

MONITORAGGIO *Corso Opera* II Anno di Attività

Report Risultati – Sedimenti



2021/22

GRUPPO DI LAVORO

Stazione Zoologica “Anton Dohrn”

Relazione effettuata con il contributo di:

Maria Abagnale, Martina Austoni, Daniele Bellardini, Angela Buondonno, Valerio Caruso, Fabio Conversano, Iole Di Capua, Marco Cannavacciuolo, Sarah Ciancimino, Daniela Cianelli, Francesco Di Nuzzo, Paolo Fasciglione, Miriam Ferretti, Sara Fioretti, Giulio Franzitta, Marta Furia, Roberto Gallia, Rosanna Guglielmo, Francesca Margiotta, Andrea Montalbano, Marco Pansera, Augusto Passarelli, Isabella Percopo, Vincenzo Rando, Eugenio Rastelli, Francesco Riccio, Maria Saggiomo, Maria Beatrice Scipione, Diana Sarno, Francesco Terlizzi, Ferdinando Tramontano, Mauro Vargiu

In collaborazione con

Università degli Studi di Napoli Parthenope

Vincenzo Pasquale

Università Politecnica delle Marche

Daniele Fattorini, Giuseppe d'Errico, Marta Di Carlo, Francesco Regoli

Bioscience Research Center BSRC

Monia Renzi

Sommario

1. Caratterizzazione Chimica e Fisica.....	4
1.1. Contenuto d’acqua, sostanza organica totale, peso specifico, azoto totale, fosforo totale e granulometria.....	4
1.2. Analisi chimiche di metalli in traccia, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e contaminanti organici persistenti.....	8
1.3. Classificazione del pericolo chimico dei sedimenti	26
2. Risposte ecotossicologiche.....	29
2.1. Risultati dei saggi ecotossicologici.....	29
2.2. Classificazione del pericolo ecotossicologico dei sedimenti	36
3. Classificazione della qualità dei sedimenti	39
4. Caratterizzazione microbiologica	51
5. Caratterizzazione biologica (Dicembre 2020).....	62
5.1 Caratterizzazione delle comunità macro-zoobentoniche	62
5.2 Analisi trofica	62
5.3 Analisi Strutturale.....	65
6 Caratterizzazione biologica (Febbraio 2021).....	79
6.1 Caratterizzazione delle comunità macro-zoobentoniche.....	79
6.2 Analisi trofica	79
6.3 Analisi Strutturale.....	84
7. Biota.....	101
7.1 Bioaccumulo di metalli in traccia, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e composti organici di sintesi nei mitili trapiantati	101
7.2 Risposte dei biomarker nei mitili trapiantati.....	114
8. Caratterizzazione della meiofauna Ante-operam e Corso d'opera	120
8.1 Confronto relativo allo strato 0-1 cm di sedimento tra le stazioni analizzate in tutti i tempi di campionamento	120
8.2 Abbondanza della meiofauna.....	120
8.3 Ricchezza di taxa.....	121
8.4 Struttura di comunità	122
8.5 Conclusioni	124

1. Caratterizzazione Chimica e Fisica

1.1. Contenuto d'acqua, sostanza organica totale, peso specifico, azoto totale, fosforo totale e granulometria

I risultati relativi al contenuto d'acqua, sostanza organica totale nei sedimenti, peso specifico, azoto totale e fosforo totale sono riportati in Tabella 1.1.1.1 e 1.1.1.2, rispettivamente per la fase di dragaggio al 50% (dicembre 2020) e al 100% (febbraio 2021). Il valore medio della percentuale del contenuto d'acqua dei sedimenti per il periodo di dicembre 2020 e febbraio 2021 risulta pari a circa il 30% (30.4% per dicembre 2020 e 30.6% febbraio 2021).

Per quanto riguarda i risultati relativi al contenuto di sostanza organica totale, durante la fase di movimentazione del 50% del sedimento, le percentuali di contenuto organico, con una media di 4.5%, variano da un minimo di 1.0% per il campione A17 dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio ad un massimo di 10.3% per il campione A75 dell'area di immersione. Per quanto concerne i sedimenti relativi alla fase del 100% delle operazioni di dragaggio (febbraio 2021) le percentuali di contenuto organico presentano un range da 0.6% (A14) a 13.1% (A74) con un valore medio di 4.6%.

Il peso specifico dei campioni esaminati, nel periodo di dicembre, è risultato compreso tra 1.7 g/cm^3 (A76) e 2.9 g/cm^3 (A22), mentre i valori del peso specifico nei sedimenti di febbraio 2021 variano da un minimo di 1.4% (A24) ad un massimo di 3.6% (A47). In generale, nei due periodi si evidenzia una minima variabilità dei parametri fisici tra i campioni delle tre aree con valori generalmente molto simili tra le due campagne, e anche rispetto a quelli delle campagne precedenti.

Per quanto riguarda il contenuto di azoto totale, durante la fase di dragaggio al 50% (dicembre 2020), le concentrazioni variano tra circa 1.1 e 1.2 mg/g (ps) nei sedimenti dell'area di immersione, mentre oscillano tra circa 0.6 e 1.1 mg/g (ps) in quelli delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e tra circa 0.5 e 1.1 mg/g (ps) nei sedimenti provenienti dall'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione (Tabella 1.1.1.1). Le concentrazioni di azoto totale delle tre aree indagate, durante la fase di dragaggio al 100% (febbraio 2021), mostrano risultati generalmente simili ai sedimenti relativi alle operazioni di dragaggio al 50% con una media totale pari a 1.0 mg/g (ps) (Tabella 1.1.1.2).

I livelli di fosforo totale presentano nei sedimenti di entrambe le campagne valori medi pari a circa 0.2 mg/g (ps), con valori minimi di 0.08 mg/g (ps) nei sedimenti di dicembre e 0.005 mg/g (ps) nel periodo di febbraio 2021 e massimi pari a 0.3 mg/g (ps) in entrambi i periodi.

Tabella 1.1.1.1 Contenuto d'acqua, contenuto di sostanza organica totale espressi in percentuale, peso specifico (g/cm³), azoto totale e fosforo totale (mg/g). Fase di dragaggio al 50% (campagna Dicembre 2020).

Area	Codice campione	Contenuto d'acqua %	Sostanza organica %	Peso specifico g/cm ³	N tot mg/g	P tot mg/g
Area di immersione	A20	40.13	4.69	1.82	1.172	0.219
	A21	34.81	4.20	2.02	1.224	0.292
	A22	19.92	1.73	2.88	1.157	0.137
	A23	33.36	4.38	2.12	1.209	0.130
	A24	20.86	2.04	2.53	1.110	0.305
	A74	39.57	9.91	1.69	1.134	0.080
	A75	41.56	10.32	1.66	1.170	0.191
	A76	38.71	8.63	1.73	1.112	0.239
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	25.39	2.71	2.72	0.624	0.273
	A11	34.07	3.90	2.09	1.102	0.275
	A14	23.22	1.45	2.69	0.788	0.208
	A17	18.06	0.99	2.81	1.052	0.154
	A72	26.01	2.63	2.67	1.071	0.114
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	36.54	7.19	2.00	0.961	0.185
	A50	40.12	7.89	1.82	0.596	0.195
	A53	28.41	3.09	2.35	1.112	0.306
	A59	21.70	2.14	2.81	0.795	0.121
	A62	25.91	3.16	2.50	0.522	0.273

Tabella 1.1.1.2 - Contenuto d'acqua, contenuto di sostanza organica totale espressi in percentuale, peso specifico (g/cm³), azoto totale e fosforo totale (mg/g). Fase di dragaggio al 100% (campagna Febbraio 2021).

Area	Codice campione	Contenuto d'acqua %	Sostanza organica %	Peso specifico g/cm ³	N tot mg/g	P tot mg/g
Area di immersione	A20	35.25	7.75	1.82	1.210	0.302
	A21	38.01	7.43	1.78	1.350	0.162
	A22	40.00	3.43	1.79	1.130	0.154
	A23	33.27	5.39	2.31	1.140	0.258
	A24	44.45	7.02	1.39	1.520	0.173
	A74	35.41	13.09	2.47	1.110	0.207
	A75	40.73	7.58	1.74	1.030	0.237
	A76	46.14	9.72	1.58	0.910	0.045
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	28.78	3.55	2.42	1.015	0.242
	A11	28.44	3.24	2.55	1.200	0.146
	A14	20.27	0.60	2.44	1.180	0.154
	A17	20.02	1.18	3.28	0.930	0.068
	A72	28.26	3.00	2.12	0.790	0.127
	A47	9.85	1.28	3.61	0.800	0.005

Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A50	36.16	5.01	1.89	0.630	0.335
	A53	21.52	1.07	3.51	0.865	0.111
	A59	22.15	1.33	2.69	1.030	0.101
	A62	22.33	1.59	2.47	0.770	0.231

Nella Tabella 1.1.1.3 e 1.1.1.4 vengono riportati i risultati delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti prelevati nell'area portuale di Salerno secondo quanto indicato dal DM 173/2016 ai fini delle classificazioni granulometriche. Nella maggior parte dei campioni di sedimento prelevati durante la campagna dicembre 2020 (Tabella 1.1.1.3), la pelite è la frazione granulometrica prevalente con una media del 59.8%: il campione A76 presenta la percentuale maggiore (95.1 %), mentre il campione A53 presenta il valore minimo di pelite inferiore al 15%.

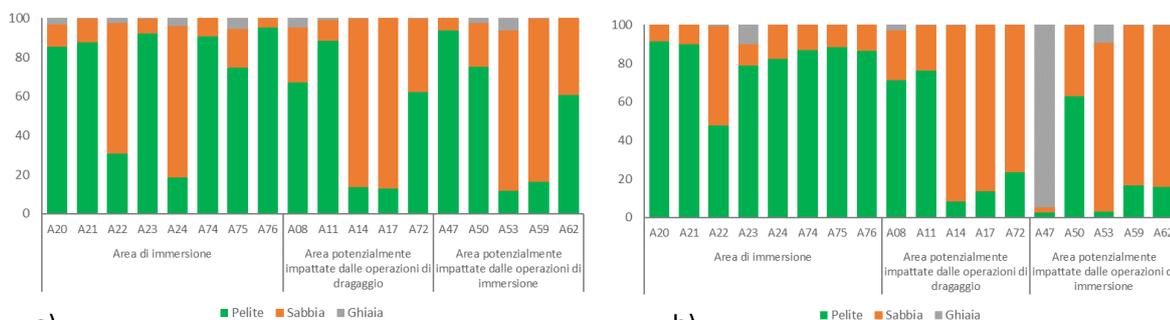
I campioni analizzati nella campagna febbraio 2021 (Tabella 1.1.1.4) presentano una percentuale di sabbia compresa tra il valore minimo pari a 2.6% nel campione A47 e quello massimo pari a 91.8% nel campione A14. I campioni mostrano lo stesso andamento nelle due campagne, ad eccezione del campione A24 che presenta una percentuale di sabbia prevalente nella campagna dicembre 2020 e dei campioni A72 e A47 che passano da un sedimento prevalentemente pelitico (campagna dicembre 2020) ad un sedimento con una minima percentuale di pelite nella campagna di febbraio 2021 (Figura 1.1.1.1).

Tabella 1.1.1.3 Risultati delle analisi granulometriche. Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020). In neretto è evidenziata la frazione granulometrica prevalente.

AREA POTENZIALMENTE IMPATTATA DALLE OPERAZIONI DI DRAGAGGIO									
	Unità di misura	A08	A11	A14	A17	A72			
Ghiaia	%	4.8	0	0	0	0.1			
Sabbia	%	28.0	10.5	86.5	87.1	37.6			
Pelite	%	67.2	88.5	13.5	12.9	62.3			
AREA DI IMMERSIONE									
	Unità di misura	A20	A21	A22	A23	A24	A74	A75	A76
Ghiaia	%	3.2	0.4	2.3	0.1	4.1	0	5.6	0
Sabbia	%	11.5	11.9	66.9	7.6	77.4	9.2	19.7	4.9
Pelite	%	85.3	87.7	30.8	92.3	18.5	90.8	74.7	95.1
AREA POTENZIALMENTE IMPATTATA DALLE OPERAZIONI DI IMMERSIONE									
	Unità di misura	A47	A50	A53	A59	A62			
Ghiaia	%	0	2.5	6.3	0.1	0			
Sabbia	%	6.4	22.4	82.2	83.6	39.5			
Pelite	%	93.6	75.1	11.5	16.3	60.5			

Tabella 1.1.1.4. Risultati delle analisi granulometriche. Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021). In neretto è evidenziata la frazione granulometrica prevalente.

AREA POTENZIALMENTE IMPATTATA DALLE OPERAZIONI DI DRAGAGGIO									
	Unità di misura	A08	A11	A14	A17	A72			
Ghiaia	%	26.1	23.6	91.8	86.3	76.6			
Sabbia	%	2.7	0.3	0.1	0	0			
Pelite	%	71.1	76.1	8.1	13.7	23.4			
AREA DI IMMERSIONE									
	Unità di misura	A20	A21	A22	A23	A24	A74	A75	A76
Ghiaia	%	8.8	10.0	51.7	11.3	17.8	13.0	11.8	13.6
Sabbia	%	0	0	0.7	10.0	0	0	0	0
Pelite	%	91.2	90.0	47.6	78.7	82.2	87.0	88.2	86.4
AREA POTENZIALMENTE IMPATTATA DALLE OPERAZIONI DI IMMERSIONE									
	Unità di misura	A47	A50	A53	A59	A62			
Ghiaia	%	95.0	37.0	87.5	83.1	83.8			
Sabbia	%	2.6	0.2	9.4	0.1	0.2			
Pelite	%	2.4	62.8	3.1	16.8	16.0			



a)

b)

Figura 1.1.1.1. Risultati delle analisi granulometriche. a) Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020); b) Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021).

1.2. Analisi chimiche di metalli in traccia, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e contaminanti organici persistenti

Di seguito vengono descritti e riassunti i risultati delle analisi chimiche effettuate sui sedimenti durante la fase di dragaggio al 50% (campagna di dicembre 2020) e al 100% (campagna febbraio 2021). Nello specifico le Tabelle 3.5 e 3.6 mostrano le concentrazioni di elementi in traccia (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, V e Zn), stagno organico totale (OSn), tributilstagno (TBT), idrocarburi alifatici totali (C10-C40), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) (1-metilnaftalene, 2-metilnaftalene, 7,12-dimetilbenzo(a)antracene, acenaftene, acenaftilene, antracene, benzo(a)antracene, benzo(a)pirene, benzo(b)fluorantene, benzo(ghi)perilene, benzo(k)fluorantene, crisene, dibenzo(ah)antracene, fenantrene, fluorantene, fluorene, indeno(123cd)pirene, naftalene, pirene), pesticidi clorurati (aldrin, endrin, endrin aldeide, endrin chetone, dieldrin, p,p'-DDT), policlorobifenili (PCB15 e PCB18) e pesticidi organofosfati (metolcarb, methyl parathion, ethoprophos), rispettivamente nei sedimenti relativi alle operazioni di dragaggio al 50% e al 100%. L'elenco completo degli analiti analizzati, compresi quelli che hanno dato risultati inferiori ai LOD delle rispettive metodiche analitiche. Le Tabelle 1.1.2.5 e 1.1.2.6 evidenziano inoltre i superamenti dei livelli L1 ed L2 del DM 173/2016. Le Figure 1.1.1.3 e 1.1.1.4 mostrano graficamente i livelli dei contaminanti nei sedimenti rispettivamente al termine delle operazioni di dragaggio e immersione del 50% e 100% dei materiali.

Per quanto riguarda i risultati ottenuti per i sedimenti durante le attività di dragaggio al 50% (dicembre 2020) (Tabella 1.1.2.5 e Figura 1.1.2.2), le concentrazioni dei metalli in traccia sono risultate generalmente basse e, nonostante una certa variabilità tra i dati ottenuti per le differenti stazioni, sempre all'interno di un normale range di fluttuazione tipica per i sedimenti. Solamente arsenico (As) e piombo (Pb) superano sporadicamente il valore relativo al limite normativo L1 (DM 173/2016), che tuttavia corrisponde alle concentrazioni degli Standard di Qualità Ambientale (SQA), ovvero livelli generalmente attesi solo in siti non soggetti ad alcuna influenza di tipo antropico.

Anche le concentrazioni di tributilstagno (TBT) sono state quasi sempre maggiori di L1 nei sedimenti relativi alla campagna di dicembre 2020, ma ancora una volta i valori non sono particolarmente elevati né tali da destare particolare preoccupazione; in questo senso infatti, il livello di composti organostannici totali è sempre largamente inferiore al limite L2, ritenuto quale soglia di attenzione per questo tipo di composti.

Gli idrocarburi alifatici totali (C10-C40) mostrano risultati piuttosto variabili, con concentrazioni che oscillano da valori molto bassi e generalmente inferiori a 40 µg/g (p.s.) nelle stazioni A08, A14, A17, A22, A59, A62, A72, A74, A75, fino a valori che superano il livello L2 (DM 173/2016), raggiungendo persino concentrazioni superiori a 800 µg/g (p.s.); tra i siti che hanno mostrato i livelli più elevati, spiccano le stazioni A23, A34, A53 e A76. La presenza di idrocarburi alifatici spesso è legata a fenomeni naturali di decomposizione e degradazione di alghe e piante acquatiche e tale fenomeno può essere spesso piuttosto accentuato in aree portuali o in ambienti circoscritti; per questa ragione concentrazioni elevate di possono talvolta risultare normali e non destare preoccupazione, soprattutto se la distribuzione degli idrocarburi mostra la predominanza di composti tipici di origine naturale. Alcune delle concentrazioni riscontrate nel presente studio, richiedono tuttavia una certa attenzione per verificare anche nei campionamenti successivi la presenza di fenomeni perturbativi di natura antropica.

Per quanto riguarda gli idrocarburi policiclici aromatici, i campioni della fase di dragaggio al 50% (dicembre 2020) hanno mostrato sempre concentrazioni basse, con livelli mai superiori a 80 ng/g (p.s.), pertanto molto inferiori ai limiti normativi per questi composti.

Dall'analisi dei numerosi pesticidi organofosfati, pesticidi clorurati, policlorobifenili ed altre sostanze alogenate, solamente un limitato numero di analiti è stato riscontrato a livelli superiori ai limiti di detezione strumentale, tra qui aldrin, endrin, endrin aldeide, endrin ketone, PCB15, PCB187, metolcarb e methyl parathion. In generale tali composti sono stati osservati solamente in sporadici casi e a concentrazioni molto basse, come aldrin ed endrin che hanno evidenziato livelli superiori a L1 nel campione relativo alla stazione A08. Va tuttavia evidenziata la presenza di endrin chetone a concentrazioni piuttosto elevate, pari a circa 22 ng/g (p.s.) nella stazione A23; benché non siano disponibili limiti di riferimento per questo composto, considerando che si tratta di un prodotto di trasformazione in natura del pesticida endrin, la concentrazione misurata risulta superiore al doppio del limite L2 di quest'ultimo composto.

La Tabella 1.1.2.6 e la Figura 1.1.2.3 mostrano le concentrazioni di metalli in traccia, stagno organico totale (OSn), tributilstagno (TBT), idrocarburi alifatici totali (C10-C40), idrocarburi policiclici aromatici (IPA), pesticidi clorurati, policlorobifenili (PCB15 e PCB18) e pesticidi organofosfati nei sedimenti campionati al 100% delle operazioni di dragaggio e immersione in mare (febbraio 2021). Per quanto riguarda i metalli in traccia, i livelli misurati sono simili a quelli precedentemente misurati nei sedimenti di dicembre 2020: anche in questo caso, solamente arsenico e piombo, ed in un

singolo sporadico caso il nichel (stazione A76), mostrano lievi e puntiformi superamenti del livello L1 (DM 173/2016).

Per quanto riguarda i composti organostannici, come nel campionamento precedente, i livelli di TBT risultano solo sporadicamente maggiori di L1 (stazioni A08, A20, A21, A22, A23, A24 e A76), mentre le concentrazioni dei composti organostannici totali sono spesso maggiori di L2, suggerendo pertanto la necessità di porre attenzione ai futuri campionamenti.

Gli idrocarburi alifatici totali (C10-C40), differentemente dal gruppo di sedimenti analizzati nel campionamento precedente, nella campagna di febbraio 2021 (fase di dragaggio al 100%) hanno mostrato valori bassi, raramente superiori a 25 µg/g (p.s.) ed in un solo caso maggiori del livello L2, con una concentrazione pari a circa 74 µg/g (p.s.) nel campione della stazione A21. Livelli all'interno dei 100 µg/g riflettono spesso la presenza di idrocarburi derivanti da fenomeni di decomposizione di alghe e piante acquatiche. I risultati della presente campagna, oltre a evidenziare valori bassi che non destano particolare interesse, permettono anche di considerare come sporadici e senza conseguenze nel lungo termine gli alti livelli di alifatici misurati al termine della campagna precedente.

La situazione relativa agli idrocarburi policiclici aromatici ha nuovamente evidenziato una situazione con livelli molto bassi, raramente superiori a 60 ng/g (p.s.), e pertanto molto distanti dai limiti normativi.

La determinazione di numerosi pesticidi organofosfati, pesticidi clorurati, policlorobifenili ed altre sostanze alogenate ha evidenziato, anche in questo campionamento, solamente la sporadica presenza di un limitato numero di contaminanti organici persistenti, generalmente a livelli piuttosto bassi, tra i quali aldrin, endrin aldeide, dieldrin, methyl parathion ed ethoprophos. Aldrin ha mostrato valori maggiori di L1 nelle stazioni A14, A62 e A75 mentre dieldrin ha evidenziato un livello pari a circa 6 ng/g (p.s.) nel campione della stazione A24, maggiore rispetto alla soglia di L2: tuttavia il fatto che tali composti non siano stati ritrovati in maniera diffusa nell'area oggetto di studio, al momento non sembra destare particolare preoccupazione. Concentrazioni piuttosto elevate sono state ottenute per eldrin aldeide (pari a circa 44 ng/g p.s.), limitatamente al campione della stazione A22. Come già commentato per il campionamento precedente, anche questo composto non contempla limiti normativi di riferimento, ma considerando che si tratta di un composto derivato

della eldrin, il valore ottenuto risulterebbe quattro volte più elevato del limite L2 contemplato per tale pesticida clorurato, suggerendo pertanto un motivo di attenzione per i prossimi campionamenti.

Tabella 1.1.2.5 Concentrazioni di metalli pesanti, composti organostannici, idrocarburi alifatici, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e concentrazioni di composti organici persistenti, che includono pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili, polibromo-difenil eteri, altri ritardanti di fiamma organo brominati. In evidenza i dati che risultano maggiori dei livelli L1 (in giallo) e L2 (in arancione), secondo la normativa vigente (DM 173/2016). Sedimenti relativi alla fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020).

Parametri	U/M	ST A08	ST A11	ST A14	ST A17	ST A20	ST A21	ST A22	ST A23	ST A24	ST A47	ST A50	ST A53	ST A59	ST A62	ST A72	ST A74	ST A75	ST A76	
Elementi in traccia	Al	µg/g (ps)	29963	9176	3862	11519	43140	20401	36406	15138	49648	45090	11815	56274	10765	23542	9018	23741	31842	23315
	As	µg/g (ps)	11.60	11.46	10.91	8.87	12.30	14.95	11.55	11.44	12.27	6.97	9.30	9.57	7.07	8.91	8.65	11.18	12.82	9.50
	Cd	µg/g (ps)	0.030	0.014	0.003	0.003	0.020	0.021	0.018	0.031	0.009	0.018	0.005	0.013	0.015	0.022	0.011	0.020	0.021	0.044
	Cr	µg/g (ps)	18.71	11.01	10.69	6.01	19.34	19.29	12.08	19.86	11.36	10.07	9.98	4.39	11.91	19.07	10.37	22.53	18.22	21.31
	Cu	µg/g (ps)	20.19	15.00	4.03	1.73	15.64	20.39	14.65	26.65	4.48	2.88	4.30	9.23	6.39	4.83	2.60	19.33	16.17	22.52
	Fe	µg/g (ps)	32665	17235	15000	12463	27453	31709	20208	32186	17994	15013	13132	13702	15963	19481	15948	27067	24290	23676
	Hg	µg/g (ps)	0.0485	0.0571	0.0328	0.0250	0.0485	0.0581	0.0423	0.0381	0.0325	0.0633	0.0311	0.0332	0.0282	0.0352	0.0390	0.0572	0.0554	0.0464
	Mn	µg/g (ps)	519	368	314	344	585	949	340	573	1301	145	304	262	549	613	360	389	519	567
	Ni	µg/g (ps)	21.74	13.68	9.04	8.27	24.90	27.12	13.85	26.18	15.97	10.93	10.38	12.87	10.69	15.53	9.81	18.02	23.76	25.23
	Pb	µg/g (ps)	34.88	27.52	12.09	6.75	32.96	41.32	33.73	25.74	20.20	24.91	9.14	27.52	8.24	13.12	11.73	32.99	29.99	31.46
	V	µg/g (ps)	49.84	49.60	34.96	26.38	52.28	54.39	46.15	55.10	40.52	49.63	28.00	47.18	27.58	27.89	32.23	57.14	42.26	44.21
	Zn	µg/g (ps)	58.91	42.24	17.83	10.71	57.82	63.24	42.79	52.84	31.40	24.55	19.37	31.52	23.33	42.67	21.56	52.39	56.90	60.42
Stagno ed organostannici	Sn (tot)	µg/g (ps)	17.42	11.59	6.68	3.89	14.01	15.21	17.08	17.31	10.03	17.21	7.85	25.71	3.67	7.68	5.14	13.93	11.11	17.69
	OSn	µg/g (ps)	0.0336	0.0397	0.0309	0.0270	0.0504	0.0565	0.0356	0.0557	0.0372	0.0576	0.0575	0.0332	0.0346	0.0380	0.0314	0.0526	0.0403	0.0488
	TBT	µg/g (ps)	0.0105	0.0046	0.0245	0.0081	0.0073	0.0077	0.0050	0.0070	0.0070	0.0122	0.0100	0.0046	0.0068	0.0072	0.0040	0.0074	0.0056	0.0096
Idrocarburi alifatici	>C10-C12	µg/g (ps)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	>C12-C14	µg/g (ps)	< 0.01	0.08	0.10	0.05	0.11	0.17	0.09	0.16	0.06	< 0.01	0.13	0.07	0.24	0.17	0.05	0.07	0.22	0.14
	>C14-C16	µg/g (ps)	1.32	0.73	0.66	0.64	0.98	1.95	0.50	0.96	0.84	0.74	1.55	1.05	1.15	1.33	0.38	0.93	1.50	0.95
	>C16-C18	µg/g (ps)	4.10	3.05	2.37	2.53	4.24	7.45	2.12	4.29	4.08	3.45	6.29	4.72	3.46	4.58	1.36	3.34	5.84	4.14
	>C18-C20	µg/g (ps)	4.78	4.33	3.49	3.44	4.66	10.02	3.07	5.46	5.95	5.74	8.54	6.30	5.14	4.88	1.42	3.55	7.94	4.36
	>C20-C22	µg/g (ps)	6.64	7.50	3.75	3.47	8.74	7.64	5.55	6.55	6.34	4.82	10.99	8.39	6.78	8.19	2.08	6.96	7.35	5.82
	>C22-C24	µg/g (ps)	2.71	6.40	0.78	0.90	4.18	3.00	1.03	20.90	17.08	4.50	5.69	13.74	2.19	2.96	1.04	1.09	2.18	21.69
	>C24-C26	µg/g (ps)	2.65	36.45	0.83	0.85	21.61	4.40	0.80	110.11	110.12	22.37	10.81	71.37	1.58	1.77	1.05	1.17	3.87	120.14
	>C26-C28	µg/g (ps)	2.84	72.56	0.37	0.34	38.43	4.99	0.50	188.50	212.22	39.54	11.59	134.13	1.03	0.92	1.40	0.57	2.08	220.58
	>C28-C30	µg/g (ps)	3.48	70.20	1.02	0.55	36.19	3.89	0.41	179.09	198.66	36.33	14.21	129.09	1.28	1.07	1.59	0.78	2.10	208.20
	>C30-C32	µg/g (ps)	5.21	50.70	2.56	0.79	27.12	4.08	0.66	124.65	131.61	28.81	12.05	89.39	3.43	2.57	1.24	1.03	2.04	142.53
	>C32-C34	µg/g (ps)	3.52	30.23	0.47	0.56	18.08	1.59	0.15	68.33	66.67	17.46	5.91	49.36	2.15	0.45	0.43	0.28	1.48	77.43
	>C34-C36	µg/g (ps)	0.77	9.34	0.40	0.64	5.29	1.39	0.49	22.47	25.10	3.92	2.39	17.69	0.79	0.80	0.34	0.57	0.83	32.18
	>C36-C38	µg/g (ps)	0.48	2.07	0.31	0.33	1.58	0.55	0.33	5.61	5.87	1.10	1.09	3.39	0.43	0.55	0.21	0.49	1.13	8.15

Monitoraggio corso opera II – Risultati Sedimenti



>C38-C40	µg/g (ps)	< 0.01	0.51	< 0.01	< 0.01	0.31	< 0.01	< 0.01	1.59	1.72	0.32	< 0.01	1.11	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.33	
Alifatici tot (C10-C40)	µg/g (ps)	38.5	294.1	17.1	15.1	171.5	51.1	15.7	738.7	786.3	169.1	91.2	529.8	29.7	30.2	12.6	20.8	38.6	847.6	
Idrocarburi poliaromatici	Naftalene	ng/g (ps)	< 0.1	7.970	7.464	6.783	< 0.1	< 0.1	8.709	< 0.1	8.523	< 0.1	< 0.1	12.069	< 0.1	7.986	7.349	13.834	12.638	12.361
	Acenaftilene	ng/g (ps)	< 0.05	3.399	11.001	< 0.05	3.929	11.531	< 0.05	< 0.05	< 0.05	8.335	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	12.282	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	1-Metilnaftalene	ng/g (ps)	13.455	39.404	7.425	32.837	11.105	11.525	10.155	54.035	< 0.1	17.808	44.224	45.519	37.059	7.315	31.674	13.150	40.828	51.045
	2-Metilnaftalene	ng/g (ps)	8.029	< 0.1	4.196	4.676	< 0.1	5.455	5.965	5.930	6.515	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	4.425	4.479	7.475	5.826	6.439
	Acenaftene	ng/g (ps)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.814	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Fluorene	ng/g (ps)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.584	< 0.01	< 0.01	0.816	0.394	0.384	< 0.01	0.431	0.503	0.631	0.413	0.721
	Fenantrene	ng/g (ps)	3.992	3.208	2.945	2.961	3.422	3.742	3.460	3.828	4.053	3.375	2.925	3.239	3.824	3.351	3.487	4.438	3.466	4.917
	Antracene	ng/g (ps)	0.116	0.236	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.139	0.034	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Fluorantene	ng/g (ps)	< 0.01	2.901	0.080	0.393	0.298	0.473	0.716	< 0.01	< 0.01	2.027	4.475	0.794	0.361	< 0.01	0.460	< 0.01	0.446	< 0.01
	Pirene	ng/g (ps)	0.789	0.829	0.365	0.362	0.203	0.481	0.641	0.666	0.528	0.721	0.803	0.205	0.507	0.334	0.432	0.633	0.694	0.841
	Benzo(a)antracene	ng/g (ps)	0.518	< 0.01	< 0.01	0.313	< 0.01	0.311	< 0.01	0.453	0.282	0.375	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.275	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Crisene	ng/g (ps)	0.545	< 0.01	< 0.01	0.317	< 0.01	0.342	< 0.01	0.491	0.374	0.425	< 0.01	< 0.01	0.411	< 0.01	0.333	< 0.01	0.553	0.468
	7.12-Dimetilbenzo(a)antracene	ng/g (ps)	1.736	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.899	< 0.05	< 0.05	0.651	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	Benzo(b)fluorantene	ng/g (ps)	1.318	0.144	0.803	1.043	0.763	0.820	1.124	0.947	0.700	0.635	0.089	1.069	0.729	1.092	0.774	0.622	1.279	0.952
	Benzo(k)fluorantene	ng/g (ps)	0.593	< 0.001	< 0.001	0.513	0.405	0.498	0.634	0.645	0.345	0.420	0.375	0.398	0.592	0.560	0.463	0.492	0.539	0.565
	Benzo(a)pirene	ng/g (ps)	0.489	< 0.001	< 0.001	0.397	0.360	0.418	0.487	0.594	0.362	0.452	0.372	0.405	0.498	0.427	0.410	0.499	0.442	0.532
	Dibenzo(ah)antracene	ng/g (ps)	0.253	< 0.001	0.133	0.115	0.176	0.177	< 0.001	0.220	< 0.001	0.202	< 0.001	0.223	0.196	0.301	0.246	0.291	0.208	0.258
Benzo(ghi)perilene	ng/g (ps)	0.051	0.047	0.363	0.319	0.060	0.342	0.045	0.645	< 0.001	0.398	< 0.001	< 0.001	0.409	0.321	0.306	0.469	< 0.001	0.415	
Indeno(123cd)pirene	ng/g (ps)	0.169	0.219	< 0.05	0.443	< 0.05	< 0.05	0.126	0.726	0.400	< 0.05	0.152	0.149	0.673	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.084	< 0.05	
IPA basso PM	ng/g (ps)	25.59	54.22	33.03	47.26	18.46	32.25	28.87	63.79	19.90	30.33	47.54	61.35	40.92	23.51	59.77	39.53	63.17	75.48	
IPA alto PM	ng/g (ps)	6.46	4.14	1.74	4.21	3.16	3.86	3.77	6.04	2.99	5.65	6.27	3.24	4.38	3.04	3.70	3.01	4.25	4.03	
IPA tot	ng/g (ps)	32.05	58.36	34.78	51.47	21.62	36.11	32.65	69.83	22.90	35.99	53.81	64.59	45.29	26.54	63.47	42.53	67.42	79.51	
Pesticidi clorurati	Aldrin	ng/g (ps)	1.00	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	Endrin	ng/g (ps)	5.64	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	Endrin ald	ng/g (ps)	1.20	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.31	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.34	< 0.1
	Endrin ket	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	22.33	< 0.1	< 0.1	< 0.1	1.48	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	2.69
	Dieldrin	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	p,p'-DDT	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Policlorobifenili	PCB15	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	4.16	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	PCB187	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.28	< 0.1
	PCB totali	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	4.16	< 0.1	< 0.1	0.28

Tabella 1.1.2.6 Concentrazioni di metalli pesanti, composti organostannici, idrocarburi alifatici, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e concentrazioni di composti organici persistenti, che includono pesticidi organoclorurati, pesticidi organofosfati, clorofenoli, clorobifenili, policlorobifenili, polibromo-difenil eteri, altri ritardanti di fiamma organo brominati. In evidenza i dati che risultano maggiori dei livelli L1 (in giallo) e L2 (in arancione), secondo la normativa vigente (DM 173/2016). Sedimenti relativi alla fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021).

Parametri	U/M	ST A08	ST A11	ST A14	ST A17	ST A20	ST A21	ST A22	ST A23	ST A24	ST A47	ST A50	ST A53	ST A59	ST A62	ST A72	ST A74	ST A75	ST A76	
Elementi in traccia	Al	µg/g (ps)	12545	11111	19824	17017	40630	14129	17104	22132	11365	945	46524	9306	6895	6006	12144	29435	25258	9663
	As	µg/g (ps)	10.01	9.53	10.45	8.53	12.80	4.02	10.41	15.44	13.06	9.94	9.58	5.38	9.92	12.69	10.70	11.98	11.27	14.03
	Cd	µg/g (ps)	0.027	0.024	0.004	0.007	0.030	0.008	0.006	0.076	0.021	0.062	0.024	0.011	0.020	0.024	0.015	0.038	0.038	0.028
	Cr	µg/g (ps)	16.19	13.33	8.17	7.84	33.32	8.01	15.34	23.02	17.81	18.52	18.91	6.58	13.94	14.57	13.88	25.57	20.32	24.49
	Cu	µg/g (ps)	27.52	18.92	2.84	1.86	27.54	0.89	0.32	32.57	15.88	29.45	13.80	6.50	4.74	5.01	2.30	25.71	20.94	15.56
	Fe	µg/g (ps)	1335	19520	16435	12349	11770	22314	6461	13697	24688	26975	27408	22006	9289	13467	21449	12955	30077	34146
	Hg	µg/g (ps)	0.0687	0.0456	0.0261	0.0229	0.0526	0.0257	0.0337	0.0334	0.0415	0.0534	0.0467	0.0274	0.0298	0.0284	0.2413	0.0486	0.0567	0.0382
	Mn	µg/g (ps)	205	324	251	349	548	29	467	645	1438	673	288	146	568	642	341	491	587	716
	Ni	µg/g (ps)	16.50	17.09	9.35	8.69	27.21	6.06	15.15	29.72	22.96	27.38	17.99	10.32	15.49	21.61	16.69	25.25	28.48	35.19
	Pb	µg/g (ps)	37.71	32.05	11.63	8.23	27.97	9.51	16.94	24.64	28.80	25.93	37.40	16.70	11.30	12.13	14.21	38.12	34.70	40.52
	V	µg/g (ps)	49.49	39.62	24.21	17.95	44.95	10.24	26.84	48.64	37.71	42.54	47.06	20.81	21.83	29.66	26.72	47.50	45.81	59.08
	Zn	µg/g (ps)	44.74	46.28	15.95	12.46	53.54	2.96	29.45	47.70	44.71	59.23	41.35	10.47	29.08	28.24	20.98	62.46	65.25	52.76
Stagno ed organostannici	Sn (tot)	µg/g (ps)	9.24	16.23	9.37	9.36	26.38	10.15	17.18	25.43	22.96	24.54	30.99	14.97	15.97	10.86	13.80	23.80	21.25	27.38
	OSn	µg/g (ps)	0.0358	0.0447	0.0251	0.0277	0.1761	0.0807	0.0759	0.0906	0.1171	0.0710	0.0951	0.0492	0.1206	0.0585	0.0485	0.0988	0.0769	0.1354
	TBT	µg/g (ps)	0.0054	0.0038	0.0031	0.0036	0.0066	0.0066	0.0053	0.0055	0.0057	0.0028	0.0043	0.0026	0.0030	0.0042	0.0021	0.0031	0.0038	0.0068
Idrocarburi alifatici	>C10-C12	µg/g (ps)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	34.85	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.06	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	>C12-C14	µg/g (ps)	0.05	0.13	0.10	0.07	0.23	0.05	0.16	0.11	0.13	0.08	0.14	0.05	0.13	0.15	0.03	0.31	0.15	0.15
	>C14-C16	µg/g (ps)	0.66	0.51	0.49	0.51	0.92	1.47	0.78	0.80	0.82	0.28	0.66	1.08	1.08	0.99	0.25	0.66	0.95	0.76
	>C16-C18	µg/g (ps)	2.85	2.80	1.89	2.40	4.25	5.35	3.48	3.62	4.86	1.46	3.22	2.56	2.96	3.30	0.06	3.34	4.13	3.78
	>C18-C20	µg/g (ps)	4.36	3.14	3.00	3.30	6.79	8.39	4.61	3.53	5.52	2.04	3.39	3.18	4.78	4.13	2.28	4.51	3.86	4.01
	>C20-C22	µg/g (ps)	5.58	5.60	3.01	5.70	8.80	11.50	7.97	5.56	6.62	2.70	5.96	5.59	6.34	7.18	0.61	8.48	7.95	8.61
	>C22-C24	µg/g (ps)	1.01	1.79	0.96	1.74	1.81	2.41	1.43	1.44	2.76	1.46	2.20	1.33	1.79	2.64	1.73	1.68	3.38	3.14
	>C24-C26	µg/g (ps)	1.34	1.16	0.70	1.23	7.62	2.24	3.05	3.04	1.62	0.78	1.25	1.40	2.18	1.29	1.77	3.19	2.15	1.52
	>C26-C28	µg/g (ps)	0.95	0.40	0.73	0.55	1.34	1.39	1.09	2.53	0.76	0.45	0.59	0.67	2.36	0.85	1.67	1.46	1.03	0.47
	>C28-C30	µg/g (ps)	0.82	0.38	0.52	0.54	2.13	1.50	1.20	2.26	1.00	0.32	0.72	0.63	2.22	0.76	1.48	1.42	1.03	0.81
	>C30-C32	µg/g (ps)	1.47	0.92	1.31	0.79	5.83	1.97	3.02	1.72	1.23	1.30	2.56	1.44	3.51	1.15	0.16	1.63	1.99	1.41
	>C32-C34	µg/g (ps)	0.65	0.15	0.62	0.79	1.53	0.66	0.50	0.68	0.32	0.31	2.23	0.97	1.11	0.75	0.50	0.43	0.51	0.25
	>C34-C36	µg/g (ps)	0.61	0.45	0.39	0.69	1.07	1.28	0.93	0.81	0.99	0.33	1.17	0.93	1.02	0.93	0.66	0.85	1.09	0.86
	>C36-C38	µg/g (ps)	0.38	0.28	0.18	0.28	0.42	0.62	0.38	0.32	0.59	0.18	0.29	0.30	0.42	0.39	< 0.01	0.38	0.61	0.40

