



SARTEC
SARAS RICERCHE E TECNOLOGIE

**STATO AVANZAMENTO LAVORI
PIANO DI MONITORAGGIO
LAVORI DI BANCHINAMENTO DEL BACINO DI EVOLUZIONE
DEL PORTO CANALE**

**VII TRIMESTRE
FEBBRAIO 2011 – APRILE 2011**

GRUPPO DI LAVORO

COORDINAMENTO SCIENTIFICO

Prof. Antonio Viola

RESPONSABILE SEZIONE ANALITICA

Dott. Edoardo Suardi

COORDINAMENTO ATTIVITA'

Dott.ssa Trebini Felicina

Ing. Manolo Mulana

INDICE

1. ATTIVITÀ MONITORAGGIO PORTO CANALE	3
1.1 Obiettivi e sintesi delle attività	3
2. MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA	4
2.1 Attività monitoraggio deposizioni al suolo	5
2.1.1 Materiali e metodi monitoraggio deposizioni atmosferiche	5
2.1.2 Risultati monitoraggio deposizioni atmosferiche	5
2.2 Attività monitoraggio laboratorio mobile	14
2.2.1 Materiali e metodi monitoraggio laboratorio mobile	14
2.2.2 Risultati monitoraggio con laboratorio mobile	15
3. ATTIVITÀ MONITORAGGIO QUALITÀ DELLE ACQUE	23
3.1 Monitoraggio acqua	23
3.1.1 Materiali e metodi monitoraggio acqua	24
3.1.2 Risultati monitoraggio acque mare	25
3.1.3 Risultati monitoraggio sedimenti marini	32
4. ATTIVITÀ MONITORAGGIO BIOCENOSI	36
4.1 Monitoraggio sulla comunità dello zoo benthos nei sedimenti marini	36
4.2 Monitoraggio foraminiferi bentonici nei sedimenti marini	36
4.2.1 Confronto con le precedenti campagne	42
5. CONCLUSIONI	46

1. ATTIVITÀ MONITORAGGIO PORTO CANALE

1.1 Obiettivi e sintesi delle attività

L'obiettivo del piano di monitoraggio è quello di verificare gli eventuali impatti sull'ambiente generati dai lavori svolti nell'ambito del piano di banchinamento del lato sud del bacino di evoluzione del Porto Canale. Le attività in corso sono finalizzate alla valutazione degli effetti dell'intervento nelle fasi Ante Operam (A.O.), della Fase Costruttiva (F.C.) e della Fase Post Operam (P.O.).

È stata definita una metodologia e una procedura per il monitoraggio ambientale che prevede una serie di attività con cadenze diverse a seconda della fase di riferimento, rispettivamente Ante Operam, Operativa e Post Operam.

Con riferimento alla fase operativa il quadro delle attività è il seguente:

1. monitoraggio qualità dell'aria
 - ✓ deposizioni aeree;
 - ✓ misure qualità aria con laboratorio mobile.

2. monitoraggio qualità delle acque:
 - ✓ analisi delle acque;
 - ✓ misure di torbidità;
 - ✓ analisi sedimenti;
 - ✓ analisi biologica delle biocenosi.

Le relazioni già consegnate, relative a n. 6 trimestri, contenevano i risultati delle attività di monitoraggio dei comparti ambientali nella fase Ante Operam e nella Fase Costruttiva (agosto-ottobre 2009; novembre-gennaio 2010; febbraio-aprile 2010; maggio-luglio 2010, agosto-ottobre 2010).

Con questa relazione trimestrale si chiude il ciclo degli elaborati relativi alla fase costruttiva, che si è protratta oltre il periodo previsto per concludersi nel corso del mese di Aprile 2011; dal mese di maggio ha pertanto avuto inizio la fase Post Operam ed il relativo Piano di Monitoraggio ambientale.

2. MONITORAGGIO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Nel VII trimestre, fase Operativa, sono stati eseguiti i monitoraggi delle deposizioni al suolo e della qualità dell'aria con il laboratorio mobile secondo quanto previsto dal Piano di Monitoraggio Ambientale. Il campionamento delle polveri totali nelle tre stazioni st1, st3 e st4, è stato sospeso in questo trimestre in ragione del fatto che essendo l'area praticamente asfaltata ed essendo concluse le attività di cantiere che sono origine dei potenziali impatti (movimento terra prevalentemente), si è ritenuto non più significativo procedere con questa tipologia di campionamento e di proseguire invece con l'analisi dei deposimetri e con il mezzo mobile, ritenuti più significativi allo scopo.



Figura 1 - Ubicazione stazioni monitoraggio

Peraltro, come noto, la stazione esterna al cantiere (St. 2), per cause di forza maggiore, non è stata più monitorata dal mese di marzo 2010. Infatti dopo l'ennesimo furto dell'attrezzatura di monitoraggio (1 Universal Pump Model 224-PCXR8 e 2 deposimetri) anche dopo aver inutilmente cambiato postazione (in zone più riparate e meno visibili) siamo stati costretti a non lasciare più materiale fuori dal cantiere.

2.1 Attività monitoraggio deposizioni al suolo

2.1.1 *Materiali e metodi monitoraggio deposizioni atmosferiche*

La deposizione atmosferica dell'aerosol e dei gas avviene secondo due modalità: umida e secca. La deposizione secca delle particelle avviene per impatto diretto e sedimentazione gravitazionale delle stesse su terra e acqua. La deposizione umida comprende l'acqua, i suoi gas disciolti, insieme a qualsiasi altro materiale particellare insolubile.

Per la determinazione delle deposizioni atmosferiche umide e secche sono stati utilizzati degli appositi strumenti composti da un raccoglitore - previamente decontaminato e accuratamente lavato - con un imbuto attraverso il quale raccogliere le deposizioni.

I deposimetri sono stati collocati nelle tre stazioni previste, a circa 1.5 metri di altezza e sono stati sostituiti con una cadenza mensile.

Questi appositi strumenti hanno così raccolto per un intero mese tutte le acque piovane e le deposizioni.

Sono state eseguite le seguenti attività:

- ✓ recupero del materiale solido sedimentato mediante lavaggio con l'acqua piovana raccolta e/o acqua distillata a costituire un unico campione comprendente anche la fase solida;
- ✓ separazione delle fasi liquida e solida mediante filtrazione;
- ✓ analisi del sedimentato solido;
- ✓ analisi della fase liquida mediante prelievo di un'aliquota per la determinazione di: Residuo Solido Totale, metalli d'interesse tossicologico, fluoruri, magnesio, calcio, stronzio e bario, sodio e potassio.

2.1.2 *Risultati monitoraggio deposizioni atmosferiche*

L'indagine sulle deposizioni ha lo scopo di verificare le condizioni di ricaduta delle deposizioni atmosferiche costituite dalla frazione secca e da quella umida, le informazioni che possono essere dedotte da questa attività riguardano:

1. le quantità di sostanze saline in soluzione (cloruri di sodio e potassio, solfato di magnesio e metalli alcalino-terrosi, i tipici costituenti degli aerosol salini);
2. le quantità di metalli disciolti;
3. le quantità di metalli presenti nel particolato raccolto;
4. le quantità totali di sali (somma dei parametri precedentemente descritti).

L'ubicazione dei deposimetri ha tenuto conto ovviamente delle esigenze di rappresentatività dei campioni all'interno del cantiere, anche se nell'interpretazione dei dati non si può prescindere dalla particolare posizione del Porto Canale limitrofo ad aree (strada statale, industriale, aeroporto, porto, e mare) che per la loro natura potrebbero influenzare i risultati.

Sono, infatti, molti i fattori che influiscono sulle deposizioni secche e umide (aerosol marino, condizioni meteoclimatiche, attività presenti nelle aree limitrofe, variabilità dei complessi meccanismi che influenzano la dispersione atmosferica).

Anche in queste deposizioni secche e umide è stata osservata l'influenza dell'aerosol marino con una netta prevalenza di NaCl, MgSO₄ e di KCl.

Nel trimestre si è registrata una rilevante ricaduta alla stazione 4; si noti che il trimestre è stato particolarmente piovoso e le precipitazioni provenienti dal Nord Africa erano particolarmente ricche di materiali sabbiosi che hanno sicuramente influito sulla quantità assoluta delle ricadute, per quanto riguarda la qualità delle ricadute, seppur abbondanti, non vi sono note di rilievo, infatti le concentrazioni di elementi nocivi per la salute rientra ampiamente nella norma.

Nelle pagine seguenti si riportano i risultati analitici dei monitoraggi eseguiti.

**Campionamento mediante deposimetri
Sostanze saline in soluzione**

Febbraio 2011									
Stazioni	MgSO ₄	Ca	Sr	Ba	NaCl	KCl	Volume	mg assoluti	Kg/Km ² /mese
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	ml		
St 1	6.673	673	6	<0,9	11.245	370	4.050	77	1.208
St 3	5.292	3.622	4	<0,9	8.567	325	6.500	116	1.821
St 4	7.895	3.151	7	5	9.754	364	9.120	193	3.038

Tabella 1 - Sostanze saline in soluzione

**Campionamento mediante deposimetri
Metalli in soluzione**

Febbraio 2011										
Stazioni	Zn	Pb	Cd	Ni	V	Cu	Hg	Volume	mg assoluti	Kg/Km ² /mese
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ml		
St.1	53,9	<2,9	<1,2	<1,6	<1,5	<2,4	<0,2	4.050	0,258	4,06
St. 3	530,0	<2,9	<1,2	2,6	3,4	<2,4	<0,2	3.680	1,997	31,41
St. 4	253,0	<2,9	<1,2	<1,6	<1,5	<2,4	<0,2	6.500	1,708	26,87

Tabella 2 - Metalli in soluzione

**Campionamento mediante deposimetri
Metalli su filtro**

Febbraio 2011								
Stazioni	Zn	Pb	Cd	Ni	V	Cu	Hg	Kg/Km ² /mese
	mg/kg	Mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
St.1	4.156,4	173,5	31,8	120,2	332,2	88,4	<1,0	0,8
St. 3	1.322,3	<34,4	84,1	130,3	93,6	32,0	<2,4	0,4
St. 4	433,9	19,8	13,3	56,0	157,2	19,4	<0,4	0,2

Tabella 3 - Metalli su filtro

**Campionamento mediante deposimetri
Sostanze saline in soluzione**

Marzo 2011									
Stazioni	MgSO ₄	Ca	Sr	Ba	NaCl	KCl	Volume	mg assoluti	Kg/Km ² /mese
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ml		
St.1	3.291	1.983	12	5	18.931	1.191	5.220	133	2.087
St. 3	9.836	2.652	16	3	26.949	885	5.080	205	3.224
St. 4	7.361	4.268	18	7	30.378	1.399	5.160	224	3.525

Tabella 4 - Sostanze saline in soluzione

**Campionamento mediante deposimetri
Metalli in soluzione**

Marzo 2011										
Stazioni	Zn	Pb	Cd	Ni	V	Cu	Hg	Volume	mg assoluti	Kg/Km ² /mese
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ml		
St.1	98,8	<2,90	<1,20	<1,60	<1,50	<2,40	<0,20	5.220	0,567	8,92
St. 3	18,1	<2,90	<1,20	<1,60	<1,50	<2,40	<0,20	5.080	0,142	2,23
St. 4	32,4	<2,90	<1,20	2,1	3,8	<2,40	<0,20	5.160	0,232	3,65

Tabella 5 - Metalli in soluzione

Campionamento mediante deposimetri
Metalli su filtro

Marzo 2011								
Stazioni	Zn	Pb	Cd	Ni	V	Cu	Hg	Kg/Km ² /mese
	mg/kg	Mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
St.1	672,2	51,1	15,9	95,0	144,9	34,2	4,8	0,5
St. 3	1.170,2	43,3	8,6	73,5	112,8	30,7	2,3	0,9
St. 4	2.262,4	56,9	<0,8	91,4	117,3	54,7	0,9	4,8

