

**ENI S.p.A.
UPSTREAM DICS**

**SERVIZI DI MONITORAGGIO AMBIENTALE
CAMPO BONACCIA NW**

**MONITORAGGIO DELL'AREA INTERESSATA
DALL'INSTALLAZIONE DELLA CONDOTTA
COLLEGANTE BONACCIA NW A BONACCIA**

FASE DI PRODUZIONE

RAPPORTO SEMESTRALE

3° ANNO

(inverno 2018)

RAPPORTO n. 9

**OPERATORE SCIENTIFICO:
CNR – IRBIM ANCONA**

**COORDINATORE:
GIANNA FABI**

Gianna Fabi

**RESPONSABILE SCIENTIFICO:
ALESSANDRA SPAGNOLO**

Alessandra Spagnolo

**RAPPORTO A CURA DI:
GIANNA FABI**

ALESSANDRA SPAGNOLO

ANNA MARIA DE BIASI

LUDMILA KOZINKOVA

TANIA MANARINI

VERA SALVALAGGIO

ANCONA, 2019

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	1
2.	MATERIALI E METODI.....	4
2.1.	CAMPIONAMENTO IN MARE.....	4
2.1.1.	INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI E SULLA COMUNITÀ BENTONICA	4
2.1.2.	ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI	6
2.2.	ANALISI DI LABORATORIO E ANALISI DEI DATI	7
2.2.1.	INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI	7
2.2.2.	ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI	13
2.2.2.1	<i>Dunaliella tertiolecta</i>	13
2.2.2.2	<i>Vibrio fischeri</i> (sistema Microtox®).....	15
2.2.2.3	<i>Corophium orientale</i>	15
2.2.2.4	<i>Crassostrea gigas</i>	17
2.2.2.5	Ricerca di metalli pesanti in <i>Hediste diversicolor</i>	18
2.2.3.	INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA	19
3.	RISULTATI.....	23
3.1.	INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI.....	23
3.1.1.	GRANULOMETRIA.....	23
3.1.2.	IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	24
3.1.3.	IDROCARBURI TOTALI.....	25
3.1.4.	METALLI PESANTI.....	25
3.1.5.	SOSTANZA ORGANICA.....	30
3.1.6.	TOTAL ORGANIC CARBON (TOC).....	31
3.2.	ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI.....	32
3.2.1.	<i>DUNALIELLA TERTIOLECTA</i>	32
3.2.2.	<i>VIBRIO FISCHERI</i> (SISTEMA MICROTOX®).....	32
3.2.3.	<i>COROPHIUM ORIENTALE</i>	33
3.2.4.	<i>CRASSOSTREA GIGAS</i>	33
3.2.5.	RICERCA DI METALLI PESANTI IN <i>HEDISTE DIVERSICOLOR</i>	34
3.3.	INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA	37
3.3.1.	DENSITÀ (N) E BIOMASSA (P)	37
3.3.2.	AFFINITÀ BIOCENOTICHE DELLE SPECIE RINVENUTE.....	42
3.3.3.	DOMINANZA	42
3.3.4.	RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE (S)	43
3.3.5.	RICCHEZZA SPECIFICA MEDIA (S_M)	44
3.3.6.	DIVERSITÀ SPECIFICA (H').....	45
3.3.7.	MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS).....	45
3.3.8.	VALUTAZIONE DELLO STATO AMBIENTALE	46
3.3.8.1	Indice W di Clarke.....	46
3.3.8.2	Indice AMBI.....	47
3.3.8.3	Indice BENTIX	47
3.3.8.4	Stato ecologico	48
4.	CONCLUSIONI.....	49

5. BIBLIOGRAFIA.....	52
ALLEGATO A Schede tecniche della strumentazione utilizzata nelle indagini	I
- ALL. A1 Indagini fisiche e chimiche dei sedimenti	II
- ALL. A2 Indagini sulla comunità bentonica.....	VII
ALLEGATO B Schede granulometriche 5° survey post lavori (inverno 2018)	IX

PARTECIPANTI AL PROGRAMMA

Coordinatore	G. Fabi	CNR - IRBIM Ancona
Responsabile Scientifico	A. Spagnolo	CNR - IRBIM Ancona

Analisi dei sedimenti ed ecotossicologia

A.M. De Biasi	CIBM Livorno
G. Bontà Pittaluga	CIBM Livorno
S. Dell'Ira	CIBM Livorno
L. Kozinkova	CIBM Livorno
M. Pertusati	CIBM Livorno
S. Polese	CIBM Livorno
O. Spinelli	CIBM Livorno

Comunità bentonica

C. Cuicchi	Cooperativa Mare Ricerca Ancona
T. Manarini	Cooperativa Mare Ricerca Ancona
L. Montagnini	Cooperativa Mare Ricerca Ancona
E. Punzo	CNR - IRBIM Ancona
V. Salvalaggio	CNR - IRBIM Ancona
A. Santelli	CNR - IRBIM Ancona
P. Strafella	CNR - IRBIM Ancona

Hanno inoltre collaborato allo svolgimento dei campionamenti in mare i Sigg.ri Giampaolo Gaetani e Antonio Marziali imbarcati sulla M/R Tecnopesca II del CNR - IRBIM Ancona utilizzata per le indagini.

1. INTRODUZIONE

In riferimento al Decreto n. 0000222 del 09/09/2014 emesso dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare il CNR-IRBIM (ex ISMAR) di Ancona è stato incaricato da ENI S.p.A. – UPSTREAM DICS di effettuare un monitoraggio volto a valutare il potenziale impatto ambientale conseguente l’installazione della piattaforma Bonaccia NW e della condotta sottomarina collegante tale piattaforma alla già esistente Bonaccia.

Bonaccia NW è installata in Adriatico centrale, a circa 60 km in direzione Est dalla costa marchigiana di Ancona, su un fondale di circa 87 m nella zona delle sabbie pelitiche del largo.

L’area in cui sono posizionate le strutture è particolarmente interessante dal punto di vista idrodinamico in quanto, trovandosi sulla mid-line, non è influenzata in maniera consistente dalla circolazione generale dell’Adriatico (verso Nord nel versante croato e verso Sud in quello italiano). Tuttavia, in alcuni periodi dell’anno può essere soggetta a un maggiore idrodinamismo dovuto al passaggio sul fondo di acque dense formatesi nel Nord Adriatico durante la stagione invernale con caratteristiche chimico-fisiche differenti da quelle presenti in zona e che possono modificare le caratteristiche biogeochimiche e la distribuzione spaziale dei sedimenti. La parte più superficiale, vista l’ubicazione della piattaforma, può essere interessata da eventi di Bora anche abbastanza consistenti, che possono determinare variazioni brusche di correnti nella parte più superficiale della colonna d’acqua (10-20 m).

Sulla base di tali considerazioni e delle esperienze condotte o tuttora in corso dal CNR-IRBIM presso analoghe strutture situate in Adriatico centro-settentrionale (Fabi *et al.*, 2001; 2003; 2004; 2005; 2006; 2010; 2013; 2015; 2016; 2017; 2019a; 2019b; 2019c) e delle prescrizioni dell’ARPAM, per quanto concerne la condotta sottomarina si è ritenuto opportuno proporre un programma di monitoraggio comprendente le seguenti indagini:

1. caratteristiche fisiche e chimiche dei sedimenti presenti nel fondo mobile circostante;
2. ecotossicologia dei sedimenti circostanti;
3. caratteristiche delle comunità bentoniche presenti nei sedimenti circostanti;
4. analisi di inquinanti in organismi marini (*Hediste diversicolor*);

Il monitoraggio comprende le seguenti fasi (Tab. 1-I):

- a. Fase precedente alla posa in opera della condotta;
- b. Fase di installazione: in questa fase sono stati effettuati esclusivamente rilevamenti del

passaggio di cetacei mediante operatori MMO.

- c. Fase di esercizio: le indagini verranno condotte per 3 anni dopo la fine dei lavori di installazione con cadenza stagionale (inverno ed estate). Al termine di tale periodo potrà essere valutata l'opportunità di proseguire ulteriormente con i controlli ambientali.
- d. Fase di fine esercizio:
 - 1. pre-smantellamento: in questa fase verrà effettuato un survey per caratterizzare la colonna d'acqua, per verificare lo stato dei sedimenti e per la caratterizzazione delle comunità bentoniche alla fine della fase di esercizio;
 - 2. post-smantellamento: si prevede un monitoraggio della durata di un anno che includerà le indagini sulla colonna d'acqua, sui sedimenti e sulla comunità bentonica. Per le indagini riguardanti la colonna d'acqua è previsto un solo survey, tutte le altre saranno condotte in inverno e in estate.

Per la fase di pre-survey è stato previsto un monitoraggio semplificato rispetto a quelli successivi all'installazione a causa dell'assenza fisica della struttura.

Per quanto concerne la fase d), data la lunga durata della fase di produzione di una condotta sottomarina, si precisa che le modalità di monitoraggio e le indagini sono state redatte sulla base delle esperienze maturate sino ad oggi, ma è verosimile che nel tempo gli approcci metodologici riguardanti sia la dismissione delle strutture che le metodiche di monitoraggio ambientale si evolveranno. Pertanto il piano proposto potrebbe necessitare di modifiche sulla base delle nuove conoscenze acquisite.

Nel presente rapporto sono descritti i risultati conseguiti per la condotta collegante le piattaforme Bonaccia NW e Bonaccia nel 1° semestre del 3° anno post lavori di installazione (inverno 2018).

Tab. 1-I – Survey previsti durante il programma di monitoraggio ambientale.

Fase	Comparti d'indagine	Sea-line
Ante operam	Sedimenti	1-2 survey
	Ecotossicologia dei sedimenti	1-2 survey
	Comunità bentonica	1-2 survey
Cantiere	Rilevamento cetacei	*
Esercizio	Sedimenti	3 anni
	Ecotossicologia dei sedimenti	3 anni
	Comunità bentonica	3 anni
Pre-smantellamento	Colonna d'acqua	1 survey
	Sedimenti	1 survey
	Ecotossicologia dei sedimenti	1 survey
	Comunità bentonica	1 survey
Post-smantellamento	Colonna acqua	1 survey
	Sedimenti	1 anno
	Ecotossicologia dei sedimenti	1 anno
	Comunità bentonica	1 anno

* Monitoraggio in continuo da parte di operatori MMO (rif. DM punto A.7-a)

2. MATERIALI E METODI

La condotta collegante le piattaforme Bonaccia NW e Bonaccia si estende per circa 2,5 km in direzione WNW-ESE (fig. 2.1). I lavori di installazione sono terminati nel settembre 2015.