Monitoraggio corso opera II – Risultati Sedimenti



>C38-C40	µg/g (ps)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.07	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
Alifatici tot (C10-C40)	µg/g (ps)	20.7	17.7	13.9	18.7	42.7	73.7	28.6	26.4	27.2	11.7	24.4	20.1	29.9	24.5	11.2	28.3	28.8	26.2	
Idrocarburi poliaromatici	Naftalene	ng/g (ps)	< 0.1	11.347	6.483	6.228	< 0.1	13.101	9.795	9.405	15.304	9.267	< 0.1	8.423	5.623	10.955	< 0.1	< 0.1	11.228	19.360
	Acenafilene	ng/g (ps)	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
	1-Metilnaftalene	ng/g (ps)	< 0.1	43.590	31.202	18.251	49.194	14.038	36.677	27.061	12.678	41.090	13.436	32.018	30.119	37.427	31.414	14.880	43.475	63.168
	2-Metilnaftalene	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	3.296	6.693	8.994	< 0.1	< 0.1	< 0.1	5.809	13.322	< 0.1	< 0.1	6.997	< 0.1	8.495	< 0.1	< 0.1
	Acenafene	ng/g (ps)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.814	< 0.01	< 0.01	0.836	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.330
	Fluorene	ng/g (ps)	0.845	0.434	0.340	0.350	0.605	0.745	0.434	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.672	< 0.01	< 0.01	0.404	10.318	0.763	< 0.01	0.889
	Fenantrene	ng/g (ps)	3.163	2.694	2.403	2.236	4.420	5.090	3.493	3.601	6.244	3.666	3.571	2.874	1.573	3.193	1.833	5.070	3.629	6.297
	Antracene	ng/g (ps)	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
	Fluorantene	ng/g (ps)	3.033	< 0.01	0.505	< 0.01	< 0.01	0.532	1.929	0.269	0.380	0.210	2.300	1.788	0.636	0.763	0.248	1.382	1.052	1.112
	Pirene	ng/g (ps)	1.748	0.789	0.444	0.311	0.575	0.569	0.138	0.401	0.700	0.455	1.403	0.298	0.332	0.498	0.481	0.912	0.529	0.886
	Benzo(a)antracene	ng/g (ps)	2.054	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.496	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	1.220	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.376	0.873	0.384	< 0.01
	Crisene	ng/g (ps)	1.541	< 0.01	0.282	0.277	0.373	0.448	0.297	< 0.01	0.692	< 0.01	0.067	0.498	0.254	< 0.01	0.443	0.682	0.337	0.733
	7.12-Dimetilbenzo(a)antracene	ng/g (ps)	19.560	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	3.785	< 0.05	< 0.05	< 0.05	2.588	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	4.583	< 0.05	1.266
	Benzo(b)fluorantene	ng/g (ps)	2.777	1.204	0.612	0.527	1.041	1.913	1.168	1.315	3.175	0.877	1.810	2.064	0.805	0.962	0.113	3.287	1.407	1.237
	Benzo(k)fluorantene	ng/g (ps)	1.783	0.923	0.027	0.339	0.582	0.802	0.579	0.631	1.223	0.370	1.209	0.946	0.401	0.674	< 0.001	1.383	0.658	0.709
	Benzo(a)pirene	ng/g (ps)	1.368	0.772	0.266	0.301	0.549	0.636	0.467	0.485	0.815	0.396	0.957	0.737	0.353	0.536	0.405	0.901	0.514	0.649
	Dibenzo(ah)antracene	ng/g (ps)	0.801	< 0.001	< 0.001	0.096	< 0.001	0.192	0.176	< 0.001	< 0.001	0.180	0.459	0.228	0.142	0.197	0.166	0.382	0.201	0.385
Benzo(ghi)perilene	ng/g (ps)	1.290	0.833	0.034	0.354	0.719	0.662	0.416	0.486	0.702	0.046	0.825	0.689	< 0.001	0.543	0.047	0.938	0.516	0.847	
Indeno(123cd)pirene	ng/g (ps)	1.578	0.943	0.100	0.428	0.692	0.705	0.180	0.513	0.953	0.071	0.880	1.039	< 0.05	0.571	< 0.05	1.031	0.660	1.111	
IPA basso PM	ng/g (ps)	4.01	58.06	40.43	30.36	60.91	42.78	50.40	40.07	35.06	59.83	31.00	43.32	37.31	58.98	43.56	29.21	58.33	90.04	
IPA alto PM	ng/g (ps)	37.53	5.46	2.27	2.63	4.53	6.95	9.13	4.10	8.64	2.61	13.72	8.29	2.92	4.74	2.28	16.35	6.26	8.93	
IPA tot	ng/g (ps)	41.54	63.53	42.70	32.99	65.44	49.74	59.53	44.17	43.70	62.44	44.72	51.60	40.24	63.72	45.84	45.56	64.59	98.98	
Pesticidi clorurati	Aldrin	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	1.26	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	4.32	< 0.1	< 0.1	3.84	< 0.1	
	Endrin	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	Endrin ald	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	0.78	< 0.1	< 0.1	< 0.1	43.58	2.08	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	Endrin ket	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	Dieldrin	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	5.96	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	p.p'-DDT	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.70	< 0.1	< 0.1	
Policlorobifenili	PCB15	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	PCB187	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
	PCB totali	ng/g (ps)	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	

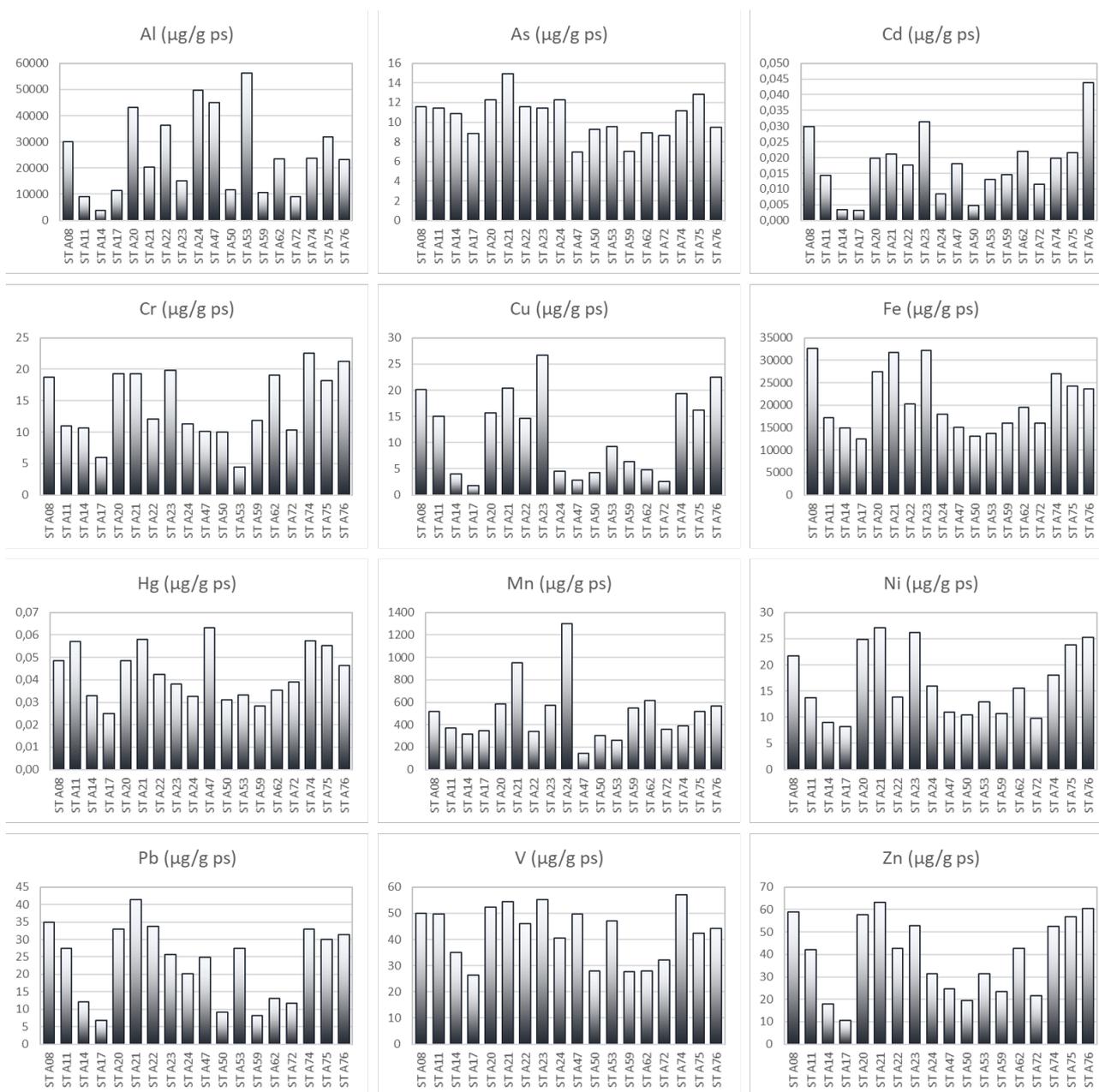


Figura 1.1.2.2 - Concentrazioni di metalli pesanti, composti organostannici, idrocarburi alifatici, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e concentrazioni di composti organici persistenti nei sedimenti. Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020).

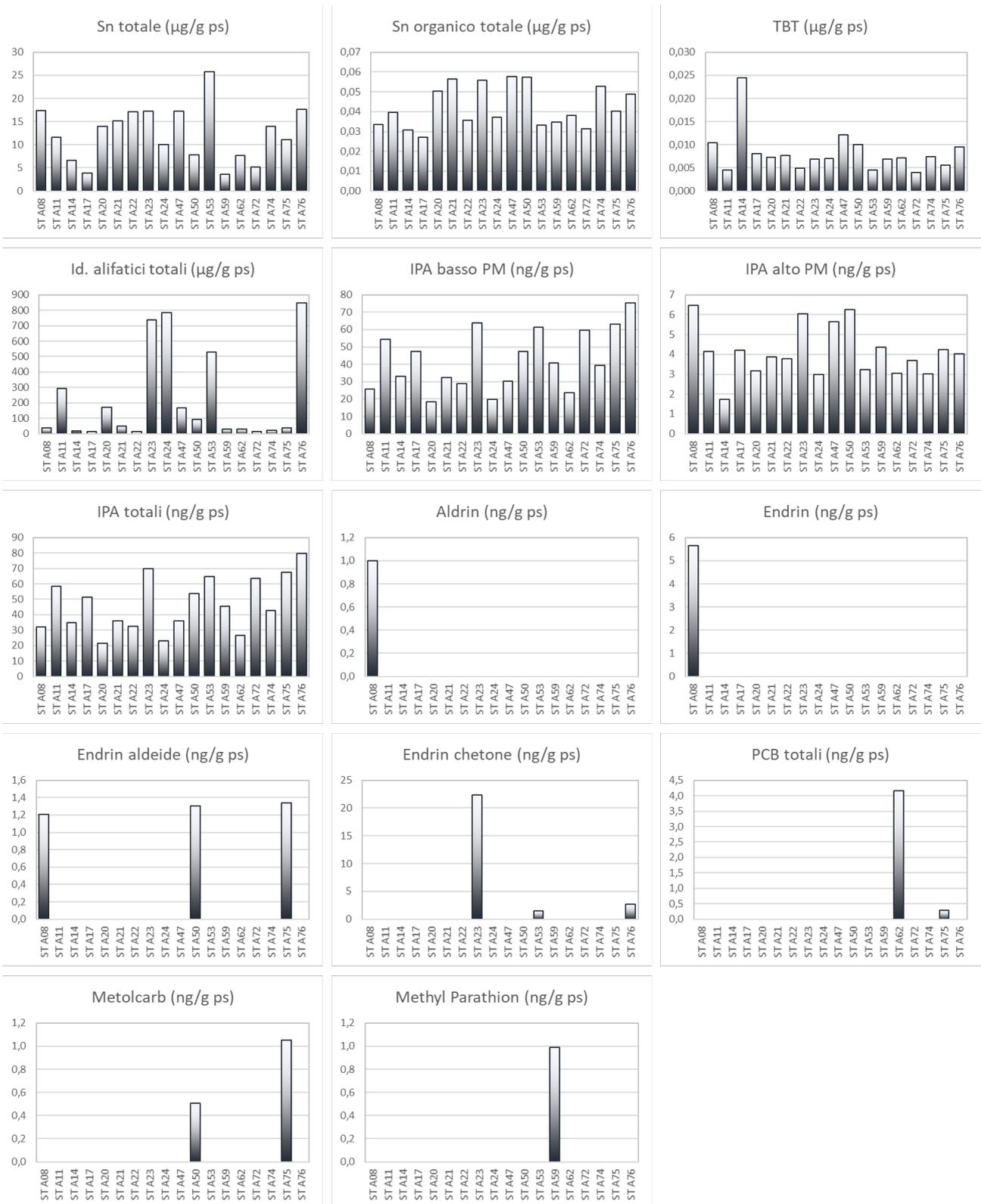


Figura 1.1.2.2 – Continua...

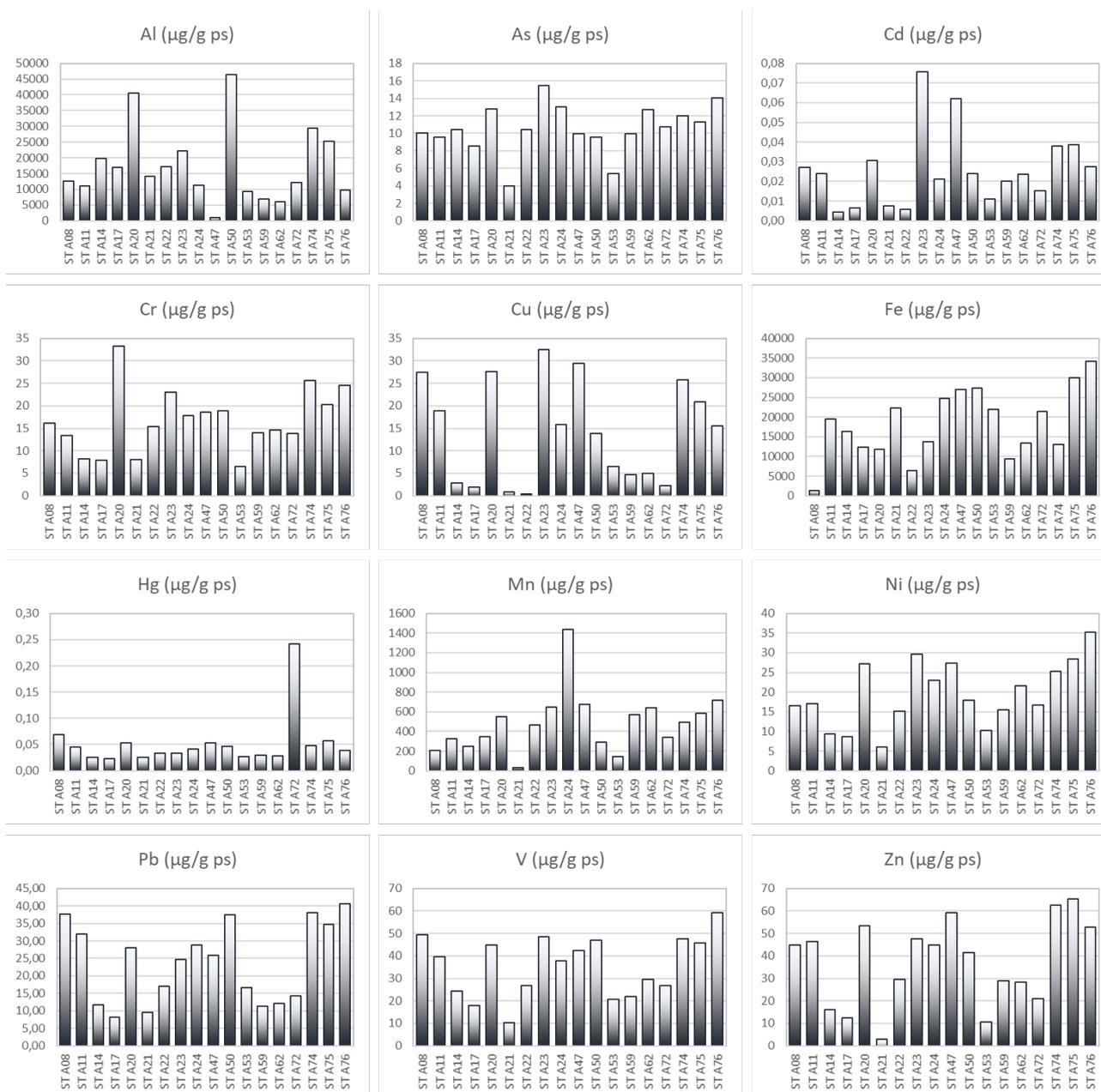


Figura 1.1.2.3 - Concentrazioni di metalli pesanti, composti organostannici, idrocarburi alifatici, idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e concentrazioni di composti organici persistenti nei sedimenti. Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021).



Figura 1.1.2.3 – Continua...

1.3. Classificazione del pericolo chimico dei sedimenti

I risultati delle analisi chimiche sono stati elaborati utilizzando il tool Sediqualsoft 109.0[®] che, nei confronti dei riferimenti normativi nazionali (L1 e L2), elabora un indice di pericolo chimico basato sul numero dei contaminanti che eccedono il riferimento specifico, la pericolosità di tali parametri, e l'entità degli sforamenti misurati. Questi criteri di integrazione ponderata, recepiti all'interno del DM 173/2016, abbandonano la logica del mero superamento del valore tabellare, anche minimo e da parte di un unico parametro, come principio per la classificazione della qualità chimica dei sedimenti.

Come riportato nella Tabella 1.1.3.7, l'elaborazione dei dati relativi alla fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020) ha fornito una classe di pericolo chimico da Assente a Basso nei confronti di L1 (DM 173/2016) per i campioni di sedimento A22, A23, A11, A17, A72, A53 A59 e A62, un livello di pericolo Medio per i campioni A20, A21, A24, A74, A75, A76, A14, A47 ed A50, mentre il livello di pericolo chimico è risultato Molto Alto solamente per il campione A08.

Per quanto riguarda i campioni della fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021) (Tabella 1.1.3.8), l'elaborazione nei confronti di L1 (DM 173/2016) ha fornito una classe di pericolo chimico da Assente a Basso per i campioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, con l'eccezione del campione A62 che presenta un livello di pericolo Molto Alto. Nelle aree di immersione o potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, è stato elaborato un livello di pericolo chimico da Assente a Basso per i campioni A21, A22, A74, A11, A17 e A72 mentre il livello di pericolo chimico è risultato Medio per i campioni A20, A23 e A76 e A08, Alto per il campione A14 e Molto Alto per i campioni A24, A75 e A62.

Per entrambe le campagne, i composti che hanno fornito il contributo percentualmente superiore all'indice di pericolo chimico sono stati il TBT, Pb, Aldrin e Dieldrin.

Per quanto riguarda il livello di riferimento L2 (DM 173/2016), il livello di pericolo chimico elaborato è risultato sempre Assente per i campioni di dicembre 2020 (dragaggio 50%), mentre i campioni della campagna di febbraio 2021 (dragaggio 100%) hanno mostrato un livello di pericolo chimico da Assente a Basso nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione. L'area di immersione ha evidenziato un aumento del livello di pericolo chimico rispetto alla precedente campagna con un livello di pericolo Basso per quasi tutti i campioni ad eccezione di A20 e A24 che presentano una classe di pericolo chimico Medio principalmente a causa della Σ organostannici.

Tabella 1.1.3.7 – Classificazione del pericolo chimico dei sedimenti mediante integrazione ponderata dei dati, utilizzando come riferimenti i valori limite L1 e L2 (DM 173/2016). Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020).

Area	Codice campione	L1				L2			
		HQ	% max/HQ	Par non conf.	Livello Pericolo	HQ	% max/HQ	Par non conf.	Livello Pericolo
Area di immersione	A20	4.21	45.9% (TBT)	3	MEDIO	0.12		0	ASSENTE
	A21	4.84	41.9% (TBT)	3	MEDIO	0.14		0	ASSENTE
	A22	1.36	100% (Pb)	1	BASSO	0.1		0	ASSENTE
	A23	1.95	100% (TBT)	1	BASSO	0.12		0	ASSENTE
	A24	2.92	64% (TBT)	2	MEDIO	0.08		0	ASSENTE
	A74	3.26	61.5% (TBT)	2	MEDIO	0.12		0	ASSENTE
	A75	2.64	57.6% (TBT)	2	MEDIO	0.11		0	ASSENTE
	A76	3.76	68.3% (TBT)	2	MEDIO	0.12		0	ASSENTE
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	13.3	49.2% (Aldrin)	4	MOLTO ALTO	0.13		0	ASSENTE
	A11	0.15		0	ASSENTE	0.09		0	ASSENTE
	A14	6.45	100% (TBT)	1	MEDIO	0.06		0	ASSENTE
	A17	2.16	100% (TBT)	1	BASSO	0.05		0	ASSENTE
	A72	0.1		0	ASSENTE	0.06		0	ASSENTE
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	3.25	100% (TBT)	1	MEDIO	0.08		0	ASSENTE
	A50	2.66	100% (TBT)	1	MEDIO	0.08		0	ASSENTE
	A53	0.13		0	ASSENTE	0.08		0	ASSENTE
	A59	1.85	100% (TBT)	1	BASSO	0.06		0	ASSENTE
	A62	1.98	100% (TBT)	1	BASSO	0.08		0	ASSENTE

Tabella 1.1.3.8 – Classificazione del pericolo chimico dei sedimenti mediante integrazione ponderata dei dati, utilizzando come riferimenti i valori limite L1 e L2 (DM 173/2016). Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021).

Area	Codice campione	L1				L2			
		HQ	% max/HQ	Par non conf.	Livello Pericolo	HQ	% max/HQ	Par non conf.	Livello Pericolo
Area di immersione	A20	2.92	61.7% (TBT)	2	MEDIO	3.28	100% (Σ organ.)	1	MEDIO
	A21	1.77	100% (TBT)	1	BASSO	1.48	100% (Σ organ.)	1	BASSO
	A22	1.47	100% (TBT)	1	BASSO	1.42	100% (Σ organ.)	1	BASSO
	A23	2.84	52.4% (TBT)	2	MEDIO	1.74	100% (Σ organ.)	1	BASSO
	A24	13.8	81.1% (Dieldrin)	3	MOLTO ALTO	4	54% (Σ organ.)	2	MEDIO
	A74	1.55	100% (Pb)	1	BASSO	1.89	100% (Σ organ.)	1	BASSO
	A75	26.4	95.1% (Aldrin)	2	MOLTO ALTO	1.49	100% (Σ organ.)	1	BASSO
	A76	5.79	30.8% (TBT)	4	MEDIO	2.55	100% (Σ organ.)	1	BASSO
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	2.9	50.4% (TBT)	2	MEDIO	0.11		0	ASSENTE
	A11	1.3	100% (Pb)	1	BASSO	0.1		0	ASSENTE
	A14	8.26	100% (Aldrin)	1	ALTO	0.06		0	ASSENTE
	A17	0.08		0	ASSENTE	0.05		0	ASSENTE
	A72	0.16		0	ASSENTE	0.1		0	ASSENTE
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	0.17		0	ASSENTE	0.14		0	ASSENTE
	A50	1.49	100% (Pb)	1	BASSO	1.79	100% (Σ organ.)	1	BASSO
	A53	0.09		0	ASSENTE	0.07		0	ASSENTE
	A59	0.1		0	ASSENTE	2.23	100% (Σ organ.)	1	BASSO
	A62	29.2	96.4% (Aldrin)	2	MOLTO ALTO	0.09		0	ASSENTE

2. Risposte ecotossicologiche

2.1. Risultati dei saggi ecotossicologici

Nella Tabella 2.2.1.1, vengono mostrati i risultati ottenuti per i singoli saggi ecotossicologici (*Vibrio fischeri* in fase solida, *Phaeodactylum tricornutum*, *Paracentrotus lividus* e *Crassostrea gigas* sugli elutriati).

Per quanto riguarda il saggio con il *Vibrio fischeri* effettuato sul sedimento in fase solida, i risultati ottenuti per la bioluminescenza riflettono una sostanziale assenza di tossicità per tutti i campioni prelevati durante le operazioni di dragaggio al 50% (dicembre 2020) ad eccezione del campione A14 che ha evidenziato una moderata tossicità (Tabella 2.2.1.1, Figura 2.2.1.1). I campioni di sedimento riferiti alla fase di dragaggio al 100% (febbraio 2021) hanno evidenziato un'assenza di tossicità ad eccezione dell'area di immersione che evidenzia un aumento di tossicità rispetto al periodo di dicembre 2020 (Tabella 2.2.1.2, Figura 2.2.1.1).

Per quanto riguarda il saggio con l'elutriato testato sull'alga *Phaeodactylum tricornutum*, quasi tutti i campioni relativi alla fase di dragaggio al 50% (dicembre 2020) hanno evidenziato un generale fenomeno di biostimolazione della crescita algale (Tabella 2.2.1.3, Figura 2.2.1.2), con un valore massimo del 39.3% nel campione A22 dell'area di immersione. I campioni A23, A74, A50 e A62 hanno mostrato un leggero effetto di inibizione della crescita algale con un effetto massimo pari al 20% nel campione A23. Anche i campioni prelevati durante le operazioni di dragaggio al 100% (febbraio 2021) presentano biostimolazione della crescita algale ad eccezione dei campioni A21, A08 e A72 (Tabella 2.2.1.4, Figura 2.2.1.2). Il campione A72 (febbraio 2021) ha mostrato la tossicità maggiore nel saggio con *P. tricornutum* con una percentuale di inibizione pari a 47.8%.

I risultati complessivi del saggio di embriotossicità con l'ostrica *C. gigas* vengono riportati nelle Tabelle 2.2.1.5 e 2.2.1.6 ed espressi come percentuale di esemplari malformati in tutti i campioni (compresi i controlli); nella Figura 2.2.1.2, i dati vengono invece presentati dopo correzione di Abbott. Gli effetti biologicamente più rilevanti sono stati ottenuti nei campioni A08, A14 (campagna dicembre 2020, fase di dragaggio al 50%) e A20 (campagna febbraio 2021, fase di dragaggio al 100%) con una percentuale di malformati pari a circa il 50%; una percentuale di malformati compresa tra il 25% e il 45% è stata riscontrata nei campioni A21, A22, A23, A24, A59 (dicembre 20 e febbraio 21), A75, A76 A47, A50 (dicembre 20) e A24, A74 (febbraio 21) (Tabella 2.2.1.5 e 2.2.1.6). I risultati del saggio con *C. gigas* mostrano una situazione generalmente simile nei due periodi di campionamento, anche se mediamente si evidenzia un aumento di percentuale di

malformati nell'area di immersione pari a circa + 4% durante la fase di dragaggio al 100% (febbraio 2021, Figura 2.2.1.2).

Tabella 2.2.1.1 – Risultati del saggio con *Vibrio fischeri* in fase solida. Valori di bioluminescenza espressi in unità tossiche (U.T.) peso secco (p.s.) (medie \pm deviazioni standard). Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020).

Area	Codice campione	Controllo			Campione		
		U.T. (p.s.)			U.T. (p.s.)		
Area di immersione	A20	301.1	\pm	6.3	285.5	\pm	38.3
	A21	300.9	\pm	12.4	293.3	\pm	69.7
	A22	124.0	\pm	10.0	24.2	\pm	3.6
	A23	314.5	\pm	24.3	411.6	\pm	65.0
	A24	85.6	\pm	0.5	29.5	\pm	1.8
	A74	309.6	\pm	5.5	260.2	\pm	54.5
	A75	273.1	\pm	6.5	340.3	\pm	58.2
	A76	323.0	\pm	33.0	478.4	\pm	179.3
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	246.3	\pm	10.5	150.6	\pm	13.0
	A11	305.1	\pm	12.6	107.1	\pm	8.4
	A14	67.5	\pm	3.6	140.0	\pm	14.5
	A17	65.5	\pm	8.6	6.9	\pm	5.2
	A72	220.7	\pm	4.0	32.3	\pm	3.0
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	318.3	\pm	18.9	380.0	\pm	41.7
	A50	266.6	\pm	12.1	144.8	\pm	15.3
	A53	63.8	\pm	1.6	34.1	\pm	3.5
	A59	76.6	\pm	1.4	15.2	\pm	2.7
	A62	214.6	\pm	6.4	15.4	\pm	2.8

Tabella 2.2.1.2 – Risultati del saggio con *Vibrio fischeri* in fase solida. Valori di bioluminescenza espressi in unità tossiche (U.T.) peso secco (p.s.) (medie ± deviazioni standard). Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021).

Area	Codice campione	Controllo		Campione	
		U.T. (p.s.)		U.T. (p.s.)	
Area di immersione	A20	310.9	± 34.6	719.3	± 161.3
	A21	307.2	± 20.2	433.6	± 137.3
	A22	175.3	± 3.7	325.6	± 82.5
	A23	299.0	± 24.8	701.5	± 205.9
	A24	282.6	± 3.4	440.6	± 107.3
	A74	297.6	± 11.8	436.8	± 74.2
	A75	301.5	± 11.3	403.2	± 163.0
	A76	295.8	± 17.4	487.3	± 57.7
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	254.2	± 7.3	111.0	± 8.8
	A11	264.2	± 31.5	95.2	± 11.7
	A14	50.7	± 8.3	15.1	± 15.3
	A17	68.2	± 3.0	7.4	± 4.6
	A72	98.5	± 5.0	28.9	± 1.1
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	175.5	± 6.1	3.3	± 1.2
	A50	222.4	± 7.6	213.0	± 21.9
	A53	36.0	± 0.9	7.0	± 0.2
	A59	77.9	± 4.0	12.1	± 8.9
	A62	75.4	± 1.8	11.4	± 0.7

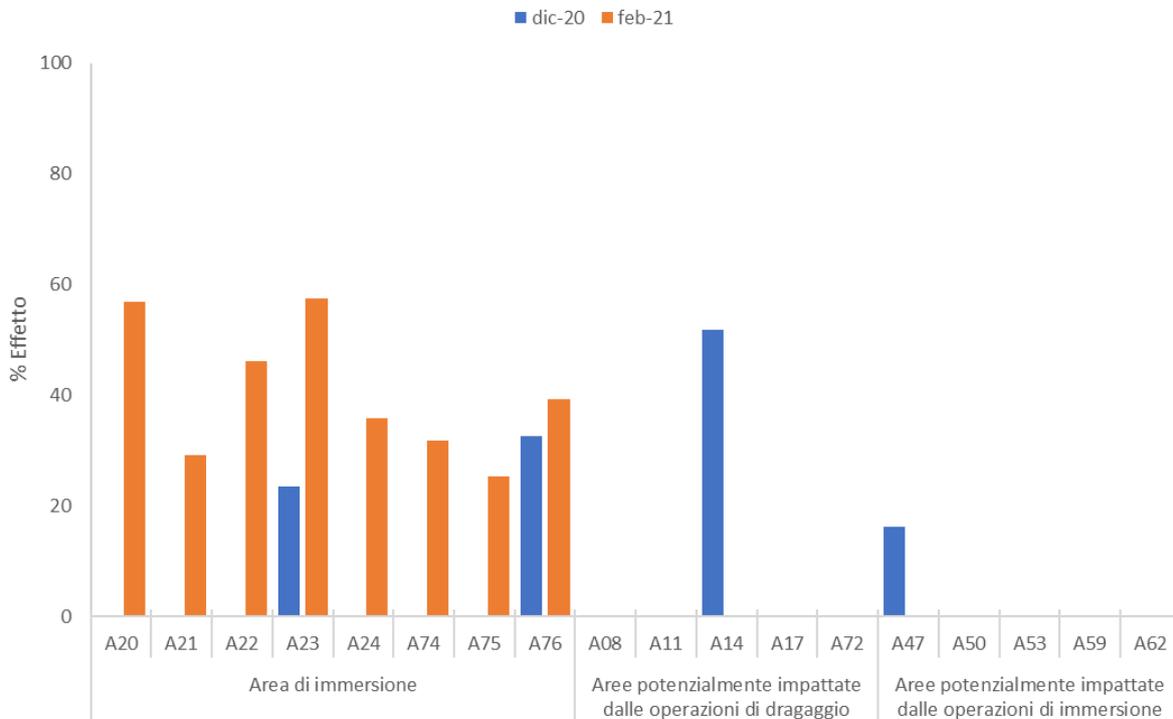


Figura 2.2.1.1 - Risultati del saggio con *Vibrio fischeri* in fase solida svolto sui sedimenti prelevati sia a dicembre 2020 (attività di dragaggio al 50%) sia a febbraio 2021 (attività di dragaggio al 100%). Percentuale di effetto.

Tabella 2.2.1.3 - Risultati del saggio con *Phaeodactylum tricoratum*. Valori di crescita algale espressi in cellx10³/ml (medie ± deviazioni standard). Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020).

Area	Codice campione	cellx10 ³ /ml	
	CTRL	858.5	± 42.3
Area di immersione	A20	868.9	± 53.9
	A21	880.4	± 53.1
	A22	1196.3	± 83.0
	A23	680.4	± 76.8
	A24	1165.2	± 83.4
	A74	847.0	± 101.4
	A75	941.9	± 39.1
	A76	868.5	± 50.4
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	888.5	± 111.2
	A11	1133.0	± 133.8
	A14	1139.6	± 47.6
	A17	1021.5	± 105.2
	A72	908.5	± 25.0
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	1093.0	± 60.8
	A50	770.0	± 56.1
	A53	1035.2	± 60.6
	A59	884.8	± 37.6
	A62	781.1	± 66.8

Tabella 2.2.1.4 - Risultati del saggio con *Phaeodactylum tricornutum*. Valori di crescita algale espressi in cellx10³/ml (medie ± deviazioni standard). Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021).

Area	Codice campione	cellx10 ³ /ml	
		CTRL	3485.6
Area di immersione	A20	3623.3	± 270.6
	A21	3373.3	± 357.3
	A22	4130.0	± 711.9
	A23	4070.0	± 191.6
	A24	3656.7	± 180.1
	A74	3493.3	± 527.7
	A75	3650.0	± 557.6
	A76	3723.3	± 122.2
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	3164.4	± 313.9
	A11	4253.3	± 370.0
	A14	3776.7	± 825.5
	A17	3623.3	± 774.4
	A72	1820.0	± 60.8
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	3383.3	± 1170.1
	A50	3823.3	± 402.0
	A53	3933.3	± 755.9
	A59	3813.3	± 370.7
	A62	3723.3	± 403.8



Figura 2.2.1.2- Risultati del saggio con *Phaeodactylum tricornutum* svolto sui sedimenti prelevati sia a dicembre 2020 (attività di dragaggio al 50%) sia a febbraio 2021 (attività di dragaggio al 100%). Percentuale di crescita algale.

Tabella 2.2.1.5 – Risultati del saggio di embriotossicità con *Crassostrea gigas*. Valori di sviluppo espresso in % di esemplari malformati su tutti i campioni (medie \pm deviazioni standard). Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020).

Area	Codice campione	% esemplari malformati		
	CTRL	14.5	\pm	3.6
Area di immersione	A20	29.7	\pm	7.1
	A21	43.3	\pm	2.5
	A22	41.7	\pm	1.5
	A23	40.0	\pm	8.2
	A24	34.3	\pm	3.1
	A74	28.3	\pm	2.1
	A75	41.7	\pm	5.8
	A76	43.7	\pm	3.8
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	51.3	\pm	4.0
	A11	27.7	\pm	4.9
	A14	50.3	\pm	8.3
	A17	30.0	\pm	7.5
	A72	29.0	\pm	1.7
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	37.7	\pm	6.1
	A50	45.0	\pm	8.7
	A53	29.3	\pm	2.1
	A59	48.0	\pm	8.2
	A62	32.3	\pm	2.5

Tabella 2.2.1.6 – Risultati del saggio di embriotossicità con *Crassostrea gigas*. Valori di sviluppo espresso in % di esemplari malformati su tutti i campioni (medie ± deviazioni standard). Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021).

Area	Codice campione	% esemplari malformati		
			±	
	CTRL	14.5	±	3.6
Area di immersione	A20	49.3	±	2.5
	A21	39.3	±	2.1
	A22	43.0	±	1.7
	A23	47.7	±	4.9
	A24	47.3	±	3.8
	A74	37.3	±	5.5
	A75	28.7	±	2.5
	A76	35.3	±	2.5
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	32.3	±	4.2
	A11	29.7	±	2.1
	A14	34.7	±	5.5
	A17	35.3	±	4.0
	A72	33.0	±	7.0
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	27.3	±	4.6
	A50	28.0	±	4.6
	A53	34.0	±	2.6
	A59	38.7	±	9.8
	A62	24.7	±	3.2

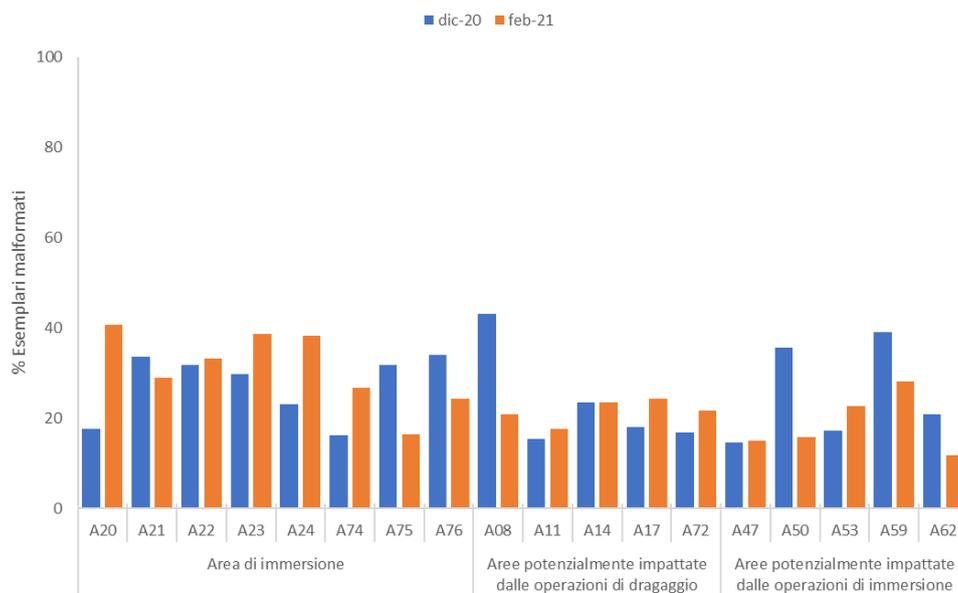


Figura 2.2.1.3- Risultati del saggio di embriotossicità con *Crassostrea gigas* svolto sui sedimenti prelevati sia a dicembre 2020 (attività di dragaggio al 50%) sia a febbraio 2021 (attività di dragaggio al 100%). Percentuale di esemplari malformati dopo correzione di Abbott.

2.2. Classificazione del pericolo ecotossicologico dei sedimenti

Le Tabelle 2.2.2.7-2.2.2.8 mostrano i risultati complessivi dell'elaborazione della batteria di saggi ecotossicologici condotti sui sedimenti.

I criteri di integrazione ponderata del DM 173/2016 consentono di abbandonare il principio della classificazione ecotossicologica determinata dal risultato peggiore: il giudizio sull'intera batteria dipende dalla rilevanza tossicologica dell'endpoint misurato in ciascun saggio, dalla soglia di sensibilità della specie, dalla significatività statistica ed entità delle variazioni misurate, dalle condizioni di saggio.

La classe di pericolo ecotossicologico elaborata per i campioni di sedimento durante le operazioni di dragaggio al 50% (dicembre 2020) (Tabella 2.2.2.7) è risultata sempre Assente, ad eccezione dei campioni A23 dell'area di immersione e A14 proveniente dalle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio che hanno evidenziato una classe di pericolo ecotossicologico Medio. Per quanto riguarda i campioni relativi alla fase di dragaggio al 100% (febbraio 2021), si conferma un livello di pericolo ecotossicologico generalmente Assente per le aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio o dalle operazioni di immersione, ad eccezione di un campione (A72) che presenta un livello Medio; tende ad aumentare la classe di pericolo ecotossicologico per i campioni di sedimento dell'area di immersione che è risultata Assente per i campioni A21 e A75, Bassa per A24, A74, e Media nei campioni A20, A21, A23 e A76 (Tabella 2.2.2.8).

In generale, i saggi con *C. gigas* e *V. fischeri* sono stati quelli che hanno contribuito maggiormente alla tossicità complessiva della batteria.

Un lieve aumento del livello di pericolo ecotossicologico nell'area di immersione è stato osservato così come per i risultati del livello di pericolo chimico durante le operazioni di movimentazione dei sedimenti al 100% (febbraio 2021) rispetto al prelievo precedente (50% dicembre 2020).

Tabella 2.2.2.7 – Elaborazione della classe di pericolo ecotossicologico ottenuta mediante i criteri di integrazione ponderata sulle batterie di saggi (DM 173/2016). Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020).

Area	Campione	Specie	Contr % HQ	HQ _{batteria}	Classificazione ecotossicologica
Area di immersione	A20	<i>Crassostrea gigas</i>		0.32	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A21	<i>Crassostrea gigas</i>		0.61	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A22	<i>Crassostrea gigas</i>		0.58	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A23	<i>Crassostrea gigas</i>	39%	1.59	MEDIO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	45%		
		<i>Vibrio fischeri</i>	16%		
A24	<i>Crassostrea gigas</i>		0.42	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				
	<i>Vibrio fischeri</i>				
A74	<i>Crassostrea gigas</i>		0.31	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				
	<i>Vibrio fischeri</i>				
A75	<i>Crassostrea gigas</i>		0.75	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				
	<i>Vibrio fischeri</i>				
A76	<i>Crassostrea gigas</i>		0.85	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				
	<i>Vibrio fischeri</i>				
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	<i>Crassostrea gigas</i>		0.79	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A11	<i>Crassostrea gigas</i>		0.28	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A14	<i>Crassostrea gigas</i>	41%	2.3	MEDIO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0%		
		<i>Vibrio fischeri</i>	59%		
	A17	<i>Crassostrea gigas</i>		0.33	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
A72	<i>Crassostrea gigas</i>		0.31	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				
	<i>Vibrio fischeri</i>				
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	<i>Crassostrea gigas</i>		0.65	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A50	<i>Crassostrea gigas</i>		0.96	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A53	<i>Crassostrea gigas</i>		0.32	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A59	<i>Crassostrea gigas</i>		0.71	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
A62	<i>Crassostrea gigas</i>		0.51	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				
	<i>Vibrio fischeri</i>				

Tabella 2.2.2.8 –Elaborazione della classe di pericolo ecotossicologico ottenuta mediante i criteri di integrazione ponderata sulle batterie di saggi (DM 173/2016). Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio2021).