Tabella 6 - Metalli su filtro

**Campionamento mediante deposimetri
Sostanze saline in soluzione**

Aprile 2011									
Stazioni	MgSO ₄	Ca	Sr	Ba	NaCl	KCl	Volume	mg assoluti	Kg/Km ² /mese
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ml		
St.1	4.821	1.939	83	6	31.318	2.243	7.860	318	4.996
St. 3	2.758	1.259	275	4	17.427	2.341	4.900	118	1.855
St. 4	12.712	1.853	127	5	36.576	2.154	10.700	572	8.992

Tabella 7 - Sostanze saline in soluzione

**Campionamento mediante deposimetri
Metalli in soluzione**

Aprile 2011										
Stazioni	Zn	Pb	Cd	Ni	V	Cu	Hg	Volume	mg assoluti	Kg/Km ² /mese
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	ml		
St.1	2068,0	<2,90	<1,20	<1,60	<1,50	2,9	<0,20	7.860	16,277	256
St. 3	21,1	<2,90	<1,20	2,6	<1,50	3,7	<0,20	4.900	0,134	2,1
St. 4	2726,0	<2,90	<1,20	<1,60	<1,50	5,7	<0,20	10.700	29,229	459

Tabella 8 - Metalli in soluzione

**Campionamento mediante deposimetri
Metalli su filtro**

Aprile 2011								
Stazioni	Zn	Pb	Cd	Ni	V	Cu	Hg	Kg/Km ² /mese
	mg/kg	Mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
St.1	15.541,7	188,9	<100,7	104,2	81,9	36,1	33,3	6,4
St. 3	7.532,9	49,8	<5,5	33,7	62,3	40,2	<1,3	18,2
St. 4	58.983,6	67,3	13,7	39,3	71,2	21,0	1,0	129,5

Tabella 9 - Metalli su filtro

CAMPIONAMENTO CON DEPOSIMETRI - RICADUTE TOTALI TRIMESTRE

FEBBARIO 2011		
Stazione	Ricaduta sostanze solubili kg/km²/mese	Ricaduta Corpuscolato kg/km²/mese
St. 1	1350	147
St. 3	2400	297
St. 4	5745	606

Tabella 10 - Deposizioni totali nelle stazioni nel mese di febbraio 2011

MARZO 2011		
Stazione	Ricaduta sostanze solubili kg/km²/mese	Ricaduta Corpuscolato kg/km²/mese
St. 1	2095	172
St. 3	3710	301
St. 4	2130	138

Tabella 11 - Deposizioni totali nelle stazioni nel mese di marzo 2011

APRILE 2011		
Stazione	Ricaduta sostanze solubili kg/km²/mese	Ricaduta Corpuscolato kg/km²/mese
St. 1	3480	310
St. 3	4050	333
St. 4	10300	1.152

Tabella 12 - Deposizioni totali nelle stazioni nel mese di aprile 2011

2.2 Attività monitoraggio laboratorio mobile

2.2.1 Materiali e metodi monitoraggio laboratorio mobile

E' stato effettuato periodicamente il monitoraggio in continuo (almeno sulle 24 ore) dei seguenti parametri di qualità dell'aria: PM10, CO, SO2, NO2, Benzene, Toluene e Xileni con l'utilizzo di un laboratorio mobile.

Il mezzo è un Ducato cabinato e l'area che occupa è determinata dai tiranti del palo meteo di tipo telescopico (altezza massima di 10 m) posizionato sopra il mezzo; tale palo deve essere ancorato su almeno tre punti e la distanza dal mezzo di ognuno dei tiranti è di 5-6 m, di conseguenza occorre complessivamente uno spazio indicativo pari a 12x12m.

Una volta stabilito il sito adeguato si è proceduto alla delimitazione dell'area attraverso il posizionamento di tubi nel suolo (grazie all'aiuto di una ruspa del cantiere) sui quali applicare la rete in plastica arancione per la sicurezza.



Figura 2 - Laboratorio mobile

2.2.2 Risultati monitoraggio con laboratorio mobile

Nel trimestre considerato, il mezzo mobile è stato posizionato in cantiere nei mesi di febbraio e aprile 2011; purtroppo nel mese di marzo il mezzo ha dovuto subire un intervento urgente di manutenzione, pertanto il campionamento previsto non è stato eseguito. Peraltro le attività in cantiere erano sostanzialmente concluse, con le operazioni di asfalto dei piazzali eseguite e completate già nel corso del mese di marzo, pertanto si ritiene di non aver inficiato in alcun modo il livello di rigidità dei monitoraggi in corso.

Le concentrazioni di **PM10** nei campionamenti effettuati sono risultate, come si può vedere dal grafico, sempre abbondantemente al di sotto del valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le concentrazioni di **monossido di carbonio** sono risultate sempre molto basse. La media mobile su 8 ore è sempre rimasta decisamente al di sotto del limite di legge pari a $10 \text{mg}/\text{m}^3$.

Le concentrazioni di **biossido di zolfo** sono risultate anch'esse decisamente basse con le medie giornaliere sempre al di sotto di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dunque ben lontane dal valore limite ($125 \mu\text{g}/\text{m}^3$) oltreché inferiori al livello critico per la protezione della vegetazione individuato dalla nuova normativa relativa alla qualità dell'aria ambiente (D.Lgs. 155/2010) pari a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Il **biossido di azoto** non ha mai superato il limite di legge ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Le concentrazioni registrate sono risultate sempre inferiori al livello critico per la protezione della vegetazione ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) secondo la nuova normativa relativa alla qualità dell'aria ambiente (D.Lgs. 155/2010), ad eccezione di due superamenti orari registrati il 22 febbraio e l'11 aprile.

I valori rilevati di **benzene, toluene e xileni** hanno mostrato basse concentrazioni. Il benzene si è mantenuto sempre al di sotto del limite (pari a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), il picco massimo è stato di $1.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$; gli xileni non hanno mai superato il valore di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e le concentrazioni rilevate per il toluene sono sempre rimaste abbondantemente al di sotto di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ad eccezione di un picco registrato il giorno 21 febbraio pari a $9.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$, riconducibile essenzialmente al traffico veicolare nella vicina SS195, piuttosto che alle attività in corso, peraltro sostanzialmente ultimate nel periodo di riferimento.

In conclusione, anche in questo periodo di indagine non sono state rilevate concentrazioni a rischio per la qualità dell'aria e dell'ambiente.