Fig. 2.1 - Sea-line collegante le piattaforme Bonaccia NW e Bonaccia.

2.1. CAMPIONAMENTO IN MARE

2.1.1. INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI E SULLA COMUNITÀ BENTONICA

I prelievi sono stati effettuati lungo un transetto perpendicolare alla condotta stessa e quindi orientato in direzione SW-NE, posto a circa metà della sua lunghezza (fig. 2.2).

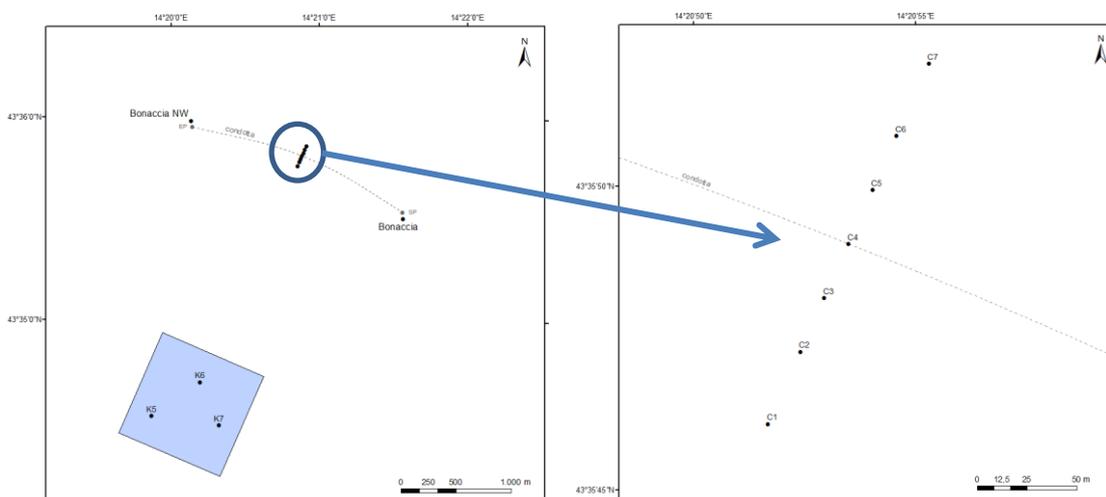


Fig. 2.2 - Schema di campionamento del sea-line per le indagini sedimentologiche e sulla comunità bentonica, con particolare del transetto.

Sul transetto sono state posizionate n. 7 stazioni, di cui 1 nelle immediate vicinanze del sea-line, 3 a distanze crescenti da esso in direzione NE e 3 a distanze crescenti verso SW. Inoltre sono stati campionati 3 siti di controllo posti in modo random all'interno di un'area (1000x1000 m) priva di altre strutture artificiali situata a circa 2000 m dalla condotta in direzione SW. Le coordinate delle singole stazioni campionate nell'inverno 2018, ovvero

nel 5° survey post lavori di installazione, sono riportate in Tab. 2-I.

Tab. 2-I - Dati identificativi delle stazioni di campionamento utilizzate nel 5° survey post lavori per le indagini sedimentologiche e sulla comunità bentonica. In rosso il punto corrispondente al sea-line.

	Distanza dal sea-line (m)	Posizione rispetto al sea-line	Coordinate geografiche	Profondità (m)
C1	100	SW	43°35'771N 14°20'945E	88,5
C2	60	SW	43°35'815N 14°20'940E	87,6
C3	30	SW	43°35'814N 14°20'973E	88,2
C4	0	-	43°35'826N 14°20'988E	87,7
C5	30	NE	43°35'853N 14°20'984E	88,5
C6	60	NE	43°35'868N 14°20'991E	88,0
C7	100	NE	43°35'879N 14°21'012E	87,7
K5	2000	SW	43°35'015N 14°19'861E	86,0
K6	2000	SW	43°35'064N 14°20'052E	86,2
K7	2000	SW	43°35'013N 14°20'100E	86,4

Indagini fisiche e chimiche dei sedimenti - Tutte le stazioni sono state campionate mediante box-corer (fig. 2.3; All. A1-I).

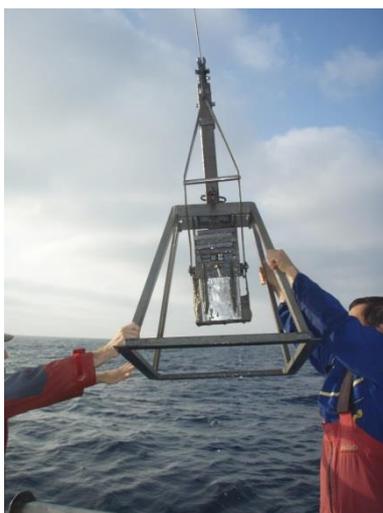


Fig. 2.3 – Box-corer utilizzato per le indagini fisiche e chimiche dei sedimenti.

In situ sono stati rilevati i seguenti parametri:

- aspetto macroscopico (colore, odore, eventuale presenza di frammenti di conchiglie, concrezioni, ecc.);
- tessitura;
- presenza di strutture sedimentarie di varia natura;

Da ciascun campione, dopo la descrizione degli aspetti sopra elencati, sono state prelevate porzioni di sedimento ripartite in due aliquote per le seguenti analisi:

- granulometria;

- Idrocarburi Policiclici Aromatici;
- Idrocarburi totali;
- metalli pesanti (alluminio, arsenico, bario, cadmio, cromo, ferro, gallio, indio, manganese, magnesio, mercurio, nichel, piombo, rame, silicio, stagno titanio, vanadio, zinco, zirconio e ossido di zirconio);
- sostanza organica totale;
- Total Organic Carbon (TOC).

I campioni sono stati congelati e conservati a -18°C ad eccezione di quelli utilizzati per la granulometria, conservati a $+4^{\circ}\text{C}$.

Indagini sulle comunità bentoniche - Tutte le stazioni sono state campionate mediante una benna di tipo Van Veen avente una capacità di 12 L e un'apertura di $0,095\text{ m}^2$ (fig. 2.4; All. A2-I). Presso ogni stazione sono state effettuate 6 repliche. I campioni sono stati lavati e setacciati con maglia da 0,5 mm (All. A2-II) e fissati in formaldeide diluita in acqua di mare al 5%.



Fig. 2.5 – Benna Van Veen utilizzata per le indagini sulla comunità bentonica.

2.1.2. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI

I prelievi sono stati effettuati tramite box-corer sui sedimenti di 4 stazioni di campionamento di cui 1 corrispondente al sea-line (C4), 2 poste a 60 m da esso (C2 e C6) e 1 di controllo (K6). L'eventuale tossicità dei sedimenti nei confronti degli organismi marini è stata valutata tramite l'applicazione della seguente batteria di saggi ecotossicologici:

- *Dunaliella tertiolecta* (accrescimento);
- *Vibrio fischeri* (variazione della bioluminescenza);
- *Corophium orientale* (mortalità dopo 10 giorni);
- *Crassostrea gigas* (embriotossicità).

La ricerca di inquinanti è stata effettuata su esemplari di *Hediste diversicolor*; le prove di

bioaccumulo hanno riguardato i seguenti metalli pesanti: alluminio, arsenico, bario, cadmio, cromo, ferro, indio, mercurio, nichel, piombo, rame, silicio, vanadio, zinco.

Dal campione di sedimento è stata prelevata solo la porzione superficiale (5-10 cm) eliminando lo strato di fango venuto a contatto con le pareti della benna, al fine di evitare eventuali contaminazioni. Il materiale così ottenuto è stato posto in recipienti puliti e conservato a circa 5°C.

2.2. ANALISI DI LABORATORIO E ANALISI DEI DATI

2.2.1. INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI

Granulometria - In laboratorio i campioni di sedimento sono stati pesati tal quali per la determinazione del peso umido utilizzando una bilancia elettronica tipo “Europe” (All. A1-II). Successivamente sono stati posti in contenitori di alluminio e introdotti in stufa (All. A1-III) a 110°C per almeno 24 h. Una volta raggiunta la completa essiccazione si è proceduto alla misurazione del peso secco.

Per la separazione in sabbie e peliti ogni campione è stato immerso in acqua tiepida sino alla sua completa disgregazione; si è quindi proceduto alla setacciatura con maglie da 63 μ . Il materiale trattenuto dal setaccio, definito come sabbie, è stato fatto essiccare in stufa a 130°C per almeno 24 h ed è stato sottoposto ad indagine granulometrica, ovvero è stata analizzata la distribuzione percentuale in peso dei grani costituenti il campione secondo le loro dimensioni. Per questa analisi è stato utilizzato un set di setacci (All. A1-IV) aventi dimensioni delle maglie decrescenti (4000 μ , 2000 μ , 1000 μ , 500 μ , 250 μ , 125 μ , 63 μ). Una volta terminata la setacciatura sono stati pesati i residui di ogni setaccio ed è stata determinata la percentuale conchigliare presente. I dati così ottenuti sono stati riportati su un diagramma semilogaritmico e uniti mediante la cosiddetta “curva granulometrica”.

Le peliti (materiale inferiore a 63 μ) sono state fatte decantare ed essiccare in stufa a 130°C sino a completa evaporazione. E' stata quindi eseguita l'aerometria mediante l'utilizzo di un densimetro (All. A1-V) per terreni secondo il metodo di Casagrande basato su due proprietà: a) velocità con cui si depositano i grani in sospensione in un liquido viscoso in quiete dipende dal volume, dalla forma e dal peso dei granuli stessi (Legge di Stokes); b) la densità della sospensione ad un dato istante è funzione della qualità del prodotto solido non ancora depositato.

IPA - Per la determinazione degli IPA ogni campione è stato scongelato e privato dell'eventuale frazione più grossolana (> 2 mm); in seguito, l'estrazione e l'analisi sono

state compiute su un'aliquota di circa 5 g.

I componenti della miscela di estrazione (IPA), sono stati separati tra loro e rilevati tramite tecnica GC-MS-MS (Gascromatografo associato ad uno spettrometri di massa a triplo quadrupolo; All. A1-VI), per la quantificazione degli IPA presenti nei sedimenti.