Area	Campione	Specie	Contr % HQ	HQ _{batteria}	Classificazione ecotossicologica
Area di immersione	A20	<i>Crassostrea gigas</i>	27%	2.86	MEDIO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0%		
		<i>Vibrio fischeri</i>	73%		
	A21	<i>Crassostrea gigas</i>		0.71	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A22	<i>Crassostrea gigas</i>	27%	2.21	MEDIO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0%		
		<i>Vibrio fischeri</i>	73%		
	A23	<i>Crassostrea gigas</i>	26%	2.84	MEDIO
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0%		
		<i>Vibrio fischeri</i>	74%		
A24	<i>Crassostrea gigas</i>	53%	1.05	BASSO	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0%			
	<i>Vibrio fischeri</i>	47%			
A74	<i>Crassostrea gigas</i>	30%	1.42	BASSO	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0%			
	<i>Vibrio fischeri</i>	70%			
A75	<i>Crassostrea gigas</i>		0.44	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				
	<i>Vibrio fischeri</i>				
A76	<i>Crassostrea gigas</i>	24%	1.69	MEDIO	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0%			
	<i>Vibrio fischeri</i>	76%			
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	<i>Crassostrea gigas</i>		0.36	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A11	<i>Crassostrea gigas</i>		0.25	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A14	<i>Crassostrea gigas</i>		0.33	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A17	<i>Crassostrea gigas</i>		0.35	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
A72	<i>Crassostrea gigas</i>	21%	1.71	MEDIO	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	79%			
	<i>Vibrio fischeri</i>	0%			
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	<i>Crassostrea gigas</i>		0.23	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A50	<i>Crassostrea gigas</i>		0.22	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A53	<i>Crassostrea gigas</i>		0.33	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
	A59	<i>Crassostrea gigas</i>		0.4	ASSENTE
		<i>Phaeodactylum tricornutum</i>			
		<i>Vibrio fischeri</i>			
A62	<i>Crassostrea gigas</i>		0.17	ASSENTE	
	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>				
	<i>Vibrio fischeri</i>				

3. Classificazione della qualità dei sedimenti

Applicando i criteri di integrazione ponderata recepiti dal D.M. n. 173 del 15 luglio 2016 “Regolamento recante modalità e criteri tecnici per l'autorizzazione all'immersione in mare dei materiali di escavo di fondali marini”, l'elaborazione del pericolo chimico e del pericolo ecotossicologico dei sedimenti sono state integrate per elaborare la “Classe di Qualità” dei sedimenti analizzati.

Nelle Tabelle 3.1 e 3.2 sono riassunte per ogni campione di sedimento dell'area di immersione, dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio e dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione, la percentuale di pelite, la Classe di pericolo ecotossicologico, il contributo percentuale fornito a questo pericolo dall'elutriato, la Classe di pericolo chimico, e la Classe di Qualità complessiva del materiale: sebbene non siano previste attività di movimentazione dei sedimenti di tutte le aree, per una maggior confrontabilità dei risultati, vengono anche indicate quali sarebbero le opzioni gestionali eventualmente previste in seguito alla classificazione dei sedimenti ottenuta mediante DM 173/2016.

FASE DI PRELIEVO DEL 50% DEL MATERIALE DA DRAGARE (DICEMBRE 2020) (Tabella 3.1):

Campioni dell'area di immersione (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75 e A76):

- I campioni **A20, A21, A22, A24, A74, A75 e A76** sono risultati di **Classe A** con valori di pelite superiori a quanto indicato per il ripascimento emerso. Secondo le indicazioni del DM 173/2016, questi sedimenti sono compatibili con opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.
- Il campione **A23** è risultato di **Classe C** e dunque compatibile con l'immersione in ambiente conterminato.

Campioni dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (A08, A11, A14, A17, A72):

- I campioni **A08, A11, A17 e A72** sono risultati di **Classe A** con valori di pelite superiori a quanto indicato per il ripascimento emerso. Secondo le indicazioni del DM 173/2016, questi sedimenti sono compatibili con opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.

- Il campione A14 è risultato essere di **Classe C** e dunque compatibile con l'immersione in ambiente conterminato.

Campioni dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione (A47, A50, A53, A59, A62):

- tutti i campioni sono risultati di **Classe A**. con valori di pelite superiori a quanto indicato per il ripascimento emerso. Secondo le indicazioni del DM 173/2016, questi sedimenti sono compatibili con opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.

FASE DI PRELIEVO DEL 100% DEL MATERIALE DA DRAGARE (FEBBRAIO 2021) (Tabella 3.2):

Campioni dell'area di immersione (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75 e A76):

- Il campione **A74** è risultato di **Classe A** ma con un contenuto di pelite superiore a quello previsto per il ripascimento della spiaggia emersa. Secondo le indicazioni del DM 173/2016, questo sedimento è compatibile con opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.
- I campioni **A21, A75** sono risultati di **Classe B** e dunque compatibili con l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.
- I campioni **A22, A23, A24, A76** sono risultati di **Classe C** e dunque compatibili con l'immersione in ambiente conterminato.
- Il campione **A20** è risultato **Classe D**. Secondo le indicazioni del DM 173/16 questo sedimento è da considerare come di Classe C e, quindi, compatibile con l'immersione in ambiente conterminato.

Campioni dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (A08, A11, A14, A17, A72):

- I campioni **A08, A11, A14** e **A17** sono risultati di **Classe A**. Secondo quanto previsto dal DM 173/2016, soltanto il campione A14 presenta un contenuto di pelite compatibile anche con il ripascimento della spiaggia emersa, mentre per tutti gli altri campioni sarebbero possibili opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.

- Il campione A72 è risultato essere di **Classe C** e dunque compatibile con l'immersione in ambiente conterminato.

Campioni dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione (A47, A50, A53, A59, A62):

- I campioni **A47, A53 e A62** sono risultati di **Classe A**. Secondo quanto previsto dal DM 173/2016, i campioni A47 e A53 hanno un contenuto di pelite tale da renderli idonei anche con il ripascimento della spiaggia emersa: tutti i campioni sono compatibili per opzioni di gestione quali il ripascimento sommerso, l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato.
- I campioni **A50 e A59** sono risultati di **Classe B** e dunque compatibili con l'immersione deliberata in aree marine non costiere o in ambiente conterminato marino-costiero.

La Tabella 3.3 mostra un confronto tra la classificazione di qualità del materiale ottenuta con i campioni relativi alla fase di prelievo del 50% (dicembre 2020) e quelli del 100% (febbraio 2021) del materiale da dragare di sedimento. Nell'area di immersione si osserva un passaggio di classe di qualità del sedimento per tutti i campioni, ad eccezione del campione A74.

Tabella 3.1 –Classificazione di qualità dei sedimenti (classe di pericolo ecotossicologico, classificazione chimica, classe di qualità del materiale). Fase di dragaggio al 50% (campagna dicembre 2020).

Area	Campione	% Pelite	Classe di pericolo ecotossicologico	Contributo % elutriato	Classe di pericolo chimico	Classe di qualità del materiale	Note
Area di immersione	A20	85.3	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A21	87.7	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A22	30.8	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso
	A23	92.3	MEDIO	84.18	HQc(L2) <= Basso	C	
	A24	18.5	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso
	A74	90.8	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A75	74.7	ASSENTE	77.25	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A76	95.1	ASSENTE	73.01	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	67.2	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A11	88.5	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A14	13.5	MEDIO	41.07	HQc(L2) <= Basso	C	
	A17	12.8	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso
	A72	62.3	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	93.6	ASSENTE	74.47	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A50	75.2	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A53	11.5	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso
	A59	16.3	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso
	A62	60.5	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso

Tabella 3.2 –Classificazione di qualità dei sedimenti (classe di pericolo ecotossicologico, classificazione chimica, classe di qualità del materiale). Fase di dragaggio al 100% (campagna febbraio 2021).

Area	Campione	% Pelite	Classe di pericolo ecotossicologico	Contributo % elutriato	Classe di pericolo chimico	Classe di qualità del materiale	Note
Area di immersione	A20	91.2	MEDIO	27.06	HQc(L2) => Medio	D	Sedimenti di classe D da considerare come di classe C
	A21	90.0	ASSENTE	61.04	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A22	47.6	MEDIO	27.2	HQc(L2) <= Basso	C	
	A23	78.7	MEDIO	25.91	HQc(L2) <= Basso	C	
	A24	82.2	BASSO	53.01	HQc(L2) >= Medio e HQc(L2) <= Alto	C	
	A74	87.0	BASSO	30.29	HQc(L1) <= Basso	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento
	A75	88.2	ASSENTE	53.4	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A76	86.4	MEDIO	24.32	HQc(L2) <= Basso	C	
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	71.1	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A11	76.1	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Valori superiori a quanto indicato per ripascimento emerso
	A14	8.1	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	
	A17	13.7	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso
	A72	23.4	MEDIO	100	HQc(L2) <= Basso	C	
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	2.4	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	
	A50	62.8	ASSENTE	100	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A53	3.1	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	
	A59	16.8	ASSENTE	100	HQc(L2) >= Basso e HQc(L2) <= Medio	B	
	A62	16.0	ASSENTE	100	HQc(L2) <= Trascurabile	A	Pelite superiore a quanto indicato per ripascimento emerso

Tabella 3.3 –Classificazione di qualità dei sedimenti: fase di prelievo del 50% (dicembre 2020) e del 100% (febbraio 2021) del materiale da dragare.

Area	Campione	Classe di qualità del materiale	
		dicembre 2020	febbraio 2021
Area di immersione	A20	A	D
	A21	A	B
	A22	A	C
	A23	C	C
	A24	A	C
	A74	A	A
	A75	A	B
	A76	A	C
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	A	A
	A11	A	A
	A14	C	A
	A17	A	A
	A72	A	C
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	A	A
	A50	A	B
	A53	A	A
	A59	A	B
	A62	A	A

Valutazioni complessive sul confronto tra le “Classi di Qualità” dei sedimenti campionati nel 2018 (ante operam), 2020 (corso d'opera I anno) e 2020-2021 (corso d'opera II anno)

Il confronto tra i risultati ottenuti dall'elaborazione della “Classe di Qualità” dei sedimenti campionati nel 2018 (*ante operam*), nel maggio 2020 (*corso d'opera I anno*), nel dicembre 2020 e nel febbraio 2021 (*corso d'opera II anno*) sono mostrati nella Tabella 1; le Tabelle 2 e 3 riportano invece i livelli del pericolo chimico e del pericolo ecotossicologico.

Nell'area di immersione si osserva un **generale peggioramento della classe di qualità dei sedimenti**: tale risultato compare solo nella fase *corso d'opera I anno* (**maggio 2020**) in alcuni siti, mentre **nella maggior parte dei campioni** è evidente al termine della fase *corso d'opera II anno* (**febbraio 2021**).

I sedimenti che mostrano solo un temporaneo peggioramento della qualità a **maggio 2020** sono i campioni **A21 e A74** che passano dalla classe “B” alla classe “C”. Questo risultato è in entrambi i casi dovuto principalmente alle **concentrazioni di Endrin** che mostra livelli maggiori rispetto al limite normativo L2 e che determina un **pericolo chimico “Alto”**. Nel caso del campione A21, a maggio 2020 aumenta anche il livello di **pericolo ecotossicologico** che passa da “Assente” a “Medio”, principalmente a causa delle risposte ottenute con il saggio di inibizione della crescita algale di *P. tricornutum* e il saggio di embriotossicità nell'ostrica *C. gigas*. Sia il pericolo chimico che quello ecotossicologico risultano “Assente” o “Basso” negli altri periodi evidenziando pertanto un peggioramento solo temporaneo a maggio 2020 dei campioni A21 e A74 che nel febbraio 2021 mostrano una classe di qualità paragonabile o addirittura migliore rispetto a quella osservata nella fase *ante operam*.

Nei campioni **A20, A22, A23, A24 e A76** il **peggioramento** della classe di qualità del sedimento si osserva a **febbraio 2021**. Nel caso del campione **A20**, la **classe di qualità** passa da “B” nel periodo *ante operam* (2018) a “D” al termine della fase *corso d'opera II anno* (febbraio 2021). Tale risultato è la combinazione di un **livello di pericolo chimico ed un livello di pericolo ecotossicologico** che da “Assente” o “Basso”, diventano entrambi “Medio”. Il peggioramento del pericolo chimico dipende prevalentemente dalle concentrazioni dei **composti organostannici**, mentre per il pericolo ecotossicologico, il livello “Medio” è dovuto ai saggi di embriotossicità con l'ostrica *C. gigas* e di inibizione della bioluminescenza con il batterio *A. fischeri*. Anche **nei campioni A22, A23, A24 e A76**, la **classe di qualità** dei sedimenti passa da “A” o “B” nella fase *ante operam* (2018) alla classe “C”

nel febbraio 2021. In questi campioni tuttavia, la **classe di pericolo chimico rimane inalterata** o addirittura mostra un certo miglioramento dal 2018 al 2021, mentre al contrario, il **pericolo ecotossicologico aumenta** passando da un livello “Assente” ad un livello generalmente **“Medio”** e determinando il passaggio della qualità del sedimento alla classe “C”: nuovamente sono i saggi di embriotossicità con l’ostrica *C. gigas* e di inibizione della bioluminescenza del batterio *A. fischeri* a contribuire maggiormente alla tossicità complessiva della batteria.

Nell’area di immersione, solo il **campione A75 non sembra** essere stato particolarmente **influenzato** dalle attività di movimentazione del sedimento, e presenta delle oscillazioni tra “Assente” e “Basso” per quanto riguarda il pericolo chimico e sempre “Assente” per il pericolo ecotossicologico.

Per quanto riguarda le **aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio**, si osserva nei campioni **A8 e A11 un temporaneo peggioramento nel maggio 2020** della classe di qualità dei sedimenti che passa da “A” a “C”. Tale risultato è dovuto al **peggioramento del pericolo ecotossicologico** che in entrambi i campioni passa da “Assente” a **“Medio”**, soprattutto per le risposte del saggio con il batterio *A. fischeri*, e in misura minore di quello con l’ostrica *C. gigas*. L’aumento del pericolo ecotossicologico è tuttavia solo temporaneo e risulta “Assente” in tutti gli altri periodi. Il campione **A11** a maggio 2020 mostra un **aumento temporaneo** anche del **pericolo chimico** (per le concentrazioni degli **organostannici**) che tuttavia da “Medio” torna ad essere “Assente” nei periodi successivi.

Da un punto di vista chimico, anche il campione **A14** evidenzia un temporaneo aumento al livello **“Medio” nel maggio 2020**, ancora una volta per i valori degli **organostannici** ma che non determina però un peggioramento della classe di qualità del sedimento.

Ulteriori oscillazioni della classe di qualità dei sedimenti sono state osservate per il campione **A14** e per il campione **A72**, che variano tra “A” e “C” nelle diverse fasi analizzate. In questi campioni **non si hanno variazioni del pericolo chimico** ma sono **sempre** le risposte del saggio con l’ostrica *C. gigas* e l’alga *P. tricornutum* a determinare un **pericolo ecotossicologico “Medio”** che influisce sulla classe di qualità del sedimento.

Non è stata osservata **alcuna variazione** per il campione **A17** che presenta sempre una classe di qualità “A”.

Per quanto riguarda le **aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione**, le **maggiori differenze** si osservano nel **maggio 2020** con un generale peggioramento della classe di qualità del

sedimento rispetto alla fase *ante operam*. In particolare, nei campioni **A50, A51 e A65** tale peggioramento deriva dal **pericolo chimico** che passa da “Assente” ad “Alto” prevalentemente per le concentrazioni di **Endrin** e dei composti **organostannici**: in A50 Endrin contribuisce al 75,5% del pericolo chimico, in A59 Endrin contribuisce al 67,2% mentre in A65 il 100% del pericolo chimico è dovuto ai composti organostannici.

In tutti i campioni analizzati il pericolo chimico torna ad essere “Assente” con conseguente recupero della classe di qualità del materiale che risulta “A” o “B” nella fase di *corso d'opera II anno* (dicembre 2020 e febbraio 2021). **In tutti i campioni** delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, il **pericolo ecotossicologico** risulta generalmente “Assente” con l'unica eccezione di A47 e A65 in fase *ante operam* (rispettivamente “Basso” e “Medio”).

In **conclusione**, l'analisi comparativa dei dati permette di effettuare le seguenti considerazioni:

- le **variazioni nelle classi di qualità** dei sedimenti sono concentrate prevalentemente **in 2 periodi**, la fase *corso d'opera I anno* (**maggio 2020**) e la fase *corso d'opera II anno* (**febbraio 2021**);
- le variazioni osservate a **maggio 2020** risultano **sempre temporanee**, interessano alcuni campioni di **tutte e tre le aree** (quelle di immersione, quelle potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio o dalle operazioni di immersione). Tali effetti sono **generalmente** associati ad un **aumento del pericolo chimico (endrin e organostannici)**, che tuttavia non è generalmente confermato da un corrispondente aumento del pericolo ecotossicologico;
- le variazioni osservate a **febbraio 2021** interessano **prevalentemente l'area di immersione**, solo un campione nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e nessuno campione dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione. In questi campioni sono **soprattutto le risposte ecotossicologiche** a determinare il peggioramento della classe di qualità con un unico campione che evidenzia anche valori più elevati di L2 per i composti organostannici;
- le **variazioni** delle classi di qualità appaiono **di modesta entità** con **andamenti variabili** e generalmente temporanei in funzione dei siti e, soprattutto, della congruità tra risultati chimici ed ecotossicologici.

Tabella 1 – Confronto delle elaborazioni della classe di qualità dei sedimenti ottenute nel 2018 (*ante operam*), maggio 2020 (*corso d'opera I anno*), dicembre 2020 e febbraio 2021 (*corso d'opera II anno*).

Area	Campione	Classe di qualità del materiale			
		<i>ante operam</i>	<i>corso d'opera I anno</i>	<i>corso d'opera II anno</i>	
		2018	maggio – 2020	dicembre – 2020	febbraio - 2021
Area di immersione	A20	B	A	A	D
	A21	B	C	A	B
	A22	A	B	A	C
	A23	B	B	C	C
	A24	B	A	A	C
	A74	B	C	A	A
	A75	A	B	A	B
	A76	B	A	A	C
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	A	C	A	A
	A11	A	C	A	A
	A14	C	A/B	C	A
	A17	A	A	A	A
	A72	A	A	A	C
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	A	B	A	A
	A50	A	C	A	B
	A53	A	B	A	A
	A59	A	C	A	B
	A62	A	B	A	A
	A65	C	C	-	-
	A68	A	A	-	-

Tabella 2 – Confronto del livello di pericolo chimico dei sedimenti ottenute nel 2018 (*ante operam*), maggio 2020 (*corso d'opera I anno*), dicembre 2020 e febbraio 2021 (*corso d'opera II anno*).

Area	Codice campione	L2 (DM 173/16)			
		2018	mag-20	dic-20	feb-21
Area di immersione	A20	BASSO	ASSENTE	ASSENTE	MEDIO
	A21	MEDIO	ALTO	ASSENTE	BASSO
	A22	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	BASSO
	A23	MEDIO	BASSO	ASSENTE	BASSO
	A24	MEDIO	TRASCURABILE	ASSENTE	MEDIO
	A74	BASSO	ALTO	ASSENTE	BASSO
	A75	TRASCURABILE	BASSO	ASSENTE	BASSO
	A76	MEDIO	MEDIO	ASSENTE	BASSO
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08 (0-50)	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A08 (50-100)		ASSENTE		
	A11 (0-50)	ASSENTE	MEDIO	ASSENTE	ASSENTE
	A11 (50-100)		ASSENTE		
	A14 (0-50)	ASSENTE	MEDIO	ASSENTE	ASSENTE
	A14 (50-100)		ASSENTE		
	A17 (0-50)	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A17 (50-100)		ASSENTE		
A72 (0-50)	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	
A72 (50-100)		ASSENTE			
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	ASSENTE	BASSO	ASSENTE	ASSENTE
	A50	ASSENTE	ALTO	ASSENTE	BASSO
	A53	ASSENTE	BASSO	ASSENTE	ASSENTE
	A59	ASSENTE	ALTO	ASSENTE	BASSO
	A62	ASSENTE	BASSO	ASSENTE	ASSENTE
	A65	ASSENTE	ALTO	-	-
	A68	ASSENTE	ASSENTE	-	-

Tabella 3 – Confronto del livello di pericolo ecotossicologico dei sedimenti ottenute nel 2018 (*ante operam*), maggio 2020 (*corso d'opera I anno*), dicembre 2020 e febbraio 2021 (*corso d'opera II anno*).

Area	Campione	Classificazione ecotossicologica			
		2018	mag-20	dic-20	feb-21
Area di immersione	A20	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	MEDIO
	A21	ASSENTE	MEDIO	ASSENTE	ASSENTE
	A22	ASSENTE	BASSO	ASSENTE	MEDIO
	A23	ASSENTE	ASSENTE	MEDIO	MEDIO
	A24	ASSENTE	BASSO	ASSENTE	BASSO
	A74	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	BASSO
	A75	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A76	ASSENTE	BASSO	ASSENTE	MEDIO
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio	A08	ASSENTE	MEDIO	ASSENTE	ASSENTE
	A11	ASSENTE	MEDIO	ASSENTE	ASSENTE
	A14	MEDIO	ASSENTE	MEDIO	ASSENTE
	A17	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A72	BASSO	ASSENTE	ASSENTE	MEDIO
Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione	A47	BASSO	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A50	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A53	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A59	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A62	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE	ASSENTE
	A65	MEDIO	ASSENTE	-	-
	A68	ASSENTE	ASSENTE	-	-

4. Caratterizzazione microbiologica

Al fine di valutare il grado di contaminazione dei sedimenti e la relativa pericolosità per l'ambiente acquatico circostante, ci si è riferiti al D.M. n. 367 del 6 novembre 2003 (Gazzetta Ufficiale Serie Generale n. 284 dell'8 gennaio 2004 – 4 dicembre 2008), che fissa gli standard di qualità ambientale per i sedimenti di acque marino-costiere, lagune e stagni. Le normative vigenti prevedono la determinazione dei principali indicatori di contaminazione microbiologica dei sedimenti allo scopo di fornire indicazioni in merito all'opportunità di mettere in atto misure di contenimento per questo tipo di contaminazione. Esse, tuttavia, non prevedono valori di riferimento per ecosistemi costieri non interessati dalla balneazione. In particolare, le analisi microbiologiche condotte in questo contesto hanno avuto lo scopo di valutare lo stato di salute dei sedimenti da cui sono stati prelevati i campioni in relazione alla eventuale contaminazione di tipo fecale.

Oltre che alla ricerca di batteri derivanti da suoli che insistono sulla fascia costiera (Coliformi totali), è stata valutata la presenza di batteri indicatori di contaminazione fecale, sia di origine umana che animale, recente o in atto (Coliformi fecali ed *E. coli*), pregressa (Streptococchi fecali) e remota (Clostridi solfito-riduttori). In particolare, eventi di contaminazione remota vengono ben documentati dalla ricerca di Clostridi solfito-riduttori che, per la loro capacità di produrre spore, sono in grado di resistere a condizioni di stress ed accumularsi nell'ambiente.

Come ulteriore segnale di contaminazione antropica, anche di tipo pregressa, sono stati ricercati gli Stafilococchi coagulasi positivi, relativamente persistenti in ambiente marino per il loro grado di alotolleranza.

Contemporaneamente è stata valutata la presenza di batteri di origine antropica e potenzialmente in grado di indurre patologie di natura gastroenterica (*Salmonella* spp.).

Le analisi batteriologiche sono state integrate dalla ricerca dei miceti (funghi lievitriformi e filamentosi), microrganismi che, oltre ad essere diffusamente presenti negli ambienti naturali, possono essere correlati ad eventi di contaminazione di origine antropica.

I risultati delle analisi microbiologiche effettuate sui campioni di sedimento prelevati nel corso del monitoraggio sono riportati nelle tabelle di seguito riportate.

Risultati analisi microbiologiche sedimenti

Dicembre 2020								
Sedimenti	Coliformi totali (MPN·g _{ps} ⁻¹)	Coliformi fecali (MPN·g _{ps} ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> (MPN·g _{ps} ⁻¹)	Streptococchi fecali (MPN·g _{ps} ⁻¹)	Stafilococchi (coagulasi +) (UFC·g _{ps} ⁻¹)	Clostridi solfito riduttori (UFC·g _{ps} ⁻¹)	<i>Salmonella</i> spp. (P/A in 25 g _{ps})	Miceti (UFC·g _{ps} ⁻¹)
St. A08	<0,43	<0,43	<0,43	<0,43	0	0	Assente	43,5
St. A11	3,03	<0,45	<0,45	<0,45	0	48,5	Assente	51,5
St. A14	12,92	2,77	1,53	52,77	41,7	61,1	Assente	86,1
St. A17	9,74	4,94	<0,39	18,18	26	103,9	Assente	49,4
St. A47	8,08	<0,64	<0,64	15,95	0	42,5	Assente	204,2
St. A50	<0,58	<0,58	<0,58	7,31	0	323,1	Assente	176,9
St. A53	2,99	2,99	<0,45	9,1	14,9	202,9	Assente	164,2
St. A59	2,7	<0,41	0,41	5,13	0	48,6	Assente	51,4
St. A62	17,65	<0,44	<0,44	5,59	14,7	100	Assente	91,2
St. A72	15,94	5,51	4,06	2,9	14,5	107,2	Assente	147,8

MPN: Most Probable Number; UFC = Unità Formanti Colonia; P/A = Presenza/Assenza; ps: peso secco

Febbraio 2021								
Sedimenti	Coliformi totali (MPN·g _{ps} ⁻¹)	Coliformi fecali (MPN·g _{ps} ⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> (MPN·g _{ps} ⁻¹)	Streptococchi fecali (MPN·g _{ps} ⁻¹)	Stafilococchi (coagulasi +) (UFC·g _{ps} ⁻¹)	Clostridi solfito riduttori (UFC·g _{ps} ⁻¹)	<i>Salmonella</i> spp. (P/A in 25 g _{ps})	Miceti (UFC·g _{ps} ⁻¹)
St. A08	6,61	3,08	<0,4	14,3	0	133,8	Assente	30,8
St. A11	15,71	2,14	<0,43	2,86	28,6	182,9	Assente	171,4
St. A14	<0,38	<0,38	<0,38	1,41	0	61,5	Assente	102,6
St. A17	1,51	<0,42	<0,42	31,51	13,7	63	Assente	38,4
St. A47	2,47	1,53	<0,37	2,47	0	54,3	Assente	148,1
St. A50	26,79	13,39	10,89	1,96	35,7	625	Assente	107,1
St. A53	2,78	1,53	<0,42	<0,42	0	20,8	Assente	138,9
St. A59	9,47	3,82	2,63	46,05	26,3	209,2	Assente	236,8
St. A62	5,97	2,78	1,53	4,17	0	105,6	Assente	111,1
St. A72	30	10,57	6,14	87,14	42,9	428,6	Assente	271,4

MPN: Most Probable Number; UFC = Unità Formanti Colonia; P/A = Presenza/Assenza; ps: peso secco

Per l'interpretazione dei dati ottenuti dalle analisi microbiologiche sono stati considerati i seguenti gradi di contaminazione arbitrari:

Gradi di contaminazione microbica sedimenti			
N. microrganismi/g _{ps}	Grado contaminazione	N. microrganismi/g _{ps} (Clostridi solfito-riduttori)	Grado contaminazione
Coliformi totali, Coliformi fecali, <i>Escherichia coli</i> , Enterococchi intestinali, Stafilococchi coagulasi-positivi			
≤5	Bassissimo	≤10	Bassissimo
>5-≤10	Molto basso	>10-≤50	Molto basso
>10-≤50	Basso	>50-≤100	Basso
>50-≤100	Moderato	>100-≤1.000	Moderato
>100-≤1.000	Alto	>1.000-≤100.000	alto
>1.000-≤100.000	Molto alto	>100.000-≤1.000.000	Molto alto
>100.000	Altissimo	>1.000.000	Altissimo

Per i miceti, data la loro diffusa presenza negli ambienti naturali, non sono stati stabiliti gradi di contaminazione; ove necessario, tuttavia, l'abbondanza dei miceti è stata classificata prendendo come riferimento le concentrazioni relative ai gradi di contaminazione dei clostridi solfito-riduttori.

A08 (15 dic 2020) – Dalle analisi microbiologiche effettuate è emersa una bassissima contaminazione ambientale recente correlata alle concentrazioni di Coliformi fecali ($<0,43 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Anche la contaminazione fecale umana ed animale, in base alle concentrazioni *E. coli* e Streptococchi fecali ($<0,43 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) è risultata bassissima. Riguardo alla contaminazione fecale umana ed animale di tipo remoto, non è stata rilevata la presenza di Clostridi solfito-riduttori. Non è stata riscontrata, inoltre, la presenza di batteri del genere *Staphylococcus* in grado di produrre coagulasi. Anche i batteri patogeni appartenenti al genere *Salmonella* sono risultati assenti. La concentrazione dei Miceti è stata rilevata a valori molto bassi ($43,5 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A08 (22 feb 2021) - Le analisi microbiologiche effettuate sul campione di sedimento hanno evidenziato una contaminazione recente molto bassa di provenienza ambientale, con un valore di Coliformi totali pari a $6,61 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$. La contaminazione di origine umana ed animale, correlata alla presenza di Coliformi fecali ($3,08 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ed *E. coli* ($<0,46 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) è risultata bassissima. Per gli Streptococchi fecali ($14,3 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) è stata riscontrata una concentrazione leggermente più alta rispetto agli altri

indicatori ma, in ogni caso, bassa. La contaminazione fecale di tipo remoto, data dai Clostridi solfito-riduttori, è risultata di valore moderato ($133,9 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Non è stata riscontrata la presenza di batteri del genere *Staphylococcus* in grado di produrre coagulasi né di batteri patogeni appartenenti al genere *Salmonella* sono risultati assenti. È stata riscontrata una bassissima presenza di Miceti ($30,8 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A11 (16 dic 2020) - Dal campione di sedimento è emersa una bassissima contaminazione sia ambientale (Coliformi totali $3,03 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) che fecale recente (Coliformi fecali ed *E. coli* $1,41 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e pregressa (Streptococchi fecali $1,41 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La concentrazione dei Clostridi solfito-riduttori ($48,5 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) denota una contaminazione fecale di tipo remoto a livelli molto bassi. Non è stata rilevata la presenza di *Staphylococcus* coagulasi-positivo né di batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di miceti è stata riscontrata in bassa concentrazione ($51,5 \text{ UFC MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A11 (22 feb 2021) - Nel campione di sedimento è stata riscontrata una bassa contaminazione fecale recente di origine ambientale (Coliformi totali $11,71 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre bassissima è risultata la contaminazione di origine animale da Coliformi fecali ($2,14 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), *E. coli* ($<0,43 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e Streptococchi fecali ($2,86 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La contaminazione fecale di tipo remoto, riferita ai Clostridi solfito-riduttori, ha mostrato una concentrazione a valori moderati ($182,9 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Colonie di *Staphylococcus* coagulasi positivo sono state riscontrate in concentrazione bassa ($28,6 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), non è stata rilevata, invece, la presenza di batteri appartenenti al genere *Salmonella*. I miceti erano presenti a concentrazione da considerarsi moderata ($171,4 \text{ UFC MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A14 (15 dic 2020) – Le analisi microbiologiche del campione di sedimento hanno messo in evidenza la presenza di una bassa contaminazione ambientale, dovuta alla presenza di Coliformi totali ($12,92 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), e di una bassissima contaminazione animale recente correlata alla presenza di Coliformi fecali ($2,77 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ed *E. coli* ($1,53 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Un grado moderato di contaminazione è stato rilevato anche riguardo all'inquinamento fecale di vecchia data, dovuto alla presenza di Clostridi solfito-riduttori ($61,1 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Nel campione di sedimento sono stati riscontrati valori bassi di *Staphylococcus* coagulasi-positivi ($41,7 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre sono risultati assenti i batteri patogeni appartenenti al genere *Salmonella*. Un valore basso è stato, inoltre, riscontrato per la concentrazione dei Miceti ($86,1 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A14 (22 feb 2021) – Dalle analisi del campione di sedimento è emersa la presenza di una bassissima contaminazione fecale recente, sia di origine ambientale da Coliformi totali ($<0,38 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), che

animale da Coliformi fecali ed *E. coli* ($<0,38 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e di tipo pregresso da Streptococchi fecali ($1,41 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Riguardo alla fecale contaminazione remota, è stata osservata un basso contenuto in Clostridi solfito-riduttori ($61,5 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Nel campione di sedimento non sono stati riscontrati Stafilococchi coagulasi-positivi nè batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata riscontrata in moderata concentrazione ($102,6 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A17 (15 dic 2020) - Il campione ha fatto riscontrare una contaminazione ambientale recente molto bassa (Coliformi totali $9,74 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), ed una bassissima contaminazione fecale recente (Coliformi fecali $4,94 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$; *E. coli* $<0,39 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La presenza di Streptococchi fecali in concentrazione di $18,18 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$ ha fatto registrare una contaminazione fecale pregressa classificabile come bassa. Per la contaminazione fecale remota sono stati riscontrati, invece, valori moderati di Clostridi solfito-riduttori ($103,9 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). È stata osservata una concentrazione bassa di *Staphylococcus* coagulasi-positivi ($26 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre non è stata riscontrata la crescita di batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata riscontrata in concentrazione molto bassa ($49,4 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A17 (22 feb 2021) - Nel campione di sedimento è stata riscontrata una bassissima contaminazione sia di tipo ambientale da Coliformi totali ($1,51 \text{ MPN} \cdot \text{g}^{-1}\text{ps}$), sia di tipo fecale recente da Coliformi fecali ($<0,42 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ed *E. coli* ($<0,42 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La contaminazione fecale di tipo pregressa da Streptococchi fecali è risultata, invece, solo leggermente più alta ($31,51 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Anche la contaminazione fecale di tipo remoto correlata ai Clostridi solfito-riduttori è stata rilevata a valori bassi ($63 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Batteri identificati come *Staphylococcus* coagulasi-positivi sono stati isolati a concentrazione bassa ($13,7 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre non è stata riscontrata la crescita di batteri patogeni appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti si è attestata ad un valore da ritenersi basso ($38,4 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}\text{ps}$).

A47 (16 dic 2021) - Il campione ha mostrato una contaminazione ambientale molto bassa (Coliformi totali $8,08 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ed una bassissima contaminazione fecale recente dovuta alla presenza di Coliformi fecali e di *E. coli* ($<0,64 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La concentrazione degli Streptococchi fecali ($15,95 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) denota una bassa contaminazione fecale pregressa. La concentrazione dei Clostridi solfito-riduttori ($42,5 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), tuttavia, ha messo in evidenza una contaminazione fecale remota molto bassa. Non sono stato isolati batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi nè batteri patogeni del genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata in concentrazione moderata ($204,2 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A47 (23 feb 2021) – Il campione ha mostrato una bassissima contaminazione di origine ambientale

dovuta alla presenza di Coliformi totali ($2,47 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Anche la contaminazione fecale recente, correlata alla presenza di Coliformi fecali ($1,53 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e di *E. coli* ($<0,37 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), e quella di tipo pregressa, dovuta agli Streptococchi fecali ($2,47 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), sono da considerarsi di livello bassissimo. La contaminazione fecale remota da Clostridi solfito-riduttori ha fatto registrare un valore moderato ($148,1 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Non sono stati riscontrati batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi nè batteri patogeni del genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata in moderata concentrazione ($148,1 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A50 (16 dic 2020) - Il campione di sedimento ha evidenziato bassissimi livelli di contaminazione ambientale (Coliformi totali $<0,58 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e fecale recente (Coliformi fecali ed *E. coli* $<0,58 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La contaminazione di tipo fecale pregressa da Streptococchi fecali ($7,31 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) è risultata molto bassa. Una moderata contaminazione fecale remota, invece, è stata messa in evidenza da una concentrazione di Clostridi solfito-riduttori pari a $323,1 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$. Non è stata riscontrata la presenza di batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi né di batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata in concentrazione moderata ($176,9 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A50 (23 feb 2021) - Nel campione di sedimento sono stati rilevati bassi livelli di contaminazione ambientale recente (Coliformi totali $26,79 \text{ MPN}$) e di origine fecale recente (Coliformi fecali $13,39 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$; *E. coli* $10,89 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La contaminazione fecale di tipo pregresso da Streptococchi è risultata, invece, bassissima ($1,96 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Una moderata contaminazione fecale remota è stata messa in evidenza da una concentrazione di Clostridi solfito-riduttori pari a $625 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$. I batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi sono stati riscontrati in concentrazione moderata ($35,7 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre assenti sono risultati i batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata in moderata concentrazione ($107,1 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A53 (16 dic 2020) - Il campione di sedimento ha evidenziato bassissimi livelli di contaminazione ambientale recente (Coliformi totali $2,99 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e fecale recente (Coliformi fecali $2,99 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$; *E. coli* $<0,45 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$; la concentrazione di Streptococchi fecali ($9,1 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ha messo in evidenza una contaminazione di tipo pregresso molto bassa. Una contaminazione fecale remota moderata è stata messa in evidenza dalla presenza di Clostridi solfito-riduttori ($202,9 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). I batteri *Staphylococcus* coagulasi positivi sono stati riscontrati in concentrazione bassa ($14,9 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre assenti sono risultati i batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata a concentrazione bassa ($164,2 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A53 (23 feb 2021) – Il campione ha mostrato bassissime contaminazioni sia di tipo ambientale recente (Coliformi totali $2,78 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) che di tipo fecale recente (Coliformi fecali $1,53 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$; *E. coli* $<0,42 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). È stata riscontrata, inoltre, anche una bassissima contaminazione fecale di tipo pregressa (Streptococchi fecali $<0,42 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La concentrazione di Clostridi solfito-riduttori ($20,8 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ha fatto registrare, invece, una contaminazione fecale remota molto bassa. Non sono stati riscontrati batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi né batteri patogeni del genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata in concentrazione moderata ($138,90 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A59 (15 dic 2020) - Il campione di sedimento ha evidenziato bassissimi livelli di contaminazione ambientale recente (Coliformi totali $2,7 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e fecale recente (Coliformi fecali $<0,41 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$; *E. coli* $<0,41 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La concentrazione di Streptococchi fecali ($5,13 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ha messo in evidenza una contaminazione di tipo pregresso molto bassa. Una contaminazione fecale remota molto bassa è stata messa in evidenza dalla presenza di Clostridi solfito-riduttori ($48,6 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Non sono risultati presenti batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi né batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata a concentrazione molto bassa ($51,4 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A59 (22 feb 2021) - Il campione di sedimento ha evidenziato livelli molto bassi di contaminazione di tipo ambientale recente (Coliformi totali $9,47 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre quella fecale è risultata bassissima per le concentrazioni dei Coliformi fecali ($3,82 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e di *E. coli* ($2,63 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La contaminazione di tipo fecale pregressa da Streptococchi fecali è risultata di livello basso ($46,05 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Una moderata contaminazione fecale remota è stata, invece, messa in evidenza dalla presenza di Clostridi solfito-riduttori presenti in concentrazione di $209,2 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$. I batteri *Staphylococcus* coagulasi positivi sono stati riscontrati in concentrazione bassa ($24,3 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre assenti sono risultati i batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata a concentrazione moderata ($109,2 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A62 (15 dic 2020) - Il campione di sedimento ha evidenziato bassi livelli di contaminazione di tipo ambientale recente (Coliformi totali $17,65 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre quella di origine fecale è risultata bassissima (Coliformi fecali ed *E. coli* $<0,44 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Come evidenziato dalla concentrazione degli Streptococchi fecali ($5,59 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), la contaminazione fecale di tipo pregresso è risultata molto bassa. Una bassa contaminazione fecale remota è stata messa in evidenza dalla presenza di Clostridi solfito-riduttori ($100 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). I batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi sono stati riscontrati in concentrazione bassa ($14,7 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre assenti sono risultati i batteri appartenenti al genere

Salmonella. La presenza di Miceti è stata rilevata a concentrazione bassa ($91,2 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A62 (22 feb 2021) - Nel campione di sedimento è stata osservata una contaminazione ambientale recente da Coliformi totali molto bassa ($5,97 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre quella fecale recente da Coliformi fecali ($2,78 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ed *E. coli* ($1,53 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e quella fecale di tipo pregresso da Streptococchi fecali ($4,17 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) era di livello bassissimo. È stata osservata, inoltre, una moderata contaminazione fecale di tipo remoto da Clostridi solfito-riduttori ($105,6 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Non sono stati riscontrati batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi nè batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata in moderata concentrazione ($111,1 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A72 (17 dic 2020) - Nel campione è stata riscontrata una bassa contaminazione fecale ambientale recente da Coliformi totali ($15,94 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). La contaminazione fecale recente di origine animale, in base alle concentrazioni di Coliformi fecali ($5,51 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ed *E. coli* ($4,06 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) è risultata molto bassa, mentre la contaminazione fecale pregressa da Streptococchi fecali ($2,9 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) è da considerarsi bassissima. La concentrazione di Clostridi solfito-riduttori ($107,2 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ha messo in evidenza una contaminazione fecale remota classificabile come moderata. I batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi sono stati riscontrati in concentrazione bassa ($14,5 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre assenti sono risultati i batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata a concentrazione moderata ($147,8 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

A72 (22 feb 2021)- Nel campione è stata rilevata una contaminazione fecale ambientale recente da Coliformi totali ($30 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) da considerarsi bassa. In base alle concentrazioni dei Coliformi fecali ($10,57 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e di *E. coli* ($6,14 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) anche la contaminazione fecale animale recente risulta bassa. Considerando gli Streptococchi fecali ($87,14 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) la contaminazione fecale animale pregressa risulta di grado moderato. Anche la concentrazione di Clostridi solfito-riduttori ($428,6 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ha messo in evidenza una contaminazione fecale remota classificabile come moderata. I batteri *Staphylococcus* coagulasi-positivi sono stati riscontrati in concentrazione bassa ($42,9 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), mentre assenti sono risultati i batteri appartenenti al genere *Salmonella*. La presenza di Miceti è stata rilevata a concentrazione moderata ($271,4 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$).

Conclusioni

Dalle analisi microbiologiche effettuate sui sedimenti prelevati nei periodi dicembre 2020 e febbraio 2021, non sembrano emergere criticità di tipo igienico sanitario degne di particolare preoccupazione.

Considerando i risultati analitici relativi alla **contaminazione di origine ambientale terrestre**, le concentrazioni di Coliformi totali sono risultate quasi sempre molto contenute, non superando valori di $30 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$. In particolare, le concentrazioni dei Coliformi totali più elevate sono state riscontrate nei sedimenti A72-feb-2021 ($30 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e A50-feb-2021 ($26,79 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$); tali concentrazioni, tuttavia, sono da considerarsi relativamente normali per un ambiente marino-costiero, soprattutto se sottoposto a pressione antropica.

Riguardo alla **contaminazione fecale di origine umana ed animale di tipo recente**, le concentrazioni dei batteri indicatori (Coliformi fecali ed *E. coli*) non hanno fatto registrare particolari criticità. La maggior parte dei sedimenti, infatti, hanno evidenziato una bassissima contaminazione fecale recente. Solo i sedimenti A50-feb-2021 (Coliformi fecali $13,39 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$; *E. coli* $10,89 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) e A72-feb-2021 (Coliformi fecali $10,57 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$; *E. coli* $6,14 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) hanno mostrato contaminazioni più accentuate ma, in ogni caso, classificabili come basse.