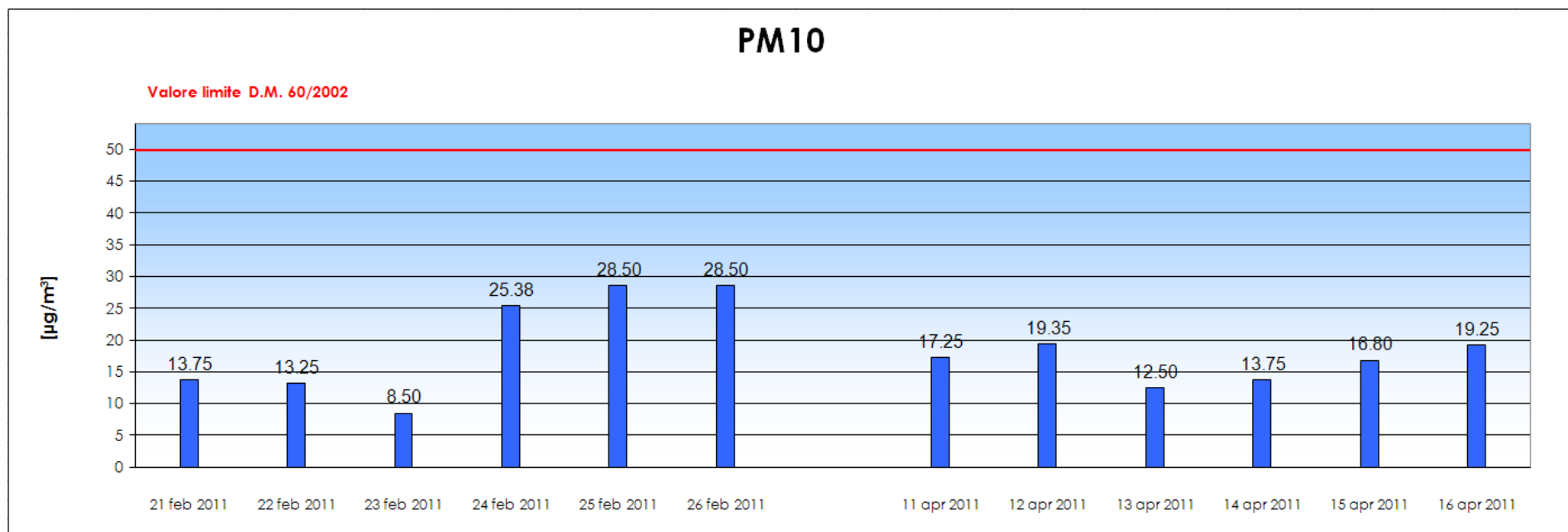


Figura 3 - Andamento dei PM10

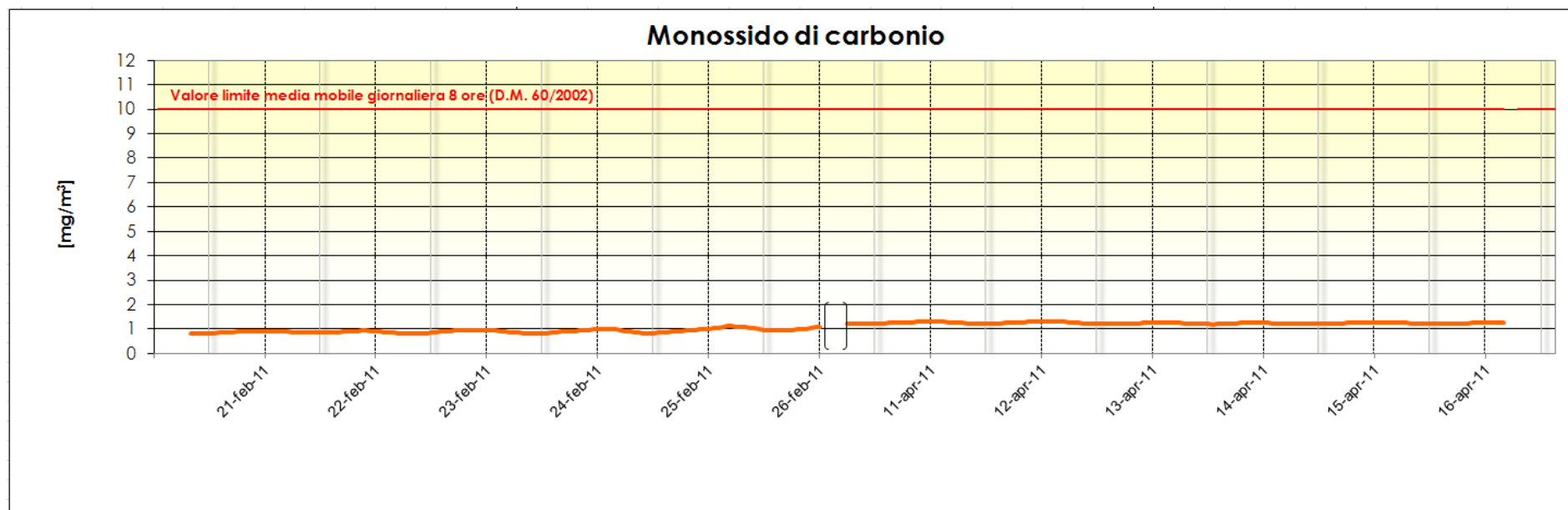


Figura 4 - Media mobile giornaliera 8 ore CO

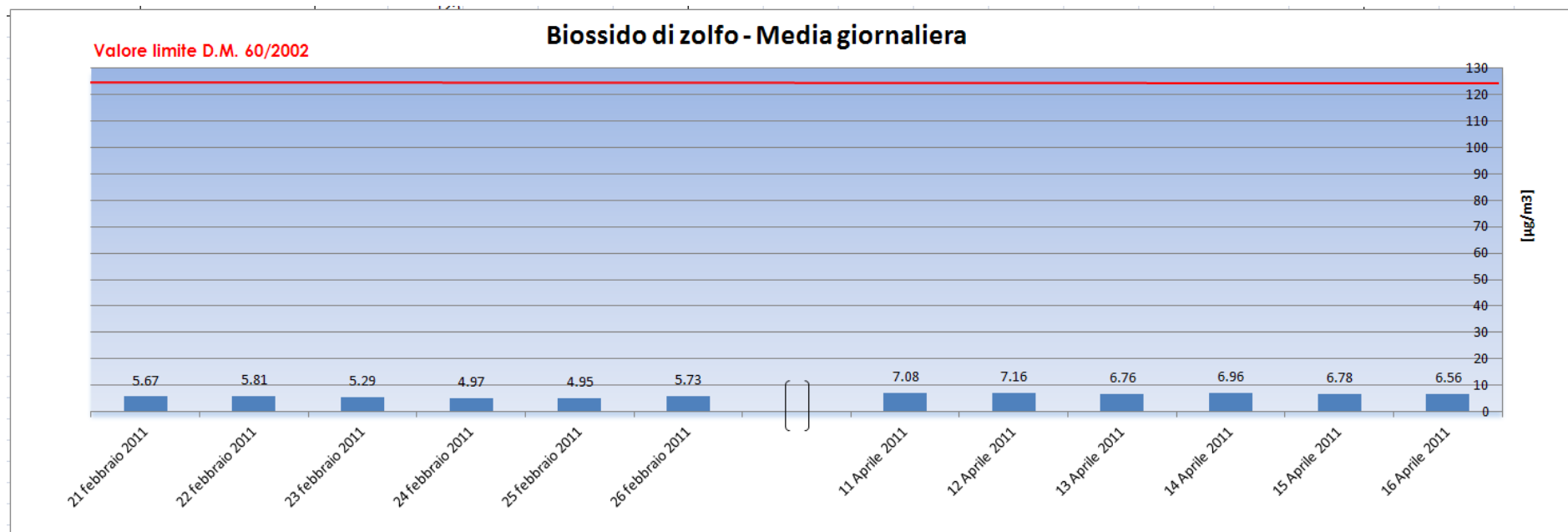


Figura 5 - Media giornaliera biossido di zolfo

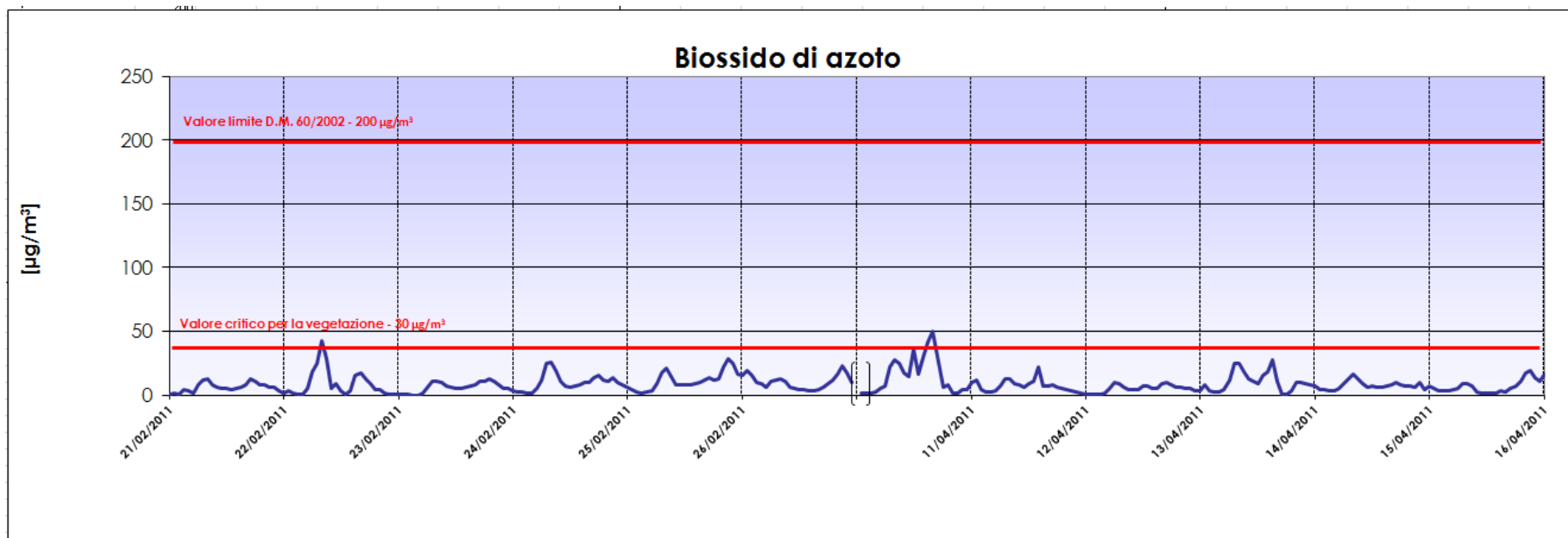


Figura 6 - Media oraria biossido di azoto

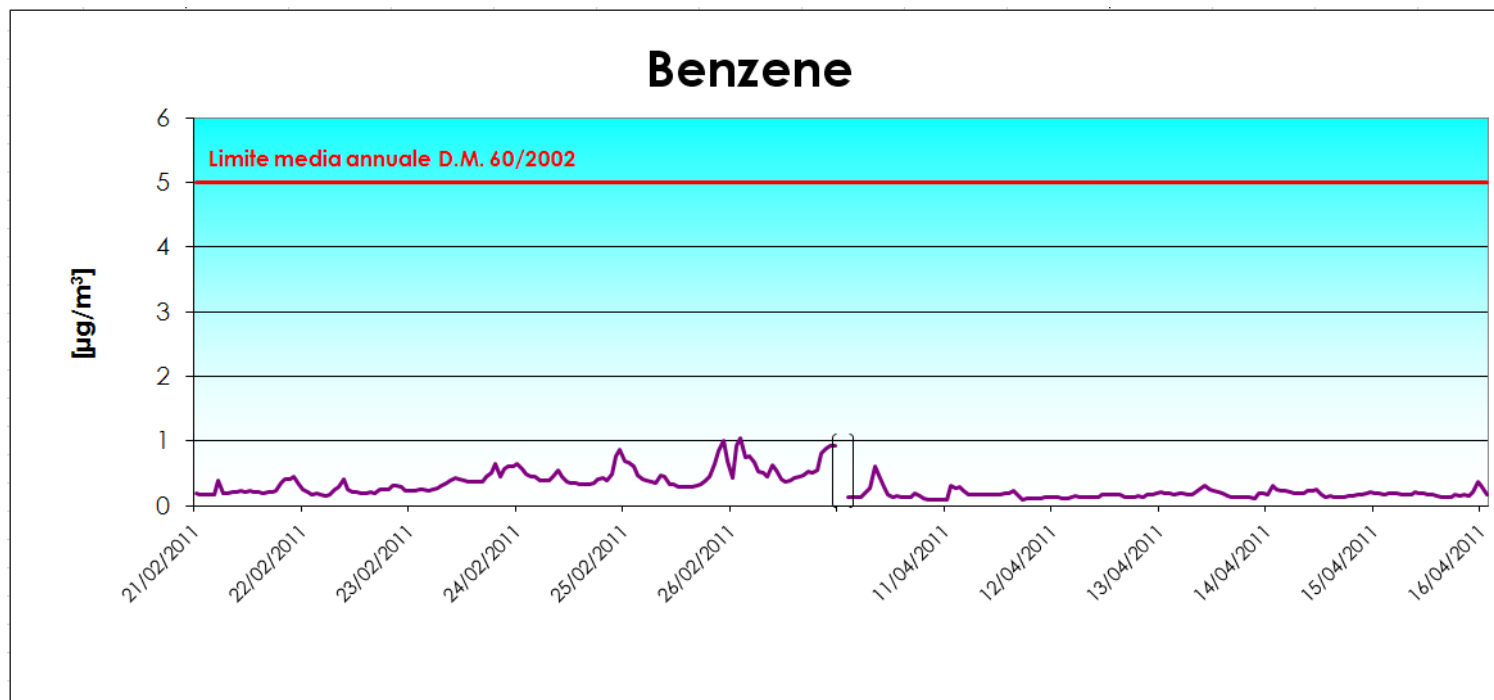


Figura 7 - Dinamica del benzene

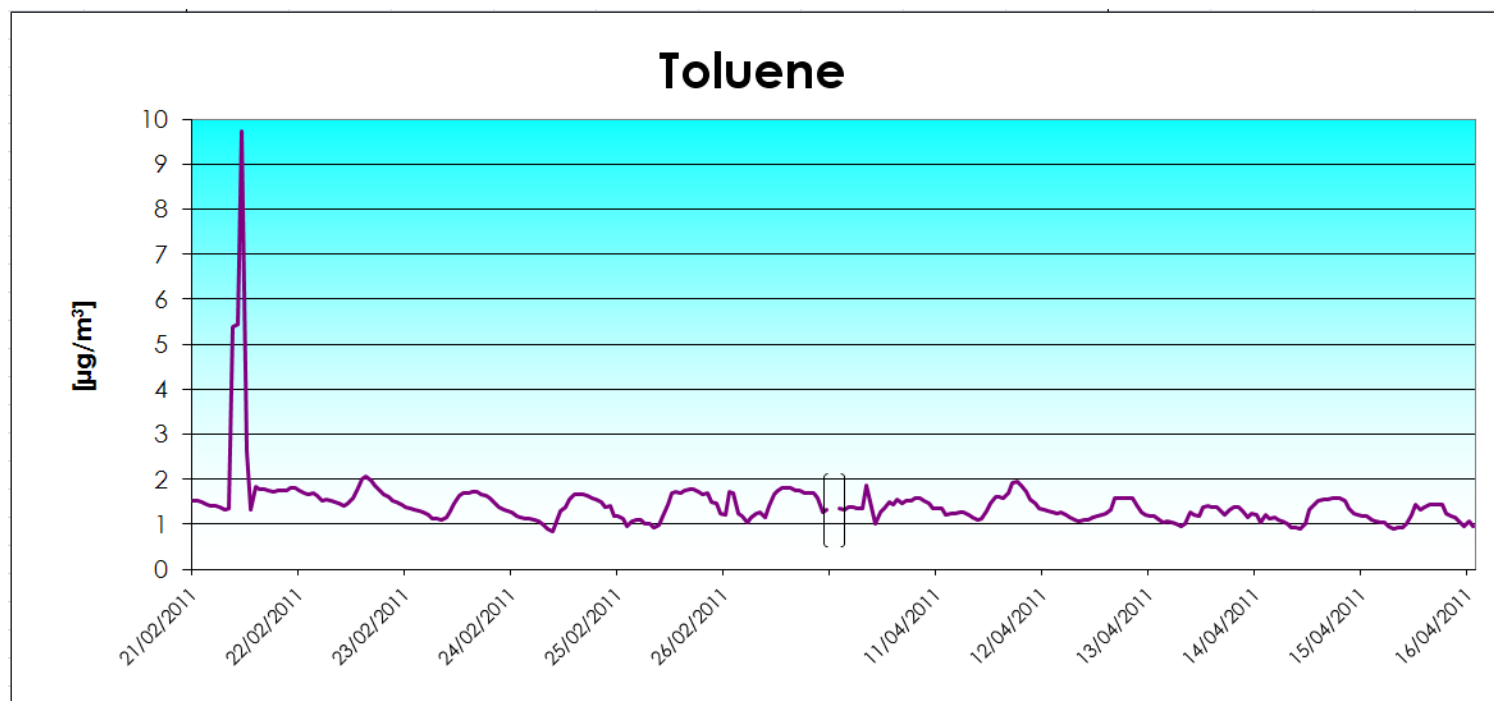


Figura 8 - Dinamica del toluene

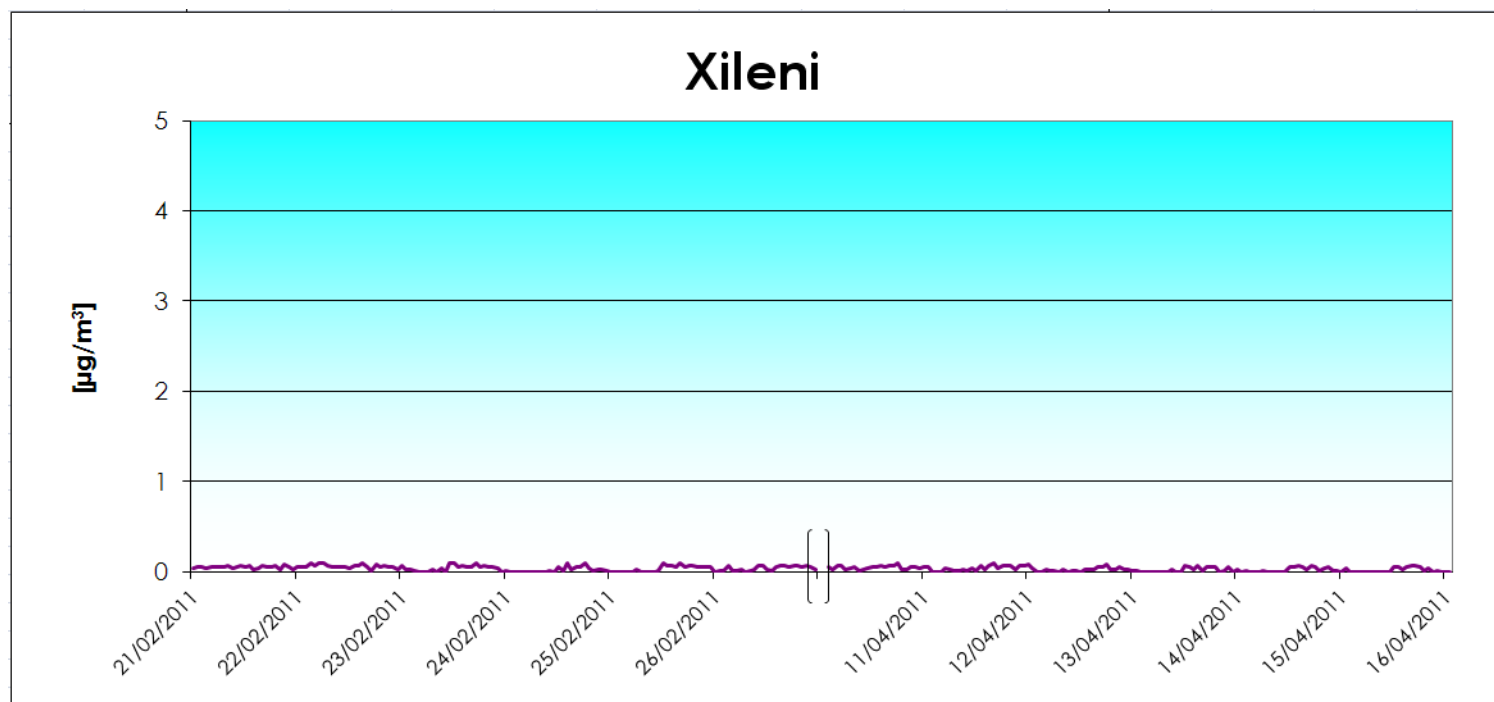


Figura 9 - Dinamica Xileni

3. ATTIVITÀ MONITORAGGIO QUALITÀ DELLE ACQUE

3.1 Monitoraggio acqua

Nel mese di Aprile è stato effettuato il campionamento quadrimestrale delle acque, sempre con riferimento alla fase Costruttiva, in concomitanza con la fine dei lavori.

Il monitoraggio ha previsto, sulle tre stazioni st6, st7, st11, le seguenti due fasi:

- ✓ prelievo dei campioni
- ✓ analisi chimica in laboratorio.

Sui campioni prelevati sono state svolte le seguenti attività analitiche:

- ✓ analisi chimiche acque marine;
- ✓ analisi dei sedimenti;
- ✓ analisi dei sedimenti risospesi;
- ✓ analisi delle biocenosi bentoniche/foraminiferi bentonici.

Di seguito si riportano i risultati dei monitoraggi delle acque effettuati nelle 3 stazioni.



Figura 10 - Ubicazione stazioni monitoraggio acque (St.6 – St.11 – St. 7)

3.1.1 Materiali e metodi monitoraggio acqua

Per il rilevamento dei parametri idrologici è stata utilizzata una sonda multiparametrica Idromar modello IM 7337. La sonda è stata allestita con i sensori per la misura dei seguenti parametri: temperatura, pH, conducibilità, ossigeno disciolto, torbidità e clorofilla. La trasparenza delle acque è stata misurata con il disco di Secchi.

Il campionamento delle acque di fondo è stato effettuato con una bottiglia Niskin della capacità di 5 litri.

Nelle acque, in linea con quanto previsto dal D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152 e dalla Water Framework Directive (2000/60/CE), sono stati prelevati i campioni nelle 3 stazioni monitorate, a 3 profondità diverse (superficie a 0.5 m, intermedia a circa 7.5 m e fondo a circa 14 m).

Sono state individuate e monitorate le seguenti stazioni (fig. 10):

- St. 6, interna al Porto Canale di fronte all'area delle attività di banchinamento;
- St.11, interna tra il punto di restringimento del bacino e l'inizio del canale;
- St.7, tra la fine del canale e il bacino racchiuso dai moli.