Il limite di rilevabilità corrisponde a 0,2 µg/kg di campione s.s.

Sono stati ricercati nei siti di campionamento i 16 IPA indicati dall'EPA come contaminanti di interesse prioritario, espressi in µg/kg di sostanza secca: Naftene, Ace-naftalene, Acenaftene, Fenantrene, Antracene, Fluorantene, Pirene, Benzo(a)antracene, Crisene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Benzo(a)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Fluorene, Benzo(g,h,i)perilene, Indeno(1,2,3,c,d)pirene. Le rette di calibrazione sono state elaborate con la tecnica dello standard interno.

Idrocarburi totali - Per gli idrocarburi leggeri (C<12) sono stati seguiti i metodi EPA 5021A (2003a) e EPA 8015D (2003b). 5 g di sedimento sono posti in vial in cui sono stati aggiunti 10 ml di acqua procedendo al riscaldamento della miscela a 65°C per 1 h. Successivamente 0,5 ml sono stati iniettati nello spazio di testa in Gascromatografia (GC) con rilevatore FID (All. 1-VII).

Gli idrocarburi pesanti (C>12) sono stati determinati seguendo il metodo ISO 16703 (2004). I campioni sono stati essiccati all'aria e una quantità nota omogeneizzata è stata estratta mediante sonificazione con acetone /n-eptano. Nella soluzione estraente è stata aggiunta la soluzione di riferimento per la finestra dei tempi di ritenzione (RTW) contenente n-tetracontano e n-dodecano. L'estratto è stato purificato su colonna Florisil. Un'aliquota dell'estratto purificato è stata quindi analizzata in GC-FID ed è stata misurata l'area totale dei picchi presenti nell'intervallo delimitato dalle due soluzioni di riferimento di n-tetracontano e n-dodecano. La quantità di idrocarburi è stata determinata mediante confronto con una soluzione di riferimento esterno costituito da quantità uguali di due differenti tipi di oli minerali.

Metalli pesanti - Sono stati analizzati i seguenti elementi, espressi in percentuale o mg/kg di sostanza secca: alluminio, arsenico, bario, cadmio, cromo, ferro, gallio, indio, manganese, magnesio, mercurio, nichel, piombo, rame, silicio, stagno titanio, vanadio, zinco e zirconio e ossido di zirconio.

La mineralizzazione dei campioni è stata effettuata su circa 0,3 g di sostanza secca, mediante un sistema di digestione a microonde opportunamente programmato, aggiungendo a 3 ml di HNO₃, 1 ml di HCl e 4 ml di H₂O.

Al termine della mineralizzazione i campioni sono stati filtrati e portati a un volume finale

di 25 ml utilizzando acqua ultrapura. Gli acidi impiegati sono tutti rigorosamente ultrapuri. L'analisi per la determinazione del **mercurio** è stata condotta mediante tecnica AAS previa decomposizione termica ed amalgamazione (DMA-80 Analizzatore Diretto del Mercurio FKV; All. A1-VIII) seguendo la metodica EPA 7473 (2007a). La prova è stata effettuata direttamente sul campione tal quale (senza passaggio di mineralizzazione) pesando aliquote comprese tra 10 e 100 mg.

Le determinazioni di **cadmio**, **arsenico** e **piombo** sono state condotte mediante spettroscopia di assorbimento atomico in fornetto di grafite (Varian SpectrAA-240Z. All. A1-IX), secondo la procedura EPA 7010 (2007b).

Le concentrazioni di **alluminio**, **bario**, **cromo**, **nicel**, **rame**, **silicio**, **ferro**, **vanadio**, **zinco**, **manganese**, **magnesio**, **titanio**, **gallio**, **zirconio** e **stagno** sono state ottenute mediante tecnica ICP-AES (Varian ICP-720ES; All. A1-X) seguendo la metodica EPA 6010C (2007c).

La mineralizzazione del campione di sedimento è stata effettuata su circa 0,45 g di sostanza secca mediante un sistema di digestione a microonde opportunamente programmato, utilizzando una miscela acida composta da 9 ml di HNO₃, 3 ml di HCl (acidi concentrati). Al termine della mineralizzazione i campioni sono stati filtrati e portati a un volume finale di 25 ml utilizzando acqua Millipore.

L'analisi per la determinazione dell'**indio** è stata effettuata tecnica ICP-MS (Agilent Mod. 7700; All. A1-XI) previa mineralizzazione acida impiegando un sistema "Digiprep" specifico per l'introduzione di campioni nell'ICP MS. Sono stati utilizzati circa 0,5 g di sostanza secca, mineralizzati con 10 ml di Acido Nitrico e portati a un volume finale di 50 ml utilizzando acqua Millipore.

L'accuratezza delle procedure di digestione e di analisi dei campioni è stata verificata impiegando i materiali standard di riferimento (LGC 6137 o MESS-3).

L'**ossido di zirconio** è stato stimato tramite calcoli stechiometrici a partire dalla determinazione quantitativa dello zirconio, ovvero moltiplicando la concentrazione di Zr per il fattore stechiometrico 1,35 (rapporto tra massa molecolare dell'ossido di zirconio e massa atomica dello zirconio). Tale calcolo parte dall'ipotesi che tutto il metallo sia presente nel sedimento sotto forma di Ossido. Tale stima è, pertanto, approssimata per eccesso (per questo in tabella viene indicato "<" di) e può variare da campione a campione. In Tab. 2-II si riportano i dettagli relativi al controllo di qualità del dato analitico per i metalli ricercati.

Tab. 2-II - Accuratezza, incertezza, LOQ e LOD relativi ai metalli ricercati.

	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	In	Ni
Accuratezza (minima accettabilità del recupero)	25%	25%	25%	30%	25%	25%	20%	25%	nd	25%
Incertezza (%)	21	25	25	25	21	20	20	20	nd	20
LOQ (mg/kg)	170	0,3	1,2	0,02	1,2	1,2	170	0,005	0,02	1,2
LOD (mg/kg)	5	0,07	0,2	0,002	0,04	0,12	5	0,002	0,01	0,25

	Pb	Si	V	Zn	Ga	Mg	Mn	Sn	Ti	Zr
Accuratezza (minima accettabilità del recupero)	25%	nd	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Incertezza (%)	21	nd	20	20	nd	16	20	nd	nd	19
LOQ (mg/kg)	0,3	5	1,2	1,2	1,2	170	5	1,2	1,2	1,2
LOD (mg/kg)	0,07	205	0,07	0,6	0,2	5	0,02	0,4	0,15	0,05

Sostanza organica - La determinazione della sostanza organica è stata eseguita mediante calcinazione in muffola: sono stati prelevati circa 3 grammi di sostanza essiccata (in stufa per 48h a 40°C) che sono stati successivamente posti in muffola a 375°C fino a peso costante.

TOC - Il Total Organic Carbon è stato determinato seguendo il Metodo VII.3 - *Determinazione del carbonio organico* (metodo walkley-black, DM 13/09/1999 - Ministro per le Politiche Agricole). Il carbonio organico è stato ossidato ad anidride carbonica, in condizioni standardizzate, con soluzione di potassio bicromato in presenza di acido solforico. La velocità della reazione viene favorita dall'innalzamento della temperatura conseguente alla brusca diluizione dell'acido. Dopo un tempo stabilito, la reazione è stata interrotta per aggiunta di opportuna quantità di H₂O e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito è stata determinata per titolazione con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato. Il punto finale della titolazione è stato accertato con l'aggiunta di un opportuno indicatore di ossidoriduzione.

2.2.2. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI

2.2.2.1 *Dunaliella tertiolecta*

Il saggio di crescita algale con la cloroficea *Dunaliella tertiolecta* è stato eseguito secondo le indicazioni riportate nella linea guida ASTM E1218-04 (2004a). Il saggio consiste nell'esposizione di una quantità definita di clone algale in condizioni di crescita

esponenziale a diverse diluizioni di campione (nella fattispecie elutriato) e al controllo negativo costituito da sola acqua marina artificiale. Prima dell'inoculo del clone algale, tutti i trattamenti, compreso il controllo, sono stati arricchiti con macro- e micronutrienti secondo le specifiche riportate in USEPA (1995).

Preparazione degli elutriati - L'elutriato è stato preparato secondo il metodo ICRAM (2001), utilizzando come acqua di lavorazione il medium preparato secondo le specifiche riportate nella norma UNI EN ISO 10253:2000 (2000).

Esecuzione del saggio – Il saggio con *D. tertiolecta* è stato condotto in triplicato, effettuando 5 diluizioni a partire dal campione tal quale; come supporto sono state utilizzate piastre sterili di polistirene da 24 pozzetti della capacità di 3 ml ciascuno. Parallelamente, per ogni piastra è stato eseguito anche un test con un controllo negativo costituito da acqua di diluizione (acqua di mare ISO a cui sono state aggiunte concentrazioni note di nutrienti). A ciascuna diluizione e al controllo è stata aggiunta una concentrazione nota di clone algale in rapporto di 1:1000. Una volta inoculato il clone algale (concentrazione iniziale 2×10^3 cellule ml^{-1}), le piastre sono state trasferite per 72 h in camera fitologica a condizioni di temperatura e luminosità controllate ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, luminosità < 10000 lux). Al termine dell'esposizione è stata verificata la crescita algale nel campione, espressa come densità algale, mediante lettura al Coulter Counter; si è proceduto quindi al conteggio delle tre repliche del campione tal quale e del controllo e al loro confronto statistico, per verificare eventuali aumenti o diminuzioni significative della crescita algale nel campione rispetto al controllo e procedere eventualmente alla lettura delle altre diluizioni.

Espressione e analisi dei dati – I risultati del saggio possono essere riportati come percentuale di inibizione della crescita algale e, qualora la tossicità del campione lo consenta, in termini di EC_{50} o EC_{20} . L' EC_{50} e l' EC_{20} si calcolano utilizzando il foglio Excel sviluppato dalla DTU (Danmarks Tekniske Universitet) denominato "KOK457T3" che utilizza i programmi statistici LOG457.EXE e LOG457W.EXE elaborati per la determinazione della relazione concentrazione-effetto in endpoint continui (Christensen *et al.*, 2009). Sulla base dei risultati espressi in termini di inibizione/stimolazione della crescita e dell'analisi statistica del dato eco-tossicologico (eseguita secondo lo schema USEPA, 1991), i risultati del saggio possono essere suddivisi nelle seguenti categorie:

- *assenza di effetto*: percentuale di inibizione/stimolazione inferiore al 20% ed assenza di differenze significative;
- *presenza di significativo effetto eutrofizzante*: percentuale di biostimolazione $> 20\%$ e

differenza significativa rispetto alla crescita nel controllo;

- *presenza di significativo effetto tossico*: inibizione della crescita > 20% e differenza significativa con il controllo.