In riferimento alla **contaminazione fecale di origine umana ed animale di tipo pregresso**, è stato rilevato che le concentrazioni degli Streptococchi fecali (o Enterococchi intestinali) sono generalmente contenute. Le contaminazioni più elevate sono state osservate per i sedimenti A72-feb-2021 ($87,14 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), A14-dic-2020 ($52,77 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), A59-feb-2021 ($46,05 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), e A17-feb-2021 ($31,51 \text{ MPN} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$); in ogni caso si tratta di concentrazioni da ritenersi basse e che non denotano particolari criticità di natura igienico-sanitaria.

Nel caso della **contaminazione di origine fecale umana ed animale di tipo remoto**, per la valutazione del grado di contaminazione è stata considerata anche la natura sporigena dei Clostridi solfito-riduttori che consente loro una lunga persistenza anche in condizioni di stress (basse temperature ambientali, elevate concentrazioni saline, elevato pH, carenza di nutrienti, etc.). Per tale motivo sono stati adottati livelli di contaminazione diversi rispetto alle concentrazioni degli altri indicatori di contaminazione fecale non sporigeni. Complessivamente, sono state riscontrate concentrazioni che non superano il valore di $625 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$ (campione A50-feb-2021). Considerando la natura sporigena dei Clostridi solfito-riduttori e la loro lunga persistenza in ambienti marini, le concentrazioni rilevate non segnalano la presenza di importanti apporti di natura fecale né destano particolari preoccupazioni imminenti di natura igienico-sanitaria.

Riguardo all'isolamento di batteri appartenenti al genere *Salmonella*, responsabili di infezioni del tratto gastroenterico, nessuno dei campioni esaminati è risultato positivo. Questo risultato è in

accordo con i dati relativi agli indici di contaminazione fecale precedentemente discussi e conferma l'assenza di criticità di natura igienico-sanitaria.

In riferimento alla ricerca di batteri appartenenti al genere ***Staphylococcus*** (coagulasi-positivi), le concentrazioni rilevate non superano il livello di bassa contaminazione ($\leq 50 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$). Il valore più elevato è stato riscontrato nel campione A72-feb-2021 con un valore di $42,9 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$. La presenza degli stafilococchi, tra cui anche ceppi coagulasi-positivi, è correlata alla loro spiccata alotolleranza ed alle relazioni ecologiche che stabiliscono con alcuni organismi marini; l'isolamento di questi batteri in ambiente marino, pertanto, non desta particolare sorpresa; in ogni caso, data la sua origine prevalentemente antropica, la loro presenza è da tenere sotto controllo.

La ricerca dei **Miceti** nei campioni di sedimento non hanno messo in evidenza concentrazioni tali da segnalare particolari criticità, anche in considerazione del fatto che la stragrande maggioranza di tali microrganismi sono ubiquitari, partecipano alla degradazione della sostanza organica, sono coinvolti nei cicli biogeochimici e manifestano un certo grado di resistenza a stress ambientali di diversa natura. In ogni caso, la maggior parte dei sedimenti (12/20) ha evidenziato moderate concentrazioni di miceti, mentre la restante parte è risultata in concentrazioni inferiori; A72-feb-2021 ($271,4 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), A59-feb-2021 ($236,8 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$) ed A47-dic-2020 ($204,2 \text{ UFC} \cdot \text{g}_{\text{ps}}^{-1}$), sono i campioni che hanno presentato concentrazioni di Miceti più elevate, pur restando di livello moderato.

5. Caratterizzazione biologica (Dicembre 2020)

5.1 Caratterizzazione delle comunità macro-zoobentoniche

L'analisi dei 54 campioni di macrozoobenthos (18 stazioni per tre repliche ciascuna), ha permesso di identificare i seguenti gruppi sistematici: Anellidi Policheti, Molluschi (Bivalvi, Gasteropodi, Scafopodi), Crostacei (Decapodi, Anfipodi, Isopodi, Tanaidacei, Mysidiacei, Cumacei, Pantopodi), Echinodermi (Asteroidei, Ofiuroidei, Echinoidei e Oloturioidei), Sipunculidi.

5.2 Analisi trofica

Il macrozoobenthos dell'area potenzialmente impattata dall'attività di dragaggio (A08, A11, A14, A17, A72) si è rivelato composto soprattutto da Detritivori, organismi con abitudini trofiche miste Detritivori/carnivori e Detritivori/Sospensivori ed in misura minore dagli appartenenti alle altre categorie trofiche (fig.1.2.1).

I Detritivori costituiscono di gran lunga il gruppo trofico più presente nei fondi mobili studiati, probabilmente a causa di fattori edafici, cioè relativi al substrato, il mollusco gasteropode *Bittium reticulatum* è in assoluto, fra i detritivori, il più abbondante. Tale gasteropode è una specie comune che predilige fondi fangosi/detritici, è stato rinvenuto quasi esclusivamente nelle tre repliche della stazione A14. Facendo un confronto con la campagna Corso d'Opera maggio 2020 notiamo che la composizione degli organismi, in base alle categorie trofiche, ha subito una sostanziale modifica. Infatti gli organismi prettamente detritivori sono aumentati notevolmente dal 27% al 47% a scapito dei Sospensivori che hanno avuto una drastica diminuzione, dal 63% al 7% (fig. 5.6.1.1). Tale variazione può essere attribuita alla stagionalità del prelievo, i sospensivori risentono delle variazioni di salinità e la campagna Corso D'opera dicembre 2020 è stata effettuata dopo un periodo di precipitazioni pluviometriche intense.

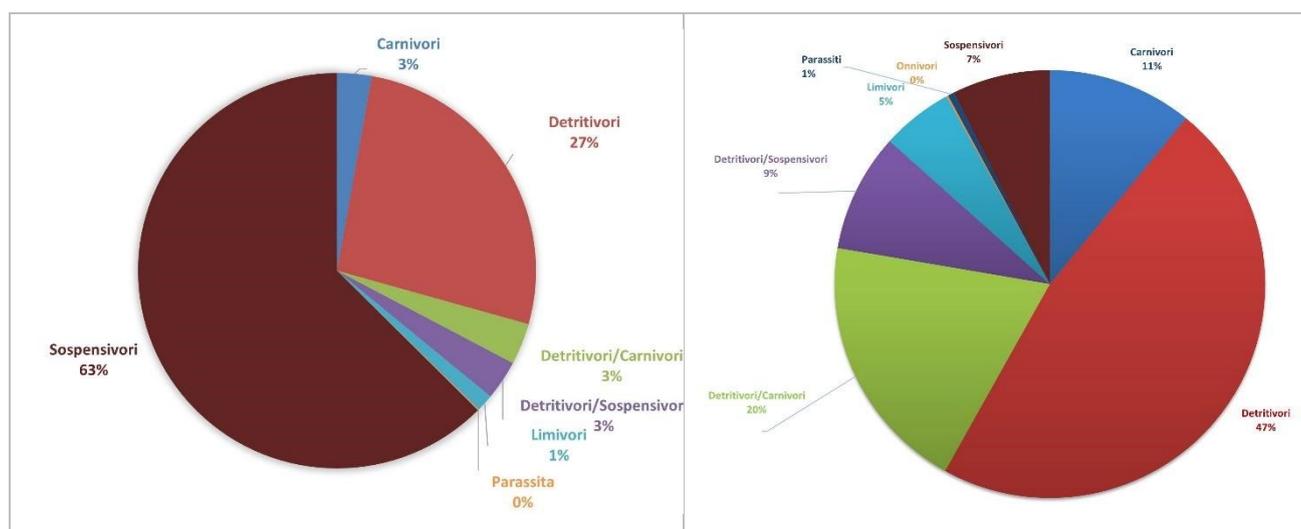


Figura 5.1.2.1: Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area potenzialmente impattata dall'attività di dragaggio e confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx.

Nell'area di immersione dei sedimenti dragati (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75, A76), la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data principalmente da Detritivori, in misura minore da Carnivori e Limivori (Fig. 5.6.1.2); Facendo un confronto con la campagna Corso d'Opera maggio 2020 si nota che la composizione delle specie si è modificata in maniera rilevante, sono aumentate le specie detritivore e carnivore rispetto ai limivori, che si sono ridotti notevolmente (Fig. 5.1.2.2). Tale variazione è in linea con la tipologia di disturbo registrato, ovvero l'immissione di sedimenti con classazione diversa rispetto al substrato precedente. Il substrato nell'area di immissione precedentemente era esclusivamente limo mentre attualmente è stata riscontrata la presenza di sedimento sabbioso/ghiaioso, che ha reso meno adatto l'habitat per alcuni organismi favorendo i detritivori. Questi ultimi hanno trovato un ambiente idoneo con elevato quantitativo di sostanza organica, a causa dell'apporto di materiale dragato.

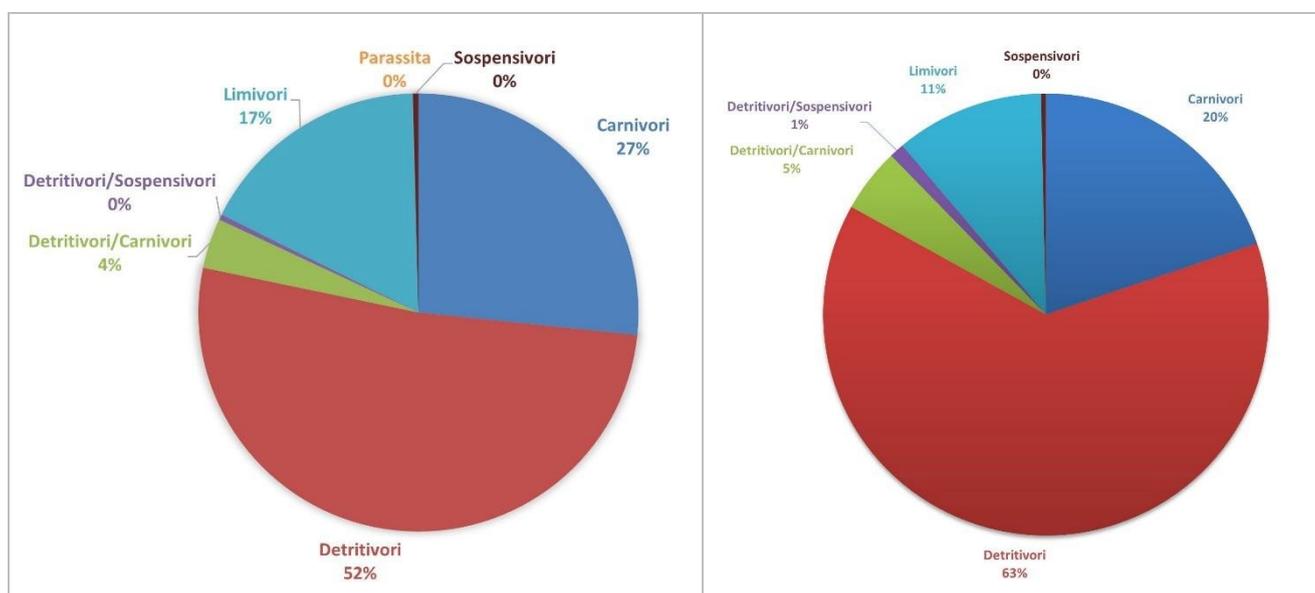


Figura. 5.1.2.2: Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area di immersione dei sedimenti dragati e confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx.

Nell'area della Costiera amalfitana potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati (A47, A50, A53), la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data principalmente da Detritivori, Detritivori/Carnivori e Carnivori (fig. 5.1.2.3). Anche in quest'area la composizione è modificata rispetto alla Campagna Corso d'Opera maggio 2020 con una elevata riduzione della categoria trofica dei sospensivori. Tale modifica potrebbe essere correlata alle forti precipitazioni atmosferiche che si sono abbattute nel periodo tardo autunnale, che hanno portato grandi quantitativi di acqua dolce e fango dai valloni della Costiera amalfitana, rendendo l'habitat meno ospitale per questa tipologia di organismi. La natura del substrato in quest'area è prevalentemente ghiaiosa, i detritivori presenti fanno parte principalmente dei taxa dei Policheti e dei Molluschi.

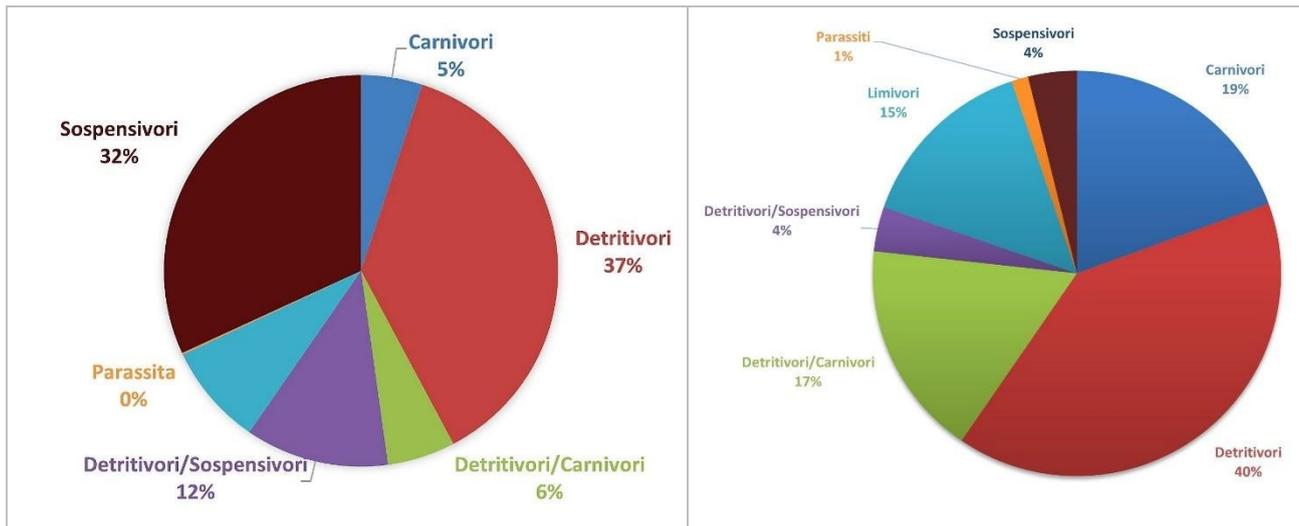


Figura 5.1.2.3: Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell’area della Costiera amalfitana potenzialmente impattata dall’attività di immersione dei sedimenti dragati e confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx.

Nell’area del litorale della Piana del Sele potenzialmente impattata dall’attività di immersione dei sedimenti dragati (A59, A62, A65, A68), la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data soprattutto da Detritivori, Carnivori e in misura minore da organismi con abitudini trofiche miste Detritivori/Carnivori, Detritivori/Sospensivori e Sospensivori, da specificare che non è stato possibile prelevare campioni dalle stazioni A65 ed A68 in quanto l’area era interdetta a causa di esercitazioni militari. Il confronto con la campagna Corso D’opera maggio 2020 mostra un’elevata riduzione della categoria trofica dei sospensivori che si riducono del 79% ed una modifica in tutte le categorie trofiche (Fig. 5.1.2.4). Tale variazione è dovuta principalmente all’assenza delle stazioni A65 ed A68, queste ultime stazioni, infatti, sono quelle che a maggio 2020 avevano valori di abbondanza molto elevati, in particolar modo per la presenza di due molluschi bivalvi sospensivori.

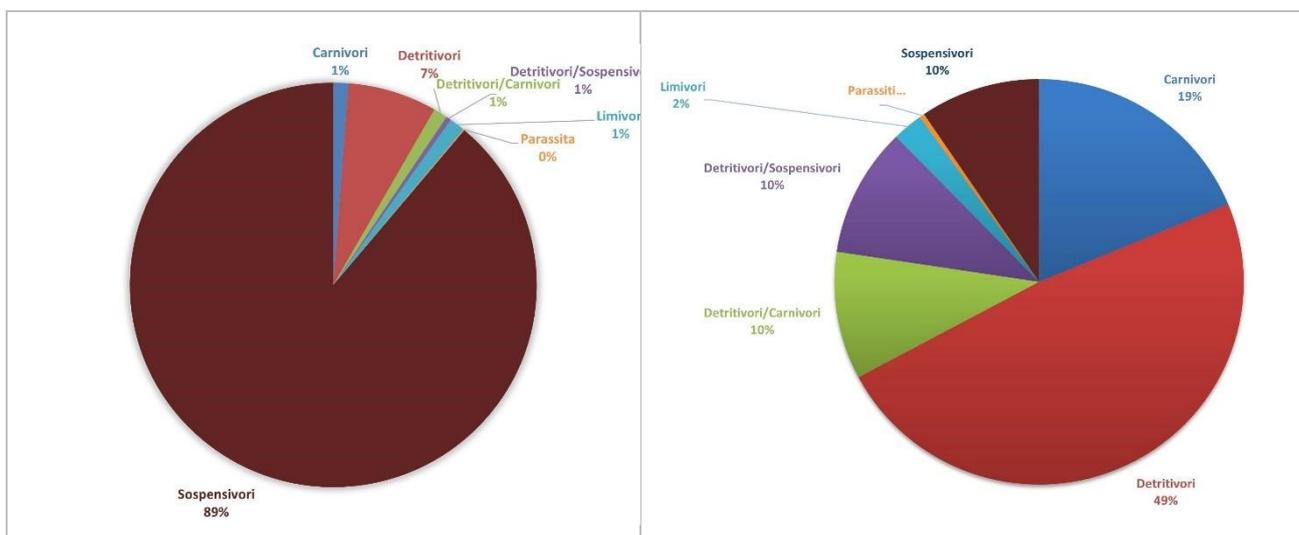


Figura 5.1.1.4: Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell’area del litorale della Piana del Sele potenzialmente impattata dall’attività di immersione dei sedimenti dragati e confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx.

Concludendo l'analisi delle caratteristiche trofiche delle quattro aree soggette dello studio ha evidenziato un aumento consistente degli organismi detritivori.

Il sito di immersione dei sedimenti dragati mostra un cambiamento nella composizione del popolamento in linea con la tipologia di disturbo registrato, ovvero l'immissione di grandi volumi di sedimento dragato. Infatti è aumentata la percentuale di Detritivori che diventano il gruppo prevalente a discapito dei limivori, il cui habitat è stato modificato.

Nell'area di immersione dei sedimenti dragati quasi tutti i detritivori più abbondanti appartengono ai taxa dei Molluschi o dei Policheti. In particolare, sono stati rinvenuti Policheti appartenenti alle famiglie degli Spionidi che mostrano abitudini trofiche detritivore, sono poco mobili e vivono infossati nel sedimento. La specie maggiormente presente è risultata essere *Prionospio ehlersi*, già riscontrata nel precedente campionamento, ma presente ora con maggiori abbondanze. *Prionospio* è una specie opportunistica e detritivora che in situazioni di disturbo come quelle interessate dall'immissione dei sedimenti dragati trova un habitat ideale per espandersi. Fra i molluschi da notare la presenza di *Mendicula ferruginosa*, bivalve detritivoro, una specie cosmopolita di acque profonde, rinvenuta dalla piattaforma continentale fino a profondità abissali. Altra categoria trofica molto presente nell'area d'immissione è quella dei Carnivori, che sono organismi macrofagi per lo più mobili che si nutrono di prede vive e di resti di animali morti, le cui strutture prensili sono spesso il risultato di un adattamento morfo-funzionale alla preda. Fra questi uno dei più presenti, la seconda specie in abbondanza, è il polichete *Paradiopatra calliopae*.

Carnivori tipici sono anche la maggior parte dei Crostacei Decapodi e gli Echinodermi appartenenti alla classe degli Asteroidi. La distribuzione dei rappresentanti di questa categoria funzionale, presente solo nel sito di immersione con percentuali più consistenti (20%), è indipendente dalla profondità, dato che questi organismi, legati troficamente alle loro prede, sono solo indirettamente correlati con i parametri abiotici, come la natura del substrato e l'idrodinamismo.

Nelle altre tre aree le variazioni nella composizione del popolamento sono ascrivibili principalmente alla stagionalità del prelievo.

5.3 Analisi Strutturale

5.3.1 Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (A08, A11, A14, A17, A72) ha condotto all'individuazione complessiva di 871 individui appartenenti a 99 taxa. L'area è caratterizzata da un popolamento vario, solo in pochi casi sono presenti specie con abbondanze rilevanti come nel caso del mollusco gastropode *Bittium reticulatum* presente con l'11 % del

popolamento ed il polichete *Nephtys hombergii* presente con l'8% del popolamento.

In termini di preferenze ecologiche la comunità è caratterizzata da specie appartenenti a differenti categorie bionomiche, da un elevato numero di specie strettamente sabulicole e vasicole, da specie a larga ripartizione ecologica e altre descritte in letteratura come indicatrici di instabilità. Tra le specie molto sensibili ai disturbi presenti in questa area si annovera, proprio come la più abbondante, *Bittium reticulatum*.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento mediamente ricco in specie in quasi tutte le stazioni. I valori più elevati si riscontrano nella stazione A17, il valore più basso in A14 (Figura 5.3.1.1). Mettendo in confronto le due campagne Corso d'Opera, maggio 2020 e dicembre 2020, si nota un popolamento mediamente più ricco in specie a dicembre 2020. Tutte le stazioni hanno valori pari o superiori a 2.5, mentre precedentemente c'era una maggiore variabilità con un picco di specie nella stazione A11 ed una forte riduzione nella stazione A17.

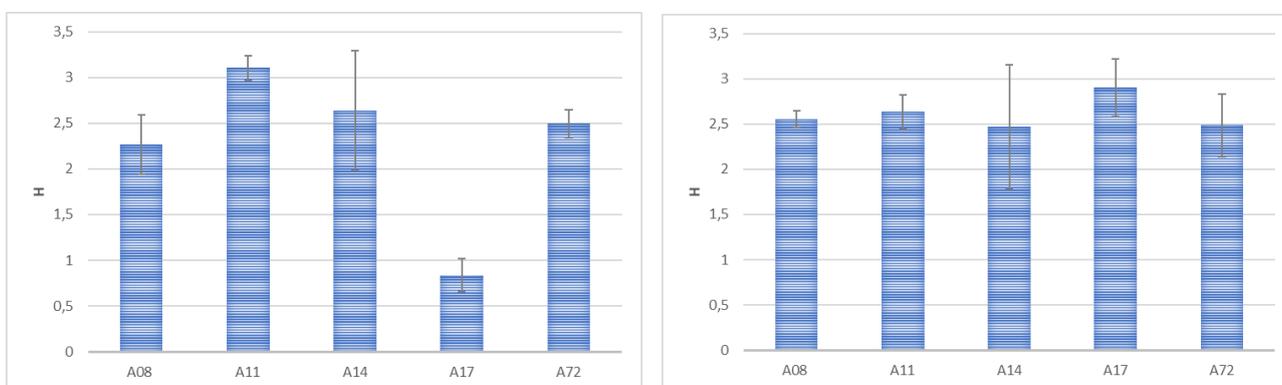


Figura 5.3.1.1. Confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell'indice di diversità specifica di Shannon Weaver nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio,

Valori elevati dell'indice di equiripartizione di Pielou (J) sono presenti in quasi tutte le stazioni con valori pari o superiori a 0.8, quindi gli individui si distribuiscono in modo abbastanza uniforme. Il confronto con la campagna precedente, maggio 2020, mette in evidenza un minore uniformità nella distribuzione degli individui in particolare per la stazione A08 ed A17 (Figura 5.3.1.2).

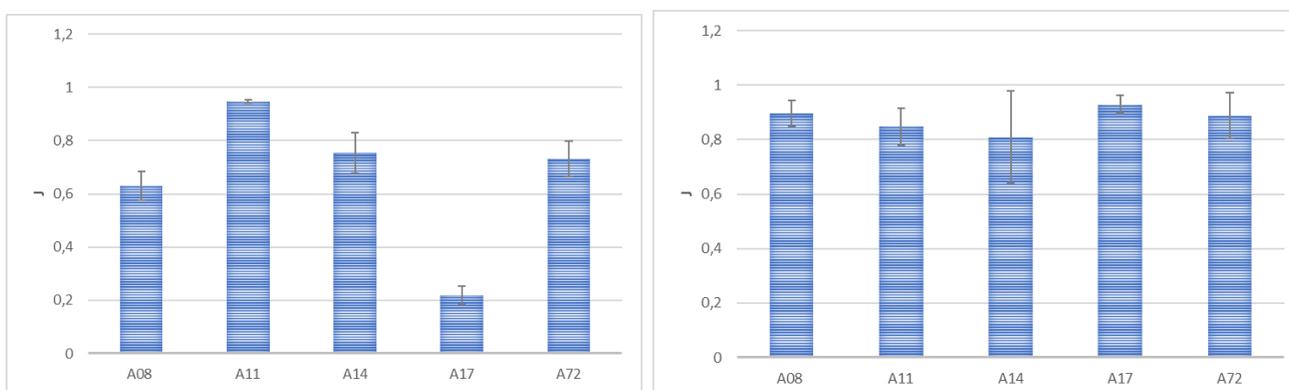


Figura 5.3.1.2. Confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell'indice di equiripartizione di Pielou nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio.

Il calcolo dell'indice AMBI e la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico sono stati riportati nel grafico. I gruppi ecologici presenti in tutte le stazioni sono il gruppo GI, GII, GIII e GIV, con i primi due che risultano essere i due gruppi più rappresentati mentre GIII e GIV sono caratterizzati da valori molto bassi (Figura 5.3.1.3). L'indice AMBI presenta invece valori inferiori pari a 2 o di poco superiore a 2 (Figura 5.3.1.3) indicanti un ambiente leggermente disturbato con un ECoQ abbastanza buono (Figura 5.3.1.4).

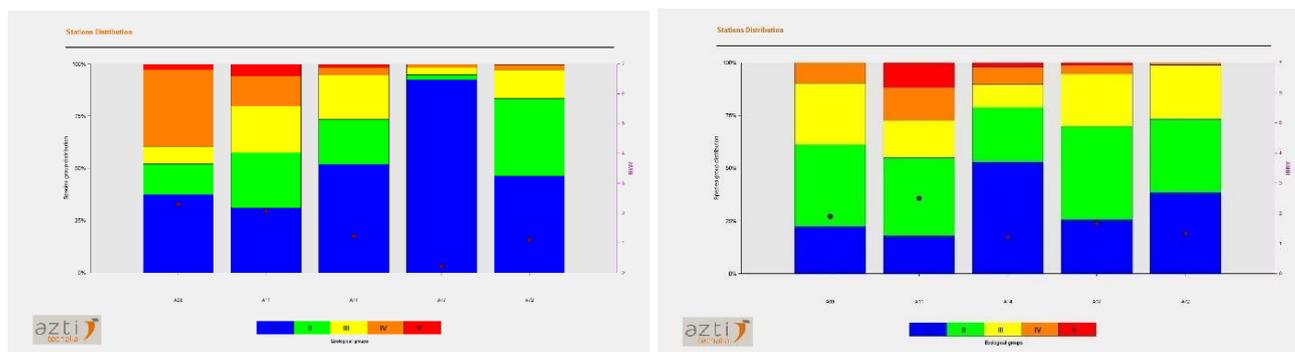


Figura 5.3.1.3. Confronto dell'Indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all'interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx

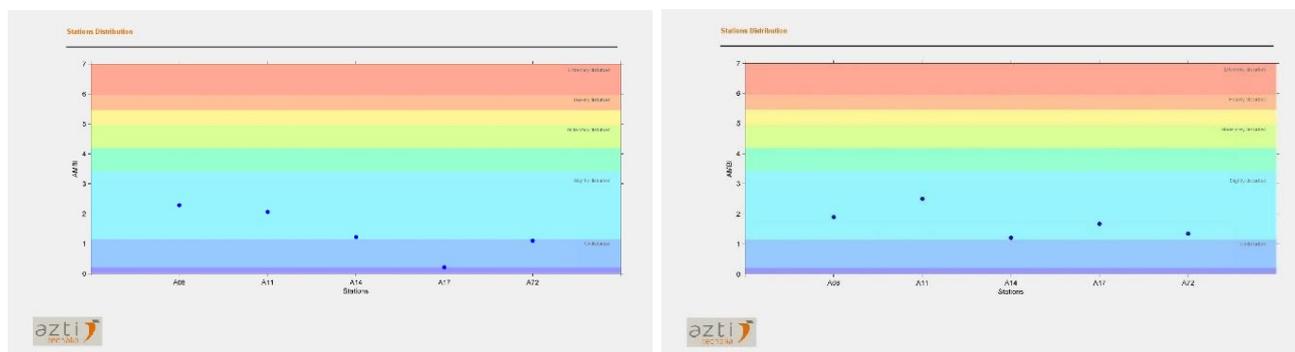


Figura 5.3.1.4 Confronto dell'indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx.

In figura 5.3.1.5 sono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Tutte le stazioni presentano un RQE High (blu).

Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna Corso d'opera maggio 2020 mostra nella campagna in Corso d'Opera valori simili con una lieve riduzione del giudizio qualitativo nelle stazioni A17 riferito ai valori di EcoQ che passa da indisturbato a lievemente disturbato, ma un miglioramento nelle stazioni A08, A11 ed A72 che presentano valori di RQE High (in blu).

Da considerare che il prelievo dei campioni è stato effettuato nel mese di dicembre un periodo di naturale riduzione delle specie, la gran parte degli organismi in questione risente della stagionalità.

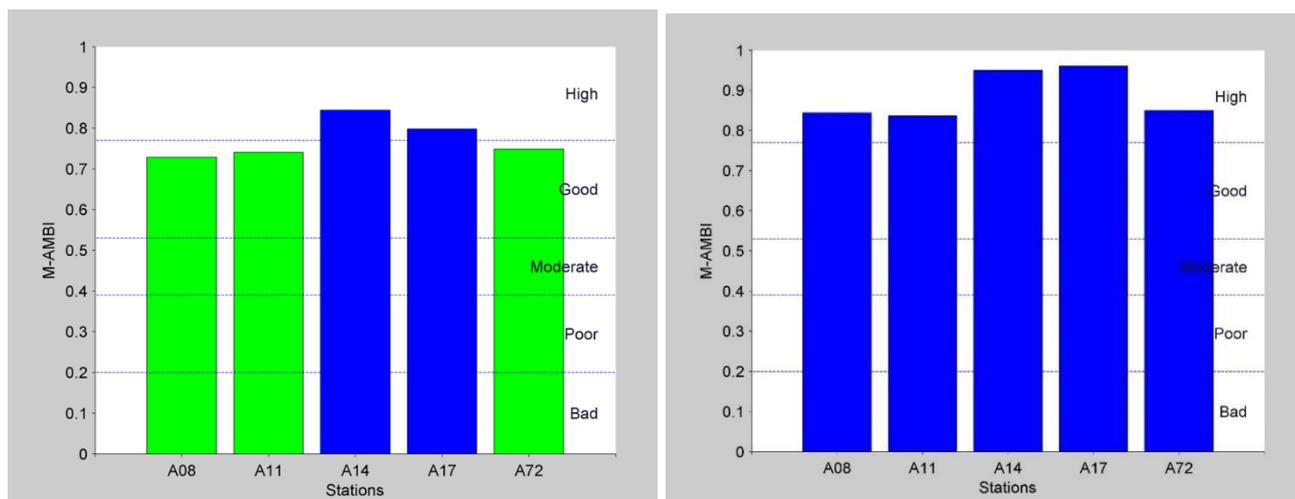


Figura 5.3.1.5. Confronto dell'Indice M-AMBI nelle stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx.

5.3.2 Area di immersione dei sedimenti dragati

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area di immersione (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75, A76) ha portato all'individuazione di un totale di 286 individui appartenenti a 50 taxa. Il 37% del popolamento è costituito da due policheti *Prionospio ehlersi* e *Paradiopatra calliopae* mentre il 16% è costituito dal mollusco bivalve *Mendicula ferruginosa*. Il restante 47% del popolamento è costituito in prevalenza da policheti e molluschi bivalvi. La composizione del popolamento in termini di preferenze ecologiche evidenzia un popolamento diverso rispetto al popolamento riscontrato precedentemente nella campagna Corso d'opera maggio 2020, si sono ridotte le specie vasicole a favore di specie sabulicole e a larga ripartizione ecologica. Tale variazione si spiega facilmente con la tipologia di sedimento riscontrato nei prelievi che è cambiato in classazione dal limoso al ghiaioso/sabbioso in tutte le stazioni del sito d'immersione.

L'andamento dell'indice di Shannon Weaver (H') presenta valori più elevati nella stazione A74 ed un valore basso nella stazione A22. Il confronto con la campagna precedente, Corso d'opera maggio 2020, mostra un andamento simile con una riduzione dei valori di diversità specifica in corrispondenza delle stazioni A21 ed A23 (Figura 5.3.2.1).

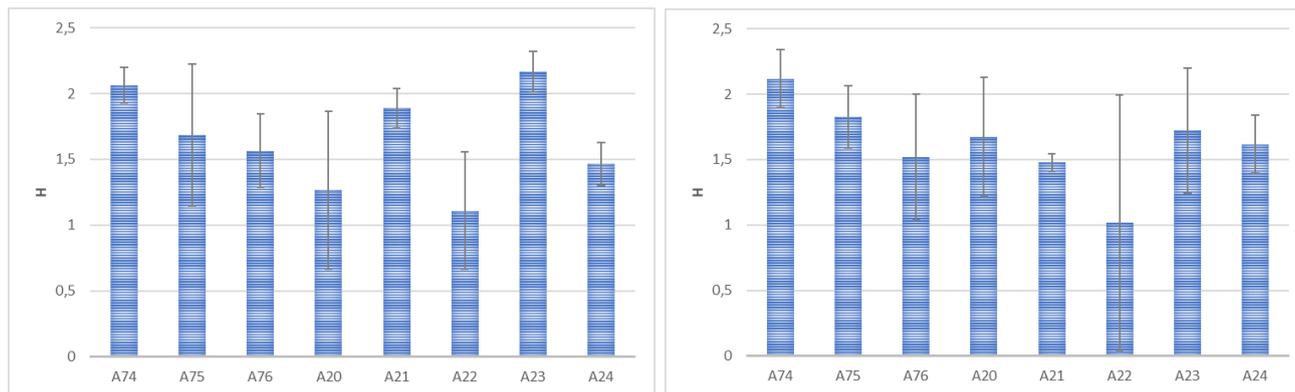


Figura 5.3.2.1. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice di diversità specifica di Shannon Weaver nell’area di immersione.

L’indice di equitabilità di Pielou (J) mostra un andamento abbastanza costante in tutte le stazioni campionate e con valori che mostrano un’equidistribuzione quantitativa delle specie (Figura 5.3.2.2). La stazione A23 è quella che presenta un valore un po’ più basso dell’indice di Pielou (J) rispetto alle altre a dispetto di elevati valori di abbondanza, questo a causa della presenza di numerosi individui appartenenti ad una sola specie, il polichete, *Paradiopatra calliopae*. Il confronto con la campagna precedente, Corso d’opera maggio 2020, mostra un andamento simile in tutte le stazioni in entrambe le campagne, i valori si assestano tutti fra 0.8 ed 1.

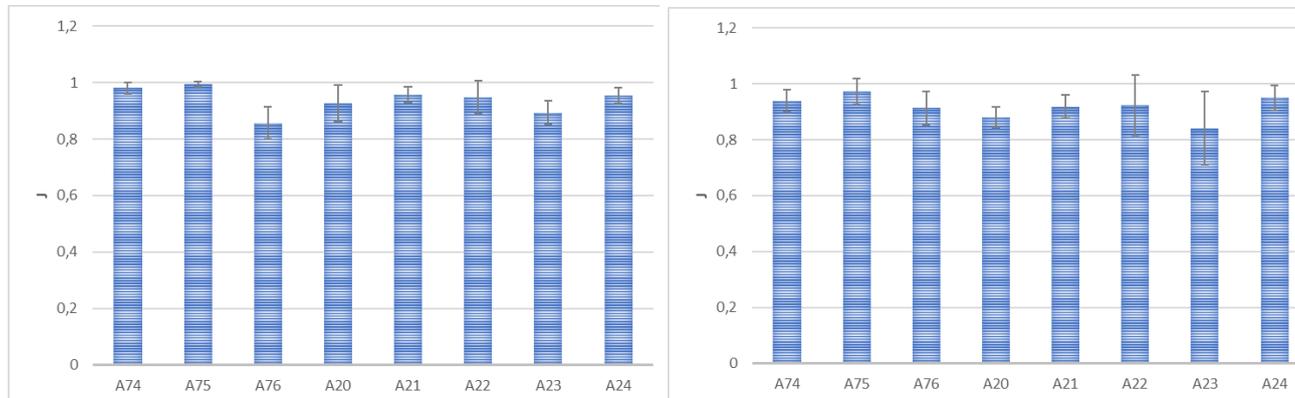


Figura 5.3.2.2. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice di equitabilità di Pielou nell’area di immersione.

Il calcolo dell’indice AMBI, la distribuzione delle specie all’interno di ciascun gruppo ecologico ed il confronto con la precedente campagna di maggio 2020, sono stati riportati nel grafico di figura 5.3.2.3. I gruppi ecologici maggiormente rappresentati sono il gruppo GI e GII, seguito dal gruppo GII e dal GIV presente in particolare nella stazione A22. Non ci sono specie appartenenti al gruppo GV.

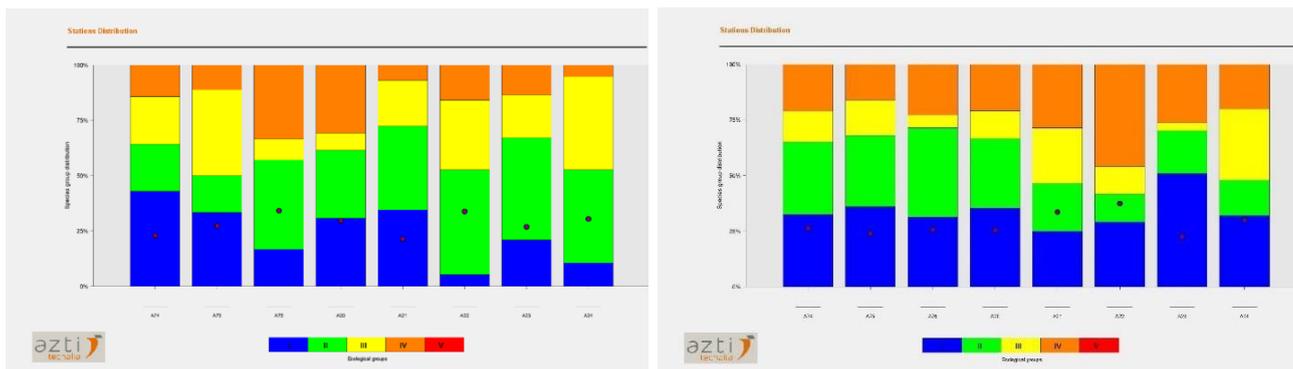


Figura 5.3.2.3. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all’interno di ciascuna stazione nell’area di immersione.

In tutte le stazioni l’indice ha evidenziato valori compresi $1,2 < \text{AMBI} < 3$ indicanti un ambiente leggermente disturbato ed un ECoQ buono. (Figura 5.3.2.4).

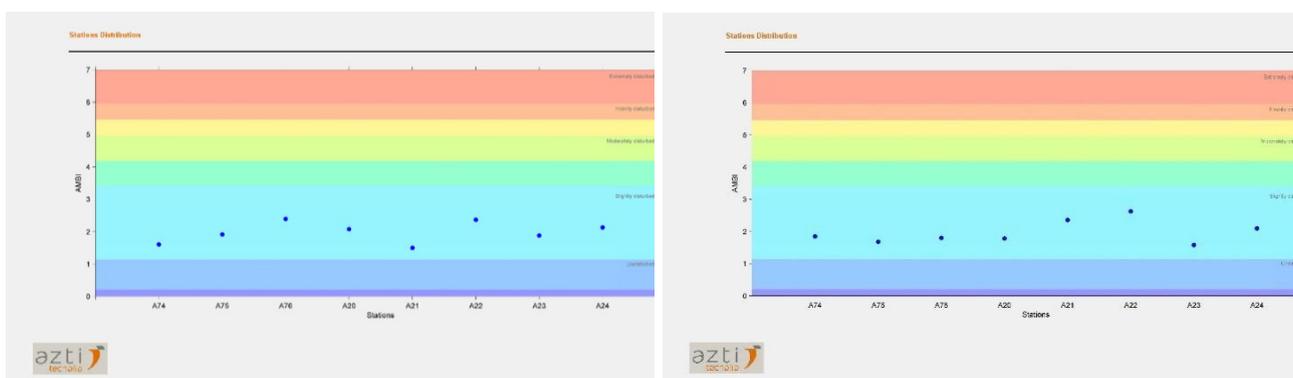


Figura 5.3.2.4. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni nell’area di immersione.

In figura 5.3.2.5 vengono riportati i valori dell’indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). La maggior parte delle stazioni presentano un RQE *High*, solo le due stazioni A22 e A24, presentano un RQE *Good* (verde).

Il confronto dei valori dell’AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna precedente, Corso d’opera maggio 2020, mostra nella campagna di dicembre 2020 valori superiori ed il rapporto di Qualità ecologica (RQE) che presenta un miglioramento per le stazioni A76 ed A20 con un RQE *High* (blu). Tale miglioramento può essere attribuito all’aumento naturale di organismi dovuto alla trasformazione del substrato che come detto in precedenza, essendo modificato in classazione, ha dato la possibilità di sviluppo a nuove specie.

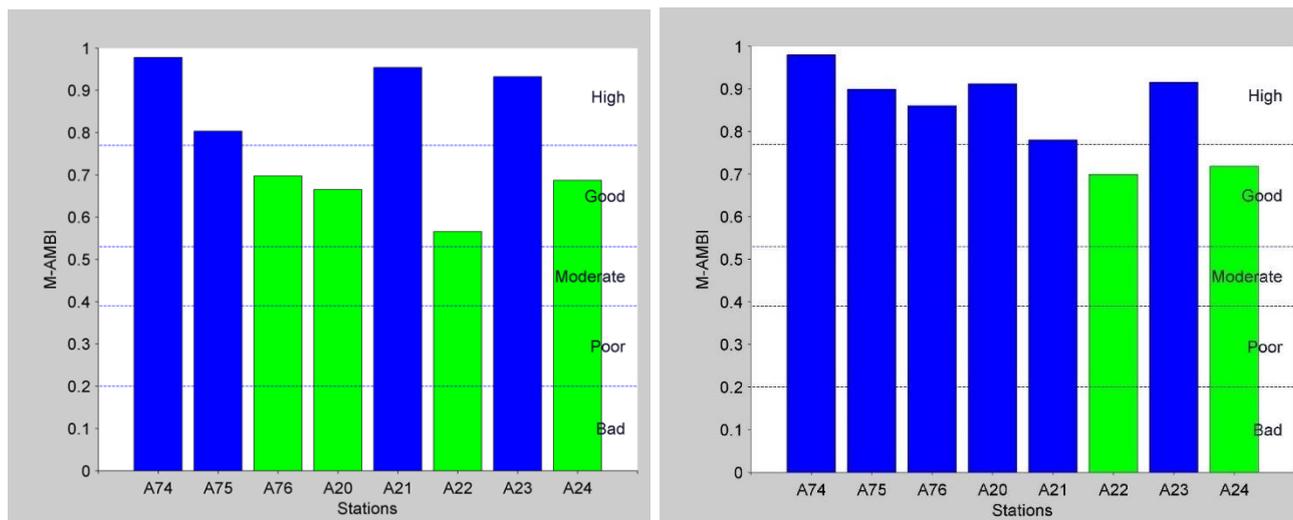


Figura 5.3.2.5. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nell’area di immersione.

