software, generano un mosaico fotografico che potrà consentire di estrarre informazioni sulla evoluzione della distribuzione temporale della prateria di *P. oceanica* in corrispondenza dei *balise*.

Dal confronto e sovrapposizione di fotomosaici realizzati in momenti temporali differenti sarà possibile con precisione valutare ulteriormente le eventuali variazioni nella distribuzione della prateria di Posidonia, correlate ai lavori in corso d'opera e di esercizio del prolungamento del molo foraneo del Porto dell'Arenella (Palermo).

Monitoraggio del macrozoobenthos

La comunità macrozoobentonica è costituita, per definizione, da animali bentonici - ovvero che vivono sui fondali marini o in prossimità degli stessi - che raggiungono dimensioni maggiori di 1 mm. Nelle aree marine caratterizzate da fondali "mobili" (fondi sedimentari), che sono i più diffusi nella totalità dei mari e degli oceani, il macrozoobenthos rappresenta il comparto biotico - parte dell'intera comunità presente - maggiormente impiegato nell'ambito delle indagini volte a valutare la risposta delle comunità a differenti tipi di impatto ambientale.

Il macrozoobenthos di fondo mobile è generalmente dominato, in termini di abbondanza, da anellidi policheti, seguiti da molluschi bivalvi, crostacei anfipodi e decapodi ed echinodermi di dimensioni superiori a 0,5 mm, o comunque in grado di essere trattenuti da setacci di tali dimensioni (il limite minimo di 0,5 mm per il macrozoobenthos non è comunque generalizzato ed alcuni autori ritengono più adatto un valore di 1 mm).

Secondo quanto prescritto dalla direttiva 2000/60/CE, recepita con il D.Lgs. 152/06 e attuata tramite il D.M. 260/2010, ai fini della classificazione dello Stato di Qualità Ambientale delle acque marino costiere vengono indagati una serie di elementi biologici, fisico-chimici, chimici e idromorfologici; in particolare uno degli Elementi di Qualità Biologica (EQB) presi in considerazione è rappresentato dai macroinvertebrati bentonici di fondo molle.

Per l'EQB Macroinvertebrati bentonici si applica l'Indice M-AMBI (Multimetric-AZTI Marine Biotic Index), che utilizza lo strumento dell'analisi statistica multivariata ed è in grado di riassumere la complessità delle comunità di fondo mobile, permettendo una lettura ecologica dell'ecosistema in esame.

L'M-AMBI (Muxika *et al.*, 2005; 2012) include il calcolo dell'AMBI (Borja *et al.*, 2000), dell'Indice di diversità H' di Shannon-Wiener (1949) ed il numero di specie (S):

$$AMBI = [(0 \times \%GI) + (1.5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4.5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)]/100$$

GI: specie sensibili GII: specie sensibili/tolleranti GIII: specie tolleranti GIV: specie opportuniste (secondo ordine) GV: specie opportuniste (primo ordine) s $H' = - \sum (pi)(\log_2 pi)$ $i=1$ dove pi = frequenza numerica della specie i-esima rispetto al totale degli individui = ni/N; s = numero totale di specie presenti in ogni stazione

Il valore dell'indice M-AMBI varia tra 0 e 1, e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) richiesto dalla Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE; esso utilizza una lista di riferimento per la suddivisione degli organismi in 5 gruppi ecologici, in relazione a diversi gradi di tolleranza ad un progressivo incremento di stress.

Il valore viene calcolato mediante l'utilizzo di un apposito software (AZTI Marine Biotic Index), che tiene conto della lista specie e del relativo gruppo ecologico di appartenenza.

La modalità di calcolo dell'M-AMBI prevede l'elaborazione delle suddette 3 componenti con tecniche di analisi statistica multivariata. Per il calcolo dell'indice è necessario l'utilizzo di un software gratuito (AZTI Marine Biotic Index - New Version AMBI 4.1) da applicarsi con l'ultimo aggiornamento già disponibile della lista delle specie.