QA/QC - La sensibilità di ogni clone algale impiegato per i test con i campioni di elutriato è stata verificata mediante il test di controllo positivo eseguito con bicromato di potassio il cui risultato, espresso come EC₅₀, è stato confrontato con i dati della carta di controllo del laboratorio il cui intervallo è compreso tra 5,8 e 9,9 mg/l come cromo; altri parametri che devono essere rispettati affinché il test sia considerato valido sono:

- la densità cellulare dopo 72 h deve aumentare di un fattore non inferiore a 16 rispetto al valore di partenza (2×10^3 cellule ml⁻¹);
- il coefficiente di variazione nei controlli e nel campione tal quale (CV%) $\leq 15\%$.

2.2.2.2 *Vibrio fischeri* (sistema Microtox®)

Preparazione dell'elutriato - Gli elutriati sono stati preparati dai sedimenti freschi secondo il protocollo indicato in ICRAM (2001).

Un'aliquota del sedimento da testare è stata unita con il volume calcolato dell'acqua di mare naturale filtrata in rapporto 1:4. Le sospensioni ottenute sono state poste in agitazione per 1 h e centrifugate a temperatura di 10°C per 20' a 3000 rpm. Il soprannatante, che rappresenta l'elutriato, è stato prelevato con cautela e conservato a temperatura di -30°C. Prima dell'allestimento del test sono misurati il pH e la salinità dell'elutriato. La scala di tossicità adottata è riportata in Tab. 2-III.

Tab. 2-III - Scala di tossicità adottata per il saggio Microtox®.

Critério	Tossicità
EC ₂₀ ≥ 90%	Assente
EC ₂₀ < 90% e EC ₅₀ ≥ 90%	Bassa
20% ≤ EC ₅₀ < 90%	Media
EC ₅₀ < 20%	Alta

2.2.2.3 *Corophium orientale*

Il saggio effettuato con esemplari di *Corophium orientale* è stato allestito secondo il protocollo ISO 16712:2005(E) (2005). Il principio del saggio biologico “a breve termine” (di tossicità acuta) consiste nell'esposizione di un numero stabilito di organismi per 10 gg al sedimento tal quale, con la finalità di stimare la percentuale di mortalità degli organismi stessi. Gli anfipodi sono campionati setacciando il loro sedimento nativo con setaccio a maglia di 0,5 mm, che permette di selezionare organismi di ~4 mm idonei per il test,

scartando gli individui maturi e le forme giovanili. Gli anfipodi selezionati sono quindi stati portati in laboratorio e acclimatati alle seguenti condizioni del test:

- temperatura dell'acqua: $16\pm 2^{\circ}\text{C}$
- salinità: $36\pm 2\text{‰}$
- illuminazione: continua
- O_2 disciolto nell'acqua sovrastante il sedimento: $>60\%$.

Procedimento del saggio - Circa 200 cc di sedimento da testare sono stati introdotti in un barattolo di vetro da 1 l e sono stati aggiunti circa 750 cc di acqua di mare naturale filtrata. Per ogni campione sono state allestite 4 repliche. Dopo 24 h sono stati immessi 25 individui in ciascun barattolo. Come sedimento di controllo è stato utilizzato il sedimento nativo proveniente da un sito non contaminato. I barattoli contenenti gli organismi sono stati coperti per ridurre l'evaporazione dell'acqua, posti alla temperatura di $16\pm 2^{\circ}\text{C}$ e areati in continuo. Dopo 10 gg è stato vagliato il contenuto di ogni barattolo contando gli organismi ancora vivi. Sono stati considerati morti gli anfipodi che, dopo una delicata stimolazione, non mostravano alcun movimento degli arti. La sensibilità degli organismi (96hLC50) è stata determinata tramite l'esposizione per 96 h alle concentrazioni di 0,8; 1,6; 3,2 e 6,4 mg l^{-1} CdCl_2 .

All'inizio e alla fine del saggio biologico sono stati misurati i seguenti parametri dell'acqua sovrastante il sedimento: pH, salinità, NH_4^+ e ossigeno disciolto.

Elaborazione dei dati - Il saggio biologico è considerato valido quando la mortalità media all'interno del sedimento di controllo è $\leq 15\%$ e quando la mortalità nella singola replica per l'intero periodo di esposizione è $\leq 20\%$. Sia nei campioni da testare che nel sedimento di controllo sono state calcolate le percentuali medie (\pm deviazione standard) degli anfipodi morti. La percentuale di mortalità rilevata in ogni campione è stata confrontata con quella nel sedimento di controllo. Il livello di tossicità è stato valutato prendendo in considerazione la percentuale di mortalità degli organismi osservata nei campioni da saggiare, corretta con la formula di Abbott (M). La scala adottata per la quantificazione della tossicità è riportata in Tab. 2-IV.

Tab. 2-IV – Scala di tossicità relativa al test con *C. orientale*.

Tossicità a lungo termine	Giudizio
$M < 15\%$	Assente
$15\% < M \leq 30\%$	Bassa
$30\% < M \leq 60\%$	Media
$M > 60\%$	Alta

2.2.2.4 *Crassostrea gigas*

Il test di embriotossicità con *C. gigas* è stato eseguito in accordo con la linea guida standard ASTM E724-98 (2004b). Il saggio si basa sulla stima della percentuale di larve normoformate (larve D-shape) al termine delle 48 h di esposizione alla matrice di saggio, in questa circostanza rappresentata dall'elutriato.

Preparazione degli elutriati - L'elutriato è stato preparato secondo il metodo ICRAM (2001), utilizzando come acqua di lavorazione il medium preparato secondo le specifiche riportate nella guida ASTM E724-98 (2004b).

Esecuzione del saggio – Il test di embriotossicità è stato eseguito esponendo zigoti di *C. gigas* fecondati da meno di 4 h a diverse diluizioni del campione di elutriato da saggiare. Come acqua di diluizione è stato utilizzato il medium ASTM a S = 34. Il saggio è stato condotto utilizzando delle piastre sterili in polistirene con 24 pozzetti da 3 ml come supporto, in cui sono stati inoculati 60-70 zigoti per ml. L'esposizione è stata quindi condotta in triplicato, in condizioni di temperatura controllata (20°C), al buio, per 48 h. Al termine del test, il contenuto di tutti i pozzetti è stato fissato con una goccia di formalina tamponata ed è stata determinata la percentuale di larve normoformate (larve D) impiegando un microscopio ottico invertito.

QA-QC - La sensibilità di ogni batch di *C. gigas* è stata valutata mediante l'esecuzione del test con sostanza di riferimento (Cu); i risultati di tale test devono rientrare nei limiti della carta di controllo intralaboratorio (5-33 µl/l). La % di larve normalmente sviluppate nel controllo con la sola acqua di diluizione deve inoltre essere superiore al 70%.

Espressione e analisi dei dati – I risultati del saggio di embriotossicità possono essere espressi sia in termini di percentuale di successo del test normalizzata (S%) rispetto alla risposta del controllo (acqua marina artificiale), sia in termini di EC₅₀, qualora la distribuzione dei dati relativi alle singole repliche ne consenta il calcolo tramite il software Trimmed Spearman Karber v3.1 messo a disposizione da USEPA nel proprio portale. I dati di EC₅₀ sono successivamente trasformati in unità di tossicità (TU) secondo l'equazione $TU = 100/EC_{50}$.

Al dato di tossicità è stato associato un giudizio qualitativo secondo lo schema riportato in Tab. 2-V.

Tab. 2-V - Scala di tossicità per il saggio di embriotossicità con *C. gigas* (da Losso *et al.*, 2007).

Parametro	Giudizio di Tossicità		
S > TL	Assente	Semiscala dell'effetto	S > 50
50 < S ≤ TL	Bassa		
1 ≤ TU < 2	Media	Semiscala delle T.U.	S ≤ 50
2 ≤ TU < 4	Alta		
TU ≥ 4	Molto alta		

Dove:

$$S = [(Sopravvisuti campione) / (Sopravvisuti controllo)] \cdot 100$$

$$TL = \text{Toxicity limit} = \text{Controllo} \cdot 90\% \text{ del controllo}$$

2.2.2.5 Ricerca di metalli pesanti in *Hediste diversicolor*

Procedimento del test - Il test di bioaccumulo è stato eseguito secondo i protocolli ASTM E1688-97a (1998; reapproved 2007) ed EPA/600//R-93/183 (1993).

Gli organismi non maturi di *Hediste diversicolor* (taglia 6-10 cm) sono stati campionati manualmente dalle porzioni di un sedimento estuario.

Dopo il trasporto in laboratorio, sono stati sottoposti a spurgo per 3 gg in sabbia quarzifera sommersa in acqua proveniente dal sito di campionamento, areata continuamente. La salinità dell'acqua sovrastante la sabbia quarzifera è stata gradualmente portata al 36±2‰, ovvero a un livello corrispondente alla salinità richiesta nel test.

Allestimento del test - Il test è stato allestito in tre repliche per ogni campione di sedimento da testare poste in barattoli di vetro da 1 lt. In ogni barattolo sono stati inseriti ~300 cm³ di sedimento da testare, ai quali sono stati aggiunti circa 600 ml di acqua di mare naturale filtrata (36±2‰). I barattoli sono stati quindi sistemati in camera condizionata, coperti e areati in continuo. Dopo 24 h dall'introduzione dei sedimenti sono stati registrati i parametri di inizio del test (pH, salinità, NH₄⁺ e ossigeno disciolto) e in ogni barattolo sono stati immessi 5 individui di *H. diversicolor*. Per l'intera durata del test i barattoli sono stati mantenuti alla temperatura di 16±2°C, aerati e illuminati senza alcun fotoperiodo. Come sedimento di controllo è stato utilizzato un sedimento nativo proveniente da un sito non contaminato. Il sedimento di controllo non contiene contaminanti o li contiene in concentrazioni molto basse. Il confronto tra il sedimento testato e il controllo consiste nella misura del livello di bioaccumulo. Il confronto degli organismi di controllo all'inizio e alla fine del periodo di esposizione indica se la contaminazione è avvenuta dall'acqua o dal sistema di esposizione. La mortalità degli organismi nel sedimento di controllo non dovrebbe superare il 10%.