L’elaborazione dei dati ha fornito un’analisi sulla composizione e sulla struttura della comunità. La composizione bionomica ha messo in evidenza che si tratta di un popolamento estremamente influenzato dalla variazione di classazione dei sedimenti, dovuta all’immissione dei sedimenti dragati che ha modificato la tipologia di substrato da limoso a ghiaioso/sabbioso. Dato confermato dall’espansione di specie detritivore e carnivore che dimostra sia il trasporto di nuovo materiale organico sia il disturbo sulla comunità precedente. Si riscontrano, infatti, principalmente specie a larga ripartizione ecologica mentre, nella precedente campagna, il popolamento era caratterizzato dalla presenza di specie vasicole ed esclusive di particolari biocenosi tipiche delle profondità prese in analisi. Le specie maggiormente presenti con il 53% del totale del popolamento sono *Prionospio ehlersi* con il 20% del popolamento, *Paradiopatra calliopae* con il 17% e *Mendicula ferruginosa* con il 16%.

La specie maggiormente presente è risultata essere *Prionospio ehlersi*, già presente nel precedente campionamento, ma ora con maggiori abbondanze, specie opportunistica e detritivora che in situazioni di disturbo come quelle interessate dall’immissione dei sedimenti dragati ha trovato un habitat ideale per espandersi.

La seconda specie più presente in abbondanza è *Paradiopatra calliopae*, polichete carnivora che raggiunge un picco di presenza nella stazione A23. *Mendicula ferruginosa*, invece è un mollusco bivalve detritivoro, una specie cosmopolita di acque profonde, rinvenuta dalla piattaforma continentale fino a profondità abissali. È considerata un elemento tipico della biocenosi VP, di fango batiale.

5.3.3 Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione

L'analisi tassonomica delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione è stata fatta identificando due aree, diverse per substrato e molto distanziate fra di loro spazialmente.

L'area corrispondente alla costiera amalfitana (A47, A50, A53) e l'area del litorale della Piana del Sele (A59, A62, A65, A68). Nella campagna Corso d'Opera dicembre 2020 non è stato possibile prelevare campioni dalle stazioni A65 ed A68 in quanto l'area era sottoposta ad esercitazioni militari.

5.3.4 Area Costiera Amalfitana

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area della Costiera amalfitana ha condotto all'individuazione complessiva di 705 individui e 98 taxa. Rispetto alla Campagna Corso D'Opera maggio 2020 il numero degli organismi ed il numero di taxa sono diminuiti considerevolmente. Questo dipende sia dalla stagionalità, che ha un ruolo importante sui cicli di riproduzione degli organismi bentonici, con picchi di riproduzione in primavera ed autunno e riduzioni in tardo autunno, inverno, sia dagli eventi meteorici di rilievo che si sono susseguiti lungo la costiera amalfitana nel periodo autunnale apportando dai valloni grossi quantitativi di acqua dolce e fango terrigeno costiero.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento abbastanza ricco e diversificato nelle tre stazioni dell'area con valori al di sopra di 3. Il confronto con la campagna precedente, Corso d'opera maggio 2020, mostra un andamento sostanzialmente simile.

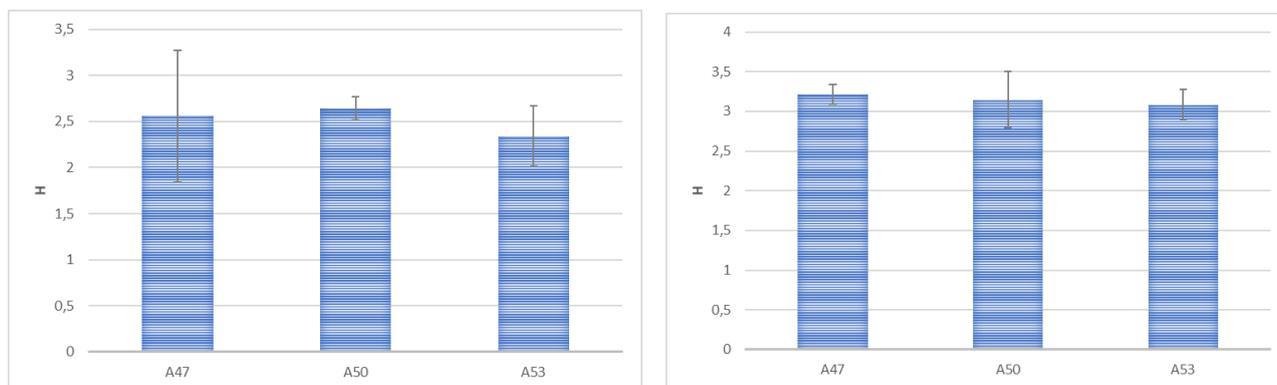


Figura 5.3.4.1. Confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell'indice di diversità specifica di Shannon Weaver nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

L'indice di equiripartizione di Pielou (J) mostra valori abbastanza alti, tutti superiori a 0,9, indicando una buona diversità specifica, il confronto con la campagna precedente, Corso d'opera maggio 2020, mostra un miglioramento della diversità specifica per la stazione A53 (Figura 5.3.4.2). Il popolamento è caratterizzato in prevalenza da policheti.

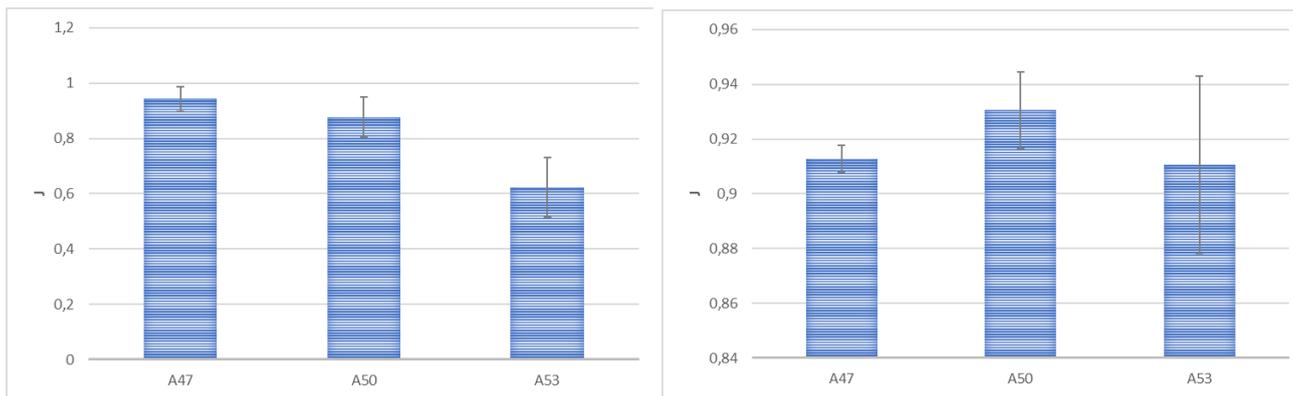


Figura 5.3.4.2. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice di equiripartizione di Pielou nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

Il calcolo dell’indice AMBI, la distribuzione delle specie all’interno di ciascun gruppo ecologico ed il confronto con la precedente campagna di maggio 2020, sono stati riportati nei seguenti grafici. I gruppi ecologici GI, GII e GIII hanno i più alti valori percentuali. I rimanenti gruppi si distribuiscono diversamente in ciascuna stazione (Figura 1.3.4.3). L’indice AMBI presenta invece valori intorno a 2 (Figura 5.3.4.3) indicanti un ambiente leggermente disturbato con un ECoQ buono (Figura 1.3.4.4).

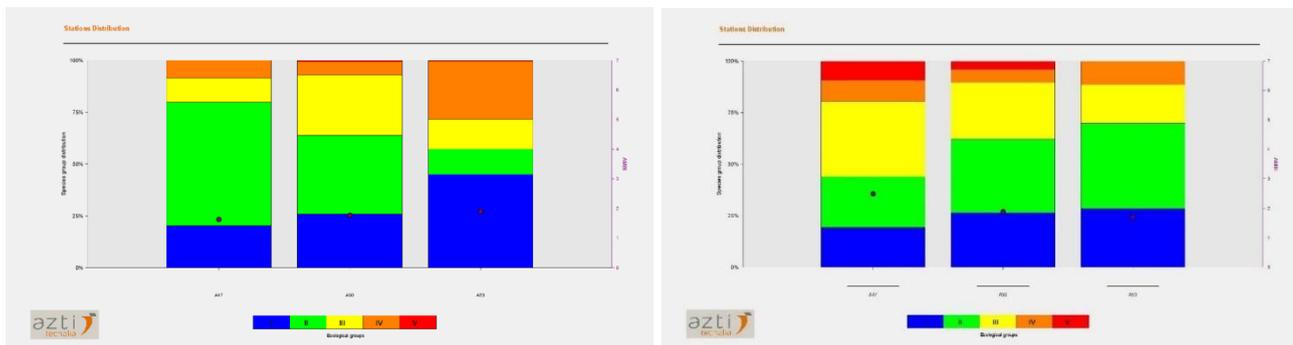


Figura 5.3.4.3. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all’interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

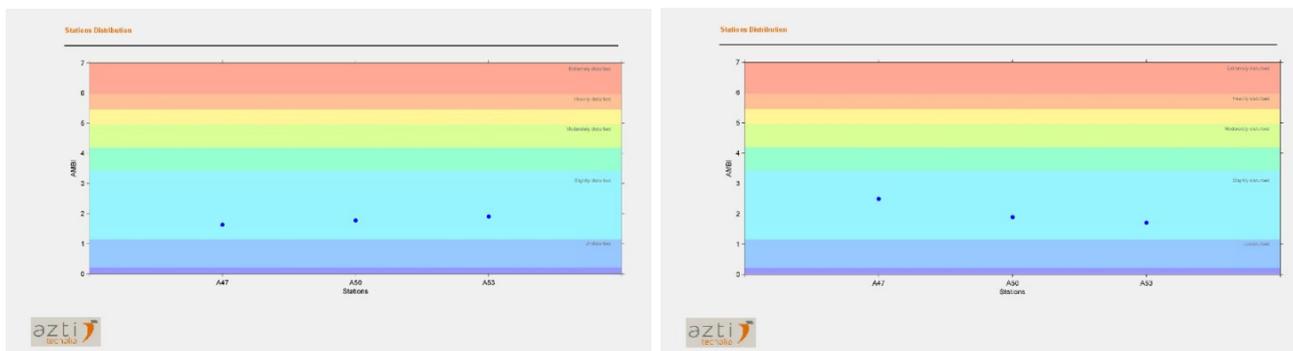


Figura 5.3.4.4. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

In figura 5.3.4.5 sono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Tutte le stazioni presentano un RQE High (blu).

Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna Corso D'Opera maggio 2020 mostra nella campagna in Corso d'Opera valori in linea con i precedenti.

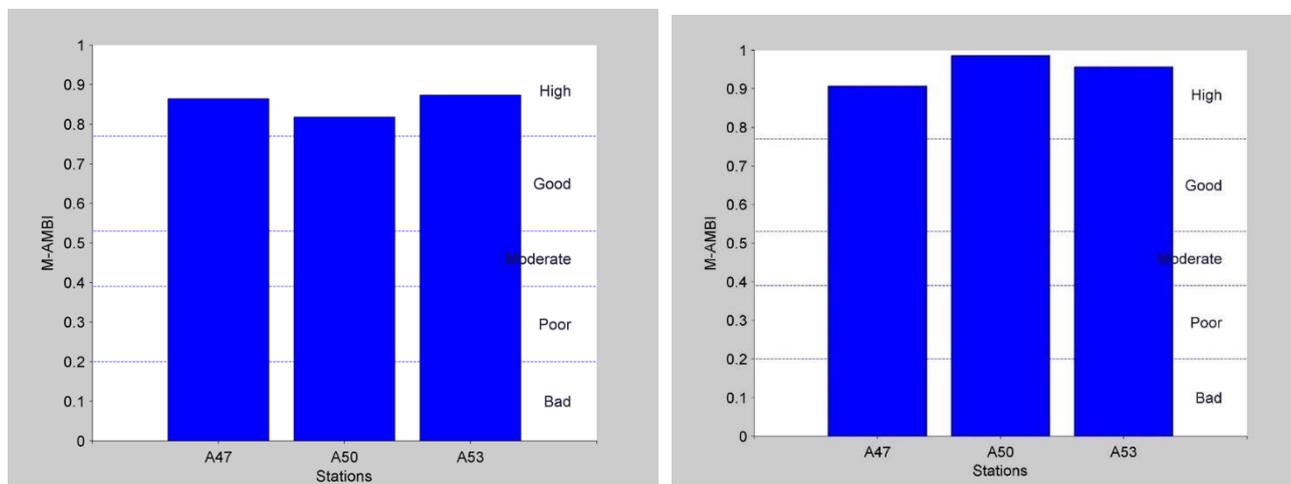


Figura 5.3.4.5. Confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell'indice M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nelle aree potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione.

5.3.4 Area litorale della Piana del Sele

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area del litorale della Piana del Sele ha condotto all'individuazione complessiva di 763 individui e 81 taxa. I valori di abbondanza sono molto diversi dalla Campagna Corso D'opera maggio 2020 a causa dell'assenza del prelievo delle stazioni A65 ed A68 che erano risultate caratterizzate da un elevato numero di molluschi.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento abbastanza ricco e diversificato. L'indice di diversità di Shannon Weaver (H') mostra valori maggiori di 3 in tutte le stazioni. Confrontando i dati delle stazioni A59 ed A62 con la campagna precedente, Corso d'opera maggio 2020, si nota una sostanziale similitudine con valori di diversità specifica similari (Figura 5.3.5.1).

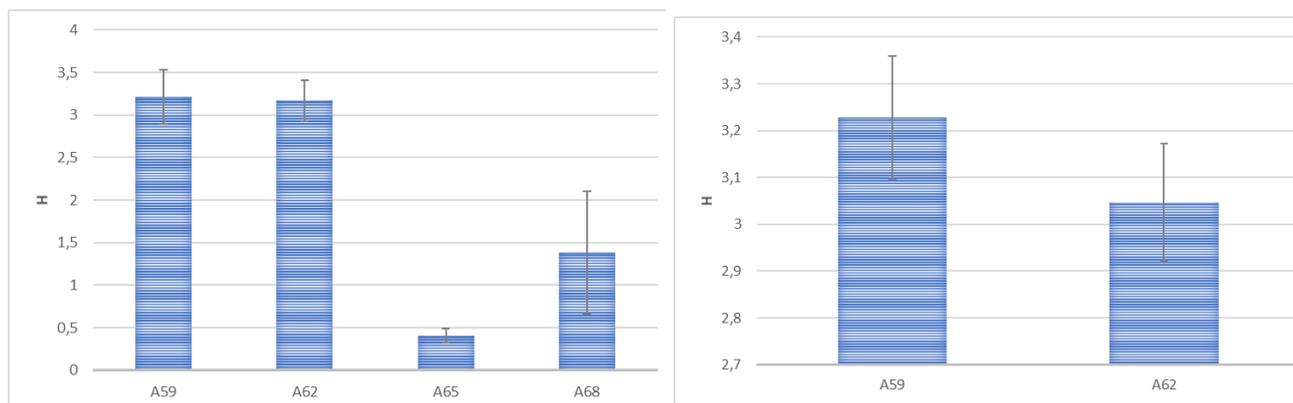


Figura 5.3.5.1. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice di diversità specifica di Shannon Weaver nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

L’indice di equiripartizione di Pielou (J) mostra valori elevati ed il confronto con la campagna precedente non presenta differenze per le due stazioni A59 e A62 (Figura 5.3.5.2).

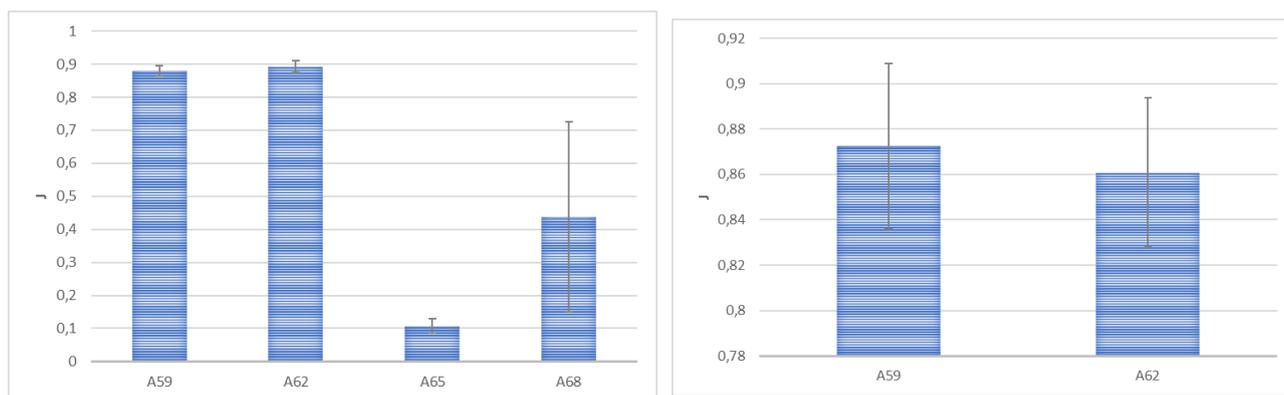


Figura 5.3.5.2. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice di equiripartizione di Pielou nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

Nell’area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio il calcolo dell’indice AMBI, la distribuzione delle specie all’interno di ciascun gruppo ecologico ed il confronto con la precedente campagna di maggio 2020, sono stati riportati nei seguenti grafici. I gruppi ecologici GI, GII hanno i più alti valori percentuali. L’indice AMBI presenta invece valori inferiori o uguali a 2 (Figura 5.3.5.3) indicanti un ambiente leggermente disturbato con un ECoQ buono (Figura 5.3.5.4).

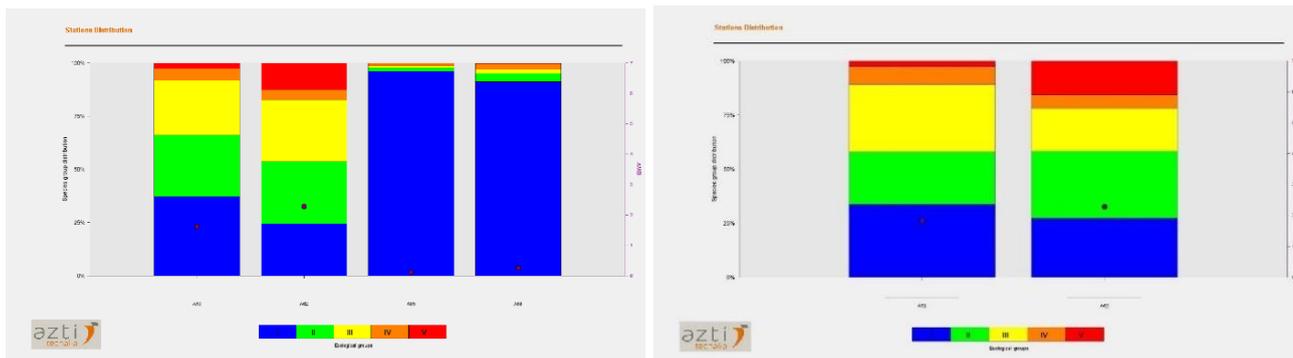


Figura 5.3.5.3. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all’interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

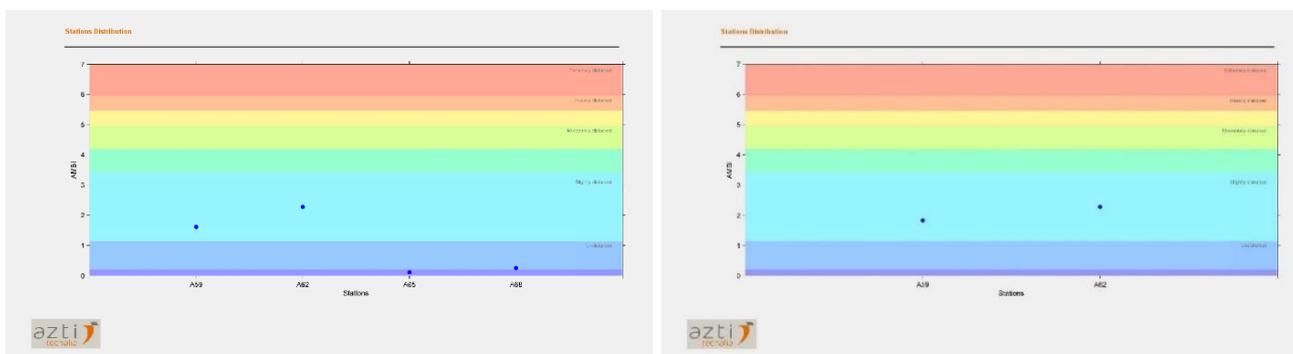


Figura 5.3.5.4. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

In figura 1.3.5.5 sono riportati i valori dell’indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Tutte le stazioni considerate un RQE High (blu).

Il confronto dei valori dell’AMBI e del M-AMBI attuali con quelli della campagna Corso D’Opera maggio 2020 mostra nella campagna in Corso d’Opera dicembre 2020 valori simili con il rapporto di Qualità ecologica (RQE) che si assesta per tutte le stazioni su valori elevati con un RQE High (blu).

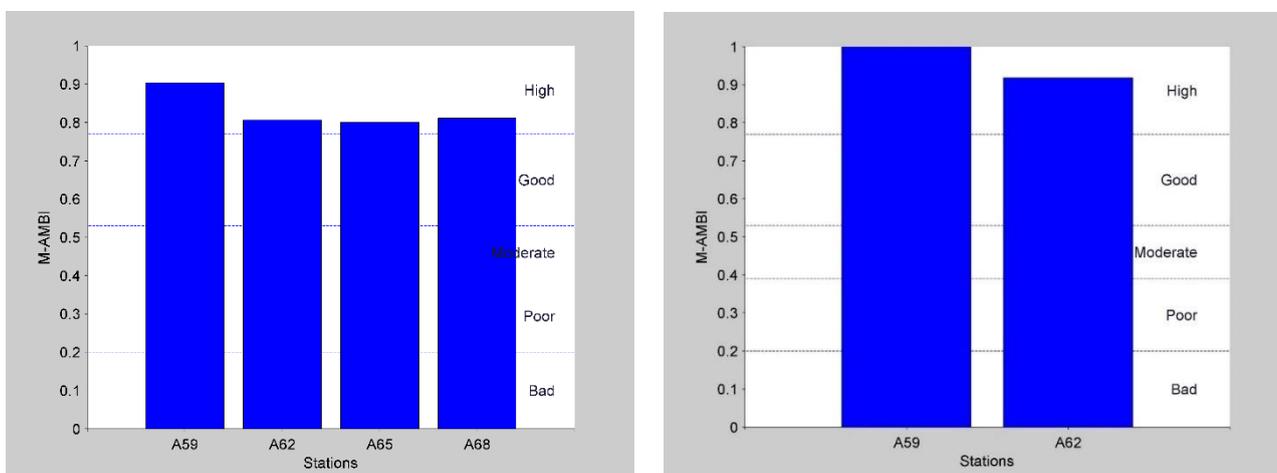


Figura 5.3.5.5. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx e dicembre 2020 a dx dell’indice

M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione.

Conclusioni

L'analisi dei valori dell'indice AMBI e M-AMBI sui 54 campioni di macrozoobenthos (18 stazioni per tre repliche ciascuno) non ha evidenziato particolari condizioni di stress nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio e le aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione, compreso l'area d'immersione stesso, come emerso dai livelli di *Ecological Quality Status* (ECoQ) e i Rapporti di Qualità Ecologica (RQE) riscontrati. Tutte le stazioni presentano un ECoQ che riporta ad ambienti non disturbati o leggermente disturbati ed un RQE *High* (Blu) oppure un RQE *Good* (Verde). Inoltre, il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli delle campagne precedenti Corso d'Opera maggio 2020 e Corso D'Opera dicembre 2020 mostra, nella campagna in Corso d'Opera febbraio 2021, valori del tutto simili.

L'analisi strutturale ha altresì evidenziato in tutte le aree una buona diversità specifica. Il numero di individui è abbastanza elevato sia nell'area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio sia nelle aree potenzialmente impattate dall'attività di immissione dei sedimenti dragati. Il sito d'immersione dei sedimenti dragati presenta una ricchezza specifica ed abbondanze, come detto in precedenza, in linea con la tipologia di disturbo registrato, l'immissione di grandi quantitativi di sedimenti con classazione diversa rispetto al substrato precedente.

Nell'area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio in totale sono stati rinvenuti 123 taxa e 1243 individui (media 82,86 individui +/- 39,31 SD, n =15) con una densità pari a 828,67 individui al m². Nelle due aree potenzialmente impattate dall'attività di immissione dei sedimenti dragati sono stati rinvenuti un totale 116 taxa e 739 individui (media 82,11 individui +/- 34,67 SD, n =9) con una densità pari a 821,11 individui al m² nell'area prospiciente la Costiera Amalfitana, e un totale di 100 taxa e 1529 individui (media 254,83 individui +/- 144,59 SD, n =6) con una densità pari a 2548,33 individui al m² nell'area del Litorale della Piana del Sele. Nel sito d'immersione sono stati rinvenuti un totale di 55 taxa e 314 individui (media 13,083 individui +/- 9,69 SD, n =24) con una densità pari a 130,83 individui al m².

Area	Maggio 2020	Dicembre 2020	Febbraio 2021
	Densità (Numero di individui / m ²)	Densità (Numero di individui / m ²)	Densità (Numero di individui / m ²)
Area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio	3.412,7 individui/m ²	580,7 individui/m ²	828,67 individui/m ²
Area potenzialmente impattata dall'attività di immissione dei sedimenti dragati (Costiera amalfitana)	1.718 individui/m ²	783,3 individui/m ²	821,11 individui/m ²
Area potenzialmente impattata dall'attività di immissione dei sedimenti dragati (Piana del Sele)	9.310 individui/m ²	1271,7 individui/m ²	2548,33 individui/m ²

Sito di immissione dei sedimenti dragati	104 individui/m ²	119,2 individui/m ²	130,83 individui/m ²
--	------------------------------	--------------------------------	---------------------------------

Figura 5.3.5.6 Confronto delle densità per m² degli organismi nelle quattro aree interessate dallo studio nelle campagne Corso d’Opera, maggio 2020, dicembre 2020 e febbraio 2021.

Per quanto riguarda le tre aree costiere (area potenzialmente impattata dalle attività di dragaggio ed area potenzialmente impattata dalle attività di immersione dei sedimenti, Costiera e Piana del Sele) il flusso di energia che sostiene la comunità bentonica di substrato mobile appare veicolato soprattutto dal detrito organogeno proveniente dalle biocenosi limitrofe delle alghe fotofile e dalle fanerogame marine, a cui si aggiungono, probabilmente, apporti alloctoni di particolato organico di origine terrigena per le stazioni a minore profondità. In queste tre aree il confronto con la precedente campagna Corso D’opera dicembre 2020 conferma la modifica dei popolamenti già verificata nel confronto con la campagna Corso D’Opera maggio 2020, imputabile principalmente alla stagionalità del prelievo.

Per quanto riguarda l’area di immersione dei sedimenti dragati il confronto con le precedenti campagne, Corso d’Opera maggio 2020 e dicembre 2020 mostra una modifica sostanziale del popolamento, già riscontrato a dicembre 2020, come era prevedibile ed in linea con la tipologia di disturbo arrecato. L’immissione di grandi quantitativi di sedimento dragato ha favorito la biomassa di detritivori, i quali hanno trovato un ambiente con elevato quantitativo di sostanza organica a causa dell’apporto del materiale dragato stesso. In letteratura è ben documentato che il disturbo fisico dell’ambiente sedimentario, come quello avvenuto nel sito di immersione dei sedimenti, determina l’espansione di specie opportuniste. Il substrato nell’area di immissione precedentemente era costituito esclusivamente da limo mentre attualmente è stata riscontrata la presenza di sedimento sabbioso/ghiaioso, che ha reso meno adatto l’habitat ai limivori favorendo gli organismi detritivori.

6 Caratterizzazione biologica (Febbraio 2021)

6.1 Caratterizzazione delle comunità macro-zoobentoniche

L'analisi dei 54 campioni di macrozoobenthos (18 stazioni per tre repliche ciascuna), ha permesso di identificare i seguenti gruppi sistematici: Anellidi Policheti, Molluschi (Bivalvi, Gasteropodi, Scafopodi), Crostacei (Decapodi, Anfipodi, Isopodi, Tanaidacei, Mysidiacei, Cumacei, Pantopodi), Echinodermi (Asteroidei, Ofiuroidei, Echinoidei e Oloturioidei), Sipunculidi.

6.2 Analisi trofica

Il macrozoobenthos dell'area potenzialmente impattata dall'attività di dragaggio (A08, A11, A14, A17, A72) si è rivelato composto soprattutto da Detritivori, organismi con abitudini trofiche miste Detritivori/carnivori e Detritivori/Sospensivori ed in misura minore dagli appartenenti alle altre categorie trofiche (fig.6.6.1.1).

I Detritivori costituiscono di gran lunga il gruppo trofico più presente nei fondi mobili studiati, probabilmente a causa di fattori edafici, cioè relativi al substrato, il polichete *Lumbrinereis latreilli* è in assoluto, fra i detritivori, il più abbondante. Tale polichete è una specie a larga ripartizione ecologica che predilige fondi fangosi/detritici. Facendo un confronto con le precedenti campagne del Corso d'Opera notiamo che la composizione degli organismi, in base alle categorie trofiche, non ha subito una sostanziale modifica rispetto all'ultima campagna di dicembre 2020. Gli organismi prettamente detritivori continuano ad essere molto elevati, 38% e si è verificato un aumento degli organismi dalle abitudini miste detritivori/carnivori 26%, i sospensivori continuano ad essere presenti con valori molto bassi rispetto al periodo estivo, il 10% rispetto al 63% iniziale. Tale situazione conferma i dati del mese di dicembre 2020, anche in questo caso la stagionalità del prelievo influenza la composizione degli organismi, i sospensivori risentono delle variazioni di salinità e la campagna Corso D'opera dicembre 2020 e febbraio 2021 sono state effettuate a ridosso di un periodo di precipitazioni pluviometriche intense.

Nell'area di immersione dei sedimenti dragati (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75, A76), la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data principalmente da Detritivori, in misura minore da Carnivori e Limivori (Fig. 6.6.1.2); Facendo un confronto con le campagne Corso d'Opera precedenti si nota che la composizione delle specie è invariata rispetto alla campagna di dicembre 2020. Confermata la differenza rispetto alla campagna di maggio 2020 dove la composizione delle categorie trofiche era diversa principalmente per la presenza di percentuali superiori di limivori. (Fig. 6.6.1.2). Continua, quindi, la variazione riscontrata a dicembre, variazione che è in linea con la tipologia di disturbo registrato, ovvero l'immissione di sedimenti con classazione diversa rispetto al substrato precedente. Il substrato nell'area di immissione, fino alla campagna di maggio 2020, risultava costituito esclusivamente da limo mentre attualmente si rileva la presenza di sedimento sabbioso/ghiaioso, che ha reso meno adatto l'habitat per

alcuni organismi favorendo i detritivori. Questi ultimi hanno trovato un ambiente idoneo con elevato quantitativo di sostanza organica, a causa dell'apporto di materiale dragato.

Nell'area della Costiera amalfitana potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati (A47, A50, A53), la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data principalmente da Detritivori, Detritivori/Carnivori e Carnivori (fig. 6.6.1.3). Anche in quest'area si riscontra una situazione immutata rispetto alla campagna Corso d'Opera dicembre 2020 con valori di detritivori sempre molto alti ed una elevata riduzione della categoria trofica dei sospensivori rispetto alla campagna di maggio 2020. Da tenere presente che le campagne di dicembre 2020 e febbraio 2021 sono state effettuate a ridosso di un periodo di precipitazioni pluviometriche intense che hanno portato grandi quantitativi di acqua dolce e fango dai valloni della Costiera amalfitana, rendendo l'habitat meno ospitale per gli organismi sospensivori, favorendo allo stesso tempo organismi dalle abitudini trofiche detritivore. La natura del substrato in quest'area è prevalentemente ghiaiosa, i detritivori presenti fanno parte principalmente dei taxa dei Policheti e dei Molluschi.

Nell'area del litorale della Piana del Sele potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati (A59, A62, A65, A68), la composizione della comunità bentonica dal punto di vista trofico è data soprattutto da Detritivori, e Sospensivori, in misura minore da organismi con abitudini trofiche miste Detritivori/Carnivori, Detritivori/Sospensivori e Carnivori da specificare che nella campagna di febbraio 2021, come in quella di dicembre 2020, non è stato possibile prelevare campioni dalle stazioni A65 ed A68 in quanto l'area era interdotta a causa di esercitazioni militari. Il confronto con le campagne Corso D'opera precedenti mostra una modifica sostanziale, l'elevata riduzione della categoria trofica dei sospensivori riscontrata a dicembre 2020 ha subito una variazione; infatti, i sospensivori sono in aumento rispetto a dicembre 2020 passando dal 10% al 38% (Fig. 6.6.1.4). Tale variazione è dovuta al ritrovamento di alcuni molluschi bivalvi con elevate abbondanze, i valori continuano ad esser molto differenti da quelli di maggio 2020 ma ricordiamo l'assenza delle stazioni A65 ed A68. Queste ultime stazioni, infatti, sono quelle che a maggio 2020 avevano valori di abbondanza elevatissimi dovuti alla presenza in gran numero di due molluschi bivalvi sospensivori.

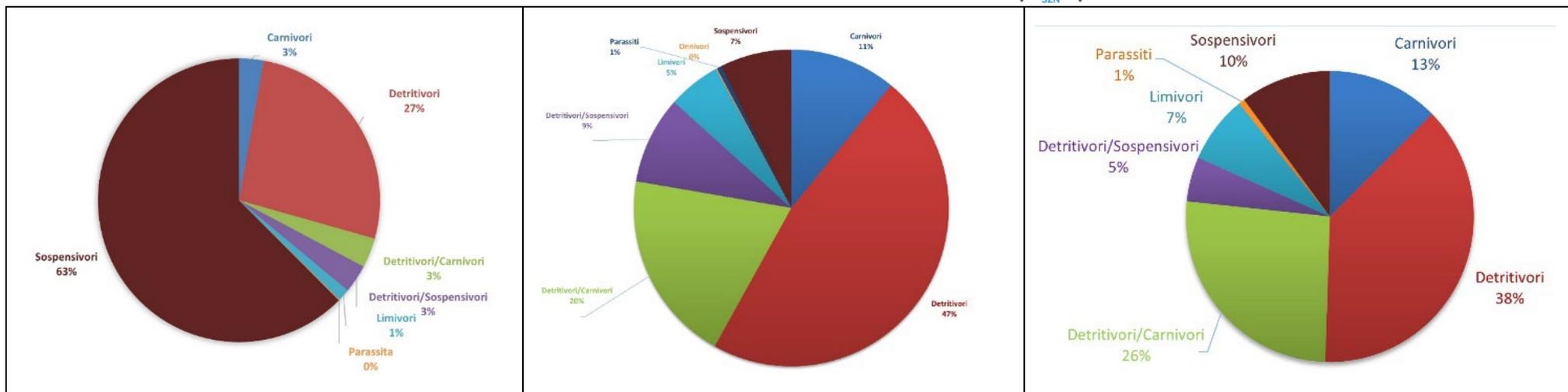


Fig. 6.6.1.1: Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area potenzialmente impattata dall'attività di dragaggio e confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx.

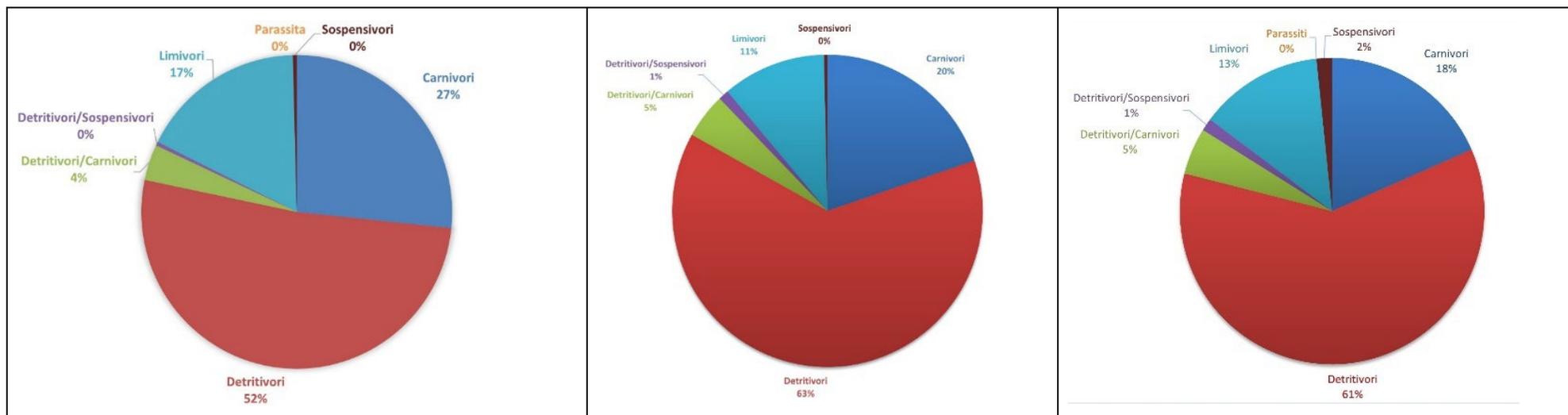


Fig. 6.6.1.2: Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area di immersione dei sedimenti dragati e confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx.

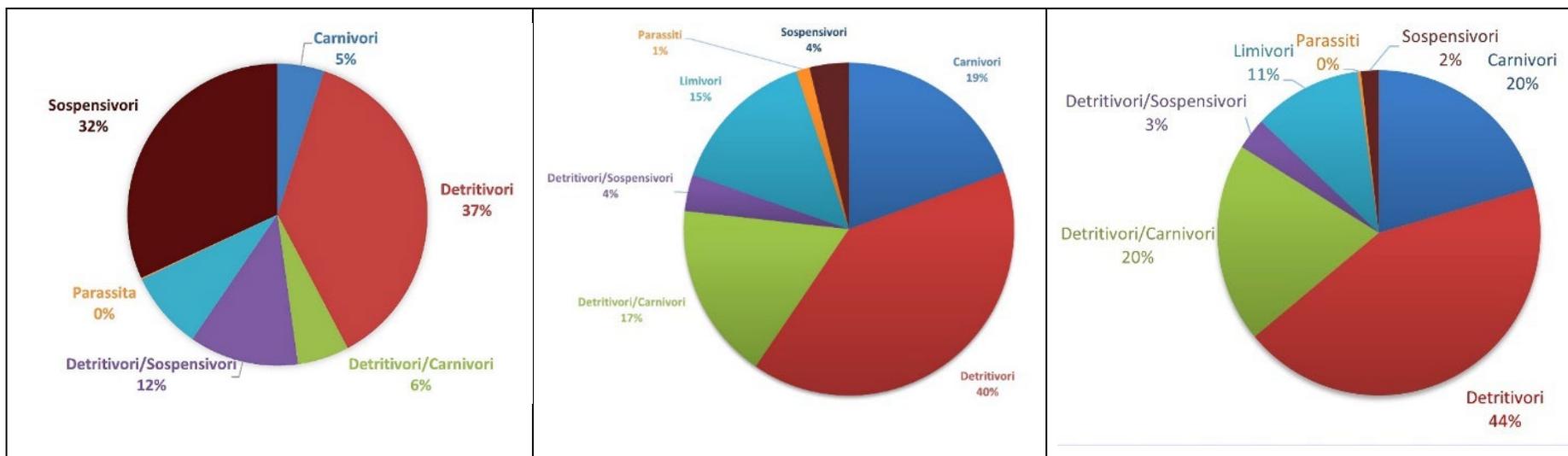


Fig. 6.6.1.3: Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area della Costiera amalfitana potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati e confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx.

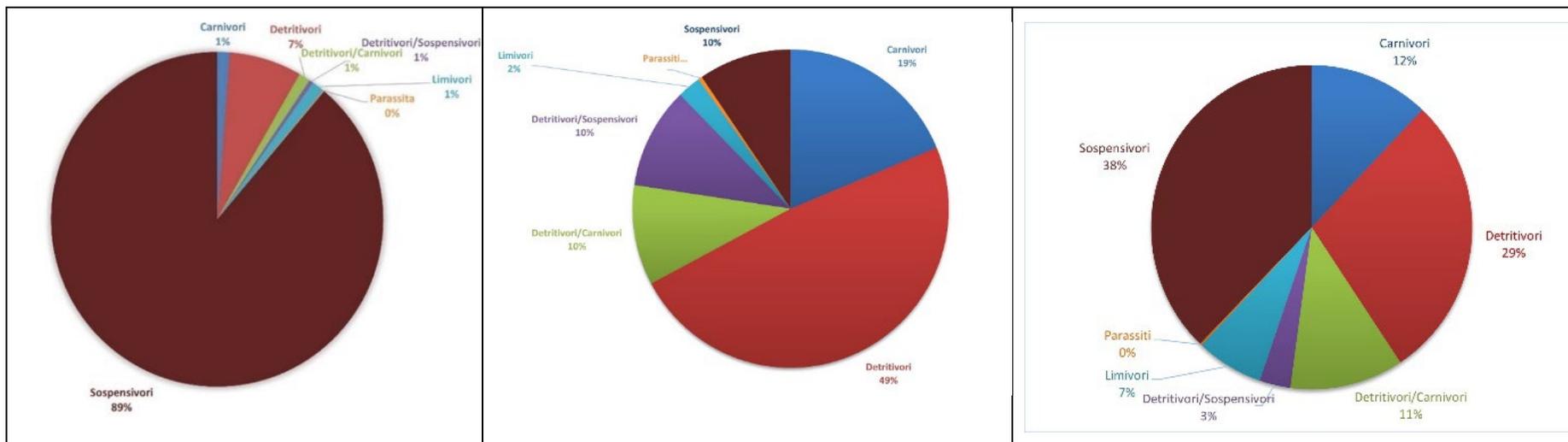


Fig. 6.6.1.4: Suddivisione in categorie trofiche degli organismi presenti nell'area del litorale della Piana del Sele potenzialmente impattata dall'attività di immersione dei sedimenti dragati e confronto tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx.