Per ogni stazione sono stati determinati, sul campione medio composito, i seguenti parametri chimico-fisici:

PARAMETRO	U.M.	METODO DI RIFERIMENTO
Azoto Ammoniacale	mg/l	IRSA/CNR 4010A
Azoto Nitroso	mg/l	NOVA THALASSIA - vol.11 (1990) 133-138
Azoto Nitrico	mg/l	NOVA THALASSIA - vol.11 (1990) 139-150
Solidi sospesi totali	mg/l	IRSA 2090/03
Ortofosfato	mg/l)	NOVA THALASSIA - vol.11 (1990) 123-132
Fosforo totale	mg/l	NOVA THALASSIA - vol.11 (1990) 171-179
Fluoruri	mg/l	IRSA 4100 B
Cianuri liberi	µg/l	Met/084 Rev.0 -IRSA 4050/94 -EPA 9014 (1996)

Tabella 13 - Parametri e metodiche analizzati nelle acque

Sono stati inoltre determinati i contenuti di metalli, sommatoria IPA e Idrocarburi totali, come riportato nelle successive tabelle 17, 18 e 19.

3.1.2 Risultati monitoraggio acque mare

In concomitanza con il campionamento delle acque, sono state rilevate le condizioni generali meteo climatiche e della stazione di monitoraggio, sintetizzate nella tabella seguente.

	STAZIONE 7	STAZIONE 11	STAZIONE 6
Coordinate	39°12' 14,4" 009°04'54,2"	39°12' 56,6" 009°03'51,5"	39°13' 01,4" 009°03'31,5"
Data rilevamento	20 aprile 2011	20 aprile 2011	20 aprile 2011
Ora	09:37	09:57	10:08
Cielo	nuvoloso	nuvoloso	nuvoloso
Vento m/s	1.0	2.0	1.0
Vento direzione	E	E	E
Profondità m	15	15	15
Trasparenza m	2.5	2.5	2.2

Tabella 14 - dati meteo marini del giorno di campionamento

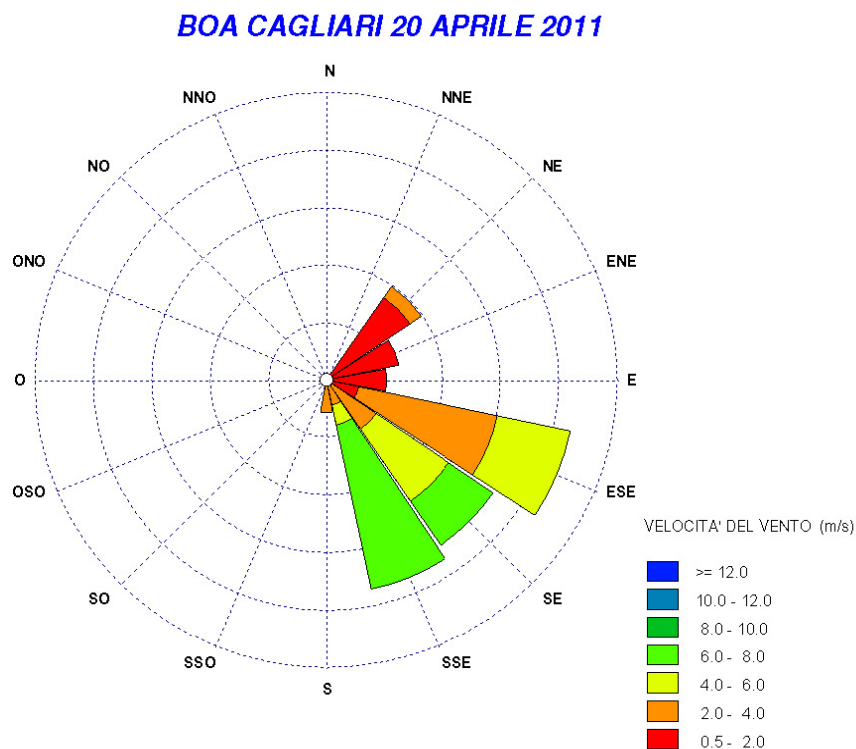


Figura 11 – Rosa dei venti del 12 Aprile 2011

Il profilo idrologico rilevato nella colonna d'acqua delle 3 stazioni è riportato nella tabella seguente:

stazione	data	ora	Prof. (m)	T (°C)	Sal (psu)	pH	O2 (%)	Torbidità (NTU)	clor.a (mg/mc)
6	20/04/2011	10.08.38	0.38	16.36	37.60	8.09	102.80	6.64	0.60
6	20/04/2011	10.08.49	7.47	16.20	37.63	8.09	105.70	6.63	2.54
6	20/04/2011	10.09.03	14.95	16.18	37.63	8.09	104.40	6.63	1.48
7	20/04/2011	09.38.09	0.45	16.35	37.47	8.13	102.49	5.41	1.48
7	20/04/2011	09.38.22	7.50	16.29	37.58	8.12	103.57	5.44	2.30
7	20/04/2011	09.38.09	14.82	16.23	37.65	8.12	104.93	5.44	2.13
11	20/04/2011	09.56.47	0.42	16.37	37.65	8.09	102.31	5.88	0.53
11	20/04/2011	09.57.01	7.77	16.22	37.65	8.09	108.45	6.22	1.96
11	20/04/2011	09.57.16	14.76	16.16	37.66	8.09	106.72	6.27	2.33

Tabella 15 - Profili idrologici

Il profilo idrologico rilevato nella colonna d'acqua delle 3 stazioni è stato quindi confrontato con i risultati dei precedenti monitoraggi per evidenziare eventuali variazioni dei parametri nel tempo.