Dopo 28 gg sono stati annotati i parametri finali del test e sono stati recuperati gli organismi dai singoli barattoli tramite setacciatura; gli individui vivi sono stati contati e

reinserti in barattoli contenenti sabbia quarzifera e acqua di mare filtrata. Dopo 3 gg i policheti spurgati sono stati recuperati e lavati in acqua distillata per 1 h per liberarli dal muco e dai residui della sabbia. Successivamente, sono stati congelati e sottoposti ad analisi chimica.

Elaborazioni dei dati - Per valutare l'eventuale bioaccumulo nei tessuti degli organismi è stata adottata la seguente formula:

$$D = (C_e - C_b)$$

dove: **D** – variazione (riferita al bianco, ovvero alla quantità di metallo pesante presente nei tessuti degli organismi prima dell'inizio del test) della concentrazione dei metalli pesanti nei policheti a seguito dell'esposizione al sedimento da testare.

C_b - concentrazione del metallo nei tessuti degli organismi prima (bianco) della loro esposizione ai sedimenti testati;

C_e - concentrazione del metallo nei tessuti degli organismi dopo la loro esposizione ai sedimenti testati.

Si ritiene significativa al fine della valutazione del bioaccumulo una differenza $\geq 20\%$.

2.2.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA

Durante le analisi di laboratorio le sei repliche prelevate in ciascuna stazione sono state trattate separatamente. Il sorting è stato compiuto con l'ausilio di uno stereomicroscopio e di un microscopio ottico (All. A2-III e A2-IV) e l'identificazione degli organismi è stata effettuata al più basso livello sistematico possibile. Gli individui appartenenti allo stesso gruppo sono stati contati e pesati (All. A2-V). Per ogni stazione sono stati quindi calcolati i seguenti indici medi utilizzando i dati relativi alle 6 repliche:

Densità (N): $N \text{ ind}/0,095 \text{ m}^2$

Biomassa (P): $gr/0,095 \text{ m}^2$

Indice di Dominanza (D; May, 1975): $D = n_i/N$

dove n_i = numero di individui della specie i -esima; N = numero totale di individui.

Ricchezza specifica totale (S; Pielou, 1974): *Numero totale di specie presenti nelle sei repliche*

Ricchezza specifica media (S_m): *Numero medio di specie presenti nelle sei repliche*

Diversità specifica di Shannon-Weaver (H'): $H' = -\sum p_i \cdot \text{Log } p_i$

dove: p_i = frequenza numerica della specie i -esima rispetto al totale degli individui (Pielou, 1974).

Le affinità biocenotiche o le preferenze ecologiche (Pérès e Picard, 1964; Bellan Santini e Ledoyer, 1972; Amouroux, 1974; Bourcier *et al.*, 1979; Bellan *et al.*, 1980; Nodot *et al.*, 1984; Salen-Picard, 1985; Augier, 1992; Bianchi *et al.*, 1993; Poppe e Goto, 1991; 1993;

Rinelli e Spanò, 1997; Chimenz Gusso *et al.*, 2001) sono state ricercate per tutti i taxa determinati a livello di specie.

Con i dati di densità delle singole specie sono state calcolate le curve di dominanza cumulativa. Per ricercare eventuali somiglianze tra le stazioni campionate con i dati di densità è stata effettuata un'analisi statistica multivariata utilizzando il pacchetto software PRIMER (Clarke e Warwick, 2001).

Infine, per valutare lo stato ecologico dell'area, sono stati confrontati i risultati di tre differenti indici (l'indice W di Clarke, l'indice AMBI e l'indice BENTIX; Clarke e Warwick, 2001; Borja *et al.* 2000; Simboura e Zenetos, 2002; Muxika *et al.*, 2007; Borja e Mader, 2008), seguendo quanto suggerito da Teixeira *et al.* (2007).

L'indice W prevede l'integrazione dei dati di abbondanza numerica e di biomassa delle singole specie. Tale metodo si basa sul presupposto che in aree stabili è favorita la presenza di specie con una "strategia di tipo k", con ciclo vitale lungo, grandi dimensioni corporee degli individui adulti, raramente dominanti numericamente, ma dominanti in termini di biomassa. Al contrario, nelle comunità disturbate, viene favorita la presenza di specie con "strategia di tipo r", dette anche opportuniste, caratterizzate da un ciclo vitale breve e piccola taglia corporea, che generalmente risultano dominanti numericamente (Pianka, 1970).

L'indice si basa sulla seguente formula:

$$\sum_i^S (B_i - A_i) / [50(S-1)]$$

dove: B_i e A_i = biomassa e abbondanza della specie i -esima; S = Ricchezza specifica totale.

Questo indice oscilla da -1 a +1 e indica nel primo caso la presenza di una comunità fortemente disturbata e, nel secondo, la presenza di un ambiente non perturbato. Nel caso in cui il valore sia vicino allo 0, l'ambiente è da considerare moderatamente perturbato (Craeymeersch, 1991). Per ottenere una classificazione della qualità dell'ambiente si è deciso di utilizzare gli intervalli di valori dell'indice W riportati in Tab. 2-VI.

Tab. 2-VI - Classificazione della qualità dell'ambiente in base al range di valori dell'indice W.

Classificazione dell'ambiente	W
Non disturbato	$1,000 \geq W \geq 0,700$
Leggermente disturbato	$0,699 \geq W \geq 0,300$
Moderatamente disturbato	$0,299 \geq W \geq -0,100$
Povero	$-0,101 \geq W \geq -0,500$
Pessimo	$-0,501 \geq W \geq -1,000$

L'indice AMBI assume valori compresi tra 0 (ambiente non inquinato o disturbato) a 7 (ambiente estremamente inquinato o disturbato).

Basandosi essenzialmente sul rapporto percentuale delle specie presenti nel campione, previamente suddivise in 5 gruppi ecologici in base al grado di tolleranza o sensibilità a un gradiente di stress ambientale, consente di classificare, come richiesto dalla Direttiva 2000/60/EC, gli ambienti marini costieri nelle seguenti categorie:

1. non disturbati ($0 \leq \text{AMBI} \leq 1$);
2. leggermente disturbati ($1 \leq \text{AMBI} \leq 3,5$);
3. moderatamente disturbati ($3,5 \leq \text{AMBI} \leq 5$);
4. molto disturbati ($5 \leq \text{AMBI} \leq 6$);
5. estremamente disturbati ($6 \leq \text{AMBI} \leq 7$).

I gruppi ecologici nei quali vengono raggruppate le specie (il cui elenco disponibile nel software AMBI 5.0 è aggiornato a giugno 2017) sono identificati soprattutto in base alla loro sensibilità ad arricchimenti organici:

- gruppo I: Specie molto sensibili ad arricchimento organico e presenti solo in condizioni ambientali ottimali. Tale gruppo include i carnivori specialisti e alcuni policheti tubicoli detritivori.
- gruppo II: Specie indifferenti all'arricchimento organico, sempre presenti in basse densità senza particolari variazioni nel tempo. Esse includono sospensivori, alcuni carnivori poco selettivi e scavatori.
- gruppo III: Specie tolleranti a un eccessivo arricchimento organico nei sedimenti. Queste specie possono essere presenti in condizioni normali, ma le loro popolazioni sono stimolate da un aumento di sostanza organica. Si tratta prevalentemente di detritivori superficiali.
- gruppo IV: Specie opportuniste di secondo ordine; principalmente piccoli policheti detritivori sub-superficiali, come i cirratulidi.
- gruppo V: Specie opportuniste di primo ordine; sono detritivori che proliferano in sedimenti poco ossigenati e ridotti.

Gli intervalli di valori dell'indice AMBI e la conseguente classificazione della qualità dell'ambiente sono riportati in Tab. 2-VII.

Infine, l'indice BENTIX è stato sviluppato per stabilire gli impatti causati da fattori di stress generalizzati e non discrimina tra disturbo di origine naturale o antropogenica.

Questo indice si basa sulla suddivisione dei taxa di fondo mobile (per i quali è fornita una lista) in 2 principali gruppi ecologici:

Tab. 2-VII - Classificazione della qualità dell'ambiente in base al range di valori dell'indice AMBI.

Environmental Classification	AMBI
Ambiente non inquinato	$0,0 < \text{AMBI} \leq 1,2$
Ambiente leggermente inquinato, di transizione	$1,2 < \text{AMBI} \leq 3,3$
Ambiente moderatamente inquinato	$3,3 < \text{AMBI} \leq 5,0$
Ambiente fortemente inquinato	$5,0 < \text{AMBI} \leq 6,0$
Ambiente estremamente inquinato	Azoico

1. gruppo 1 (GS): include specie sensibili a un disturbo in generale;
2. gruppo 2 (GT): include specie tolleranti a un disturbo o a uno stress.

Una volta composti i due gruppi sopra citati, viene applicato il seguente algoritmo:

$$\text{BENTIX} = (6 \times \% \text{GS} + 2 \times \% \text{GT})/100$$

dove: %G = percentuale della somma delle densità di ciascun gruppo sulla densità totale registrata nella stazione di campionamento.

Sulla base dei risultati ottenuti, per ogni sito di campionamento è stato possibile stilare una classifica della qualità dell'ambiente secondo i criteri riportati in Tab. 2-VIII. In Tab. 2-IX è infine riportata la classificazione dello stato ecologico dell'ambiente indicata in Bettencourt *et al.* (2004) sulla base della combinazione di tre differenti indici.

Tab. 2-VIII - Classificazione della qualità dell'ambiente in base al range di valori dell'indice BENTIX (Zenetos *et al.*, 2004).

Environmental Classification	BENTIX
Ambiente non inquinato	$4,5 \leq \text{BENTIX} < 6$
Ambiente leggermente inquinato, di transizione	$3,5 \leq \text{BENTIX} < 4,5$
Ambiente moderatamente inquinato	$2,5 \leq \text{BENTIX} < 3,5$
Ambiente fortemente inquinato	$2 \leq \text{BENTIX} < 2,5$
Ambiente estremamente inquinato	Azoico

Tab. 2-IX - Classificazione dello stato ecologico derivata dalla combinazione di tre differenti indici (Bettencourt *et al.*, 2004).