Concludendo l'analisi delle caratteristiche trofiche delle quattro aree soggette dello studio ha confermato l'aumento degli organismi detritivori evidenziato dalla campagna di dicembre 2020.

Il sito di immersione dei sedimenti dragati mostra un cambiamento nella composizione del popolamento in linea con la tipologia di disturbo registrato, ovvero l'immissione di grandi volumi di sedimento dragato. Infatti è aumentata la percentuale di Detritivori che diventano il gruppo prevalente a discapito dei limivori, che essendo legati troficamente alla natura del substrato, non hanno più trovato le condizioni di vita ideali.

Nell'area di immersione dei sedimenti dragati quasi tutti i detritivori più abbondanti appartengono ai taxa dei Molluschi o dei Policheti. In particolare, sono stati rinvenuti Policheti appartenenti alle famiglie degli Onuphida come il polichete carnivoro *Paradiopatra calliopae* che risulta essere anche la specie più abbondante con il 14% del popolamento, insieme con *Prionospio ehlersi* 13%, polichete spionide dall'abitudine trofica detritivora. La presenza di entrambe le specie è stata già registrata nei precedenti campionamenti e con abbondanze molto simili alla campagna di dicembre 2020. *Prionospio ehlersi* è una specie opportunistica e detritivora che in situazioni di disturbo come quelle interessate dall'immissione dei sedimenti dragati trova un habitat ideale per espandersi. Da notare anche nella campagna di febbraio 2021 la presenza del mollusco bivalve *Mendicula ferruginosa*, una specie detritivora cosmopolita di acque profonde, rinvenuta dalla piattaforma continentale fino a profondità abissali.

Carnivori tipici sono la maggior parte dei Crostacei Decapodi e gli Echinodermi appartenenti alla classe degli Asteroidei. La distribuzione dei rappresentanti di questa categoria funzionale, presente solo nel sito di immersione con percentuali più consistenti (18%), è indipendente dalla profondità, dato che questi organismi, legati troficamente alle loro prede, sono solo indirettamente correlati con i parametri abiotici, come la natura del substrato e l'idrodinamismo.

Nelle altre tre aree sono confermate le variazioni nella composizione del popolamento ascrivibili principalmente alla stagionalità del prelievo, nell'area del litorale del Sele sembra esserci una prima inversione di tendenza con un nuovo aumento degli organismi sospensivori.

6.3 Analisi Strutturale

6.3.1 Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (A08, A11, A14, A17, A72) ha condotto all'individuazione complessiva di 1243 individui appartenenti a 123 taxa. L'area è caratterizzata da un popolamento vario, solo in pochi casi sono presenti specie con abbondanze rilevanti come nel caso dei policheti *Lumbrinereis latreilli* presente con l'11 % del popolamento ed il polichete *Nephtys hombergii* presente con l'8% del popolamento.

In termini di preferenze ecologiche la comunità è caratterizzata da specie appartenenti a differenti categorie bionomiche, da un elevato numero di specie strettamente sabulicole e vasicole, da specie a larga ripartizione ecologica e altre descritte in letteratura come indicatrici di instabilità. Diverse sono le specie molto sensibili ai disturbi presenti in questa area, fra questi da segnalare per abbondanze, i molluschi *Lucinella divaricata*, *Moerella pulchella*, *Phaxas pellucidus*.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento mediamente ricco in specie in quasi tutte le stazioni. I valori più elevati si riscontrano nella stazione A17, il valore più basso in A14 (Figura 6.6.2.2.1). Mettendo in confronto le tre campagne Corso d'Opera, maggio 2020, dicembre 2020 e febbraio 2021, si nota un popolamento mediamente più ricco in specie a febbraio 2021. Tutte le stazioni hanno valori pari o superiori a 2.5, confermando l'analisi strutturale della campagna di dicembre 2020, mentre a maggio 2020 c'era una maggiore variabilità con un picco di specie nella stazione A11 ed una forte riduzione nella stazione A17.

Valori elevati dell'indice di equiripartizione di Pielou (J) sono presenti in quasi tutte le stazioni con valori pari o superiori a 0.8, quindi gli individui si distribuiscono in modo uniforme. Il confronto con la campagna precedente, dicembre 2020, mostra un sostanziale equilibrio con valori molto simili. (Figura 6.6.2.2.2).

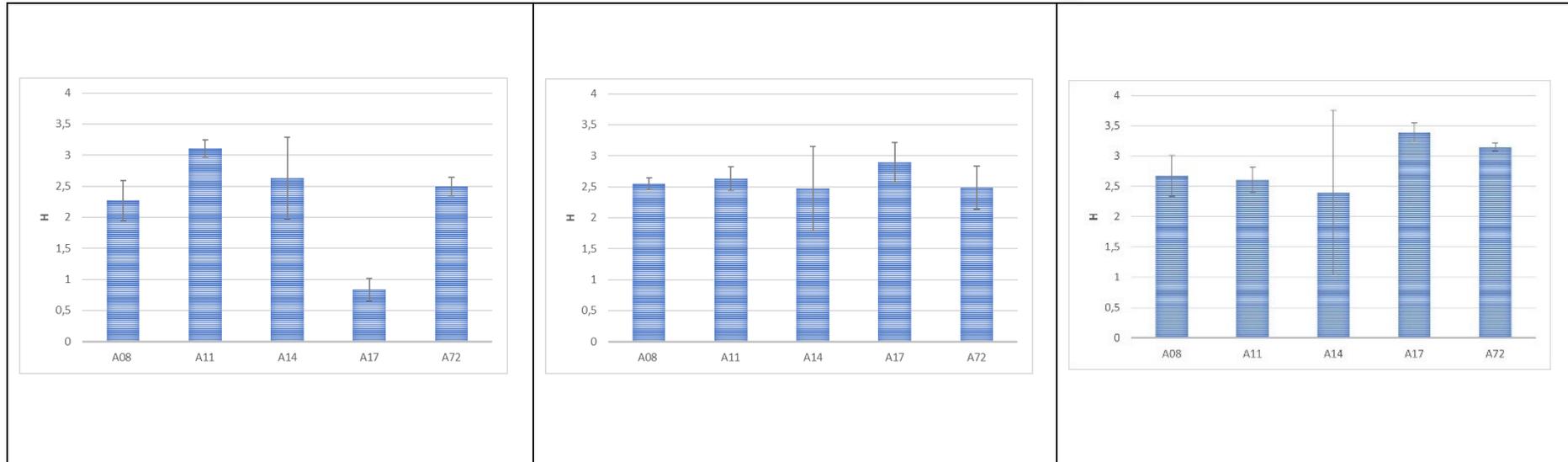


Figura 6.6.2.2.1. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice di diversità specifica di Shannon Weaver (media +/- deviazione standard) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio.

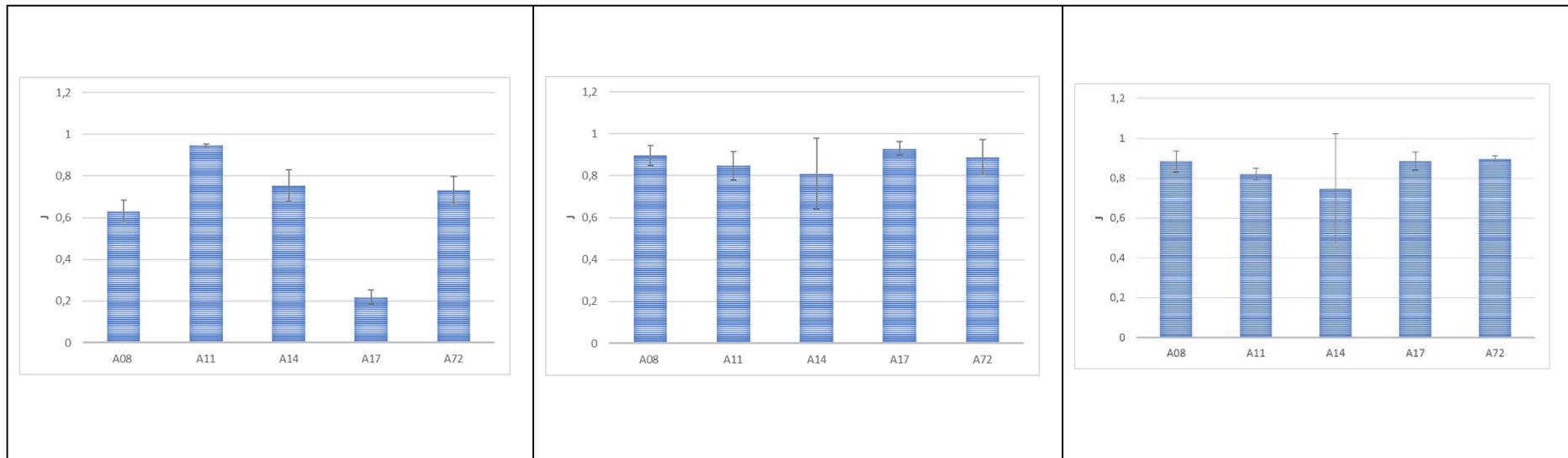


Figura 6.6.2.2.2. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice di equiripartizione di Pielou (media +/- deviazione standard) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio.

Il calcolo dell'indice AMBI e la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico sono stati riportati nel grafico di figura 6.6.2.2.3. I gruppi ecologici presenti in tutte le stazioni sono il gruppo GI, GII, GIII e GIV, con i primi due che risultano essere i due gruppi più rappresentati mentre GIII e GIV sono caratterizzati da valori molto bassi (Figura 6.6.2.2.3). L'indice AMBI presenta invece valori inferiori o pari a 2 (Figura 6.6.2.2.3) indicanti un ambiente leggermente disturbato con un ECoQ abbastanza buono (Figura 6.6.2.2.4).

In figura 3.6.2.2.5 sono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Quasi tutte le stazioni presentano un RQE High (blu), solo la stazione A11 presenta un valore di RQE Good (verde).

Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli delle campagne precedenti mostrano valori simili con un leggero miglioramento in tutte le stazioni, ad esclusione della stazione A11 che nell'M-AMBI presenta un lieve peggioramento con un valore di RQE Good (verde).

Ricordiamo che le ultime due campagne sono state effettuate nel periodo invernale, dicembre 2020 e febbraio 2021, periodi di naturale riduzione delle specie, la gran parte degli organismi in questione risente della stagionalità.

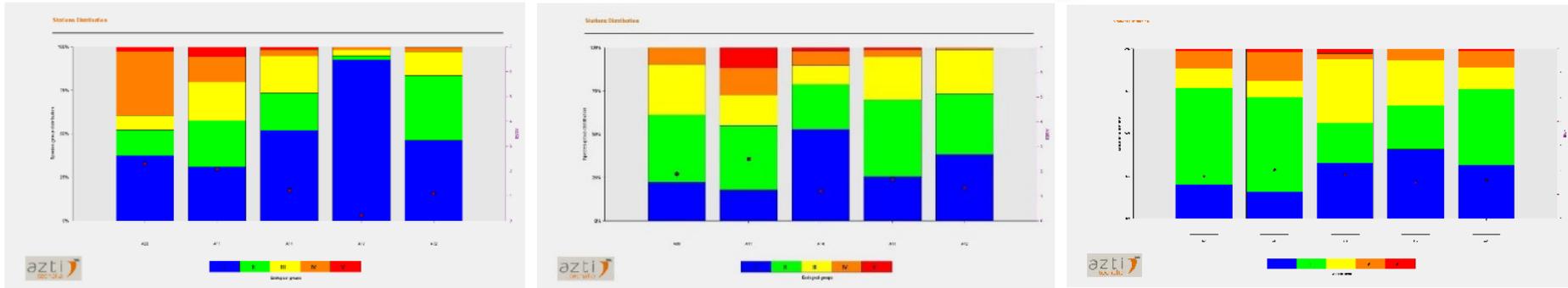


Figura 6.6.2.2.3. Confronto dell'Indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all'interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx

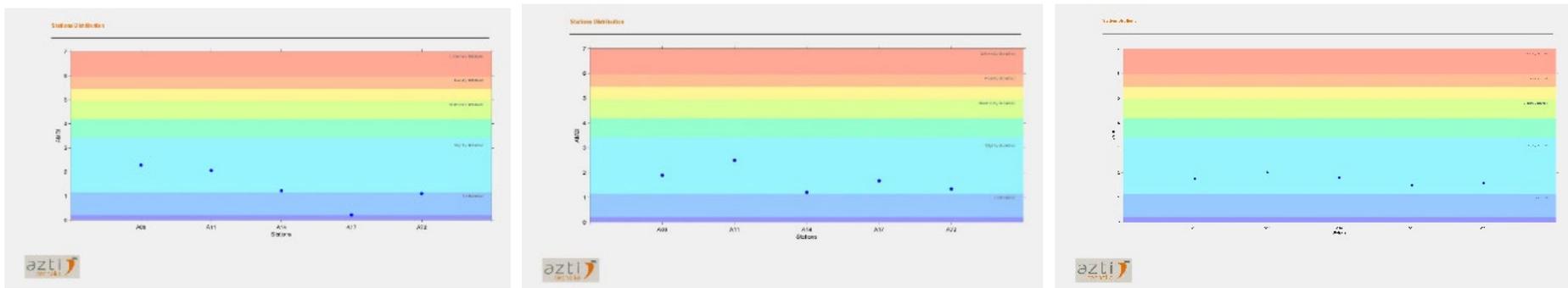


Figura 6.6.2.2.4. Confronto dell'indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx.

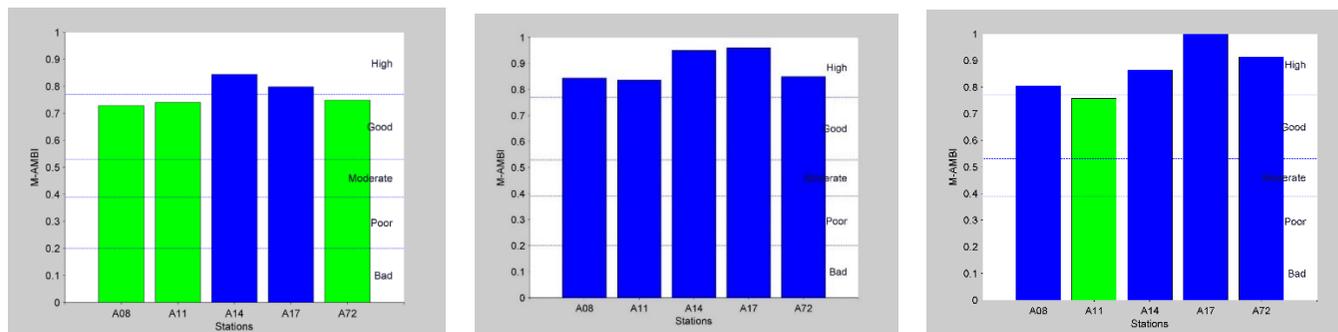


Figura 6.6.2.2.5. Confronto dell'Indice M-AMBI nelle stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di dragaggio ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) tra le campagne Corso d'Opera, maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx.

6.3.2 Area di immersione dei sedimenti dragati

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area di immersione (A20, A21, A22, A23, A24, A74, A75, A76) ha portato all'individuazione di un totale di 314 individui appartenenti a 55 taxa. Il 27% del popolamento è costituito da due policheti *Paradiopatra calliopae* e *Prionospio ehlersi* mentre l'11% è costituito dal mollusco bivalve *Mendicula ferruginosa*. Il restante 62% del popolamento è costituito in prevalenza da policheti e molluschi bivalvi. La composizione del popolamento in termini di preferenze ecologiche evidenzia un popolamento molto simile a quello riscontrato nella campagna Corso d'opera dicembre 2020, confermando la variazione indotta probabilmente dalla tipologia di substrato. Infatti, la tipologia di sedimento riscontrato nei prelievi delle campagne Corso d'Opera dicembre 2020 e febbraio 2021 è diverso da quello presente nell'area precedentemente. La classazione del sedimento in tutte le stazioni del sito d'immersione è cambiata dal limoso al ghiaioso/sabbioso.

L'andamento dell'indice di Shannon Weaver (H') presenta valori abbastanza elevati in tutte le stazioni. Il confronto con la campagna precedente, Corso d'opera dicembre 2020, mostra un andamento simile con un aumento dei valori di diversità specifica in molte stazioni ad esclusione della stazione A23 che risulta l'unica ad avere una riduzione in diversità (Figura 6.6.2.3.1).

L'indice di equitabilità di Pielou (J) mostra un andamento abbastanza costante in tutte le stazioni campionate e con valori che mostrano un'equidistribuzione quantitativa delle specie (Figura 6.6.2.3.2). Il confronto con le campagne precedenti, Corso d'opera maggio 2020 e dicembre 2020, mostra un andamento simile, in tutte le stazioni delle tre campagne, i valori si assestano fra 0.8 ed 1 (Figura 6.6.2.3.2).

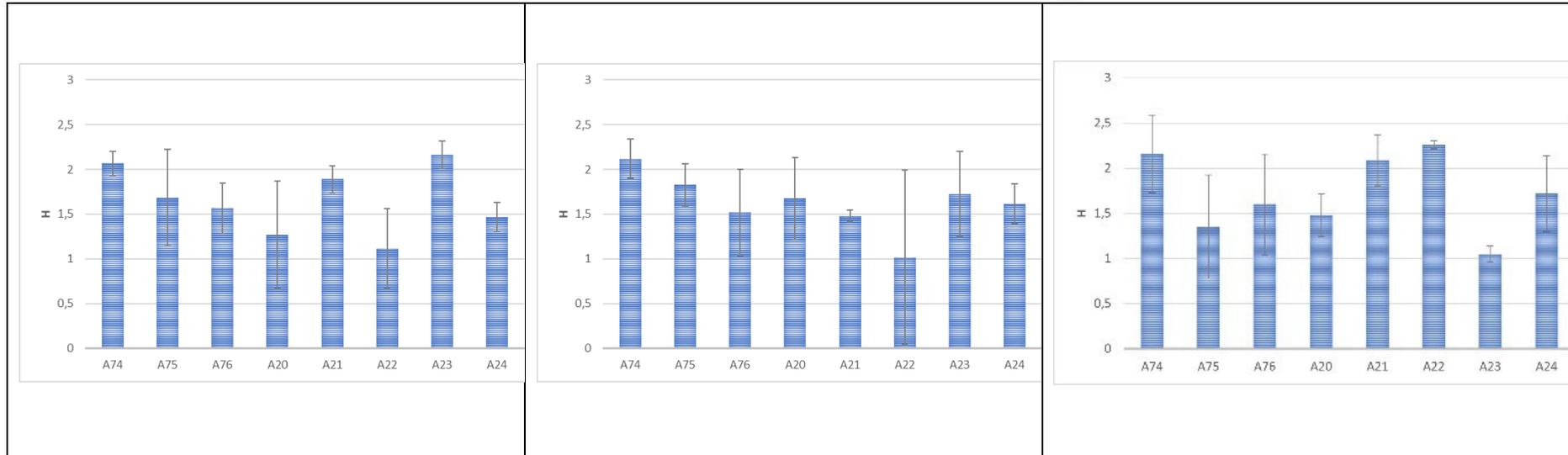


Figura 6.6.2.3.1. Confronto tra le campagne Corso d’Opera maggio 2020 sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice di diversità specifica di Shannon Weaver (media +/- deviazione standard) nell’area di immersione.

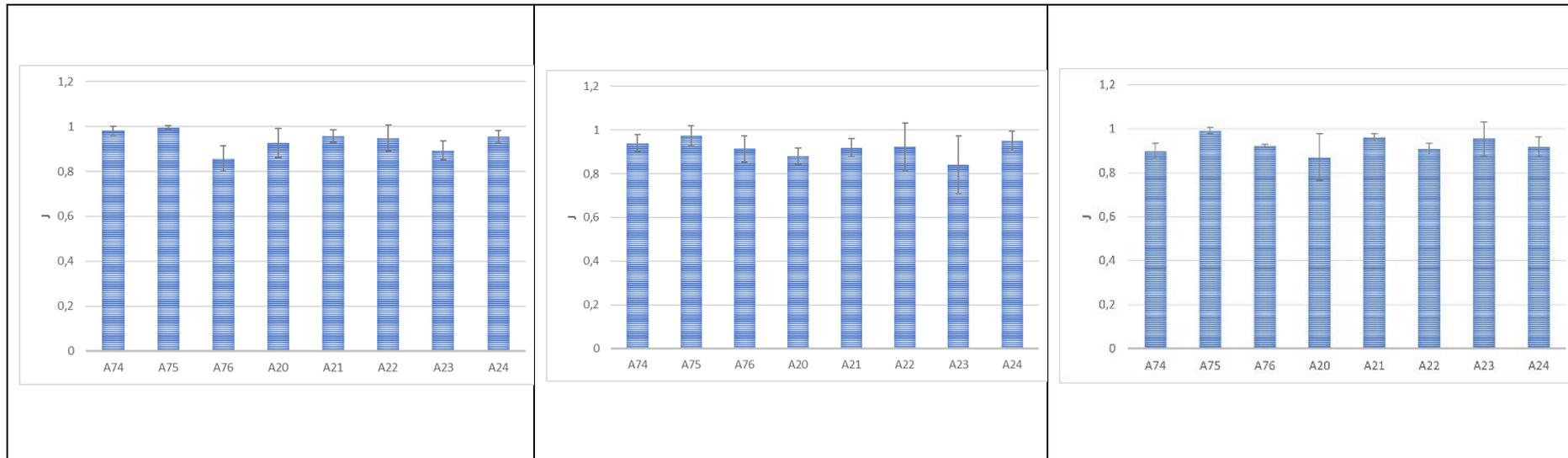


Figura 6.6.2.3.2. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice di equità di Pielou (media +/- deviazione standard) nell’area di immersione.

Il calcolo dell'indice AMBI, la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico ed il confronto con le precedenti campagne, sono stati riportati nel grafico di figura 6.6.2.3.3. I gruppi ecologici maggiormente rappresentati sono il gruppo GI e GII, seguito dal gruppo GIII e dal GIV presente in particolare nella stazione A22 e A23. Da notare un notevole incremento della percentuale di specie appartenenti al gruppo GI nelle stazioni A75, A76, A20, A21. Non ci sono specie appartenenti al gruppo GV.

In tutte le stazioni l'indice ha evidenziato valori compresi $1,2 < \text{AMBI} < 3$ indicanti un ambiente leggermente disturbato ed un ECoQ buono ed in due casi, le stazioni A75 ed A76, il valore è inferiore ad 1 indicando un ambiente non disturbato con un ECoQ ottimale (Figura 3.6.2.3.4).

In figura 6.6.2.3.5 vengono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Le stazioni A74, A21 ed A22 presentano un RQE *High* (Blu), mentre le stazioni A75, A76, A20, A23 e A24, presentano un RQE *Good* (verde). Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli delle campagne precedenti, mostra nella campagna di dicembre 2020 valori superiori ed il rapporto di Qualità ecologica (RQE) che presenta un miglioramento per le stazioni A76 ed A20 con un RQE *High* (blu). Tale miglioramento può essere attribuito all'aumento naturale di organismi dovuto alla trasformazione del substrato che come detto in precedenza, essendo modificato in classazione, ha dato la possibilità di sviluppo a nuove specie. Nell'ultima campagna, febbraio 2021, i valori sono grosso modo gli stessi è da notare un leggero peggioramento nella stazione A23 il cui valore di AMBI ed M-AMBI è diminuito.

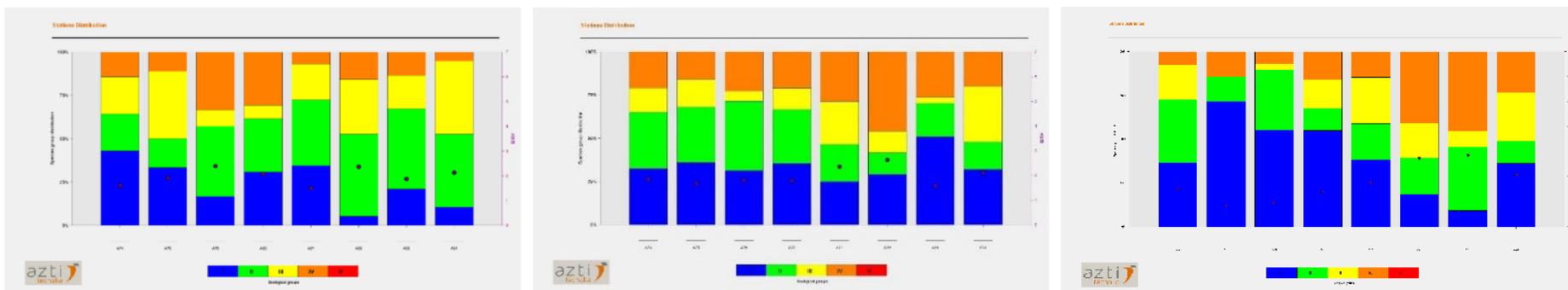


Figura 6.6.3.2.3. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all’interno di ciascuna stazione nell’area di immersione.

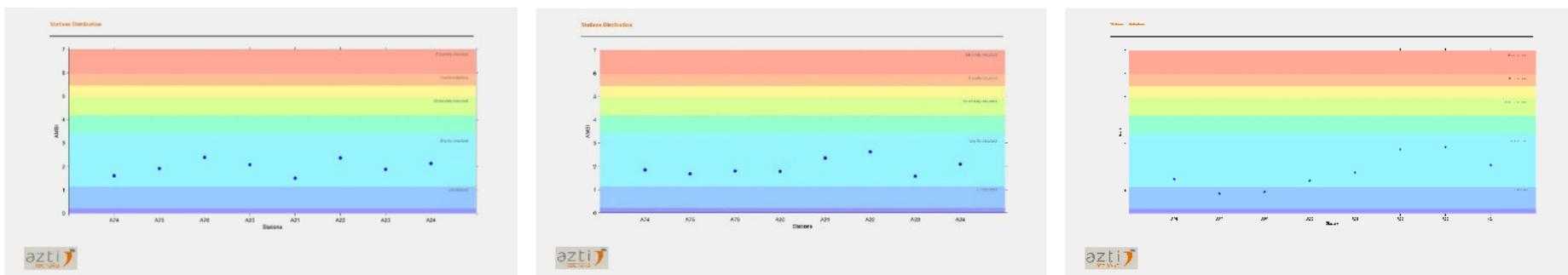


Figura 6.6.2.3.4. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice AMBI e valori di EcoQ in tutte le stazioni nell’area di immersione.

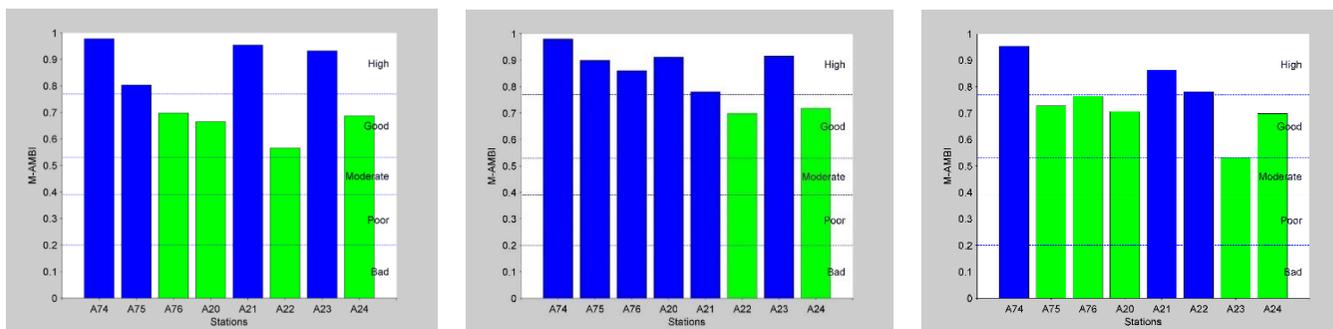


Figura 6.6.2.3.5. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nell’area di immersione.

Come nella campagna precedente l'elaborazione dei dati ha fornito un'analisi sulla composizione e sulla struttura della comunità. La composizione bionomica ha messo in evidenza che si tratta di un popolamento estremamente influenzato dalla variazione di classazione dei sedimenti, dovuta all'immissione dei sedimenti dragati che ha modificato la tipologia di substrato da limoso a ghiaioso/sabbioso. Dato confermato dall'espansione di specie detritivore e carnivore che dimostra sia il trasporto di nuovo materiale organico sia il disturbo sulla comunità precedente.

Nelle ultime due campagne dicembre 2020 e febbraio 2021 si riscontrano principalmente specie a larga ripartizione ecologica mentre, nella campagna di maggio 2020, il popolamento era caratterizzato dalla presenza di specie vasicole ed esclusive di particolari biocenosi tipiche delle profondità prese in analisi. Le specie maggiormente presenti nella campagna febbraio 2021 con il 38% del totale del popolamento sono *Paradiopatra calliopae* con il 14% e *Prionospio ehlersi* con il 13% e *Mendicula ferruginosa* con il 16% del popolamento.

La specie maggiormente presente è risultata essere *Paradiopatra calliopae*, già presente nel precedente campionamento e con abbondanze simili è una specie carnivora a larga ripartizione ecologica. La seconda specie più presente è il polichete *Prionospio ehlersi*, specie opportunistica e detritivora in leggera riduzione rispetto alla campagna di dicembre 2020. Il disturbo fisico dell'ambiente sedimentario, come quello avvenuto nel sito di immersione dei sedimenti, determina l'espansione di specie opportuniste come *Prionospio ehlersi* ed altre riscontrate, a seguito di questo incremento si assiste ad un aumento consequenziale delle specie carnivore che approfittano della nuova disponibilità di prede.

Mendicula ferruginosa, invece è un mollusco bivalve detritivoro, una specie cosmopolita di acque profonde, rinvenuta dalla piattaforma continentale fino a profondità abissali. È considerata un elemento tipico della biocenosi VP, di fango batiale.

6.3.3 Aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione

L'analisi tassonomica delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione è stata fatta identificando due aree, diverse per substrato e molto distanziate fra di loro spazialmente.

L'area corrispondente alla costiera amalfitana (A47, A50, A53) e l'area del litorale della Piana del Sele (A59, A62, A65, A68). Nella campagna Corso d'Opera febbraio 2021, come nella precedente campagna, dicembre 2020, non è stato possibile prelevare campioni dalle stazioni A65 ed A68 in quanto l'area era sottoposta ad esercitazioni militari.

6.3.4 Area Costiera amalfitana

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area della Costiera amalfitana ha condotto all'individuazione complessiva di 739 individui e 116 taxa. Rispetto alla Campagna Corso D'Opera dicembre 2020 c'è una leggera ripresa nel numero di taxa e di individui, valori ancora molto inferiori a quelli riscontrati a maggio 2020. Questo dipende, come già detto per dicembre 2020, sia dalla stagionalità, che ha un ruolo importante sui cicli di riproduzione degli organismi bentonici, con picchi di riproduzione in primavera ed autunno e riduzioni in tardo autunno e inverno, sia dagli eventi meteorici di rilievo che si sono susseguiti lungo la costiera amalfitana nel periodo autunnale apportando dai valloni grossi quantitativi di acqua dolce e fango terrigeno costiero.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento abbastanza ricco e diversificato nelle tre stazioni dell'area con valori vicini a 3. Il confronto con le precedenti campagne Corso d'opera maggio 2020 e dicembre 2020, mostra un andamento sostanzialmente simile.

L'indice di equiripartizione di Pielou (J) mostra valori abbastanza alti, tutti superiori a 0,8, indicando una buona diversità specifica. Il confronto con la campagna di dicembre 2020 non mostra significativi cambiamenti, confermato, rispetto alla campagna di maggio 2020, il miglioramento della diversità specifica per la stazione A53 (Figura 6.2.4.2). Il popolamento è ben diversificato con un solo picco in abbondanza costituito dal mollusco bivalve *Lucinella divaricata*, presente con il 10% del popolamento.

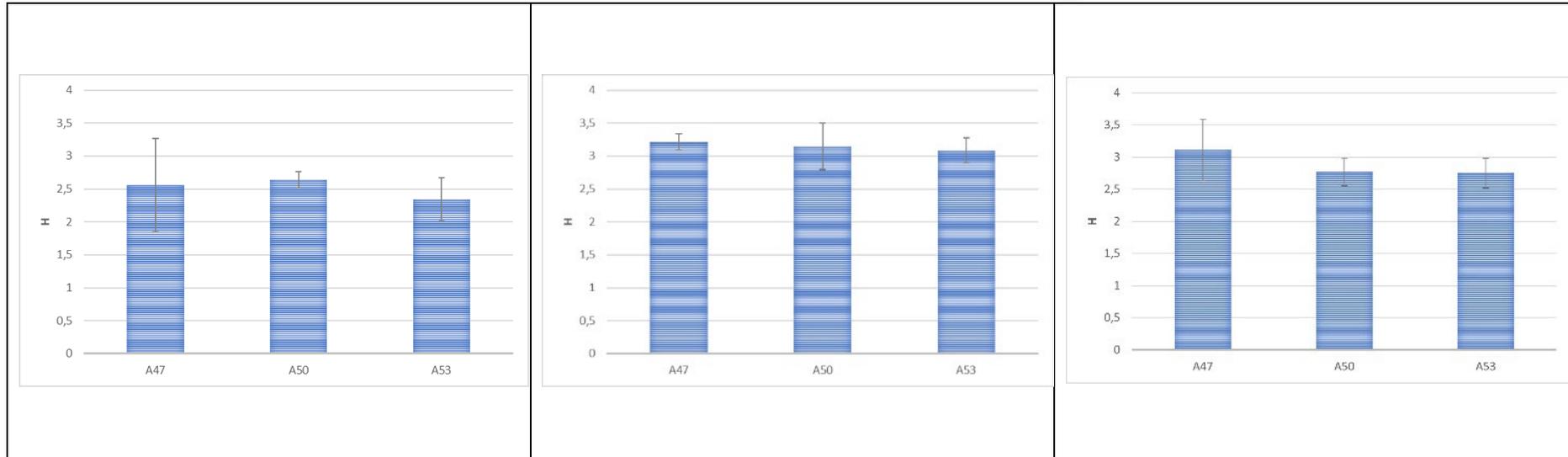


Figura 6.2.4.1. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice di diversità specifica di Shannon Weaver (media +/- deviazione standard) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Costiera).

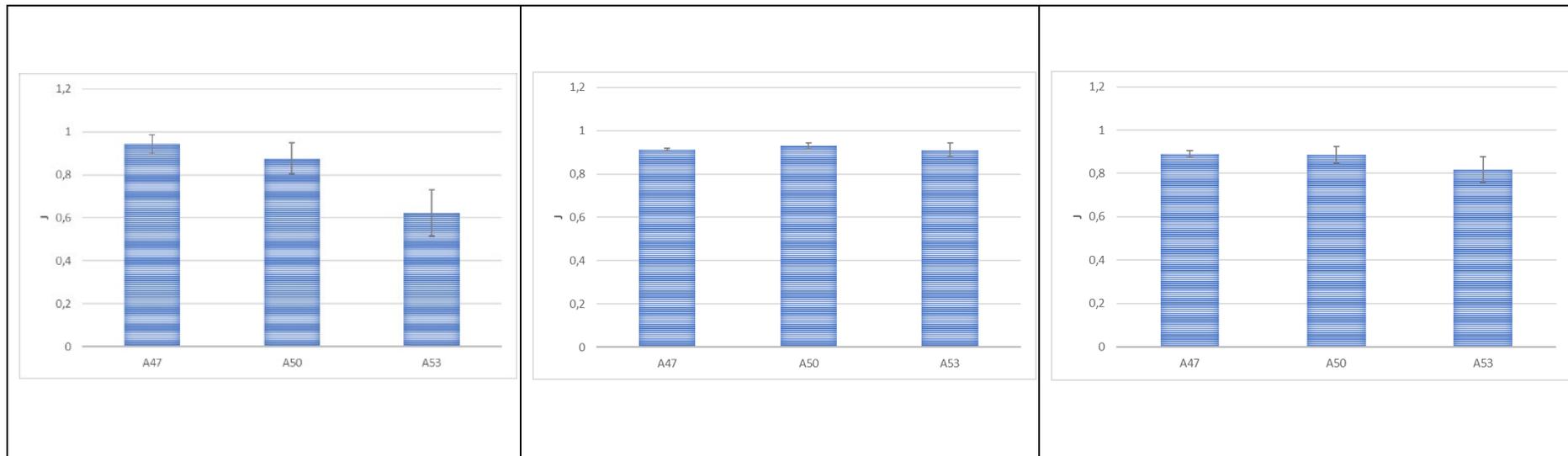


Figura 6.2.4.2. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice di equiripartizione di Pielou (media +/- deviazione standard) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Costiera).

Il calcolo dell'indice AMBI, la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico ed il confronto con le precedenti campagne, Corso d'Opera maggio 2020 e dicembre 2021, sono stati riportati nei seguenti grafici. I gruppi ecologici GI, GII e GIII hanno i più alti valori percentuali, in particolare la stazione A47 e la stazione A53 presentano una percentuale di distribuzione di specie afferenti al gruppo GI molto elevata. I rimanenti gruppi si distribuiscono in maniera inferiore in ciascuna stazione (Figura 6.2.4.3). L'indice AMBI presenta valori intorno ad 1, solo nella stazione A50 in prossimità del valore 2, (Figura 6.2.4.3) indicanti un ambiente leggermente disturbato per A47 ed A50 e un ambiente non disturbato per la stazione A53 con un ECoQ ottimale (Figura 6.2.4.4).

In figura 3.6.2.4.5 sono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Le stazioni presentano un RQE High (blu) nella stazione A47 e A53, con valori molto alti per la stazione A47 ed un RQE Good (verde) per la stazione A50. Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli delle campagne precedenti mostra, nella campagna di febbraio 2021, valori abbastanza in linea con i precedenti se non per la stazione A50 che presenta una variazione in ribasso nel rapporto di qualità ecologica.

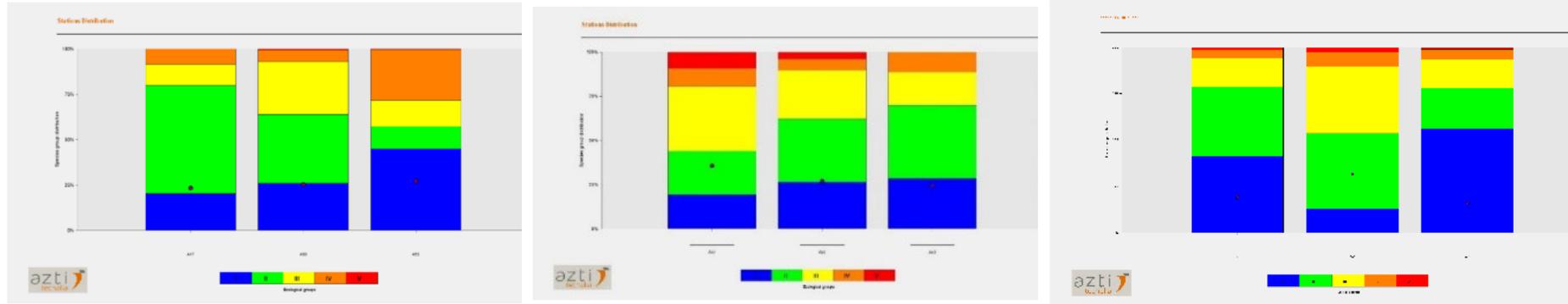


Figura 6.2.4.3. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all’interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Costiera).

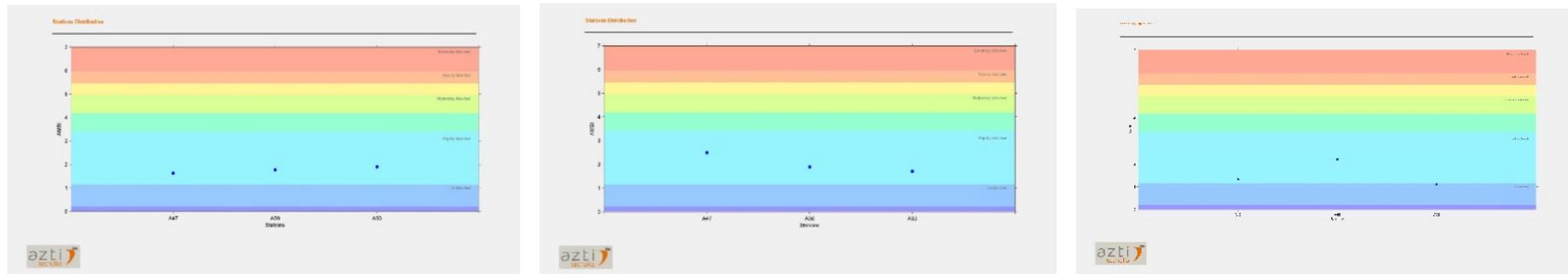


Figura 6.2.4.4. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Costiera).

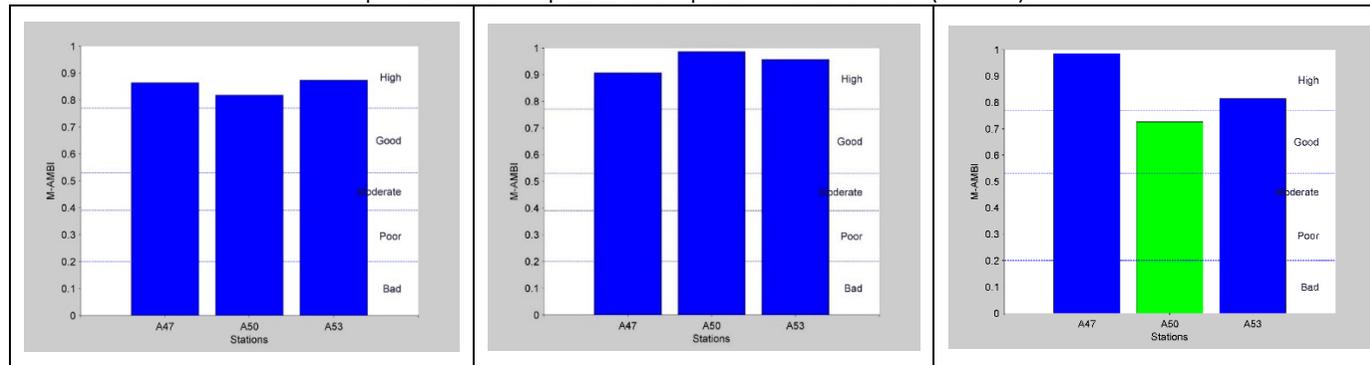


Figura 6.2.4.5. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Costiera).