Il valore dell'M-AMBI varia tra 0 ed 1 e corrisponde al Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Nella tabella 7 (*tab. 4.3.1/b del D.M. 260/2010*) sono indicati: - i valori di riferimento per ciascuna metrica che compone l'M-AMBI; - i limiti di classe dell'M-AMBI, espressi in termini di RQE, tra lo stato elevato e lo stato buono, e tra lo stato buono e lo stato sufficiente. I valori delle condizioni di riferimento e i relativi limiti Buono/Sufficiente ed Elevato/Buono descritti in tabella devono intendersi relativi al solo macrotipo 3 (bassa stabilità).

Tabella 7 – Limiti di classe e valori di riferimento per l'M-AMBI (Tab. 4.3.1/b D.M. 260/2010).

Macrotipo	Valori di riferimento			RQE	
	AMBI	H'	S	Elevato/Buono	Buono/Sufficiente
3	0,5	4	30	0,81	0,61

Il prelievo dei campioni di macrozoobenthos sarà eseguito in quattro stazioni riportate nella Figura 1 e nella Tabella 1.

In ogni stazione saranno effettuate tre distinte repliche di campionamento, ognuna rappresentata dal prelievo di sedimento dal fondale effettuato in immersione o tramite benna Van Veen - con una superficie di presa di circa 0,1 m².

I campioni prelevati, una volta a bordo, saranno sottoposti a setacciatura per eliminare dagli stessi, per quanto possibile, il sedimento e raccogliere gli organismi animali delle dimensioni superiori a 1 mm. Il materiale rimanente nel setaccio sarà trasferito in appropriati contenitori in plastica, ognuno dei quali provvisto di un'etichetta contenente le informazioni relative al campionamento d'origine (data di prelievo, codice della stazione, numero della replica). All'interno di ognuno di tali contenitori gli organismi, del macrozoobenthos riscontrati nei campioni saranno fissati in soluzione.

Determinazioni analitiche nella matrice biota e/o delle sostanze prioritarie

Mediante l'utilizzo di organismi marini (molluschi o pesci) saranno effettuate, in prossimità della stazione 1_IMP (Figura 2 e Tabella 1) prossima all'area portuale, determinazioni analitiche nelle fasi *ante operam*, in corso d'opera (cadenza semestrale) e *post operam* (cadenza annuale) nella matrice biota di inquinanti chimici associati ai possibili impatti sulle acque marino-costiere (Tabella 8) e/o delle sostanze prioritarie riportate in tabella 1/A del D.Lgs. 172/2015 (ISPRA, 2016).

Tabella 8 – Determinazioni analitiche sulla matrice biota.

PARAMETRI BIOTA: ACQUE SUPERFICIALI INTERNE E ALTRE ACQUE					
Descrizione	Sostanza (µg/kg peso umido dove non diversamente specificato)	ACC	LOQ	SQA	Rif. Tab.
PBDE	Difenileteri Bromurati (sommatoria congeneri 28, 47, 99, 100, 153, 154, 183)		0,002	0,0085	1A
PESTICIDI	DDT totale		0,4	50	1A
IPA	Fluorantene		0,4	30	1A
PESTICIDI	Hexachlorobenzene		0,4	10	1A
VOC	Esaclorobutadiene		4	55	1A
METALLI- METALLOIDI	Mercurio	✓	1	20	1A
IPA	Benzo (a) Pirene		0,4	5	1A
PESTICIDI	Dicofol		0,4	33	1A
PFAS	PFOS - Acido Perfluorottansolfonico		1	9,1	1A
DIOSSINE E SIMILI	Diossine e composti diossina simili µg/kg TEQ peso umido		0,001	0,0065	1A
RITARDANTE FIAMMA	Esabromociclododecano (HBCDD)		10	167	1A
PESTICIDI	Heptachlor ed Heptachlor-Epoxide		0,001	0,0067	1A

Le sostanze sono riportate secondo l'ordine normativo, dove previsto, e non alfabetico.