Indice n. 1	Indice n. 2	Indice n. 3	Stato ecologico
non disturbato	non disturbato	non disturbato	alto
non disturbato	non disturbato	leggermente disturbato	alto/buono
non disturbato	leggermente disturbato	leggermente disturbato	buono
leggermente disturbato	leggermente disturbato	leggermente disturbato	buono
leggermente disturbato	leggermente disturbato	moderatamente disturbato	buono/moderato
leggermente disturbato	moderatamente disturbato	moderatamente disturbato	moderato
moderatamente disturbato	moderatamente disturbato	moderatamente disturbato	moderato
moderatamente disturbato	moderatamente disturbato	fortemente disturbato	moderato/povero
moderatamente disturbato	fortemente disturbato	fortemente disturbato	povero
fortemente disturbato	fortemente disturbato	fortemente disturbato	povero
estremamente disturbato	fortemente disturbato	fortemente disturbato	povero/pessimo
estremamente disturbato	estremamente disturbato	fortemente disturbato	pessimo
estremamente disturbato	estremamente disturbato	estremamente disturbato	pessimo

3. RISULTATI

3.1. INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI

3.1.1. GRANULOMETRIA

All'analisi visiva tutti i sedimenti monitorati nel 5° survey post lavori di installazione di Bonaccia NW (inverno 2018) sono apparsi di colore grigio-nocciola, ossigenati e inodori, senza evidenti distinzioni tra loro.

Dall'analisi granulometrica (fig. 3.1 e Tab. 3-I) lungo il transetto è emerso un graduale decremento della sabbia da C4 (64,7%) verso i siti più lontani in entrambe le direzioni. Nei controlli il valore maggiore di questa componente è stato rilevato in K5 (69%), il minimo in K7 (58,7%). La frazione pelitica è apparsa costituita in prevalenza da silt, caratterizzato lungo il transetto da un andamento opposto a quello della sabbia. L'argilla ha presentato ovunque le percentuali minori. Non sono state rilevate differenze degne di nota rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018).

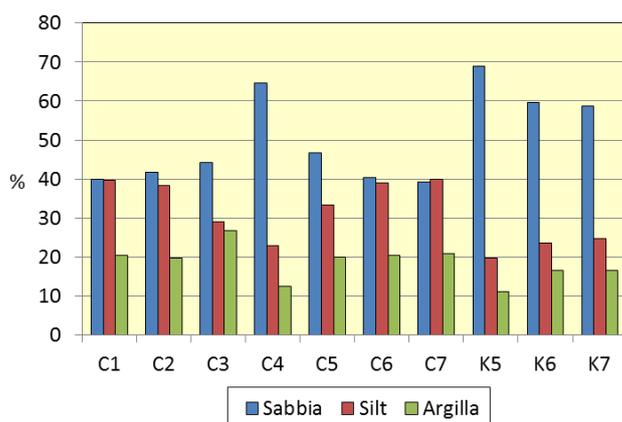


Fig. 3.1 - Ripartizione delle classi granulometriche, espresse in percentuale, nei sedimenti analizzati nell'inverno 2018.

Tab. 3-I - Composizione percentuale delle principali classi granulometriche dei sedimenti analizzati nell'inverno 2018. In rosso il sito corrispondente al sea-line.

	Sabbia	Pelite		Classificazione di Shepard
		Silt	Argilla	
C1	39,9	39,6	20,5	Loam
C2	41,8	38,4	19,8	Sabbia siltosa
C3	44,2	29,1	26,7	Loam
C4	64,7	22,9	12,4	Sabbia siltosa
C5	46,7	33,4	19,9	Sabbia siltosa
C6	40,4	39,1	20,5	Loam
C7	39,3	39,9	20,8	Loam
K5	69,0	19,8	11,2	Sabbia siltosa
K6	59,7	23,7	16,6	Sabbia siltosa
K7	58,7	24,7	16,6	Sabbia siltosa

3.1.2. IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

Questi composti sono risultati poco presenti nei campioni prelevati nell'inverno 2018 (Tab. 3-II e fig. 3.2). Infatti, molti di loro non sono stati quantificati e quelli con concentrazioni rilevabili sono stati osservati praticamente ovunque ma in concentrazioni bassissime, tanto che gli IPA totali sono risultati decine di volte inferiori rispetto all'LCB (900 mg/kg). Nei siti C ad esclusione di quello corrispondente al sea-line i tenori sono risultati maggiori rispetto ai controlli, ma, come già detto, essi sono talmente bassi in valore assoluto che non indicano, in alcun modo, uno stato di alterazione dell'area.

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) questi composti hanno subito variazioni trascurabili sia in C4 che in K6.

Tab. 3-II - Concentrazioni degli IPA ($\mu\text{g}/\text{kg}$ s.s.) nei sedimenti prelevati nel 5° monitoraggio post lavori. Il sito corrispondente alla condotta è evidenziato in rosso. Ove disponibili sono anche riportati gli LCB e i valori chimici cautelativi per le sostanze Pericolose Prioritarie (PP) indicati da ICRAM-APAT (2007) e nel DM 173/2016. LQ = limite di rilevabilità strumentale ($0,2 \mu\text{g}/\text{kg}$).

	DM 173/16	LCB/PP	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Acenaftene		7	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ						
Acenaftilene			<LQ	<LQ	<LQ	<LQ						
Antracene		47 (24)*	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ						
Benzo (a) antracene	75	75	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ						
Benzo (a) pirene	80	80 (30)*	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ						
Benzo (b) fluorantene	40	40	8	8	7	5	8	8	9	3	5	6
Benzo (g, h,i) perilene	55	55	5	5	5	3	4	4	5	2	3	3
Benzo (k) fluorantene	20	20	3	3	3	2	4	3	3	<2	2	2
Crisene	108	108	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	2	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Dibenzo (a, h)antracene		6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ						
Fenantrene	87	87	3	3	3	<LQ	3	3	3	<LQ	<LQ	<LQ
Fluorantene	110	113	3	3	2	<LQ	4	3	3	<LQ	<LQ	<LQ
Fluorene	21	21	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ						
Indeno (1,2,3 - c, d) pirene	70	70	9	11	10	6	8	7	9	3	5	5
Naftalene	35	35	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ						
Pirene	153	153	2	2	2	<LQ	2	2	2	<LQ	<LQ	<LQ
IPA Totali		900	33	35	32	16	35	30	34	8	17	18

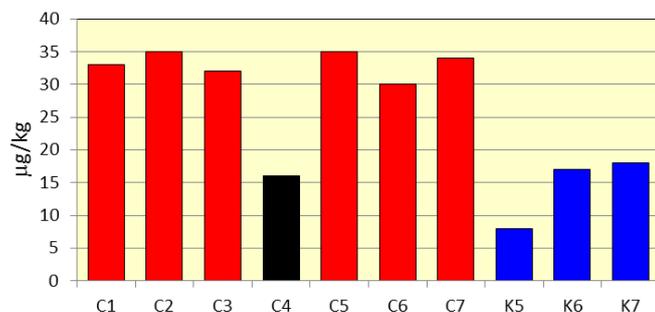


Fig. 3.2 - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{kg}$ s.s.) di IPA nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. La stazione posta in corrispondenza della condotta è evidenziata in nero.

3.1.3. IDROCARBURI TOTALI

Le concentrazioni degli idrocarburi leggeri ($C < 12$) sono sempre risultate inferiori al limite di quantificazione (Fabi *et al.*, 2018), anche nell'inverno 2018.

Per quanto riguarda gli idrocarburi con $C > 12$, nell'ultimo monitoraggio sono state rilevate basse concentrazioni come in precedenza e, in particolare, quelle registrate lungo il transetto sono rientrate in un range del tutto confrontabile con i controlli K5 e K6 (in K7 questi composti non sono stati rilevati; Tab. 3-III e fig. 3.3).

Durante il pre-survey gli idrocarburi pesanti erano stati osservati in quantità simili in C4 (94,1 mg/kg) e K6 (99,0 mg/kg). Rispetto a tali valori, quindi, è avvenuto un diffuso e cospicuo decremento testimoniando l'assenza di effetti da parte della condotta.

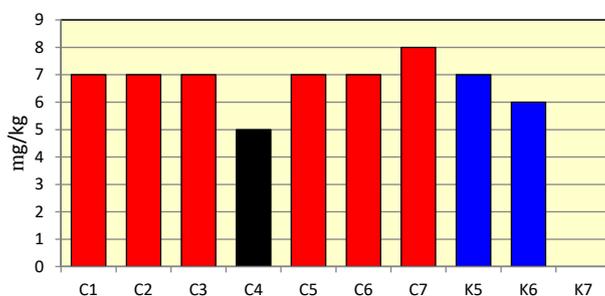


Fig. 3.3 - Idrocarburi pesanti ($C > 12$) rilevati nell'inverno 2018. In nero il sito corrispondente al sea-line.

Tab. 3-III - Idrocarburi pesanti $C > 12$ (mg/kg) rilevati nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. In rosso il sito corrispondente al sea-line.

C1	7
C2	7
C3	7
C4	5
C5	7
C6	7
C7	8
K5	7
K6	6
K7	<5

3.1.4. METALLI PESANTI

I contenuti dei metalli pesanti rilevati nell'inverno 2018 sono riportati in Tab. 3-IV e in fig. 3.4. Nella discussione che segue vengono riportati riferimenti ai Livelli Chimici di Riferimento Nazionali (di seguito LCRN) indicati nel DM 173 2016 (tabella 2.5). I valori in colonna L1 sono i medesimi degli Standard di Qualità (SQA) riportati nei precedenti DM 56/2009, DM 260/2010 e DM 172/2015 per cadmio (0,3 mg/kg), mercurio (0,3

mg/kg), piombo (30 mg/kg), nichel (30 mg/kg), arsenico (12 mg/kg) e cromo totale (50 mg/kg). In tale tabella (tabella 2.5) sono inoltre indicati rame (40 mg/kg) e zinco (100 mg/kg).

Alluminio - Le concentrazioni di alluminio sono risultate basse, raggiungendo al massimo il 2,04% (C2). Lungo il transetto in metà dei siti (C2, C5-C7) esse sono risultate leggermente superiori rispetto ai controlli, ma mediamente non sono state riscontrate differenze degne di nota (\pm dev.st.; C: $1,62 \pm 0,26$; K: $1,30 \pm 0,20\%$; C4 incluso nel gruppo dei siti C).