stazione	data	ora	Prof. (m)	T (°C)	Sal (psu)	pH	O2 (%)	Torbidità (NTU)	clor.a (mg/mc)
6	20/04/2011	10.08.38	0.38	16.36	37.60	8.09	102.80	6.64	0.60
6	20/04/2011	10.08.49	7.47	16.20	37.63	8.09	105.70	6.63	2.54
6	20/04/2011	10.09.03	14.95	16.18	37.63	8.09	104.40	6.63	1.48
6	17/11/2010	11.33.34	0.49	17.29	37.75	8.07	76.33	9.44	1.24
6	17/11/2010	11.33.52	8.41	17.3	37.35	8.07	73.85	7.84	1.28
6	17/11/2010	11.34.10	14.61	17.3	37.76	8.07	72.21	7.1	1.21
6	23/06/2010	10.30.10	0.51	18.4	37.8	8.16	99.1	7.87	0.02
6	23/06/2010	10.30.24	8.41	18.05	37.8	8.17	102.9	8.12	0.74
6	23/06/2010	10.30.40	14.46	17.88	37.91	8.17	101.79	10.02	0.31
6	30/03/2010	11:25	0.3	14.8	37.4	8.28	85.67	7.97	0.73
6	30/03/2010	11:25	10.49	14.4	37.5	8.27	87.06	18.78	1.36
6	30/03/2010	11:25	15.13	14.3	37.6	8.27	85.63	49.52	1.94
6	20/11/2009	12:08:38	0.53	17.8	37.6	8.24	71.98	9.31	1.20
6	20/11/2009	12:08:55	8.37	17.85	37.6	8.24	75.24	8.87	1.46
6	20/11/2009	12:09:11	15	17.83	37.6	8.24	75.68	9.5	1.31

stazione	data	ora	Prof. (m)	T (°C)	Sal (psu)	pH	O2 (%)	Torbidità (NTU)	clor.a (mg/mc)
7	20/04/2011	09.38.09	0.45	16.35	37.47	8.13	102.49	5.41	1.48
7	20/04/2011	09.38.22	7.50	16.29	37.58	8.12	103.57	5.44	2.30
7	20/04/2011	09.38.09	14.82	16.23	37.65	8.12	104.93	5.44	2.13
7	17/11/2010	10.32.15	0.59	17.19	37.71	8.16	62.3	8.68	1.03
7	17/11/2010	10.32.42	9.89	17.17	37.79	8.16	75.71	6.5	1.62
7	17/11/2010	10.32.59	14.54	17.14	37.8	8.16	74.49	5.72	1.52
7	23/06/2010	09:56.34	0.57	18.53	37.9	8.21	98.73	8.28	0.23
7	23/06/2010	9:57.03	10.05	17.71	37.92	8.23	103.2	6.01	0.5
7	23/06/2010	9:57.32	15.26	17.62	37.9	8.22	102.71	9.83	0.5
7	30/03/2010	10:23	0.33	14.89	37.39	8.33	87.67	5.38	0.78
7	30/03/2010	10:23	10.18	14.61	37.5	8.32	90.5	5.92	2.02
7	30/03/2010	10:23	15.39	14.34	37.6	8.3	85.71	8.49	1.1
7	20/11/2009	11.49.30	0.63	17.82	37.5	8.25	72.06	12.69	3.31
7	20/11/2009	11.49.49	8.54	17.7	37.5	8.26	76.95	13.88	3.03
7	20/11/2009	11.50.08	15.13	17.68	37.59	8.26	76.88	19.75	2.94

stazione	data	ora	Prof. (m)	T (°C)	Sal (psu)	pH	O2 (%)	torbidità (NTU)	clor.a (mg/mc)
11	20/04/2011	09.56.47	0.42	16.37	37.65	8.09	102.31	5.88	0.53
11	20/04/2011	09.57.01	7.77	16.22	37.65	8.09	108.45	6.22	1.96
11	20/04/2011	09.57.16	14.76	16.16	37.66	8.09	106.72	6.27	2.33
11	17/11/2010	11.11.30	0.48	17.25	37.72	8.09	67.13	8.96	0.88
11	17/11/2010	11.11.50	9.84	17.24	37.74	8.09	78.42	7.58	1.31
11	17/11/2010	11.12.04	14.42	17.24	37.74	8.09	77.59	6.67	1.35
11	23/06/2010	10.18.15	0.54	18.33	37.9	8.18	98.04	8.34	0.05
11	23/06/2010	10.18.31	10.1	18.1	37.9	8.18	99.7	8.17	0.40
11	23/06/2010	10.18.50	14.4	18.06	37.9	8.18	95.99	9.73	0.34
11	30/03/2010	11:08	0.89	14.7	37.5	8.3	86.82	8.62	0.71
11	30/03/2010	11:08	10.25	14.5	37.5	8.3	87.5	9.08	1.72
11	30/03/2010	11:08	15.19	14.3	37.6	8.29	84.64	11.36	1.02
11	20/11/2009	12:03:31	0.63	17.8	37.62	8.25	71.5	10.56	1.49
11	20/11/2009	12:03:31	9.56	17.8	37.6	8.25	74.8	11.62	1.37
11	20/11/2009	12:03:31	15.23	17.7	37.6	8.25	74	14.4	1.87

Tabella 16 - Confronto dati idrologici

I valori di torbidità sono mediamente inferiori rispetto alle campagne precedenti, e hanno oscillato tra 5.41 NTU nella St. 7 e 6.64 NTU nella St. 11, in superficie, confermando pertanto un trend di diminuzione progressiva dei valori, a valle delle operazioni di dragaggio.

La medesima tendenza si osserva nei valori di fondo, che oscillano tra 5.44 NTU nella St. 6 e 6.63 NTU nella St. 6. I valori di clorofilla *a* mostrano anch'essi segni generali di incremento, con valori superiori a 2.0 mg/mc in tutte le stazioni alla profondità intermedia.

Le analisi sui campioni prelevati, condotte in laboratorio, hanno mostrato concentrazioni dei nutrienti (fosforo e forme ammoniacali) che non hanno subito variazioni rispetto ai risultati dei precedenti campionamenti.

STAZIONE 6		
Parametro	Risultato	U.M.
Azoto Ammoniacale	<0.004	mg/l
Azoto Nitroso	<0.0012	mg/l
Azoto Nitrico	0.017	mg/l
Solidi sospesi totali	28.96	mg/l
Ortofosfato	<0.003	mg/l
Fosforo totale	<0.003	mg/l
Fluoruri	0.45	mg/l
Solfati	3940.54	µg/l
Cd	<0.7	µg/l
Co	<1.4	µg/l
Cr tot.	6.5	µg/l
Cu	<1.4	µg/l
Fe	<1	µg/l
Mn	<1	µg/l
Ni	<1.6	µg/l
Pb	<0.5	µg/l
V	12	µg/l
Zn	<5.5	µg/l
Somma IPA (9 specie)	<0.009	µg/l
Idrocarburi totali	17	µg/l

Tabella 17 - risultati analisi acque st. 6

STAZIONE 7		
Parametro	Risultato	U.M.
Azoto Ammoniacale	<0.004	mg/l
Azoto Nitroso	<0.0012	mg/l
Azoto Nitrico	0.016	mg/l
Solidi sospesi totali	27.44	mg/l
Ortofosfato	<0.003	mg/l
Fosforo totale	<0.003	mg/l
Fluoruri	0.40	mg/l
Solfati	3936.38	mg/l
Cd	1	µg/l
Co	<1.4	µg/l
Cr tot.	13	µg/l
Cu	3	µg/l
Fe	25	µg/l
Mn	<1	µg/l
Ni	<1.6	µg/l
Pb	1	µg/l
V	14	µg/l
Zn	<5.5	µg/l
Somma IPA (9 specie)	<0.009	µg/l
Idrocarburi totali	18	µg/l

Tabella 18 - risultati analisi acque st. 7

STAZIONE 11		
Parametro	Risultato	U.M.
Azoto Ammoniacale	<0.004	mg/l
Azoto Nitroso	<0.0012	mg/l
Azoto Nitrico	0.018	mg/l
Solidi sospesi totali	27.68	mg/l
Ortofosfato	<0.003	mg/l
Fosforo totale	<0.003	mg/l
Fluoruri	0.39	mg/l
Solfati	3868.61	mg/l
Cd	<0.7	µg/l
Co	<1.4	µg/l
Cr tot.	5	µg/l
Cu	4	µg/l
Fe	25	µg/l
Mn	<1	µg/l
Ni	<1.6	µg/l
Pb	<0.5	µg/l
V	28	µg/l
Zn	<5.5	µg/l
Somma IPA (9 specie)	<0.009	µg/l
Idrocarburi totali	18	µg/l

Tabella 19 - risultati analisi acque st. 7

I valori del fosforo e delle tre forme dell'azoto sono stati quindi confrontati con i valori soglia indicati dalla letteratura (Smith et al., 1999) per la valutazione delle condizioni di eutrofizzazione delle acque (tab. 18).

Le concentrazioni degli ortofosfati sono risultate, in tutte le stazioni, al di sotto dei 3 mg/m³ stabiliti da Smith. Anche l'azoto totale (come somma delle 3 forme) è risultato sempre molto al di sotto del valore soglia dell'oligotrofia di 260 mg/m³.

La clorofilla *a* ha mostrato concentrazioni inferiori ai limiti dell'oligotrofia in superficie, a eccezione della stazione 7, e tendenti alla mesotrofia più in profondità in tutte le stazioni.

Le basse concentrazioni di nutrienti fanno escludere la possibilità di fenomeni eutrofici, e la torbidità rende le condizioni ambientali poco adatte allo sviluppo algale (fitoplancton e macroalghe).

Trophic state		TN (mg m-3)	TP (mg m-3)	chl a (mg m-3)	SD (mg m-3)
Lake	Oligotrophic	<350	<10	<3.5	>4
	Mesotrophic	350-650	10-30	3.5-9	2-4
	Eutrophic	650-1200	30-100	9-25	1-2
	Hypertrophic	>1200	>100	>25	<1
Stream	Oligotrophic	<700	<25	<10	<20
	Mesotrophic	700-1500	25-70	10-30	20-70
	Eutrophic	>1500	>75	>30	>70
Coastal Marin water	Oligotrophic	<260	<10	chl a (mg m-3) <1	SD (mg m-3) >6
	Mesotrophic	260-350	10-30	1-3	3-6
	Eutrophic	350-400	30-40	3-5	1.5-3
	Hypertrophic	>400	>40	>5	<1.5

Tabella 20 – Valori utilizzati per valutare lo stato trofico dei laghi (Nurnberg, 1996), dei fiumi (Dodds et al, 1998) e delle acque costiere (Hakanson, 1994) - N: total nitrogen, TP: total phosphorus, TIN: total inorganic nitrogen, Chl a: chlorophyll a, SD: Secchi disk transparency.

3.1.3 Risultati monitoraggio sedimenti marini

Come previsto, sono stati effettuati i campionamenti dei sedimenti **superficiali** con benna Vann Veen gestita sul fondo da sommozzatore. Il monitoraggio ha previsto le seguenti due fasi:

- prelievo dei campioni;
- analisi chimica in laboratorio.

Nei sedimenti - seguendo i riferimenti normativi del "Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini ICRAM-APAT" - sono stati analizzati i parametri elencati di seguito con le relative metodiche:

As	mg/kg	EPA 6010C
Cd	mg/kg	EPA 6010C
Cr totale	mg/kg	EPA 6010C
Pb	mg/kg	EPA 6010C
Ni	mg/kg	EPA 6010C
Cu	mg/kg	EPA 6010C
V	mg/kg	EPA 6010C
Zn	mg/kg	EPA 6010C
SOMMA IPA	mg/kg	I-132
Idrocarburi leggeri	mg/kg	I-181
Idrocarburi pesanti	mg/kg	I-182

Tabella 21 – Parametri analizzati e metodiche nei sedimenti marini

A seguire le tabelle riepilogative con i risultati analitici.