6.3.5 Area litorale della Piana del Sele

L'analisi tassonomica del popolamento bentonico dell'area del litorale della Piana del Sele ha condotto all'individuazione complessiva di 1529 individui e 100 taxa. I valori di abbondanza sono molto diversi dalla Campagna Corso D'opera maggio 2020 a causa dell'assenza delle stazioni A65 ed A68 che erano risultate caratterizzate da un elevato numero di molluschi, ma sono comunque nettamente superiori rispetto alla campagna Corso D'Opera dicembre 2020. Questo è riconducibile principalmente al ritrovamento di un mollusco bivalve, *Spisula subtruncata*, presente con elevata abbondanza; infatti, con 514 individui, il 34% del popolamento, è la specie più abbondante.

L'analisi degli indici strutturali ha evidenziato un popolamento abbastanza ricco e diversificato. L'indice di diversità di Shannon Weaver (H') mostra valori fra 2,5 e 3 nelle due stazioni. Confrontando i dati delle stazioni A59 ed A62 con la campagna precedente, Corso d'opera dicembre 2020, si nota una sostanziale similitudine con valori di diversità specifica un po' più bassi nella stazione A59 che è la stazione che presenta il maggior numero di individui ma costituiti principalmente da *Spisula subtruncata* (Figura 6.2.4.1).

L'indice di equiripartizione di Pielou (J) mostra valori abbastanza elevati ed il confronto con le campagne precedenti presenta differenze per la stazione A59 che ha un valore di poco superiore a 0,6, questo è dovuto all'abbondante presenza di individui di *Spisula subtruncata* a fronte di una minore diversità di specie nella stazione. Abbondanze significative di alcuni organismi come il mollusco bivalve *Spisula subtruncata* sono da considerare normali per l'area di ritrovamento che ne è l'habitat caratteristico, bassa profondità e substrato caratterizzato da sabbie fini ben calibrate. Infatti, nella campagna di maggio 2020 furono trovati livelli di abbondanza del mollusco anche superiori (Figura 6.2.4.2).

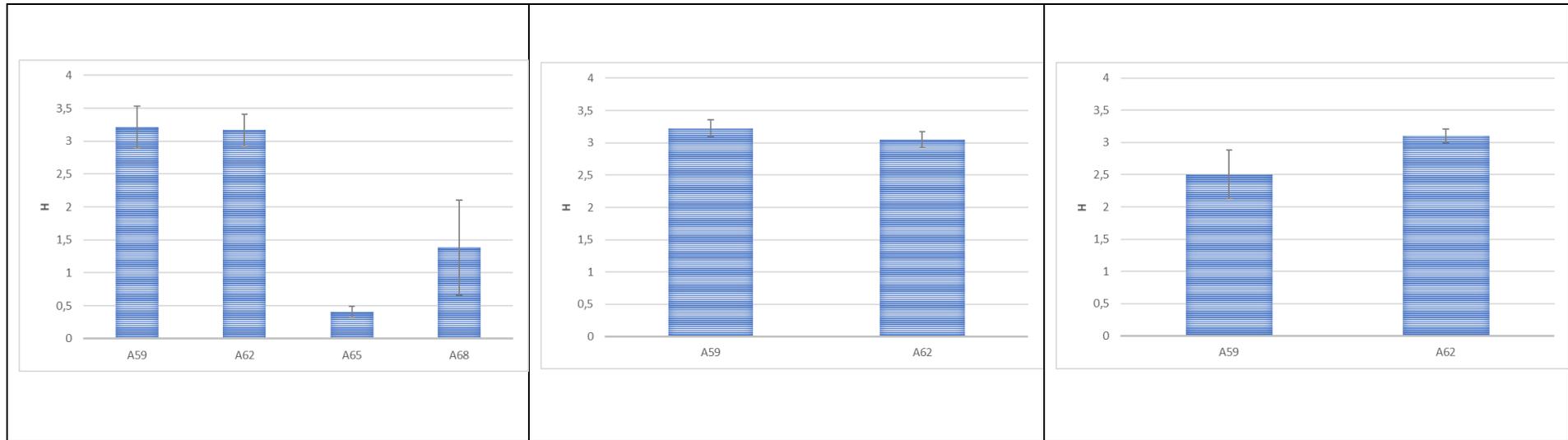


Figura 6.2.4.1. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice di diversità specifica di Shannon Weaver (media +/- deviazione standard) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Sele).

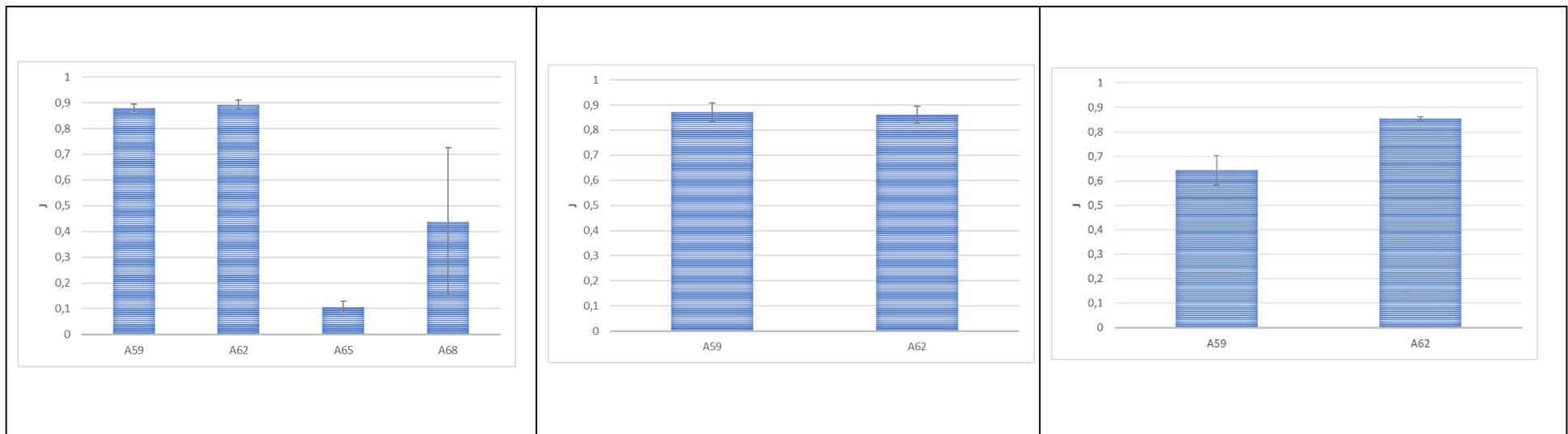


Figura 6.2.4.2. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice di equiripartizione di Pielou (media +/- deviazione standard) nelle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Sele).

Nell'area potenzialmente impattata dalle operazioni di dragaggio (litorale Piana del Sele) il calcolo dell'indice AMBI, la distribuzione delle specie all'interno di ciascun gruppo ecologico ed il confronto con le precedenti campagne di maggio 2020 e dicembre 2020, sono stati riportati nei seguenti grafici. I gruppi ecologici GI, GII hanno i più alti valori percentuali. L'indice AMBI presenta valori inferiori ad 1 in A59 ed inferiore di 2 in A62 (Figura 6.2.4.3) indicanti rispettivamente un ambiente non disturbato con ECoQ ottimale e leggermente disturbato con un ECoQ buono (Figura 6.2.4.4).

In figura 3.6.2.4.5 sono riportati i valori dell'indice M-AMBI nelle stazioni considerate e il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE). Tutte le stazioni considerate hanno un RQE High (blu).

Il confronto dei valori dell'AMBI e del M-AMBI attuali con quelli delle campagne precedenti Corso D'Opera maggio 2020 e dicembre 2020 mostra nella campagna di febbraio 2021 valori simili con il rapporto di Qualità ecologica (RQE) che si assesta per tutte le stazioni su valori elevati con un RQE *High* (blu).

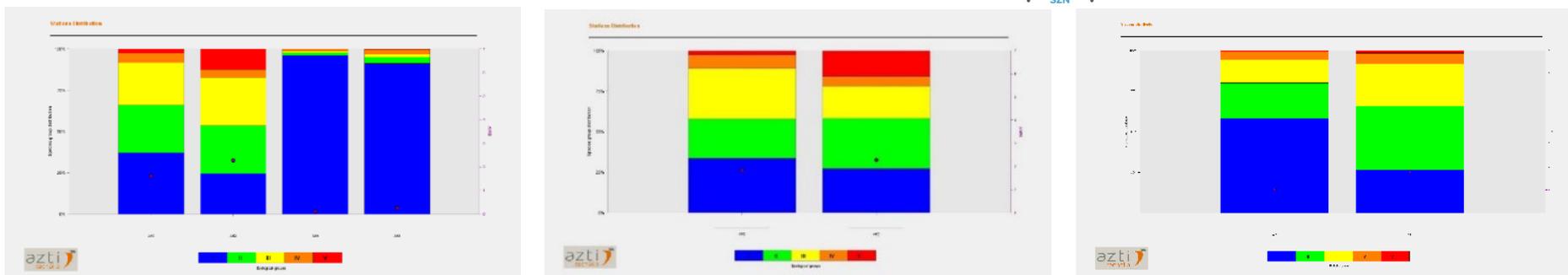


Figura 6.2.4.3. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice AMBI e distribuzione delle specie nei 5 gruppi ecologici (G) all’interno di ciascuna stazione delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Sele).

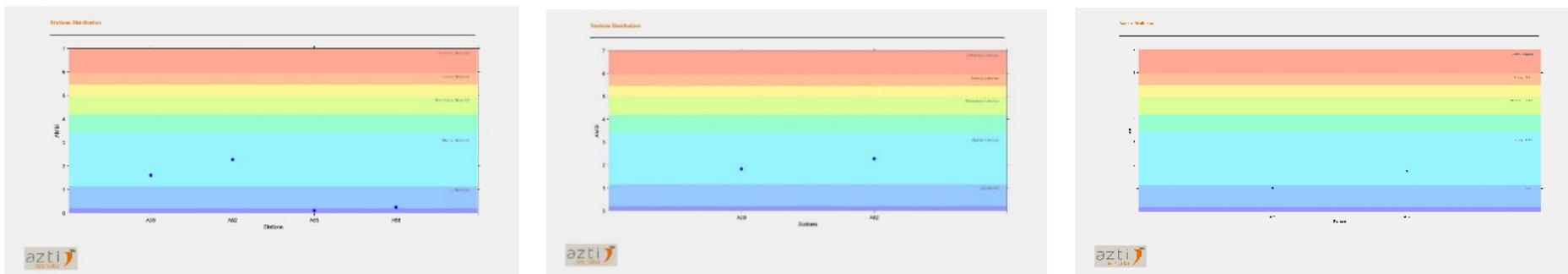


Figura 6.2.4.4. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice AMBI e valori di ECoQ in tutte le stazioni delle aree potenzialmente impattate dalle operazioni di immersione (Sele).

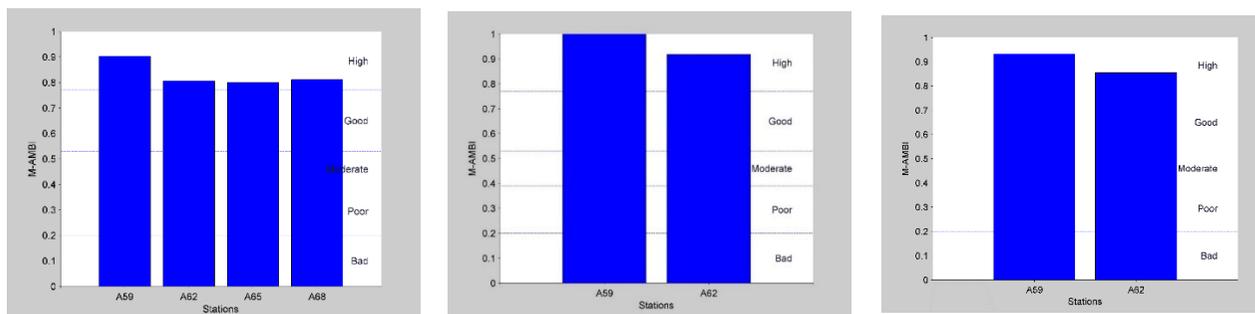


Figura 6.2.4.5. Confronto tra le campagne Corso d’Opera, maggio 2020 a sx, dicembre 2020 centro, febbraio 2021 dx dell’indice M-AMBI nelle stazioni campionate ed il Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) nelle aree potenzialmente impattata dalle operazioni di immersione (Sele).

7. Biota

7.1 Bioaccumulo di metalli in traccia, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e composti organici di sintesi nei mitili trapiantati

L'eventuale biodisponibilità dei contaminanti chimici è stata verificata attraverso l'indagine del bioaccumulo nei tessuti dei mitili trapiantati nei siti oggetto di studio (MW1, MW2, MW3, MW4 e MW5). Gli esperimenti di traslocazione sono stati effettuati in tempi successivi, corrispondenti al 10%, al 25%, al 50% ed al 75% delle attività di dragaggio ed immersione in mare: i risultati del bioaccumulo in questi organismi sono stati confrontati con le concentrazioni tissutali di riferimento, cioè quelle misurate nei mitili prima dell'inizio delle operazioni (T=0).

Per quanto riguarda soprattutto gli elementi in traccia, è importante considerare che il confronto dei risultati ottenuti in tempi di traslocazione diversi e con quelli del tempo T=0, può essere influenzato dalle naturali fluttuazioni fisiologiche, prevalentemente legate al ciclo biologico e di sviluppo degli organismi utilizzati.

A conferma di questo, il bioaccumulo dei metalli mostra nella maggior parte dei casi una spiccata variabilità tra i vari gruppi di mitili analizzati, ma non si osservano, se non in rari casi, specifici trend in funzione del sito di traslocazione (MW1, MW2, MW3, MW4 e MW5) o in funzione del tempo di campionamento (10%, 25%, 50% e 75% delle attività di dragaggio), così come si osserva dalla Tabella 7.1.1 e dalla Figura 7.1.1. In aggiunta, i risultati ottenuti mostrano nel loro complesso valori generalmente all'interno dei range di fluttuazione stagionale tipici per i mitili del Mediterraneo (Fattorini et al., 2008).

Tra le variazioni degne di nota, l'alluminio (Al) ed il ferro (Fe), mostrano trend piuttosto simili, con valori più bassi negli organismi di riferimento (T=0), e che aumentano dopo le traslocazioni variando da un minimo di circa 200 µg/g (p.s.), fino ad oltre 800 µg/g (p.s.) per l'alluminio e tra circa 400 µg/g (p.s.) e 1400 µg/g (p.s.) per il ferro. Entrambi questi elementi sono tra i più abbondanti nella crosta terrestre e solitamente sono presenti nei sedimenti marini a concentrazioni piuttosto elevate e che spaziano su più ordini di grandezza. In questo senso, non stupisce che i mitili traslocati nei vari siti abbiano mostrato tassi di bioaccumulo molto variabili, che tuttavia non si discostano dai range di fluttuazione naturale noti per questi organismi (Fattorini et al., 2008). I risultati evidenziano comunque una certa biodisponibilità di alluminio e ferro nell'area portuale, accentuata dalla movimentazione di sedimenti soprattutto al 25% delle attività di dragaggio.

Andamenti simili sono stati ottenuti anche per i livelli tissutali di Mn, Pb, V e Zn che, oltre a

mostrare livelli paragonabili a quelli misurati a T=0, evidenziano anche gli stessi andamenti temporali, a conferma di fluttuazioni di origine naturale piuttosto che legate alle attività di dragaggio ed immersione in mare.

Il cromo (Cr) mostra variazioni di concentrazione solamente nei mitili traslocati nel sito MW2 al 10% delle attività di dragaggio e nel sito MW1 al 25% delle attività di dragaggio. In entrambi i casi, tuttavia, il risultato ottenuto mostra una spiccata variabilità intraspecifica tra le repliche di mitili analizzate (deviazione standard), non discostandosi pertanto in maniera significativa dalla media dei dati ottenuti per questo elemento. In aggiunta, le concentrazioni ottenute in questi siti, pari a circa 2-3 $\mu\text{g/g}$ (p.s.), rientrano ampiamente all'interno dei range noti per i mitili (Fattorini et al., 2008). Analogamente anche il rame (Cu) esibisce alcune differenze rispetto a T=0 solamente nei mitili traslocati in MW2 e MW3 al 10% delle attività e in MW2 al 50% delle attività, ma i risultati sono nuovamente caratterizzati da elevata variabilità intraspecifica e le concentrazioni non raggiungono mai livelli di attenzione.

Altri elementi, come arsenico, cadmio, mercurio e nichel, raramente hanno mostrato variazioni, comunque sempre caratterizzate da elevata variabilità intraspecifica e da livelli di concentrazione che non si discostano da quelli normalmente misurabili in popolazioni di mitili di riferimento (Fattorini et al., 2008).

Per quanto riguarda invece lo stagno totale, concentrazioni di circa 20 $\mu\text{g/g}$ (p.s.) sono state ottenute nei mitili traslocati in MW1 e MW2 al 25% delle attività di dragaggio, valori circa 1 ordine di grandezza superiori rispetto a quelli riscontrati in tutti gli altri gruppi di organismi analizzati, compreso il gruppo di riferimento iniziale (T=0). Anche questi valori tuttavia, sono caratterizzati da una marcata deviazione standard, che denota una importante variabilità intraspecifica tra le repliche di mitili analizzate: questo risultato lascia ipotizzare che l'aumentata biodisponibilità per questo elemento, favorita dalle operazioni di movimentazione dei sedimenti, sia del tutto sporadica e temporanea. Inoltre, poiché il bioaccumulo delle forme organiche dello stagno, compreso il tributilstagno (TBT), non aumenta in maniera significativa e le concentrazioni degli organostannici rientrano sempre all'interno delle fluttuazioni naturali, la presenza di elevate concentrazioni di stagno totale nei mitili trapiantati nei siti MW1 e MW2 al 25% delle attività di dragaggio è da imputarsi alla presenza di questo elemento in forma inorganica nei sedimenti movimentati.

Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) totali mostrano sempre concentrazioni simili ai valori ottenuti nei mitili al tempo iniziale di riferimento (T=0), con livelli compresi tra circa 300 e 600 ng/g (p.s.), del tutto in linea con quelli normalmente riscontrabili in popolazioni di organismi di

controllo (Benedetti et al., 2014; Etiope et al., 2014). Dall'analisi della distribuzione dei vari congeneri di IPA analizzati, si osserva inoltre una netta predominanza dei composti a basso peso molecolare (2 e 3 anelli benzenici), aspetto che permette ulteriormente di escludere fenomeni di contaminazione antropica, mentre suggerisce la presenza di composti di origine petrogenica a carattere ubiquitario (Bocchetti et al., 2008). La somma dei congeneri ad alto peso molecolare (4 o più anelli) mostra sempre concentrazioni del tutto in linea con quelle osservate per i mitili al tempo iniziale (T=0), con l'unica eccezione degli organismi del sito MW1 al 50% delle attività di dragaggio, che esibiscono un livello tendenzialmente maggiore, pari a circa 50 ng/g (p.s.). Tale livello, prevalentemente determinato dalle concentrazioni di fluorantene e pirene (rispettivamente pari a circa 16 e 14 ng/g p.s.), è caratterizzato purtroppo da un'unica replica che non consente pertanto di apprezzare la variabilità intraspecifica e la reale rilevanza del dato; la presenza di quest'unica variazione rispetto a T=0 suggerisce un risultato episodico e pertanto, nel complesso, i livelli di bioaccumulo degli IPA non evidenziano motivi di preoccupazione.

Per quanto riguarda gli idrocarburi alifatici semivolatili totali (C10-C40), la maggior parte dei gruppi di mitili analizzati ha mostrato concentrazioni nell'intervallo compreso tra circa 350 e 500 µg/g (p.s.), simili a quelle dei mitili al tempo iniziale (T=0), e in linea con i livelli normalmente riscontrabili in organismi provenienti da aree non soggette a fenomeni di contaminazione (Benedetti et al., 2014; Etiope et al., 2014); solamente i mitili del sito MW1 al 10% di attività mostrano livelli fino a circa 900 µg/g (p.s.). Sia gli IPA che gli idrocarburi alifatici sono oggi ubiquitari negli ecosistemi acquatici caratterizzati da moderato impatto antropico, come le aree industriali, i porti e le zone ad elevato traffico marittimo, dove i mitili possono accumulare efficacemente fino a qualche migliaio di µg/g. È noto che la decomposizione e la degradazione di alghe e piante acquatiche sui fondali marini, possono rappresentare una fonte naturale di idrocarburi alifatici, e la distribuzione dei vari congeneri può fornire una valida indicazione sull'origine naturale o antropica di tali composti. In questo senso, la distribuzione di composti alifatici nei tessuti di mitili del sito MW1 al 10% delle attività mostra uno spiccato contributo di idrocarburi compresi tra C30 e C34, che suggeriscono la presenza di composti di decomposizione fitoplanctonica; il contributo dei congeneri C20-C30, solitamente associato alla presenza di composti di origine antropica, risulta invece del tutto trascurabile (Tabella 7.1.1). La distribuzione dei composti alifatici in questo gruppo di mitili appare del tutto simile a quella degli organismi di controllo, corroborando pertanto l'ipotesi di un forte contributo di origine non antropica. La presenza di elevati livelli di idrocarburi di origine naturale nei mitili traslocati al 10% delle attività di dragaggio potrebbe riflettere la movimentazione

del primo strato superficiale dei sedimenti, probabilmente caratterizzato da un maggior contenuto di alghe e piante acquatiche in decomposizione, materiale che invece sarebbe meno presente negli strati più profondi di sedimento movimentati al 25%, al 50% ed al 75% delle attività di dragaggio, quando i livelli di idrocarburi alifatici totali risultano nuovamente bassi, ed in linea con i controlli, nei mitili traslocati nei vari siti (Figura 7.1.1).

L'analisi del bioaccumulo di numerose sostanze organoalogenate e pesticidi organofosfati (Tabella 2.1) ha evidenziato la presenza episodica di un limitato numero di analiti al di sopra del limite di rilevabilità nei tessuti dei mitili, tra cui 2,4,6-triclorofenolo (triclorofenolo), 2-clorobifenile (2CBP), alcuni policlorobifenili (PCB, tra i quali PCB7, PCB38, PCB40, PCB66, PCB101 e PCB105), diclorobenzidina (DCB), dieldrin, endrin e derivati (endrin aldeide ed endrin chetone), heptachlor epossido, methoxychlor, p,p'-diclorodifeniltricloroetano (DDT) ed azinphos-methyl (Tabella 7.1.1 e Figura 7.1.1). Benché il bioaccumulo di tali sostanze abbia riguardato solamente casi sporadici, sia come siti che come periodi, le concentrazioni osservate sono spesso elevate o comunque degne di nota; considerando che questi composti sono sempre riconducibili ad attività antropiche e risultano persistenti nell'ambiente, è facile supporre che tali contaminanti siano presenti, anche se in forma sporadica, nei sedimenti e vengano resi temporaneamente biodisponibili a seguito delle attività di movimentazione.

Nello specifico il triclorofenolo mostra livelli pari a circa 60 ng/g (p.s.), seppur con una elevata variabilità, solamente nei mitili traslocati in MW2 al 10% e in MW3 al 25% delle attività di movimentazione. 2CBP e DDT superano entrambi circa 10 ng/g (p.s.) nei mitili traslocati in MW1 e MW2 solo al 10% di attività, mostrando un trend simile, suggerendo la presenza di tali composti negli strati più superficiali di sedimento e pertanto una origine abbastanza recente. Per quanto riguarda invece i PCB, riassunti in Figura 7.1.1 come andamento delle concentrazioni totali, livelli misurabili sono stati osservati nei mitili traslocati in MW1 e MW2 al 10% di attività, in MW1 e MW3 al 25% di attività ed in MW1 al 50% di attività, suggerendo pertanto una loro presenza diffusa su vari strati del sedimento: i livelli di bioaccumulo risultano comunque sempre al di sotto dei 10 ng/g (p.s.), pertanto bassi e non particolarmente preoccupanti considerando il contesto portuale.

Alcuni pesticidi clorurati, tra i quali DCB, dieldrin, heptachlor epossido e methoxychlor hanno mostrato dei picchi di bioaccumulo, a concentrazioni nel range di circa 10-20 ng/g (p.s.), ma limitate ad un solo sito di traslocazione e periodo di attività, risultando quindi fenomeni temporanei e puntiformi.

Discorso a parte lo merita il pesticida endrin ed i suoi derivati (aldeide e chetone):

concentrazioni molto elevate sono state osservate nei mitili traslocati nel sito MW1 al 10% delle attività, con valori fino a 250 ng/g (p.s.): successivamente i livelli si abbassano a circa 150 ng/g (p.s.) nei mitili traslocati nello stesso sito al 25% delle attività e non mostrano poi livelli misurabili negli organismi traslocati al 50% e 75% delle attività. Tale risultato evidenzia in maniera inequivocabile una aumentata biodisponibilità di eldrin, nei primi strati di sedimento; inoltre, la presenza del derivato endrin aldeide nei tessuti dei mitili traslocati in MW3 e MW5 al 10% delle attività e in MW3 al 25%, oltre ad eldrin chetone in MW2 al 50% delle attività, seppur a livelli più contenuti e mai superiori a 20 ng/g (p.s.), denota una presenza maggiormente diffusa in tutta l'area di tale pesticida e non soltanto confinata al sito MW1. Questi risultati meritano senza dubbio attenzione e suggeriscono l'esigenza di attenti controlli nei prossimi campionamenti.

Come precedentemente descritto, la caratterizzazione dei sedimenti aveva evidenziato la presenza di concentrazioni di eldrin maggiori di L1, limitatamente alla stazione A08 del gruppo di sedimenti campionati nel periodo di dicembre 2020 (attività di dragaggio al 50%), ma anche concentrazioni piuttosto elevate di eldrin chetone (circa 22 ng/g p.s.) nel campione A23 (dicembre 2020), e di eldrin aldeide (circa 44 ng/g p.s.) nella stazione A22 (febbraio 2021; attività di dragaggio al 100%). Questi livelli, benché relativi a composti che non contemplano limiti normativi di riferimento, risulterebbero da 2 a 4 volte circa più elevati del limite L2 contemplato per eldrin. In questo senso, benché la caratterizzazione dei sedimenti abbia evidenziato una presenza episodica e temporanea in alcuni siti per tali composti, i risultati ottenuti nei mitili indicano la loro biodisponibilità per il comparto biotico.

Per concludere, la presenza del pesticida organofosfato azinphos-methyl è stata evidenziata nei tessuti dei mitili traslocati in MW1, MW2 e MW5 al 10% di attività ed in MW2 al 50% di attività, con livelli di bioaccumulo compresi tra circa 15 e 30 ng/g (p.s.). Benché tali livelli non siano particolarmente elevati, la presenza diffusa nel primo strato di sedimento denota una origine abbastanza recente di tale sostanza.

I risultati complessivi del bioaccumulo sono stati elaborati utilizzando il software Sediqualsoft che riassume la classificazione del pericolo per la biodisponibilità tramite i criteri di integrazione ponderata basati sul numero di contaminanti che aumentano le loro concentrazioni tissutali rispetto agli organismi di controllo (mitili a T=0), all'entità di tali aumenti e alla rilevanza tossicologica degli analiti.

L'elaborazione dei risultati ha evidenziato un livello di pericolo spesso Alto (talvolta Medio) negli organismi trapiantati al termine del 10% e del 25% delle attività di dragaggio, mentre è risultato

sempre Medio nelle fasi successive, evidenziando una minor biodisponibilità dei contaminanti con il progredire del dragaggio. Il contributo maggiore all'indice di pericolo della biodisponibilità deriva prevalentemente dall'aumento delle concentrazioni tissutali di Al, Sn e alcuni composti organici tra cui l'Azinphos-methyl - DDT - Endrin - 2CB - 2,4,6-Trichlorophenol - Endrin - Methoxychlor – DCB.

Monitoraggio corso opera II – Risultati Sedimenti



Crisene	ng/g (ps)	2.255±0.564	2.909±0.968	4.057±1.988	1.409±1.313	1.668±0.332	4.693±4.163	2.211±2.318	2.349±0.916	2.831±1.405	8,59	3,52	1.343±1.886	1,24
712DMBA	ng/g (ps)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Benzo(b)fluorantene	ng/g (ps)	3.371±1.13	1.749±0.007	2.506±1.127	1.573±0.332	2.796±0.836	3.216±1.832	4.009±1.91	2.418±0.413	1.948±0.629	3,97	1,84	1.576±0.535	2,29
Benzo(k)fluorantene	ng/g (ps)	1.847±0.778	1.041±0.008	1.368±0.213	0.862±0.147	1.645±0.509	2.368±1.136	2.145±0.716	1.262±0.161	1.125±0.195	3,20	1,86	1.772±0.947	1,95
Benzo(a)pirene	ng/g (ps)	1.406±0.647	0.812±0.03	1.309±0.1	1.059±0.198	1.253±0.35	1.652±0.623	1.927±0.57	1.36±0.072	1.24±0.171	2,11	1,38	1.321±0.521	1,57
Dibenzo(ah)antracene	ng/g (ps)	0.834±0.159	0.698±0.004	0.416±0.38	0.37±0.321	0.799±0.124	1.123±0.362	0.722±0.69	0.616±0.097	0.4±0.346	1,01	<0.001	0.898±0.281	<0.001
Benzo(ghi)perilene	ng/g (ps)	1.525±0.504	0.952±0.208	1.311±0.06	0.772±0.667	1.161±0.167	0.91±0.912	1.884±0.433	0.976±0.542	1.204±0.072	0,45	0,37	0.343±0.14	0,34
Indeno(123cd)pirene	ng/g (ps)	1.121±1.082	0.412±0.512	0.833±0.732	<0.05	1.385±0.57	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.21±0.226	<0.05
IPA basso PM	ng/g (ps)	284.6±109.8	237.3±19.2	405.5±143.3	289±118.8	255.5±68.3	556.8±176.6	466.9±133.4	353.8±127.8	390.1±144.2	582,90	300,60	443.8±13.9	320,90
IPA alto PM	ng/g (ps)	15.4±4.19	14.83±2.92	22.07±7.27	12.09±3.3	19.17±6.48	28.14±17.01	23.27±5.58	14.37±4.2	16.59±6.61	49,37	18,79	16.35±1.4	19,60
IPA totali	ng/g (ps)	300.1±109.6	252.2±22.1	427.5±147.4	301.1±122.1	274.7±74.7	585±193.5	490.2±135.1	368.2±131.2	406.7±147.9	632,30	319,40	460.1±12.5	340,60
>C10-C12	µg/g (ps)	0.15±0.25	<0.01	<0.01	0.12±0.19	<0.01	0.37±0.63	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
>C12-C14	µg/g (ps)	0.61±0.19	1.69±1.15	1.44±0.92	0.99±0.18	1.2±1.17	0.74±0.77	0.49±0.12	1.06±0.1	0.58±0.53	1,49	0,85	0.83±0.41	0,17
>C14-C16	µg/g (ps)	14.56±1.01	24.24±8.61	14.79±12.55	4.38±1.48	11.84±9.89	10.01±5.37	20.14±5.02	2.79±0.66	6.34±2.99	19,58	7,77	6.85±2.81	6,22
>C16-C18	µg/g (ps)	32.94±1.66	35.86±0.67	28.89±21.47	15.16±4.02	35.22±12.8	33.24±5.73	46.3±11.24	12.98±3.54	25.21±2.14	37,68	35,42	30.02±2.64	27,29
>C18-C20	µg/g (ps)	45.38±2.88	66.32±12.78	36.42±25.47	23.61±1.89	56.95±49.62	54.25±16.35	58.83±10.88	19.47±6.58	26.18±3.78	50,24	48,82	41.76±10.35	43,29
>C20-C22	µg/g (ps)	43.77±4.65	54.65±7	40.02±28.29	30.03±12.1	54.39±39.38	66.29±18.18	56.92±14.11	19.05±3.76	32.44±6.46	57,51	36,42	41.32±6.66	48,15
>C22-C24	µg/g (ps)	17.77±6.76	88.01±57.47	19.87±20.24	15.08±6.76	27.62±31.13	32.44±20.55	28.71±10.17	6.68±2.59	10.64±4.09	11,15	11,31	9.54±0.21	19,17
>C24-C26	µg/g (ps)	9.14±4.92	13.54±1.74	10.2±8.46	6.39±1.87	18.28±20.98	15.47±5.08	18.11±2.46	5.89±0.6	6.78±0.93	17,14	17,23	7.9±1.19	6,05
>C26-C28	µg/g (ps)	8.22±1.95	6.41±0.25	4.84±3.11	2.26±1.44	6.29±1.33	6.96±3.61	8.69±0.46	2.01±0.49	5.45±2.22	6,14	10,39	8.52±2.5	4,79
>C28-C30	µg/g (ps)	13.71±7.28	23.52±3.93	13.28±4.26	14.9±7.7	10.15±2.58	10.81±2.74	19.05±4.83	10.19±0.98	13.13±7.67	22,61	19,16	17.85±4.9	13,07
>C30-C32	µg/g (ps)	125.92±14.54	442.26±119.11	184.7±76.27	202.25±97.31	225.16±91.25	208.06±109.12	190.86±40.97	205.99±29.44	227.83±81	292,95	227,23	285.71±74.5	173,28
>C32-C34	µg/g (ps)	33.23±7.95	122±72.97	51.74±38.72	60.36±34.12	70.2±38.7	59.46±25.9	66.43±19.35	45.89±10.66	58.62±30.54	99,02	76,18	60.94±7.08	42,57
>C34-C36	µg/g (ps)	6.74±3.12	11.44±7.08	7.26±5.08	4.14±1.93	4.63±1.68	4.87±0.58	8.24±2.42	3.94±1.07	4.5±1.27	8,06	4,90	6.88±2.98	3,94
>C36-C38	µg/g (ps)	5.08±1.49	16.45±15.71	6.97±4.93	1.62±0.35	6.41±8.21	4.88±3.75	6.39±1.22	1.82±0.5	3.55±2.01	3,98	2,35	2.52±0.75	3,49
>C38-C40	µg/g (ps)	<0.01	3.03±4.27	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.76±1.31	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Alifatici totali (C10-C40)	µg/g (ps)	357.27±36.08	909.47±293.95	420.49±235.55	381.37±164.42	528.4±302.58	507.91±193.12	529.98±109.84	337.83±49.41	421.28±139.22	627,62	498,08	520.72±77.59	391,54
2,4,6-Trichlorophenol	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	59.3±51.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	65.11±62.98	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

Monitoraggio corso opera II – Risultati Sedimenti



2CBP	ng/g (ps)	<0.1	12.65±7.84	11.73±10.33	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PCB7	ng/g (ps)	<0.1	11.9±5.16	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PCB38	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.58±0.42	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PCB40	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	7.83±0.83	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PCB66	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.93±2.45	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
PCB101	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	13,37	<0.1	<0.1	<0.1
PCB105	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	6.65±6.99	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
DCB	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	20.51±7.23	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Dieldrin	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	6,67	<0.1	<0.1	<0.1
Endrin	ng/g (ps)	<0.1	258.35±76.82	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	133.93±130.74	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Endrin aldehyde	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	10.04±9.04	<0.1	9.23±7.92	<0.1	<0.1	8.42±7.34	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Endrin ketone	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	23,68	<0.1	<0.1
Heptachlor epoxide	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	11.66±12.13	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Methoxychlor	ng/g (ps)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	9.74±8.38	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
p,p'-DDT	ng/g (ps)	<0.1	11±5.69	14.54±15.93	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Azinphos-methyl	ng/g (ps)	<0.1	16.26±2.56	23.72±12.87	<0.1	<0.1	26.38±2.34	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	29,41	<0.1	<0.1

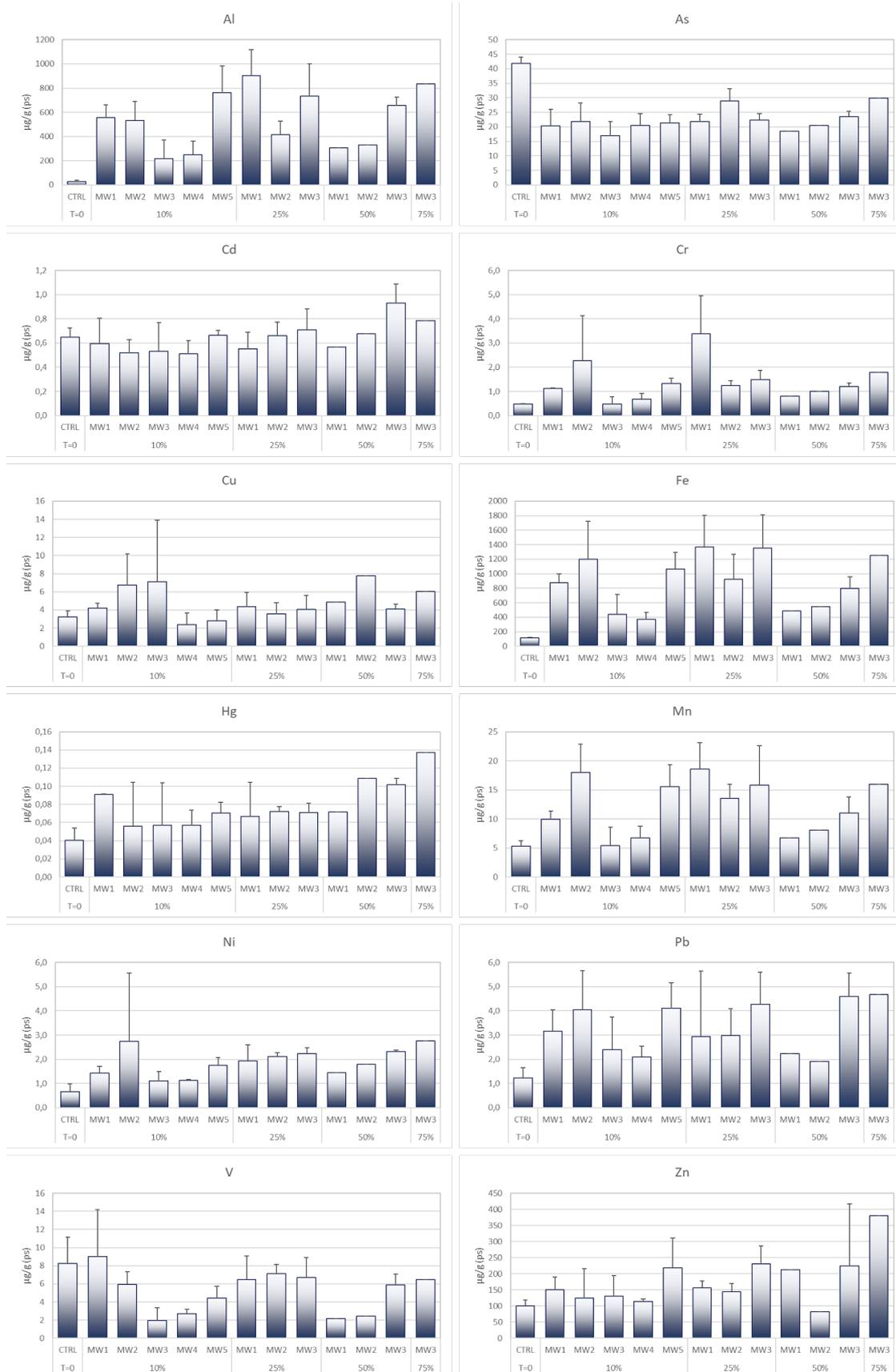


Figura 7.1.1 - Concentrazioni di metalli in traccia, composti organo-stannici, idrocarburi policiclici aromatici,

idrocarburi alifatici e composti organici persistenti nei mitili traslocati (valori medi \pm deviazione standard).



Figura 7.1.1 – Continua...

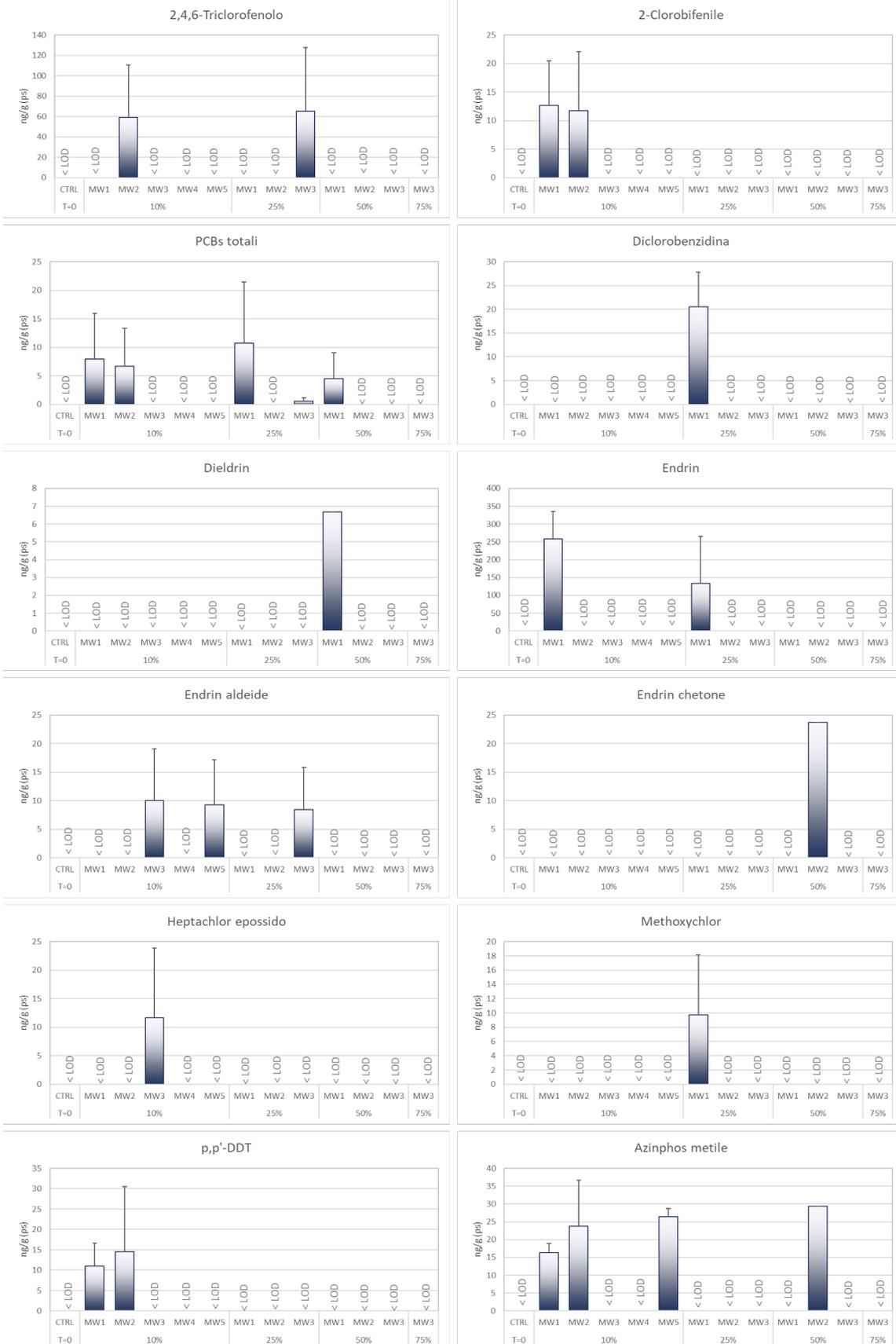
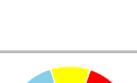


Figura 7.1.1 – Continua...