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) l'alluminio si è ridotto in C4 ed è aumentato in K6, ma si tratta in entrambi i casi di variazioni modeste. Non si rileva alterazione nell'area circostante il sea-line.

Arsenico – La concentrazione media rilevata lungo il transetto C ($15,74 \pm 4,35$ mg/kg) è apparsa del tutto in linea con quella dei controlli ($16,79 \pm 3,88$ mg/kg), così come il range di variazione tra le stazioni appartenenti ai due gruppi di siti. I valori più elevati osservati presso il sea-line e a 30 m da esso (C5) sono praticamente identici a quello del controllo K5. Ovunque eccetto in C1 è stato superato l'LCRN, fatto molto frequente anche nei monitoraggi precedenti (Fabi *et al.*, 2018).

Rispetto al pre-survey l'arsenico è aumentato un po' ovunque, anche ai controlli risultati sempre caratterizzati da concentrazioni simili a quelle maggiori del transetto, pertanto non si ritiene si tratti di un'alterazione dovuta alla presenza della condotta.

Bario – Le concentrazioni di bario relative all'inverno 2018 sono risultate tutte modeste in termini assoluti ma maggiori nei siti C rispetto ai controlli (C: $55,57 \pm 7,41$; K: $31,27 \pm 4,63$ mg/kg). I valori lungo il transetto sono apparsi superiori a quello determinato in C4 nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2018), ma in corrispondenza del sea-line il bario si è leggermente ridotto. Quanto osservato nell'ultimo monitoraggio tende a confermare un effetto della condotta su questo elemento nei sedimenti circostanti, ma occorre precisare che anche prima dell'installazione l'area della futura struttura aveva presentato un contenuto di bario maggiore rispetto al controllo.

Cadmio – I tenori di cadmio sono risultati diffusamente bassi, estremamente inferiori all'LCRN come in tutto il periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2018), e solo trascurabilmente maggiori lungo C rispetto ai controlli (C: $0,047 \pm 0,006$; K: $0,036 \pm 0,003$ mg/kg). Dal confronto con il pre-survey è emersa un'evidente flessione dei valori.

Cromo – Le concentrazioni di cromo relative al transetto sono risultate paragonabili o di poco superiori a quelle dei controlli. Il picco è stato registrato in C2 ($54,156$ mg/kg), unico

superamento del LCRN. Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) il cromo ha subito un trascurabile decremento in C4 e in K6.

Ferro – Il ferro è apparso omogeneamente distribuito (C: 1,91±0,13; K: 1,71±0,06%). Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) sono avvenute solo oscillazioni trascurabili.

Tab. 3-III - Concentrazioni dei metalli in tracce (mg/kg s.s.; Al e Fe espressi in %) nei sedimenti campionati nel 5° survey post lavori. In rosso la stazione posta sulla condotta. Ove disponibili sono riportati i Livelli Chimici di Riferimento Nazionali (LCRN); in grassetto i valori >LCRN.

	Al	As	Ba	Cd	Cr	Fe	G	In	Mg	Mn	Hg
LCRN		12		0,3	50						0,3
C1	1,50	11,40	55,60	0,059	42,61	1,76	7,31	< 0,02	1,93	778,07	0,0269
C2	2,04	18,38	63,59	0,048	54,15	2,15	9,08	< 0,02	2,17	982,97	0,0274
C3	1,55	12,71	52,28	0,047	45,33	1,94	8,50	< 0,02	2,04	885,71	0,0282
C4	1,17	21,27	40,85	0,041	35,56	1,76	7,07	< 0,02	2,00	780,13	0,0201
C5	1,65	21,09	57,14	0,044	45,85	1,90	8,52	< 0,02	2,00	844,53	0,0253
C6	1,68	12,16	59,89	0,045	47,90	1,89	9,52	< 0,02	2,00	740,59	0,0248
C7	1,74	13,20	59,62	0,049	48,96	1,95	8,70	< 0,02	2,08	804,98	0,0267
K5	1,10	21,26	26,32	0,037	33,90	1,65	5,40	< 0,02	2,09	704,98	0,0193
K6	1,31	14,84	32,00	0,032	39,65	1,78	7,41	< 0,02	2,21	726,40	0,0185
K7	1,50	14,27	35,49	0,039	43,75	1,71	7,24	< 0,02	1,97	784,44	0,0220

	Ni	Pb	Cu	Si	St	T	V	Zn	Zr	Ossido di Zr
LCRN	30	30	40					100		
C1	38,61	10,47	11,41	50,60	1,63	120,24	35,71	51,01	4,47	<6,04
C2	46,32	16,26	13,06	47,86	3,04	215,81	48,59	59,83	5,94	n.d.
C3	39,98	16,27	11,58	37,60	1,22	123,31	40,57	52,13	4,69	<6,33
C4	30,59	16,86	7,82	34,34	< 1,20	164,84	36,81	40,49	4,49	<6,06
C5	38,20	16,00	10,75	34,47	1,21	190,48	41,75	50,86	5,10	<6,89
C6	40,43	12,28	11,41	69,17	1,35	198,92	40,52	53,71	4,88	n.d.
C7	40,24	12,96	12,04	43,24	1,45	168,78	41,85	55,04	5,24	n.d.
K5	27,85	12,88	6,45	30,69	< 1,20	199,94	36,41	36,83	3,94	<5,32
K6	32,46	14,42	7,41	73,18	< 1,20	239,38	39,65	41,84	4,04	<5,45
K7	30,01	15,39	7,92	169,03	1,86	313,52	40,52	40,10	4,35	<5,87

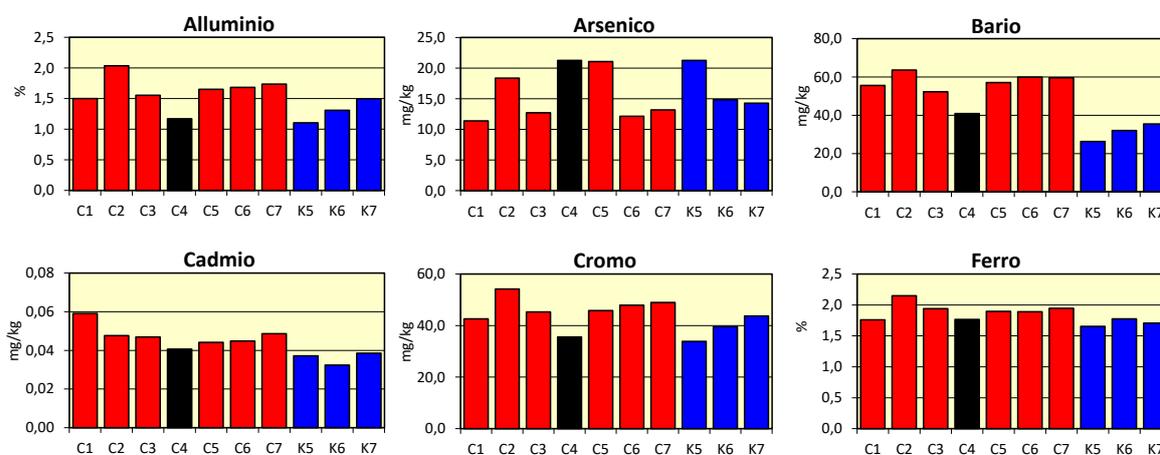


Fig. 3.4 - Concentrazioni (mg/kg; Al e Fe in %) dei metalli pesanti registrate nell'inverno 2018. In nero la stazione corrispondente alla condotta sottomarina. L'ossido di zirconio è stato stimato per via stechiometrica supponendo che tutto lo zirconio sia presente come ossido. Pertanto ha il medesimo andamento dello zirconio e quindi non è stato riportato in grafico. Non si riporta neanche l'indio in quanto inferiore al limite di quantificazione ovunque.

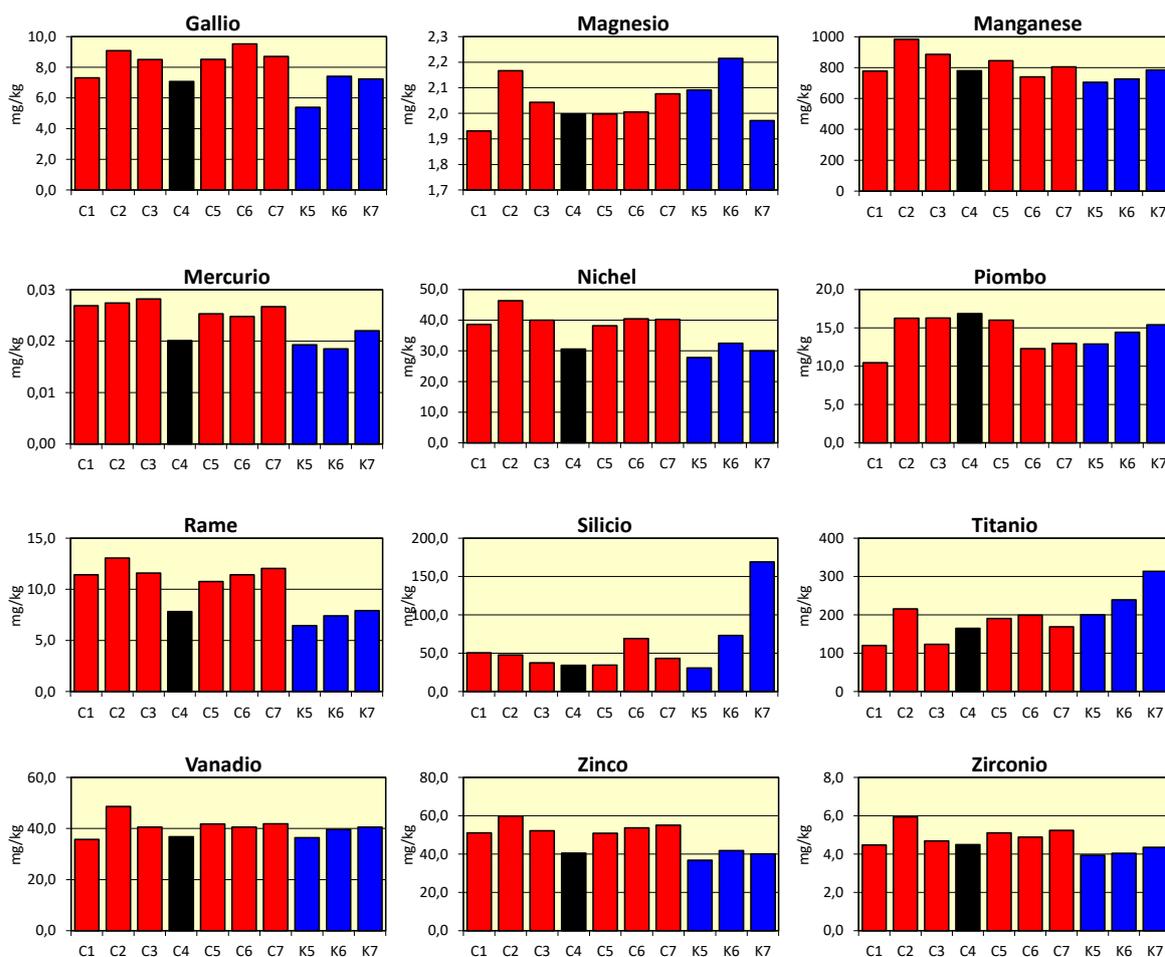


Fig. 3.4 - Continuo.