LEGENDA

LOQ	limite di quantificazione
ACC	prova accreditata ISO 17025 se spuntata
RIF TAB LEGGE	riferimento alle tabelle del D.Lgs.172/15
SQA	Media Annuale

Monitoraggio dei sedimenti e test di tossicità

Lo studio delle caratteristiche chimiche e fisiche dei sedimenti riveste una notevole importanza nella valutazione della qualità dell'ambiente marino, poiché considerazioni circa l'origine e l'estensione dell'inquinamento di un'area marina possono essere desunte dalla ricerca di contaminanti in questa matrice. I sedimenti, infatti, costituiscono un settore altamente rappresentativo dello stato di contaminazione dell'ambiente marino, in quanto memoria rispetto a fenomeni pregressi e in grado di svolgere un'importante azione come veicolo di trasporto diretto degli inquinanti e come un serbatoio transitorio e/o definitivo degli stessi. Nelle stesse stazioni di misura e controllo del macrozoobenthos, nelle fasi ante operam, in corso d'opera (cadenza semestrale) e post operam (cadenza annuale), saranno raccolti campioni di sedimento per analisi dei parametri riportati in Tabella 9 e saranno eseguiti test di tossicità acuta su elutriato/sedimenti, mediante *Acartia tonsa* e *Vibrio fischeri*.

Tabella 9 – Parametri fisici e chimici e test di tossicità da analizzare nei sedimenti.

Set parametri nei sedimenti		
METALLI		
Arsenico	Mercurio	Rame
Cadmio	Nichel	Vanadio
Cromo Totale	Piombo	Zinco
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)		
Acenaftilene	Benzo(b)fluorantene	Pirene
Benzo(a)antracene	Benzo(k)fluorantene	Dibenzo(a,h)antracene
Fluorantene	Benzo(g,h,i)perilene	Crisene
Naftalene	Acenaftene	Indeno(1,2,3,c-d)pirene
Antracene	Fluorene	Sommatoria IPA
Benzo(a)pirene	Fenantrene	
COMPOSTI ORGANOSTANNICI		
Monobutilstagno (MBT)	Tributilstagno (TrBT)	Stagno Organico Totale
Dibutilstagno (DBT)		
TEST DI TOSSICITA' CON ACARTIA TONSA		
EC20 24h	EC50 24h	
EC20 48h	EC50 48h	
ECOTOSSICITA' CON VIBRIO FISCHERI MICROTOX		
S.T.I.	% effetto Max. conc.	
ALTRO		
Idrocarburi Pesanti C>12	Carbonio Organico	Residuo A 105°C
GRANULOMETRIA		
Ghiaia	Sabbia	Pelite

CRONOPROGRAMMA

L'integrazione del PMA per gli aspetti di biodiversità marina avrà lo scopo di verificare anche eventuali effetti ed impatti sull'ecosistema marino-costiero durante le fasi *ante operam*, in corso d'opera e *post operam*, per almeno tre anni, con particolare riferimento alla qualità della colonna d'acqua ed allo status delle biocenosi potenzialmente interessate.

Si riporta di seguito il Cronoprogramma (Diagramma di Gantt) della integrazione del PMA relativo al prolungamento del molo foraneo del Porto Dell'Arenella.

Il Cronoprogramma è diviso per attività e prevede la frequenza di acquisizione e di restituzione dei dati, in modo da consentire, qualora necessario, di indicare in tempo utile ulteriori misure di mitigazione da adottare per preservare e proteggere l'ecosistema marino.

La cadenza di campionamento, misure ed osservazioni nelle differenti fasi tiene conto della variabilità degli indici e degli indicatori, e le informazioni e i dati acquisiti nel corso delle campagne di monitoraggio saranno rese disponibili, ove evidenti e negativi, in tempo reale.