Tabella 7.1.2 - Risultati della elaborazione complessiva del pericolo di bioaccumulo di metalli in traccia, idrocarburi policiclici aromatici, idrocarburi alifatici e composti organici di sintesi nei mitili trapiantati.

Codice Campione	Numero parametri assegnati alle diverse classi					Livello di bioaccumulo	
	Assente	Basso	Medio	Alto	Molto Alto		
MW1 10%	34	5	2	1	5	ALTO	
MW2 10%	35	3	3	1	5	ALTO	
MW3 10%	42	2	1	0	2	MEDIO	
MW4 10%	44	0	2	1	0	BASSO	
MW5 10%	37	1	5	1	3	ALTO	
MW1 25%	33	4	3	2	5	ALTO	
MW2 25%	39	3	2	1	2	MEDIO	
MW3 25%	36	3	4	1	3	ALTO	
MW1 50%	24	14	7	1	1	MEDIO	
MW2 50%	27	13	4	1	2	MEDIO	
MW3 50%	37	4	4	1	1	MEDIO	
MW3 75%	29	9	6	1	2	MEDIO	

7.2 Risposte dei biomarker nei mitili trapiantati

Analogamente a quanto misurato nelle precedenti indagini di monitoraggio, le risposte biologiche analizzate sono state le seguenti: alterazione nella percentuale di fagocitosi e rapporto granulociti/ialinociti indicativi di alterazioni di tipo immunitario; stabilità delle membrane lisosomiali, parametro estremamente sensibile, indicativo dello stato di salute generale dell'organismo e della comparsa precoce di condizioni di stress ossidativo; attività dell'acetilcolinesterasi scelta come biomarker di neurotossicità indotta dalla presenza di pesticidi, organofosforici e carbammati; attività dell'acilCoA ossidasi enzima indicatore della proliferazione perossisomiale, coinvolto nella beta-ossidazione degli acidi grassi, marker di esposizione a composti organici di vario tipo tra cui idrocarburi policiclici aromatici; insorgenza dei micronuclei, parametro indicativo di alterazione genotossica; analisi delle difese antiossidanti, utilizzate come biomarker generali dello stato di salute degli organismi, estremamente sensibili nell'evidenziare variate condizioni di pressione ossidativa (catalasi, glutazione S-transferasi, glutazione reduttasi, glutazione perossidasi Se-dipendenti e Se-indipendenti, glutazione); capacità antiossidante totale, che misura l'efficienza complessiva dei tessuti nel neutralizzare diverse forme di specie reattive dell'ossigeno, integrando i risultati delle singole difese antiossidanti, con un importante valore predittivo sull'insorgenza di possibili forme di tossicità a livello cellulare e di organismo.

A causa delle condizioni di recupero e della disponibilità di campioni adeguati, è stato possibile effettuare le analisi dei biomarker nei mitili trapiantati solo in un numero limitato di siti e periodi.

Per quanto riguarda i biomarker di risposta immunitaria (rapporto tra granulociti e ialinociti), una lieve variazione seppur non statisticamente significativa è stata osservata negli organismi prelevati nella stazione MW2 dopo il 50% delle attività di dragaggio rispetto agli organismi di controllo (T0) con valori che passano da $4,77 \pm 2,24$ a $9,5 \pm 2,5$; al contrario nessuna variazione è stata riscontrata per quanto riguarda la stazione MW3 durante la rimozione sia del 50% che del 75% del sedimento.

Seppur non statisticamente significative, variazioni evidenti rispetto ai mitili di riferimento sono state osservate per la capacità fagocitaria negli organismi prelevati nelle diverse fasi di rimozione dei sedimenti nelle diverse aree portuali con valori che aumentano da $0,87 \pm 0,25$ fino a

$9 \pm 7,76$. L'analisi della stabilità delle membrane lisosomiali misurata nell'emolinfa dei mitili con il test del tempo di ritenzione del rosso neutro non ha mostrato differenze tra gli organismi provenienti dai diversi siti, con valori che, seppur apparente più bassi rispetto a quelli che si osservano in aree di riferimento, oscillano tra $24,5 \pm 7,78$ e $41,62 \pm 7,72$ minuti rispetto a $26,8 \pm 6,39$ nei mitili di controllo a T=0. Per quanto riguarda l'attività della acetilcolinesterasi, un aumento lieve ma non statisticamente significativo rispetto ai mitili di riferimento è stato osservato nei mitili trapiantati nel sito MW3 con valori che passano da $80,62 \pm 51,96$ nmol/min/mg proteine nei mitili di riferimento (T=0) a $149,68 \pm 9,77$ e $144,42 \pm 23,05$ nmol/min/mg proteine rispettivamente nei mitili prelevati da MW3 durante le fasi di dragaggio al 50% e 75%. Al contrario, l'attività dell'Acil CoA ossidasi ha mostrato una forte inibizione dell'attività negli organismi prelevati nella stazione MW3 con valori che passano da $0,96 \pm 0,31$ nmol/min/mg proteine nei mitili a T=0, a $0,05 \pm 0,02$ nmol/min/mg proteine. Per quanto riguarda il danno genotossico, espresso come frequenza dei micronuclei, un aumento significativo è stato misurato negli organismi trapiantati nella stazione MW3 e prelevati durante il 50% e 75% delle operazioni di dragaggio con valori che passano da 0 a $1,32 \pm 0,18$ ‰.

Le analisi dei biomarker di stress ossidativo hanno mostrato lievi fluttuazioni limitate ad alcuni parametri. Tra questi il contenuto di glutatione totale ha mostrato una diminuzione statisticamente significativa rispetto agli organismi di riferimento nei mitili trapiantati nelle stazioni MW2 e MW3 con valori che passano da $1,29 \pm 0,10$ $\mu\text{mol/grammi}$ a T=0 fino a $0,65 \pm 0,26$ $\mu\text{mol/grammi}$. Per quanto riguarda gli enzimi antiossidanti, solamente l'attività della catalasi mostra delle variazioni statisticamente significative tra i mitili trapiantati e quelli di riferimento con un'induzione dell'attività nei mitili prelevati dalla stazione MW3 durante il 75% delle operazioni di dragaggio con valori che passano da $29,32 \pm 4,26$ (T0) a $58,30 \pm 19,83$ (MW3 75%) (Figura 3.9 F). Nessuna variazione statisticamente significativa è stata osservata per l'attività della glutatione reduttasi con valori compresi tra $17,6 \pm 1,64$ e $22,07 \pm 2,33$, della glutatione S-transferasi con valori compresi tra $141,17 \pm 23,81$ e $228,38 \pm 21,54$ nmol/min/mg proteine, e delle glutatione perossidasi Se-dipendenti e totali con valori compresi rispettivamente tra $3,43 \pm 0,97$ e $6,49 \pm 4,68$ nmol/min/mg proteine e tra $8,54 \pm 0,46$ e $14,18 \pm 3,01$ mol/min/mg proteine. Valori comparabili con quelli misurati nei mitili di riferimento sono stati ottenuti per quanto riguarda l'analisi della capacità antiossidante totale nei confronti del radicale perossilico (TOSC ROO•) ed idrossilico (HO•)

che hanno mostrato valori compresi rispettivamente tra $342,38 \pm 139,91$ e $412,77 \pm 52,18$ UTOSC/ mg di proteine e $321,33 \pm 43,16$ e $392,56 \pm 51,91$ UTOSC/ mg di proteine (Figura 7.2.2 G-H).

I risultati dei biomarker ottenuti per gli organismi traslocati sono stati elaborati tramite l'applicazione di criteri di integrazione ponderata che riassumono un indice di pericolo basato sul numero e sulla rilevanza tossicologica dei biomarker analizzati, sulla significatività statistica e sull'entità delle variazioni osservate rispetto a specifiche soglie di riferimento; i risultati di queste elaborazioni sono rappresentati nella Tabella 7.2.1.

Diversamente da quanto osservato nei monitoraggi precedenti, le analisi dei biomarker, evidenziano un peggioramento dello stato di salute degli organismi durante le operazioni di dragaggio. Il pericolo elaborato per i biomarker è stato Medio per tutte le tre stazioni, ottenuto a causa prevalentemente dell'alterazione dei parametri immunitari, dei danni genotossici e della proliferazione perossisomiale.

Tabella 7.2.1 – Risultati delle analisi dei biomarker nei mitili trapiantati nei diversi siti.

Biomarker	CTRL TO	MW2 50%	MW3 50%	MW3 75%
Acetilcolinesterasi (nmol/min/mg prot)	80,62 ± 51,96	93,12 ± 23,87	149,68 ± 9,77	144,42 ± 23,05
Acil-CoA Ossidasi (nmol/min/mg prot)	0,96 ± 0,31	0,78 ± 0,09	0,45 ± 0,17	0,05 ± 0,02
Catalasi (µmol/min/mg prot)	29,32 ± 4,26	22,92 ± 2,01	22,47 ± 1,17	58,30 ± 19,83
Glutazione totale (µmol/gr tessuto)	1,29 ± 0,10	0,65 ± 0,26	0,71 ± 0,13	0,77
Glutazione reduttasi (nmol/min/mg prot)	19,103 ± 8,51	17,6 ± 1,64	22,07 ± 2,33	19,38 ± 5,11
Glutazione S-Transferasi (nmol/min/mg prot)	228,38 ± 21,54	162,45 ± 77,6	141,17 ± 23,81	174,19 ± 57,21
Glutazione Perossidasi (Se-Dip.) (nmol/min/mg prot)	4,46 ± 0,14	3,43 ± 0,97	6,49 ± 4,68	6,21 ± 2,06
Glutazione Perossidasi (Totali) (nmol/min/mg prot)	12,25 ± 0,97	8,54 ± 0,46	14,18 ± 3,01	11,57 ± 2,77
TOSC ROO• (U TOSC/mg prot)	342,38 ± 139,91	393,35 ± 129,12	412,77 ± 52,18	385,00 ± 119,13
TOSC HO• (U TOSC/mg prot)	392,96 ± 51,91	347,56 ± 8,41	370,35 ± 37,08	321,33 ± 43,16
Stabilità delle membrane lisosomiali (min)	26,85 ± 6,39	24,5 ± 7,78	26,33 ± 18,85	41,62 ± 7,72
Fagocitosi (%)	0,87 ± 0,25	9 ± 7,76	5,25 ± 0,35	1,87 ± 2,17

Rapporto Granulociti vs. Ialinociti	4,77 ± 2,24	9,5 ± 2,25	6,27 ± 0,93	6,25 ± 0,74
Micronuclei (‰)	0	0	1	1,32 ± 0,18

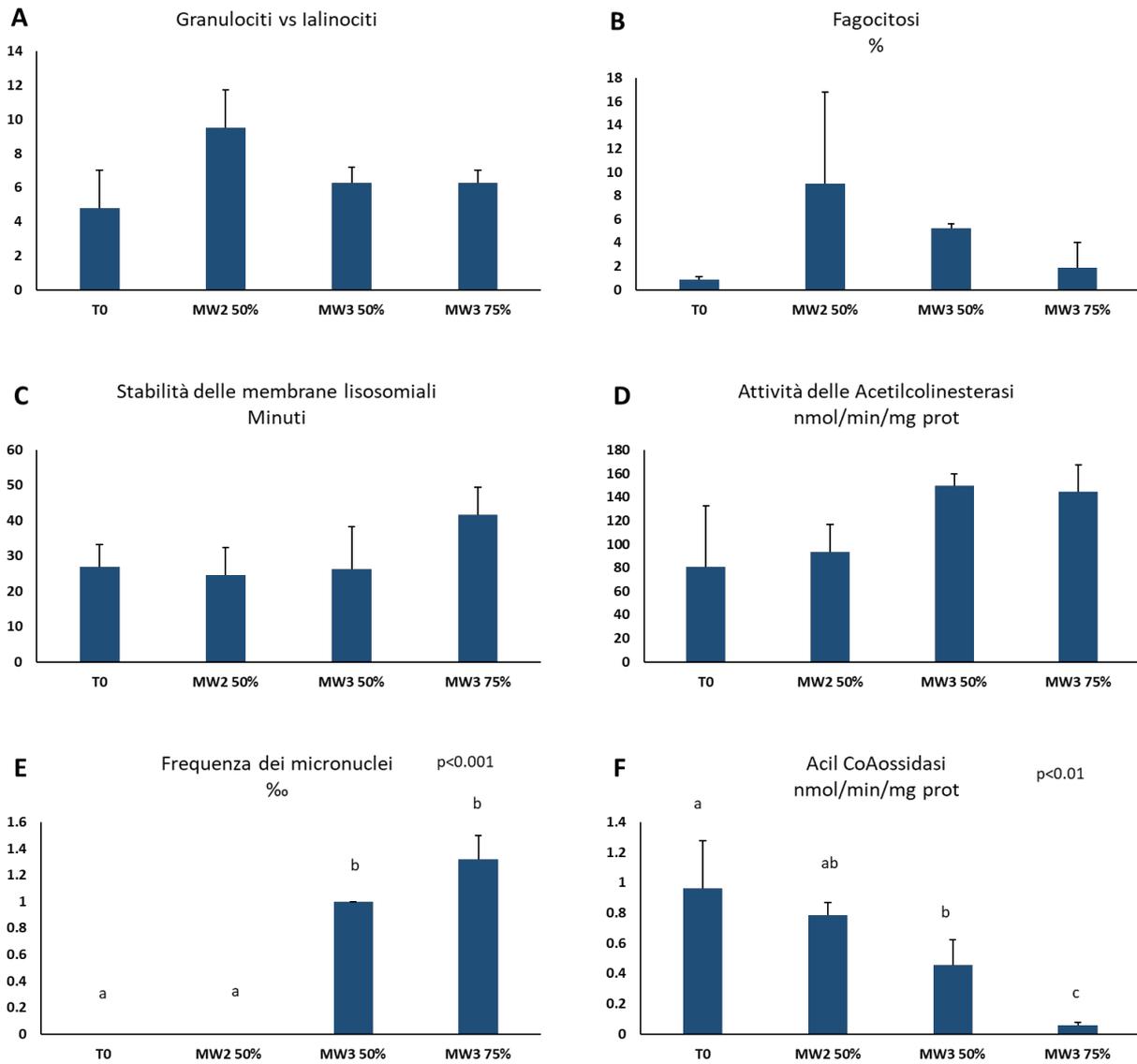


Figura 7.2.1 – Risultati delle analisi dei biomarker condotte sull’emolinfa dei mitili trapiantati nei diversi siti. Rapporto granulociti/ialinociti (A), fagocitosi (B), stabilità delle membrane lisosomiali (C), attività dell’acetilcolinesterasi (D), frequenza dei micronuclei (E), attività dell’acil-Coenzima A ossidasi (F). Dati espressi come valori medi ± deviazioni standard. Le lettere rappresentano delle differenze statisticamente significative tra stazioni.

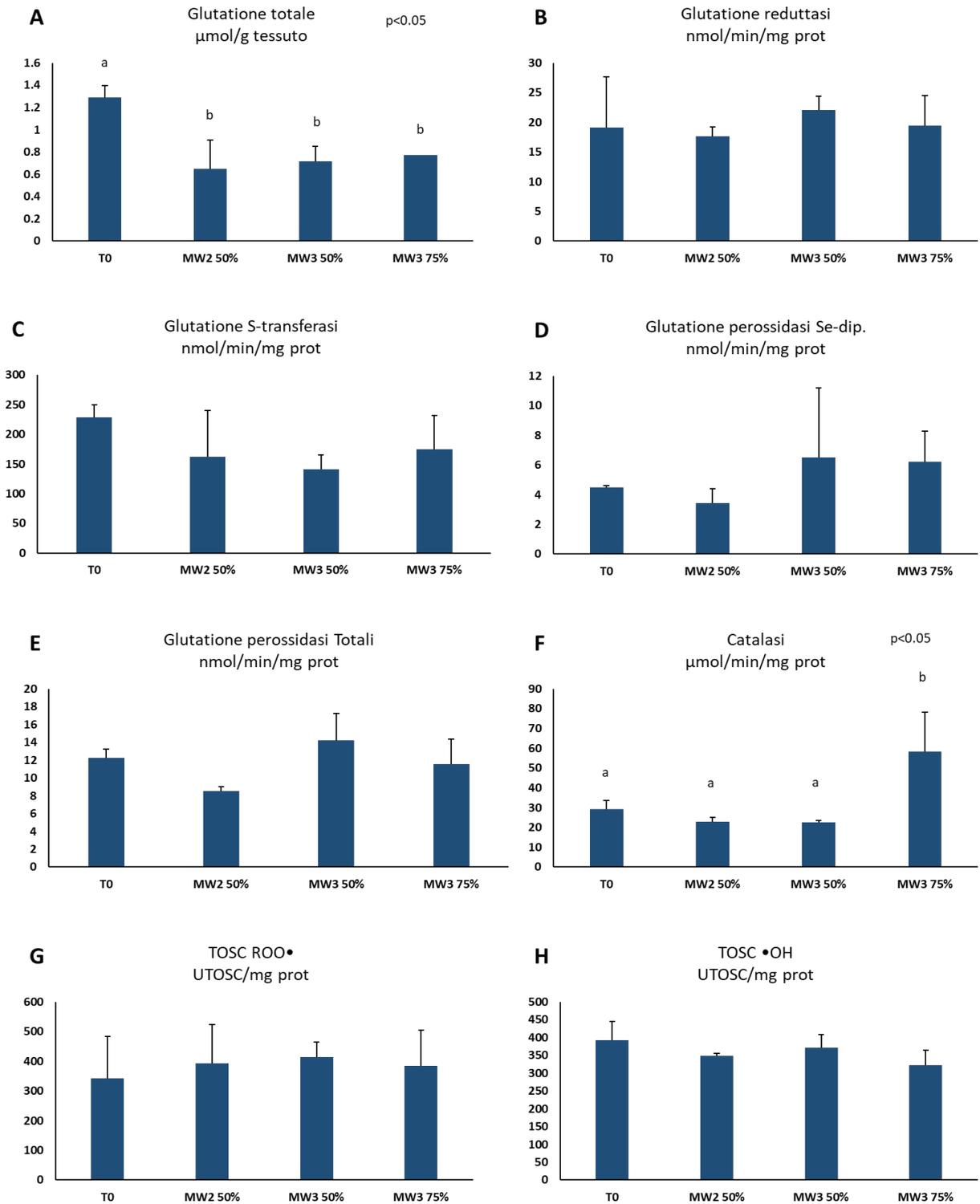


Figura 7.2.2 - Risultati delle analisi dei biomarker condotte sui mitili trapiantati nei diversi siti. Glutazione totale (A), glutazione reduttasi (B), glutazione S-transferasi (C), glutazione perossidasi Se-dipendenti (D), glutazione perossidasi totali (E), catalasi (F), capacità antiossidante totale per radicali perossilici (G) e idrossilici (H). Dati espressi come valori medi \pm deviazioni standard. Le lettere rappresentano delle differenze

statisticamente significative tra stazioni.

Tabella 7.2.2 - Risultati della elaborazione complessiva del pericolo relativo ai biomarker nei mitili.

Codice Campione	Numero biomarker assegnati alle diverse classi					Livello di pericolo	
	Assente	Basso	Medio	Alto	Molto Alto		
MW2 50%	10	1	2	0	1	MEDIO	
MW3 50%	10	1	2	0	1	MEDIO	
MW3 75%	11	0	2	0	1	MEDIO	

8. Caratterizzazione della meiofauna Ante-operam e Corso d'opera

I campioni pervenuti presso l'Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, sono relativi ad 8 stazioni (A74, A75, A76, A20, A21, A22, A23 e A24), campionate in 4 tempi (Ante-Operam febbraio 2018, Corso D'Opera settembre 2020, Corso D'Opera dicembre 2020 e Corso D'Opera febbraio 2021). I campioni sono stati ricevuti in carote di plexiglas congelate (3 repliche per ogni stazione), che sono state estruse e sezionate in strati di sedimento (0-1, 1-3, 3-5 e 5-10 cm). I campioni sono stati poi estratti con metodologie standard (cioè gradiente di densità in Ludox, Heip 1985, Danovaro 2010). Una volta estratti dal sedimento, gli organismi della meiofauna sono stati contati e identificati ad elevato livello tassonomico allo stereomicroscopio, secondo protocolli standard (Heip 1985, Danovaro 2010).

Ad oggi sono state completate le analisi dei primi tre tempi di campionamento (tutti gli strati di sedimento) e dello strato 0-1 cm dell'ultimo tempo di campionamento, strato del sedimento in cui tipicamente si concentrano gli organismi della meiofauna (Coull et al. 1989).

Nella presente relazione si riportano i risultati relativi ad abbondanza, ricchezza di taxa, struttura di comunità e composizione tassonomica di tutte le stazioni in tutti i tempi, considerando solo lo strato superficiale di sedimento (0-1 cm), per consistenza nel confronto.

Sono state condotte analisi statistiche tramite analisi permutazionale della varianza (PERMANOVA), su matrici di distanza euclidea (per i valori di abbondanza, in ambito univariato) o di dissimilarità di Bray-Curtis (per la composizione tassonomica, in ambito multivariato), testando i fattori "Stazioni" (8 livelli: A74, A75, A76, A20, A21, A22, A23 e A24) e "Periodo" (4 livelli: Ante-Operam febbraio 2018, Corso D'Opera settembre 2020, Corso D'Opera dicembre 2020 e Corso D'Opera febbraio 2021). Quando i fattori "Stazioni", "Periodo" e/o "Stazione X Periodo" risultavano essere significativi, sono stati condotti anche test pair-wise per verificare tra quali livelli di ciascun fattore erano osservate le differenze significative. Per la composizione tassonomica sono stati effettuati test SIMPER per quantificare la dissimilarità % tra gli assemblages e plot nMDS per visualizzare tali differenze.

Trattamento dati e analisi statistiche sono stati condotti con il pacchetto PRIMER7 e Excel del pacchetto Office365.

8.1 Confronto relativo allo strato 0-1 cm di sedimento tra le stazioni analizzate in tutti i tempi di campionamento

8.2 Abbondanza della meiofauna

I valori di abbondanza totale della meiofauna nel primo centimetro di sedimento, in tutti i periodi di

campionamento sono riportati in Figura 8.2.1. A febbraio 2018, Campagna Ante-Operam, l'abbondanza della meiofauna variava tra 296.5 ± 136.3 e 556.2 ± 165.6 ind. 10cm^{-2} , rispettivamente nelle stazioni A24 e A20. A settembre 2020, Campagna Corso D'Opera, variava tra 13.7 ± 11.1 e 225.4 ± 166.3 ind. 10cm^{-2} , rispettivamente nelle stazioni A20 e A23. A dicembre 2020, Campagna Corso D'Opera, l'abbondanza della meiofauna variava tra 57.8 ± 6.9 e 479.7 ± 38.1 ind. 10cm^{-2} , rispettivamente nelle stazioni A24 e A74. A febbraio 2021, Campagna Corso D'Opera, l'abbondanza della meiofauna variava tra 23.5 ± 5.5 e 238.6 ± 136.5 ind. 10cm^{-2} , rispettivamente nelle stazioni A24 e A22.

Confrontando i diversi periodi, l'abbondanza più elevata è stata osservata a febbraio 2018, Campagna Ante-Operam, in tutte le stazioni analizzate, segue poi una diminuzione a settembre 2020, Campagna Corso D'Opera, (significativa in quasi tutte le stazioni ad eccezione della stazione A23; PERMANOVA, $p < 0.05$) e un nuovo incremento (significativo nelle stazioni A74, A76, A20 e A22; PERMANOVA, $p < 0.05$) negli ultimi due periodi, cui fanno eccezione le stazioni A23 e A24 (Figura 8.2.1).

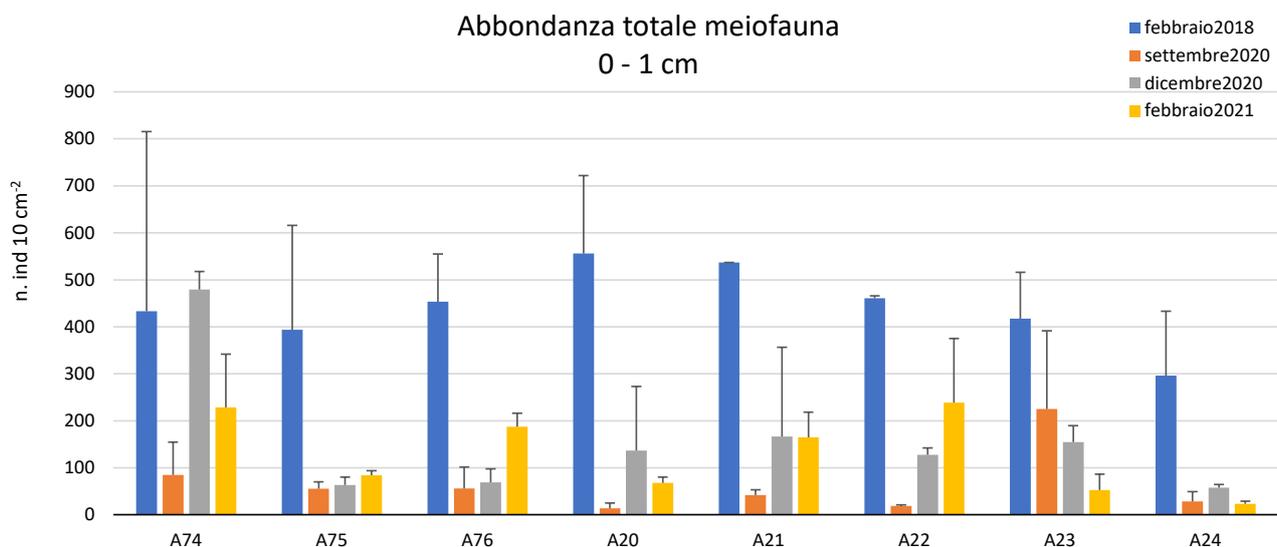


Figura 8.2.1 Abbondanza totale della meiofauna nel primo centimetro di sedimento nelle stazioni analizzate in tutti i tempi di campionamento.

8.3 Ricchezza di taxa

La ricchezza di taxa della meiofauna nel primo centimetro di sedimento, in tutti i periodi di campionamento sono riportati in Figura 8.3.1. A febbraio 2018, Ante-Operam, la ricchezza di taxa variava tra 4 (A74, A75, A76 e A23) e 7 (A20, A22). A settembre 2020, Campagna Corso D'Opera, i valori variavano tra 1 (A20, A22) e 4 (A21, A23). A dicembre 2020, Campagna Corso D'Opera, la ricchezza di taxa variava tra 2 (A22, A23) e 5

(A24). A febbraio 2021, Campagna Corso D’Opera, i valori variavano tra 1 (A22, A24) e 5 (A74, A75, A76). Confrontando i quattro periodi, nelle stazioni A74, A75 e A76 i valori più elevati sono stati osservati a febbraio 2021. Nelle stazioni A20, A22 e A24 i valori più elevati sono stati osservati nella Campagna Ante-Operam febbraio 2018, seguito da dicembre 2020 Campagna Corso D’Opera, con il valore minimo osservato a settembre 2020, tranne che in A24 dove è stato osservato a febbraio 2021. Nella stazione A21, il valore più elevato è stato osservato a febbraio 2018, che poi è diminuito e rimasto costante fino all’ultimo tempo di campionamento. Nella stazione A23 i valori sono costanti in tutti i tempi tranne che a dicembre 2020, tempo in cui la ricchezza di taxa risulta inferiore.

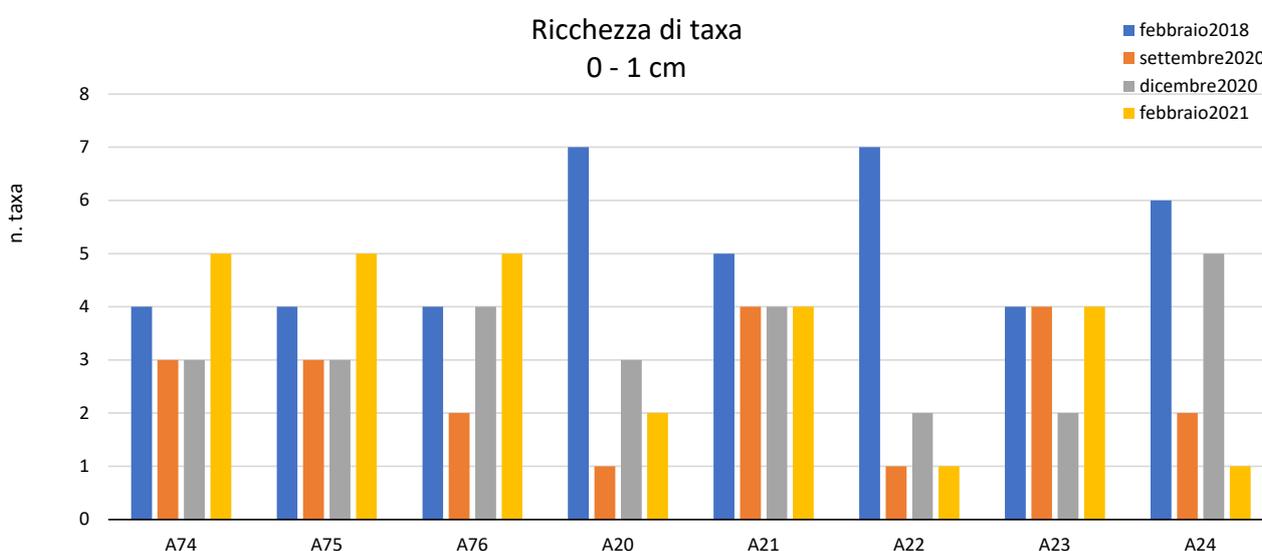


Figura 8.3.1 Ricchezza di taxa della meiofauna nel primo centimetro di sedimento nelle stazioni analizzate in tutti i tempi di campionamento.

8.4 Struttura di comunità

Nel primo centimetro di sedimento delle stazioni analizzate nei quattro tempi di campionamento sono stati identificati i seguenti gruppi tassonomici: Nematoda, Copepoda (compresi i loro stadi giovanili nauplii), Amphipoda, Cumacea, Tanaidacea, Thermosbanacea, Acarina, Ostracoda, Cladocera, Polychaeta, Bivalvia, Gasteropoda, Kinorhyncha, Turbellaria, Tardigrada, Priapulida e Rotiferi.

Nel primo centimetro di sedimento, in tutte le stazioni ed in tutti i tempi di campionamento il taxon dominante era quello dei nematodi (>85%), seguito dai copepodi (Figura 8.4.1). Confrontando tutti i tempi, la dominanza dei nematodi è aumentata, in tutte le stazioni, eccetto che nella A23.

Tutti gli altri taxa possono essere considerati taxa rari, dai momento che rappresentano <1%, ciascuno (in alcuni casi, circa l’1%; Bianchelli et al. 2010).

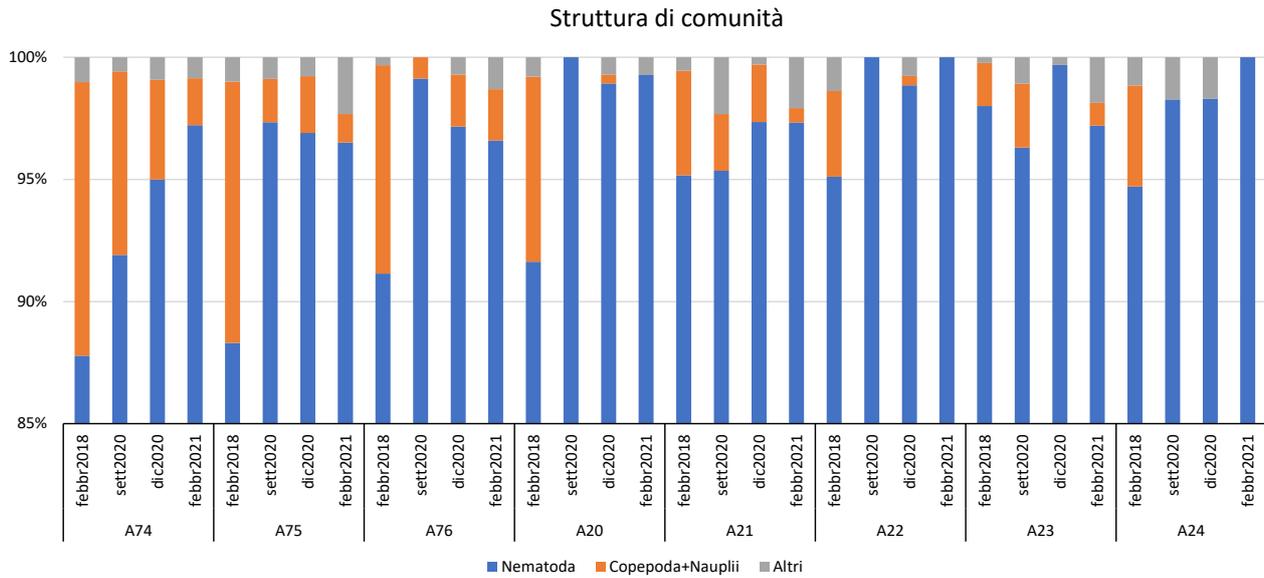


Figura 8.4.1 Struttura di comunità della meiofauna, dominata da nematodi e copepodi.

Considerando i taxa rari (indicati con “Altri” in Figura 8.4.1), si è osservata una differenza nel contributo % di ciascuno tra le stazioni, in tutti i tempi di campionamento. Confrontando i tempi di campionamento, si è osservata una differenza anche tra i tempi, in tutte le stazioni analizzate (Figura 8.4.2).

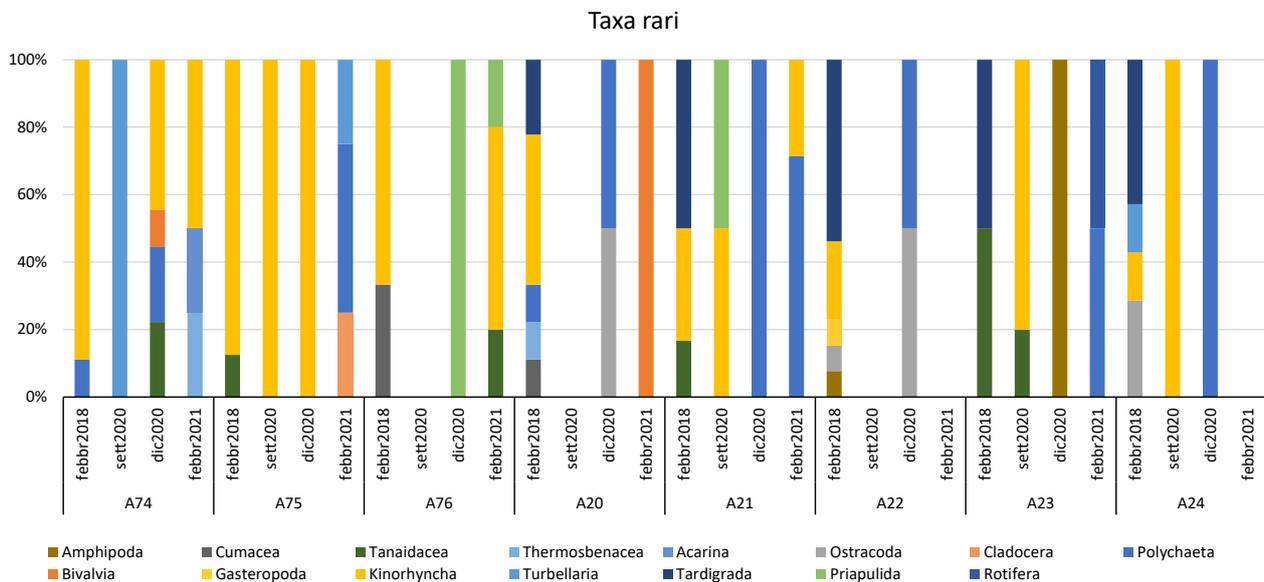


Figura 8.4.2 Contributo % dei taxa rari nelle stazioni analizzate in tutti i tempi di campionamento.

L'analisi della composizione tassonomica tramite analisi SIMPER indica una dissimilarità tra le stazioni del 13.9%, 32.4%, 27.0% e 33.3%, rispettivamente all'Ante-operam febbraio 2018 e le Campagne Corso D'Opera di settembre 2020, dicembre 2020 e febbraio 2021. Inoltre, è stata osservata una dissimilarità media del 39.9% tra i tempi di campionamento in tutte le stazioni. Le stazioni relative all'Ante-Operam febbraio 2018 si segregano da quelle di tutti gli altri periodi, così come, in maniera meno evidente, quelle relative alla Campagna Corso D'Opera settembre 2020 (Figura 8.4.3). Le analisi statistiche confermano differenze significative nella composizione tassonomica degli assemblages tra i periodi di campionamento, in ciascuna stazione analizzata (PERMANOVA, $p < 0.05$).

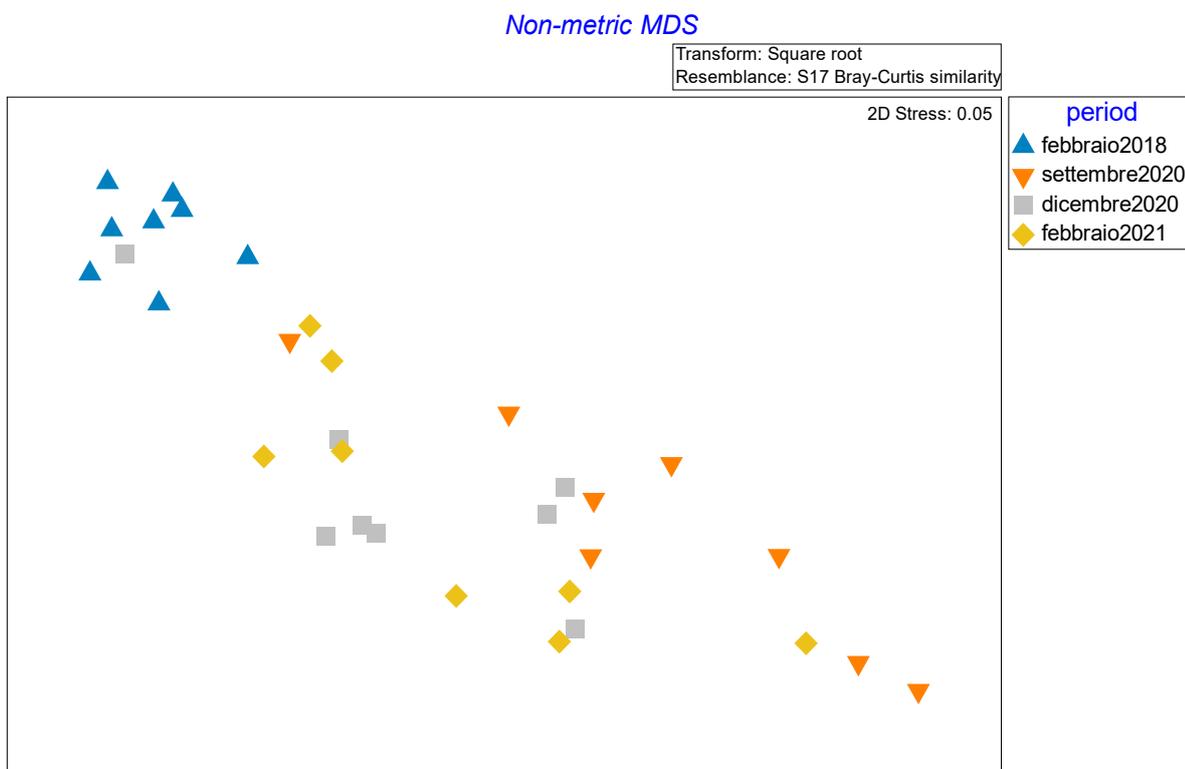


Figura 8.4.3 Plot nMDS che illustra la differenza nella composizione tassonomica della meiofauna tra stazioni e tempi di campionamento.

8.5 Conclusioni

In conclusione, a partire dal primo tempo di campionamento (Ante-Operam febbraio 2018) si è osservata una diminuzione dell'abbondanza della meiofauna, ed un suo successivo incremento negli ultimi due periodi analizzati, in tutte le stazioni tranne che in A23 e A24.

La ricchezza di taxa ha un decremento importante tra il primo e il secondo tempo di campionamento, negli ultimi due tempi però si osserva un recupero del numero di taxa, che in alcune stazioni supera anche quello

registrato nel primo periodo (in particolare in A74, A75, A76).

In tutte le stazioni ed in tutti i tempi di campionamento il taxon dominante era quello dei nematodi, seguito dai copepodi. La dominanza dei nematodi è aumentata nel tempo, in tutte le stazioni, eccetto che nella A23. Andamento opposto si è osservato nei taxa rari, che sono diminuiti o addirittura scomparsi tra il primo e secondo tempo di campionamento, per poi ricomparire negli ultimi due tempi, con andamento diverso a seconda della stazione. Complessivamente, quindi, la composizione tassonomica ha subito significative variazioni nel tempo, in ciascuna stazione analizzata.