ST 6	mg/kg	Livello Chimico Limite (LCL) Manuale per la movimentazione di sedimenti marini ISPRA-APAT (mg/kg)
As	11	32
Cd	<0.16	0.8
Cr totale	18.8	360
Pb	13	70
Ni	17	75
Cu	3.5	52
V	71	-
Zn	43	170
SOMMA IPA	<1.43	4
Idroc leggeri < C12	<0.25	<0,25
Idroc pesanti > C12	<3.3	< 3,3

Tabella 22 – risultati analisi sedimenti marini st.6

ST 07	mg/kg	Livello Chimico Limite (LCL) Manuale per la movimentazione di sedimenti marini ISPRA-APAT (mg/kg)
As	11	32
Cd	<0.16	0.8
Cr totale	23	360
Pb	18.7	70
Ni	21	75
Cu	8.2	52
V	99	-
Zn	34	170
SOMMA IPA	<1.43	4
Idroc leggeri <C12	<0.25	<0,25
Idroc pesanti >C12	<3.3	< 3,3

Tabella 23 – risultati analisi sedimenti marini st.7

ST 11	mg/kg	Livello Chimico Limite (LCL) Manuale per la movimentazione di sedimenti marini ISPRA-APAT (mg/kg)
As	11	32
Cd	<0.16	0.8
Cr totale	21.7	360
Pb	14	70
Ni	19.2	75
Cu	6.3	52
V	85	-
Zn	45.7	170
SOMMA IPA	<1.43	4
Idroc leggeri <C12	<0.25	<0,25
Idroc pesanti >C12	<3.3	< 3,3

Tabella 24 – risultati analisi sedimenti marini st.11

In tutti i campioni sono stati rilevati valori abbondantemente al di sotto dei limiti.

Sono stati inoltre misurati nello stesso periodo i sedimenti **risospesi** nella colonna d'acqua; sono stati posizionati sul fondo del mare degli opportuni deposimetri e dopo un mese il materiale raccolto è stato analizzato. Il monitoraggio ha quindi previsto le seguenti due fasi:

- prelievo dei campioni;
- analisi chimica in laboratorio.

Sono stati analizzati i parametri elencati di seguito con le relative metodiche:

As	mg/kg	EPA 6010C
Cd	mg/kg	EPA 6010C
Cr totale	mg/kg	EPA 6010C
Pb	mg/kg	EPA 6010C
Ni	mg/kg	EPA 6010C
Cu	mg/kg	EPA 6010C
V	mg/kg	EPA 6010C
Zn	mg/kg	EPA 6010C
PCB	mg/kg	UNI-EN 12766/1-2
SOMMA IPA	mg/kg	I-132

Tabella 25 – Parametri e metodiche analizzati nei sedimenti risospesi

I deposimetri hanno raccolto le particelle in sospensione e ri-sedimentate nell'arco di un mese, tempo necessario per raccogliere abbastanza materiale per poter eseguire le analisi sulla qualità in laboratorio.

Le analisi hanno mostrato valori sempre al di sotto dei limiti.

ST 06	mg/kg	ST 07	mg/kg	ST 06	mg/kg
As	11	As	17.79	As	11.77
Cd	0.17	Cd	0.31	Cd	0.26
Cr totale	33.47	Cr totale	50.09	Cr totale	41.29
Pb	4.01	Pb	14.30	Pb	9.34
Ni	15.54	Ni	20.63	Ni	17.32
Cu	22.37	Cu	49.29	Cu	27.81
V	52.22	V	80.06	V	65.77
Zn	86.25	Zn	125.05	Zn	96.60
PCB	<0.1	PCB	<0.1	PCB	<0.1
SOMMA IPA	<1.43	SOMMA IPA	<1.43	SOMMA IPA	<1.43

Tabella 26 – Analisi sedimenti risospesi

4. ATTIVITÀ MONITORAGGIO BIOGENOSI

Di seguito si riportano i risultati del monitoraggio sulla comunità dello zoobenthos e dei foraminiferi nei sedimenti marini eseguito nel mese di Aprile 2011.

4.1 Monitoraggio sulla comunità dello zoo benthos nei sedimenti marini

Il campionamento del macrozoobenthos è stato effettuato con benna *Vann Veen*; il materiale raccolto è stato setacciato *in loco* per trattenere tutti quegli organismi con diametro del corpo superiore a 0,5 mm. Gli organismi così raccolti sono stati conservati in una soluzione di formalina e successivamente determinati e conteggiati allo stereomicroscopio. Per ogni stazione sono state prelevate 2 distinte campionature che unite tra loro hanno costituito il campione.

Il monitoraggio delle biocenosi bentoniche è stata eseguita anch'essa nelle stesse postazioni individuate per le analisi delle acque di mare (St.6, St. 7, St.11).

I risultati delle analisi del benthos presente nel sedimento del bacino del Porto Canale hanno confermato quanto già osservato nel monitoraggio Ante Operam e nelle precedenti fasi operative, ovvero una scarsità di individui e taxa.

Stazioni		St.6	St.7	St.11	
<i>Anellida</i>	n.d.	n°/m ²	333	200	367
<i>Polychaeta</i>	<i>Sternaspis scutata</i>	n°/m ²	-	100	-
<i>Mollusca</i>	<i>Corbula gibba</i>	n°/m ²	4000	433	3670
<i>Bivalvia</i>	Tellinidae sp.	n°/m ²	-	-	33

Tabella 27 - Zoobenthos rilevato nei sedimenti

4.2 Monitoraggio foraminiferi bentonici nei sedimenti marini

Di seguito si commentano i risultati ottenuti sulla base dell'analisi delle associazioni a foraminiferi bentonici, ricavati da n° 3 campioni denominati rispettivamente PC6, PC7 e PC11 (corrispondenti rispettivamente alle stazioni di monitoraggio acque St.1, St.2, St.3), prelevati a mezzo benna Van Veen il 20/04/2011 nell'area del Porto Canale di Cagliari.

I campioni al momento del prelievo sono stati colorati con il Rosa Bengala, per evidenziare l'eventuale presenza di protoplasma nei gusci dei Foraminiferi presenti. Tale metodica permette di distinguere le forme viventi al momento della campionatura (biocenosi) da quelle già morte (tanatocenosi).

In laboratorio ogni campione é stato asciugato e pesato a secco e da ogni campione sono stati prelevati circa 100 g di sedimento secco per il trattamento in laboratorio. Successivamente ogni campione é stato sottoposto a lavaggio e separato mediante 6 setacci calibrati di dimensioni rispettivamente di 500 µm, 250 µm, 180 µm, 125 µm, 90 µm e 53 µm.

Sulle frazioni ottenute da ogni campione é stato applicato il metodo della quartatura, consistente nella suddivisione del residuo in parti minori, che però conservano in modo proporzionale le componenti microfaunistiche (foraminiferi bentonici), necessarie per il conteggio statistico. Tale metodo viene comunemente utilizzato in questo tipo di analisi in quanto permette di conservare e analizzare in toto la biodiversità.

Ogni parte splitata di ciascun campione é stata osservata e analizzata al microscopio ottico binoculare, per il riconoscimento tassonomico delle specie dei foraminiferi presenti. Descrizione delle associazioni a Foraminiferi.

In totale sono state riconosciute e determinate 28 specie, appartenenti a 18 generi (Tab. 16). Il 61% delle specie presenta un guscio ialino, il 21% un guscio arenaceo e il 18% un guscio porcellanaceo (Fig. 1).

	PC6	PC7	PC11	%PC6	%PC7	%PC11
<i>Adelosina cliarensis</i>	1	1	0	0,32	0,73	0,00
<i>Adelosina elegans</i>	1	0	0	0,32	0,00	0,00
<i>Ammonia tepida</i>	23	3	11	7,47	2,19	3,49
<i>Astacolus sp.</i>	2	0	1	0,65	0,00	0,32
<i>Bolivina dilatata</i>	1	0	1	0,32	0,00	0,32
<i>Bolivina spathulata</i>	14	6	11	4,55	4,38	3,49
<i>Bolivina sp.</i>	0	5	8	0,00	3,65	2,54
<i>Bolivina striatula</i>	5	9	9	1,62	6,57	2,86
<i>Bolivina variabilis</i>	27	10	10	8,77	7,30	3,17
<i>Bulimina aculeata</i>	31	0	8	10,06	0,00	2,54
<i>Bulimina elongata</i>	5	8	2	1,62	5,84	0,63
<i>Bulimina marginata</i>	12	2	7	3,90	1,46	2,22
<i>Buliminella elegantissima</i>	4	0	0	1,30	0,00	0,00
<i>Eggerella ?</i>	5	0	0	1,62	0,00	0,00
<i>Eggerella scabra</i>	0	0	4	0,00	0,00	1,27
<i>Eggerelloides advenum</i>	1	0	2	0,32	0,00	0,63
<i>Fursenkoina punctata</i>	22	21	48	7,14	15,33	15,24
<i>Haplophragmoides canariensis</i>	2	0	1	0,65	0,00	0,32
<i>Haynesina germanica</i>	2	1	0	0,65	0,73	0,00
<i>Lenticulina gibba</i>	5	0	4	1,62	0,00	1,27
<i>Miliolinella subrotunda</i>	0	0	1	0,00	0,00	0,32
<i>Nonionella turgida</i>	19	3	19	6,17	2,19	6,03
<i>Quinqueloculina laevigata</i>	2	0	0	0,65	0,00	0,00
<i>Quinqueloculina stelligera</i>	3	2	4	0,97	1,46	1,27
<i>Reophax nana</i>	1	0	0	0,32	0,00	0,00
<i>Reophax scorpiurus</i>	0	0	1	0,00	0,00	0,32
<i>Rosalina globularis</i>	1	1	0	0,32	0,73	0,00
<i>Uvigerina sp.</i>	119	65	163	38,64	47,45	51,75

Tabella 28 - Elenco delle specie rinvenute nel Porto Canale e relativa abbondanza

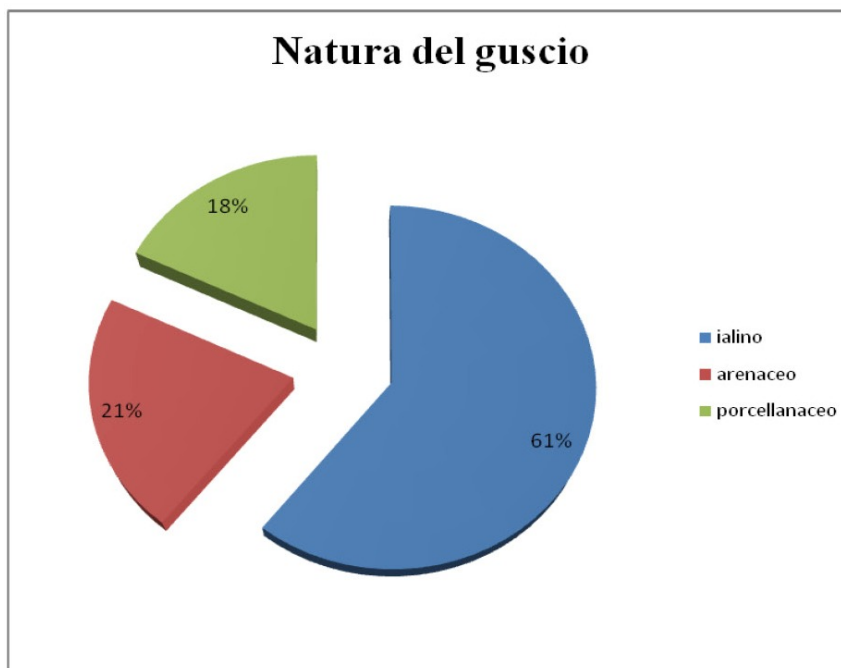


Figura 12 - Diagramma mostrante la percentuale delle specie con guscio porcellanaceo, ialino e arenaceo