In particolare, il monitoraggio *ante operam* verrà svolto preliminarmente all'inizio dei lavori. Il monitoraggio in corso d'opera verrà svolto una volta al mese per la verifica delle condizioni trofiche ed igienico-sanitarie e semestrale per la verifica di descrittori strutturali, fenologia, comunità epifitica delle foglie di Posidonia, e M-AMBI. Il monitoraggio *post operam* verrà svolto nei successivi 5 anni con cadenza trimestrale per il controllo delle condizioni trofiche ed igienico sanitarie e semestrale per il biota.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI CITATI NEL TESTO

- Alcoverro T., Pérez M., Romero T., 2004. Importance of within-shoot epiphyte distribution for the carbon budget of seagrasses: the example of *Posidonia oceanica*. *Bot. Mar.*, 47:307-312.
- Balata, D., Bertocci, I., Piazzini, L., Nesti, U., 2008. Comparison between epiphyte assemblages of leaves and rhizomes of the seagrass *Posidonia oceanica* subjected to different levels of anthropogenic eutrophication. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 79:533-540.
- Borja A., Franco J., Perez Landa V., 2000. A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos Within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin* 40(12):1100-1114. DOI:10.1016/S0025-326X(00)00061-8.
- Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano, M., 2004. Seagrass systems. *Biol. Mar. Medit.*, 10 (Suppl.), 133-183.
- Casola E., Scardi M., 1989. Variabilità della comunità epifita sulle due facce delle lamine fogliari di *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Oebalia*, 15:89-97.
- Chessa L.A., Fresi E., Lorenzi C., 1995. Stato di salute di una prateria di *Posidonia oceanica* - Metodi di studio. In: *La Posidonia oceanica - Supplemento alla Rivista Marittima*, 12:72-77.
- Giraud G., 1977. Contribution à la description et à la phénologie quantitative des herbiers à *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Thèse Doctorat 3ème Cycle*, Université d'Aix-Marseille II, pp.150.
- ISPRA, 2016 – Linee guida per il monitoraggio delle sostanze prioritarie. MLG 143/2016, pp. 36.
- Montefalcone M., Morri C., Peirano A., Albertelli G., Bianchi C.N., 2007. Substitution and phase shift within the *Posidonia oceanica* seagrass meadows of NW Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75:63-71.
- Montefalcone M., 2009. Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: a review. *Ecol. Indic.*, 9:595-604.
- Moreno D., Aguilera P., Castro H., 2001. Assessment of the conservation status of seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows: implications for monitoring strategy and the decision-making process. *Biological Conservation* 102:325-332.
- Muxika I., Borja Á., Bonne W., 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. *Ecological Indicators*, 5:19-31.
- Muxika I., Somerfield P.J., Borja A., Warwick R.M., 2012. Assessing proposed modifications to the AZTI marine biotic index (AMBI), biotic index (AMBI), using biomass and production. *Ecological Indicators*, 10.1016/j.ecolind.2011.04.030, 12:96-104.
- Panayotidis P., Boudouresque C.F., Marcot-Coqueugniot J., 1981. Microstructure de l'herbier de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Botanica Marina*, 24:115-124.
- Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier a *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances. *Mésogée*, 54:3-27.
- Rende S.F., Bosman A., Menna F., Lagudi A., Bruno F., Severino U., Montefalcone M., Irving A.D., Raimondi V., Calvo S., Pergent G., Pergent-Martini C., And Tomasello A., 2022. Assessing seagrass restoration actions through a micro-bathymetry survey approach (Italy, Mediterranean Sea). *Water* 2022, 14, 1285. <https://doi.org/10.3390/w14081285>
- Shannon, C.E. & Weaver, W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Steneck R.L., Dethier M.N., 1994. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos*, 69:476-498.



Volleinweider R.A., 1989. Eutrophication. In: Global Freshwater Quality, M. Meybeck, D. Chapman and R. Helmer (Eds). Blackwell, Oxford.