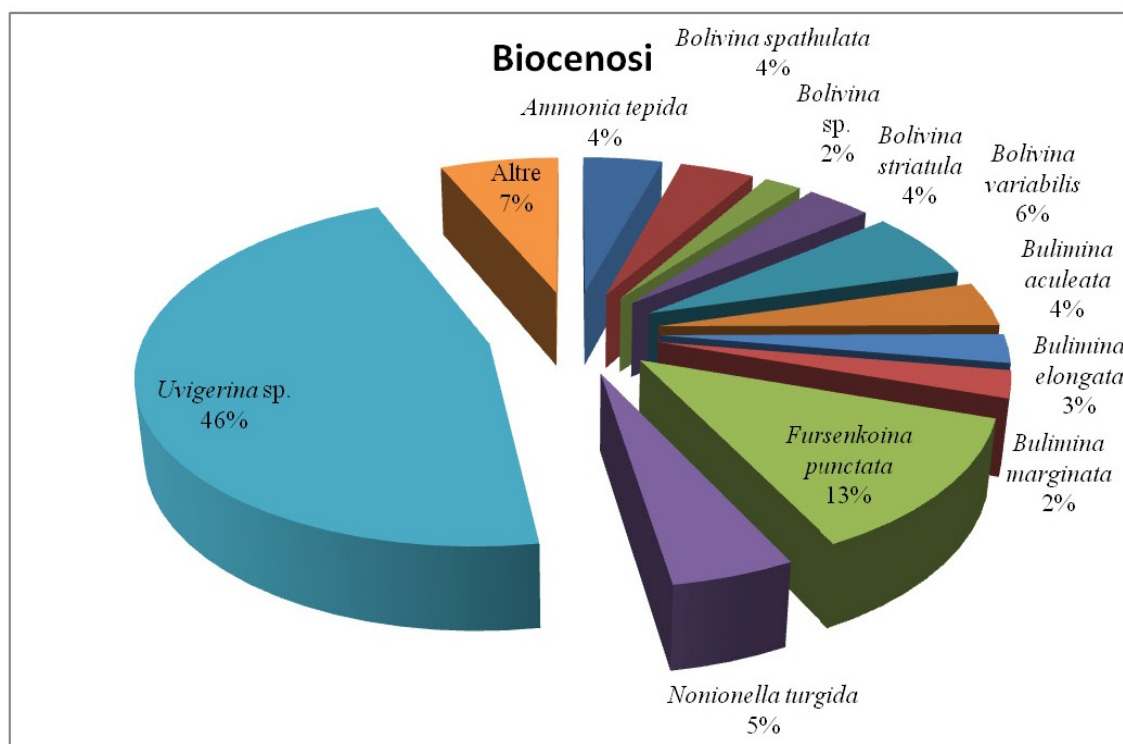


Figura 13 - Specie dominanti la biocenosi a foraminiferi bentonici

L'abbondanza relativa delle singole specie varia da stazione a stazione, con 11 specie che mostrano un'abbondanza superiore al 3% in almeno un campione (Tab. 28). L'associazione è dominata da *Uvigerina sp.* (46%), *Fursenkoina punctata* (13%), *Bolivina variabilis* (6%), *Nonionella turgida* (5%), *Ammonia tepida* (4%), *Bolivina spathulata* (4%), *Bolivina striatula* (4%) e *Bulimina elongata* (3%), (Fig. 13). Gli indici biotici non mostrano una elevata variabilità da campione a campione (Tab. 27).

In particolare, S (diversità specifica) varia da 14 (PC7) a 24 (PC6). Il campione PC11 presenta il valore più alto per la Densità Faunistica (29,80), mentre la media nell'area di studio è di 18,84. L'indice di Shannon-Weaver oscilla tra 1,83 (PC7) e 2,25 (PC6), Equitability (J) tra 0,61 (PC11) e 0,71 (PC11), Dominance (D) tra 0,19 (PC6) e 0,30 (PC11), Evenness tra 0,31 (PC11) e 0,45 (PC7), infine Simpson (1-D) tra 0,70 (PC11) e 0,81 (PC6).

L'indice di Fisher a presenta un range di variabilità compreso tra 3,90 (PC7) e 6,09 (PC6), con un valore medio di 4,91. Nell'area del Porto Canale sono state osservate anomalie morfologiche in tutte le stazioni campionate e sono attribuite a morfogenesi patologica. Il FAI (Foraminiferal Abnormality Index) presenta valori variabili da stazione a stazione, in

particolare il valore più basso è relativo al campione PC7 (2,92) e quello più alto al campione PC6 (4,22), con una media di 3,76. L'FMI è compreso tra 21,43 (PC7) e 40,00 (PC11).

	PC6	PC7	PC11	MEAN
Diversità specifica biocenosi - S	24	14	20	19
N° esemplari	308	137	315	253
Dominance - D	0,19	0,27	0,30	0,25
Shannon - H	2,25	1,83	1,84	1,97
Simpson - 1-D	0,81	0,73	0,70	0,75
Evenness - e ^{H/S}	0,39	0,45	0,31	0,38
Menhinick	1,37	1,20	1,13	1,23
Margalef	4,01	2,64	3,30	3,32
Equitability - J	0,71	0,69	0,61	0,67
Fisher alpha	6,09	3,90	4,75	4,91
Berger-Parker	0,39	0,47	0,52	0,46
FAI	4,22	2,92	4,13	3,76
FMI	29,17	21,43	40,00	30,20
Densità faunistica biocenosi - DF	18,94	7,78	29,80	18,84

Tabella 29 - Indici biotici relativi ai campioni analizzati

Le specie che presentano il maggior numero di individui deformati sono *Uvigerina* sp., *Bolivina* sp., *B. striatula*, *Bulimina aculeata*, *Fursenkoina punctata*, *Ammonia tepida* (Fig. 14).

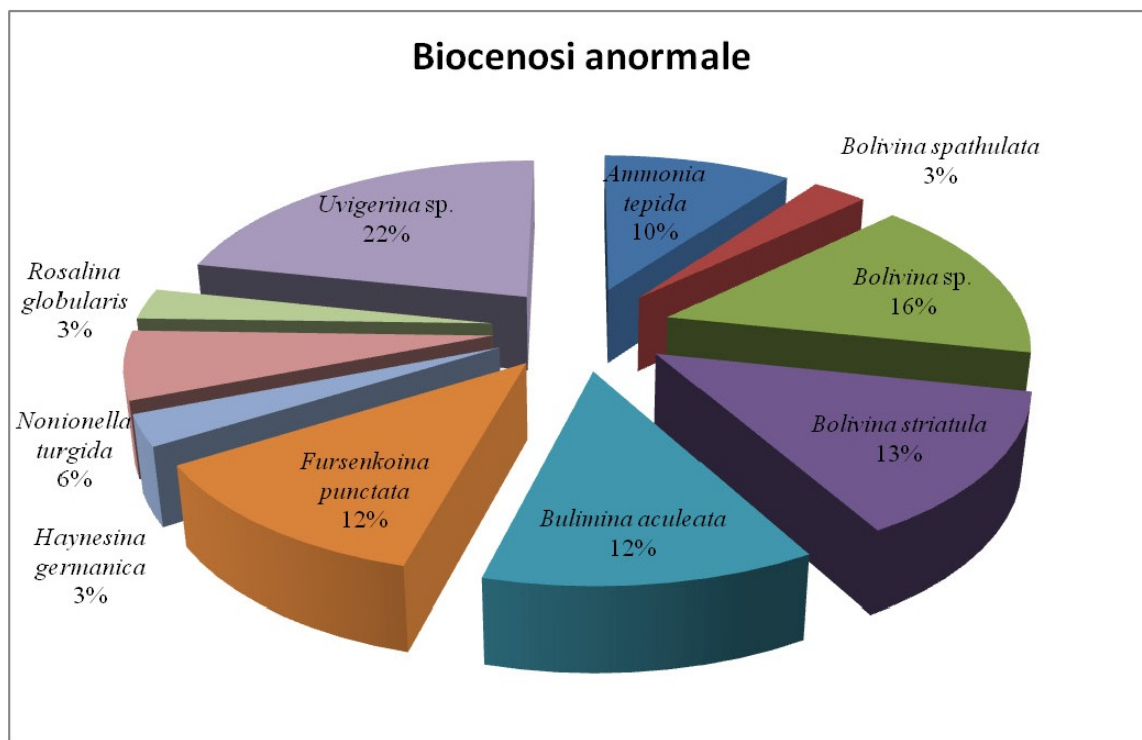


Figura 14 - Biocenosi anormale del Porto Canale

Sulla base delle osservazioni effettuate e dei dati ottenuti si possono effettuare una serie di considerazioni. I campioni esaminati sono costituiti da sedimenti fini di tipo fangoso con bassissime percentuali di sabbia. La biocenosi (individui vivi) è dominata da esemplari di piccole dimensioni <90 µm a guscio allungato (Bolivine, Bulimine, Uvigerine); risultano invece meno abbondanti le forme con guscio pianoconvesso e trocospirale (Rotaliidae e Elphidiidae).

L'indice di Fisher a rappresenta la ricchezza delle associazioni bentoniche; questo indice indica una relazione tra il numero di specie e il numero di individui in un'associazione; nei campioni prelevati nel Porto Canale presenta valori bassi (<10) indicanti condizioni di stress. L'indice di Shannon-Weaver tiene conto del numero di individui per ciascun taxon e del numero di taxa presenti in ogni campione. I valori più bassi si registrano generalmente in corrispondenza di condizioni ambientali stressanti (con specie opportuniste o pioniere).

Con una sola specie questo indice presenta valore pari a 0; di solito assume valori variabili tra 1 e 3.5, superando raramente 4.5; i valori inferiori ad 1, indicano stress ambientale particolarmente elevato, riscontrabile in aree pesantemente inquinate. Nei campioni esaminati presenta un valore medio di 1,97 indicando un ambiente sottoposto a stress ambientale.

I valori degli indici FAI e FMI relativi alle anomalie morfologiche riscontrate nella biocenosi, risultano superiori ai valori riportati in letteratura per ambienti non inquinati (<1%). Le anomalie riscontrate sono da attribuire a morfogenesi patologica imputabili a stress ambientale. Le specie a guscio allungato sono taxa caratterizzati da un microhabitat infaunale (vivono all'interno del sedimento superficiale).

Sono particolarmente resistenti ad un impoverimento di ossigeno e vengono riconosciuti inoltre come taxa opportunisti (Murray, 1991). In generale, le specie tolleranti a deficit di ossigeno sono tipiche di ambienti caratterizzati da sedimenti di tipo fangoso che spesso contengono elevate quantità di carbonio organico (Van der Zwaan et al., 1999). Tra le forme a guscio calcareo perforato le Bolivine sono particolarmente influenzate dalla natura del sedimento, dalla salinità, dal potenziale di ossido-riduzione e dalla batimetria. I foraminiferi a guscio agglutinato allungato (tipo "Textularia") sono considerati come forme infaunali, caratteristiche di ambienti disossici (Kaminski et al., 1995). *Ammonia tepida* è la specie più abbondante nelle aree lagunari; è stata anche ritrovata in ambienti marini poco profondi, lagune e zone deltizie (Almogi-Labin et al., 1992; Debenay et al., 2000, 2005).

4.2.1 Confronto con le precedenti campagne

Rispetto ai risultati dei precedenti campionamenti effettuati nei mesi di novembre 2009, marzo e giugno 2010 si evidenzia un'importante ripresa della biocenosi (esemplari vivi), che si era già osservata in modo più lieve nei campioni prelevati il 17/11/2010.

In Tab. 30 e in Fig. 15 si possono osservare le oscillazioni dei valori della densità faunistica (numero di esemplari per 1 grammo di sedimento secco) a partire dalla prima campionatura (21/11/2009).

Densità Faunistica - Biocenosi

	PC6	PC7	PC11
21/11/2009	18,16	25,78	19,94
30/03/2010	0,38	0,20	0,43
23/06/2010	0,75	0,45	2,70
17/11/2010	5,83	11,26	6,77
20/04/2011	18,94	7,78	29,80

Tabella 30 - Valori di Densità Faunistica della biocenosi nel corso delle campagne di campionamento

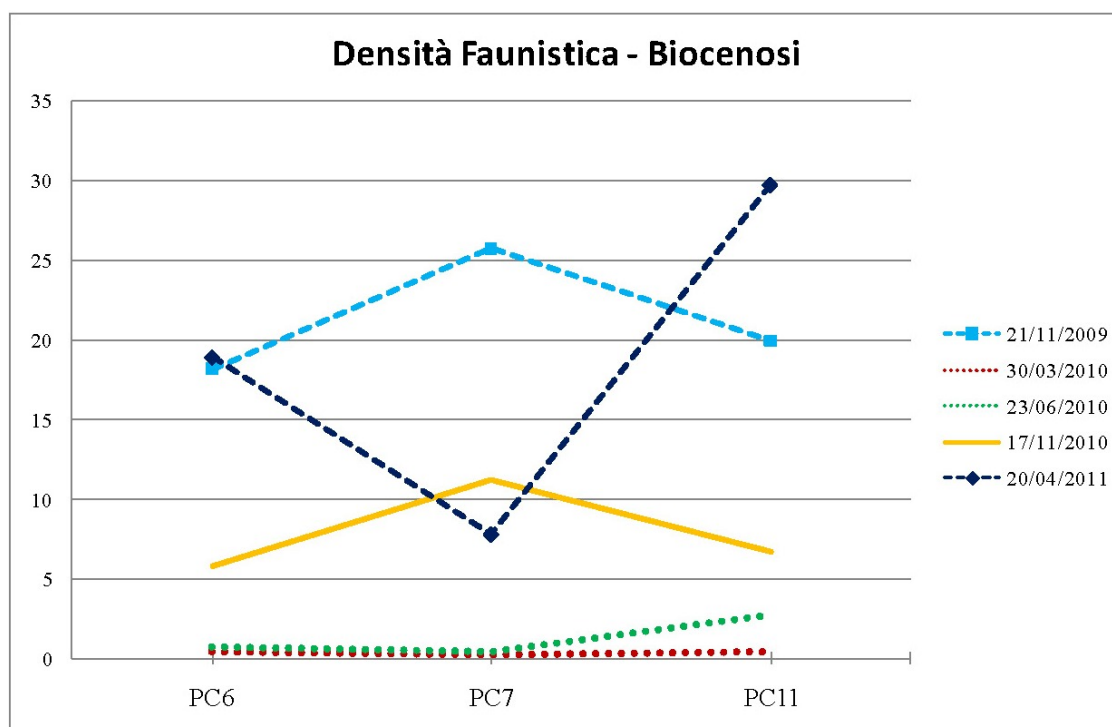


Figura 15 - Valori di Densità Faunistica della biocenosi nel corso delle campagne di campionamento

Si può osservare come i valori di densità faunistica rilevati nei campioni prelevati il 20/04/2011, sebbene ancora inferiori per la stazione PC7, siano simili o superiori (campione PC11) rispetto ai dati relativi alla prima campionatura del 21/11/2009 e sicuramente superiori rispetto alle precedenti.

Nei campioni prelevati nell'ultima campagna è stato possibile effettuare l'analisi delle biocenosi, così come era stato possibile per i campioni della prima campagna (21/11/2009), rendendo così realizzabile un confronto tra i precedenti dati acquisiti. Si rammenta che l'assenza di individui viventi fra i foraminiferi non ha consentito l'analisi delle biocenosi nelle campagne del 30/03/2010, 23/06/2010 e 17/11/2010.

I valori dei restanti indici biotici risultano in aumento rispetto ai dati dei precedenti campionamenti anche se ancora non raggiungono i valori rilevati nella prima campagna (pre inizio lavori).

In Fig. 16 sono riportate le variazioni per l'indice Fisher-a:

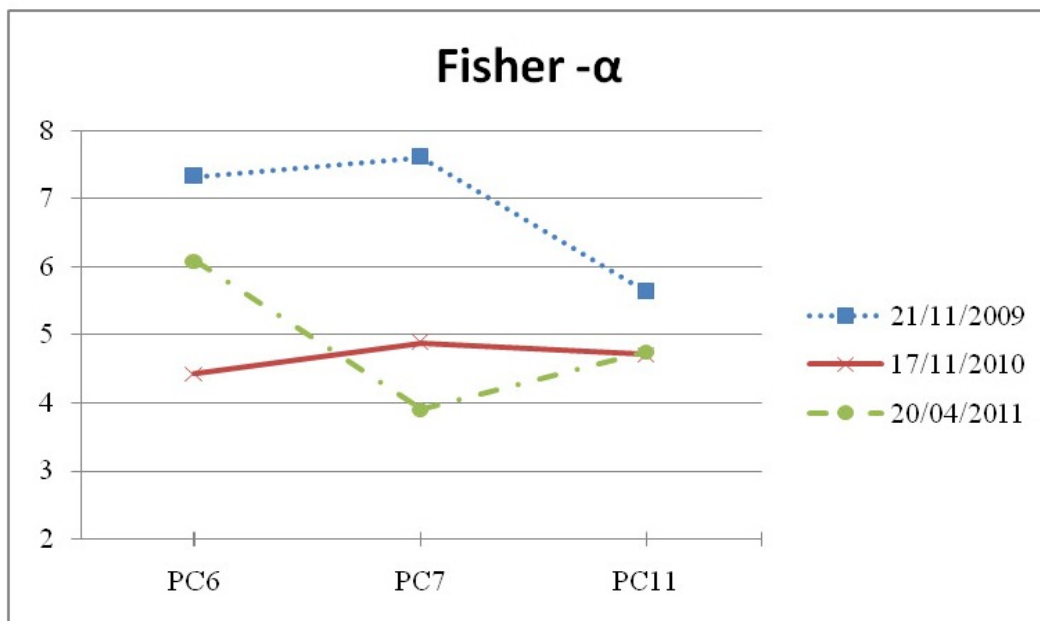


Figura 16 - Valori di Fisher- α della biocenosi nel corso della prima e delle ultime due campagne di campionamento

In Fig. 9 si può osservare il calo nel numero degli esemplari di foraminiferi bentonici vivi (costituenti la biocenosi) verificatosi a partire dal secondo campionamento (30/03/2010), effettuato durante l'attività cantieristica e la progressiva risalita nel corso dei successivi campionamenti.

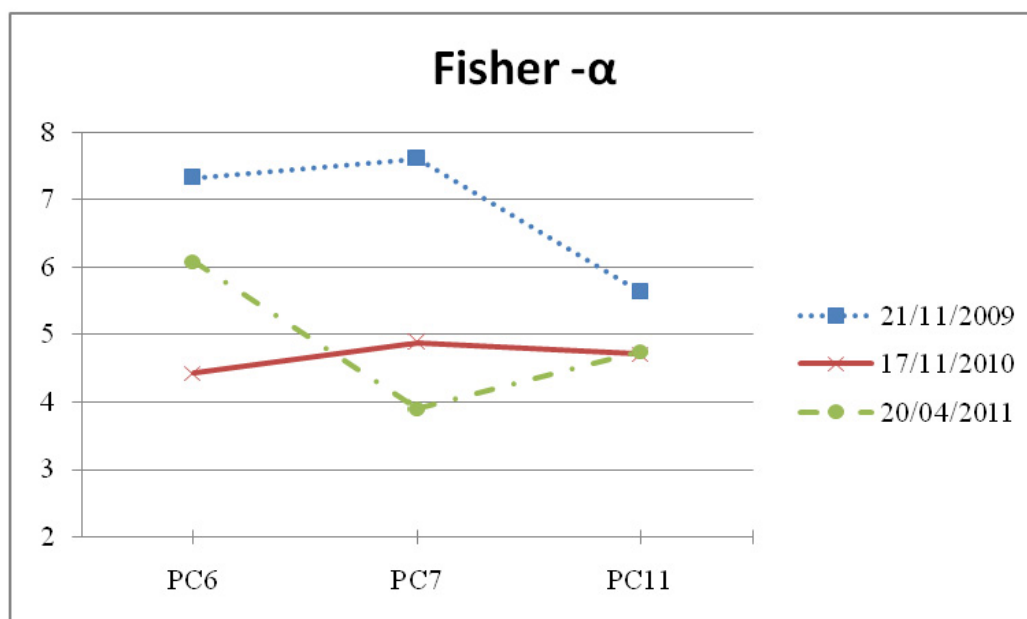


Figura 17 - Numero di esemplari vivi ritrovati nel corso delle cinque campagne di campionamento

In conclusione, allo stato attuale l'analisi dell'associazione a foraminiferi bentonici nell'area indagata denota la tendenza ad un ristabilirsi dell'ambiente deposizionale successivo ad una fase di deterioramento (torbidità che comporta carenza di O₂ e diminuzione della microflora (in rapporto di simbiosi con i foraminiferi) a causa della scarsa penetrazione nell'acqua dei raggi solari).

Questi dati confermano quanto riportato in letteratura (p.e., Hess et al., 2010): sia la macrofauna che i foraminiferi bentonici mostrano una riduzione significativa nel numero dei taxa, nell'abbondanza e nella diversità con l'incremento dei depositi di tipo fangoso nel fondale.

L'aumento del materiale fangoso influenza maggiormente la biocenosi a foraminiferi bentonici rispetto alla biocenosi della macrofauna, probabilmente a causa delle loro più piccole dimensioni e della loro maggiore sensibilità, verso input ambientali, essendo organismi unicellulari non capaci di adottare idonee strategie di sopravvivenza.

La biocenosi a foraminiferi risulta costituita da esemplari piccole dimensioni, tolleranti a basse concentrazioni di ossigeno e affetti da anomalie patologiche. La presenza di un fondale fangoso risulta il fattore limitante per alcune specie di foraminiferi bentonici (p.e. Miliolidi, Elphidiidae) e favorisce invece i taxa opportunisti (p.e. Bolivine, Bulimine, Uvigerine), in grado di vivere anche in condizioni di basse concentrazioni di ossigeno.

L'associazione rinvenuta è ancora indicativa di uno ristabilirsi delle condizioni ambientali di fondo, già evidenziati nei precedenti campionamenti (23.06.2010 e soprattutto 17/11/2010). Confrontando i valori tra la 2a, 3a e 4a campionatura emerge una ripresa più marcata dopo 12 mesi dall'inizio dei lavori

5. CONCLUSIONI

Nel periodo analizzato le concentrazioni delle polveri totali sono risultate sempre inferiori al limite di rilevabilità e dunque molto al di sotto del valore limite soglia di 3000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ individuato dall'ACGIH (American Conference of Industrial Hygienists).

Le deposizioni umide e secche hanno mostrato delle variazioni rispetto ai campionamenti precedenti, tali variazioni sono imputabili a condizioni meteo-climatiche particolari (vedi capitolo 2.1.2) peraltro non risultano essere in alcun modo preoccupanti.

Il monitoraggio della qualità dell'aria con il laboratorio mobile ha consentito di misurare le concentrazioni di PM10, CO, SO₂, NO₂, Benzene, Toluene e Xilene, tutte al di sotto dei limiti.

I risultati del monitoraggio della qualità dell'acqua sono risultati in linea con quelli precedenti, la torbidità ha mostrato un lieve miglioramento, i valori dei nutrienti e della clorofilla a sono risultati sempre piuttosto bassi.

I risultati dei controlli sui foraminiferi hanno evidenziato un'apprezzabile ripresa delle biocenosi.