Gallio - Le concentrazioni di gallio sono oscillate tra un minimo di 5,40 mg/kg in K5 e un massimo di 9,52 mg/kg in C6, con valori medi relativi a transetto e controlli confrontabili (C: $8,39 \pm 0,89$; K: $6,68 \pm 1,13$ mg/kg). Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) il gallio ha mostrato un diffuso incremento che ha interessato in maniera analoga C4 e K6.

Indio – Questo metallo è stato rilevato solo nel 1° survey post lavori e in sole tre stazioni del transetto e in un controllo, in concentrazioni molto vicine al limite di rilevabilità strumentale (Fabi *et al.*, 2018).

Magnesio - Il magnesio è risultato molto omogeneo nei siti, con concentrazioni variabili tra 1,93 mg/kg (C1) e 2,17 mg/kg (C2). Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) sono emerse solo oscillazioni trascurabili.

Manganese - I valori di manganese registrati nell'inverno 2018 lungo il transetto sono apparsi trascurabilmente più elevati rispetto ai controlli, con un picco in corrispondenza di C2 pari a 982,97 mg/kg. Mediamente tuttavia non sono state riscontrate differenze tra i due gruppi di siti (C: $831,00 \pm 82,17$; K: $738,61 \pm 41,11$ mg/kg).

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) sono avvenute solo trascurabili variazioni.

Mercurio – Le concentrazioni di mercurio sono risultate estremamente modeste, molto inferiori all'LCRN come in tutto il periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2018), per cui le differenze tra sito e sito sono da ritenere del tutto trascurabili anche considerando che il massimo di 0,0282 mg/kg, registrato in C3, è risultato oltre 10 volte inferiore all'LCRN. Rispetto al pre-survey il mercurio si è ridotto in C4 ma, come già ribadito, dati i valori estremamente modesti le differenze non sono rilevanti.

Nichel – Il nichel è risultato leggermente più elevato nei siti C (39,19±4,64 mg/kg) rispetto ai controlli (30,11±2,31 mg/kg) con concentrazioni variabili tra 46,32 mg/kg (C2) e 27,85 mg/kg (K5). Anche nel pre-survey l'area di installazione della futura condotta aveva presentato un contenuto leggermente maggiore rispetto alla zona di controllo (Fabi *et al.*, 2018) e rispetto a quel monitoraggio non si rilevano variazioni apprezzabili. Ovunque eccetto in K5 è stato superato l'LCRN analogamente a quanto osservato nel pre-survey, fatto che esclude l'esistenza di un effetto del sea-line.

Piombo – I tenori di piombo sono risultati bassi e ampiamente inferiori all'LCRN, tanto che le differenze tra sito e sito sono da ritenere trascurabili. Anche la concentrazione maggiore, rilevata in C4 (16,86 mg/kg), è troppo modesta per essere considerata anomala essendo quasi la metà dell'LCRN e solo trascurabilmente maggiore rispetto al tenore registrato prima della posa della condotta (Fabi *et al.*, 2018).

Rame – Le concentrazioni di rame sono risultate tutte ampiamente inferiori all'LCRN come in tutto il periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2018). Esse sono apparse maggiori lungo il transetto rispetto ai riferimenti (C: 11,15±1,63; K: 7,26±0,75 mg/kg) come nel pre-survey. Poiché i tenori lungo C sono risultati del tutto in linea con il valore registrato in C4 in quel monitoraggio si esclude un effetto della condotta.

Silicio – Il silicio lungo il transetto è risultato più basso o comparabile al controllo K6 e decisamente inferiore rispetto a K7, dove è stato registrato il massimo dell'intero periodo di indagine (Fabi *et al.*, 2018). Durante il pre-survey questo metallo non era stato rilevato in C4 mentre nei monitoraggi successivi è sempre stato quantificato ovunque, ma l'elevata e ben nota variabilità di questo elemento non consente di identificare dei trend relazionabili alla presenza della condotta.

Stagno – Anche lo stagno è apparso molto variabile, tanto che in alcuni siti è risultato al di sotto del limite di quantificazione; ove rilevato, è oscillato tra 3,04 mg/kg (C2) e 1,21 mg/kg (C5). Nel pre-survey questo metallo non era stato quantificato (Fabi *et al.*, 2018). Le concentrazioni registrate nell'ultimo monitoraggio sono apparse basse e nel tempo non è

stato rilevato un progressivo aumento, pertanto si esclude un graduale accumulo di questo metallo nei sedimenti.

Titanio - Nell'inverno 2018 i tenori del titanio lungo il transetto sono risultati tutti inferiori o comparabili a K6, il controllo meno contaminato, anche se mediamente non sono state rilevate differenze tra i due gruppi di siti a causa dell'elevata variabilità che ha caratterizzato soprattutto i riferimenti (C: $168,91 \pm 36,58$; K: $250,95 \pm 57,67$ mg/kg).

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) è avvenuto un aumento, soprattutto ai controlli. Non si rileva un effetto del sea-line.

Vanadio – Il vanadio è risultato omogeneamente distribuito (C: $40,83 \pm 4,18$; K: $38,86 \pm 2,17$ mg/kg), con un massimo di 48,59 mg/kg (C2) e un minimo di 35,7 mg/kg (C1). I tenori sono apparsi in linea con quelli del pre-survey (Fabi *et al.*, 2018).

Zinco – Lo zinco è risultato ovunque ampiamente inferiore all'LCRN come in tutto il periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2018). Le concentrazioni nell'area circostante la condotta sono apparse superiori rispetto ai controlli (C: $51,87 \pm 5,89$; K: $39,59 \pm 2,54$ mg/kg), situazione osservata anche nel pre-survey rispetto al quale è avvenuto un decremento sia in C4, unico sito in linea con i riferimenti nell'ultimo moniotraggio, sia in K6.

Zirconio e Ossido di zirconio - Lo zirconio è stato caratterizzato da concentrazioni lungo il transetto in linea o solo leggermente superiori rispetto a quelle dei controlli; infatti, mediamente non sono state riscontrate differenze tra i due gruppi di stazioni (C: $4,97 \pm 0,51$; K: $4,11 \pm 0,21$ mg/kg).

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) lo zirconio è aumentato un po' ovunque, senza tuttavia suggerire un progressivo accumulo.

Per l'ossido di zirconio, essendo stato determinato per via stechiometrica, valgono le medesime considerazioni dello zirconio.

3.1.5. SOSTANZA ORGANICA

Nell'inverno 2018 (Tab. 3-V e fig. 3.5) la sostanza organica è apparsa maggiormente presente lungo il transetto (26319 ± 9277 mg/kg) rispetto ai controlli (14518 ± 1075 mg/kg), con un picco in C2 dove la concentrazione è risultata pari a 3 volte la media dei riferimenti e corrispondente al massimo assoluto dell'intero periodo di indagine (Fabi *et al.*, 2018).

Rispetto al pre-survey non sono avvenute variazioni in C4 e K6, mentre lungo il transetto i tenori dell'inverno 2018 sono apparsi maggiori. Comunque, l'anomalia di maggior rilievo

è quella in C2 e merita ulteriori approfondimenti.

Tab. 3-V – Concentrazioni di sostanza organica (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell’inverno 2018. In rosso il sito corrispondente al sea-line.

C1	19492	K5	13641
C2	43842	K6	14195
C3	20435	K7	15717
C4	16128		
C5	25008		
C6	29369		
C7	29956		

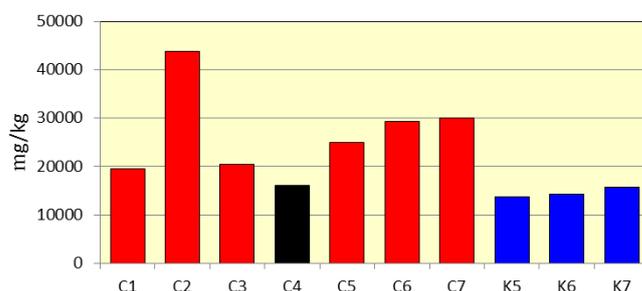


Fig. 3.5 - Concentrazioni di sostanza organica (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell’inverno 2018. In nero il sito corrispondente al sea-line

3.1.6. TOTAL ORGANIC CARBON (TOC)

Nel 5° survey post lavori di installazione il TOC è variato tra 2200 mg/kg (K6 e K7) e 2900 mg/kg (K5) e lungo il transetto C ha presentato tenori paragonabili o inferiori a quelli dei controlli (Tab. 3-VI e fig. 3.6). Non rilevato nel pre-survey, seppure con delle oscillazioni il TOC ha mostrato una tendenza all’aumento sino all’inverno 2017 e alla diminuzione nei survey successivi, rimanendo sempre confrontabile tra transetto e riferimenti (Fabi *et al.*, 2018). Non si rilevano effetti da parte del sea-line.

Tab. 3-VI – Concentrazioni di TOC (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell’inverno 2018. In rosso il sito corrispondente al sea-line. LQ = limite di quantificazione.

C1	2900	K5	2900
C2	2700	K6	2200
C3	2600	K7	2200
C4	2600		
C5	2700		
C6	2500		
C7	2600		

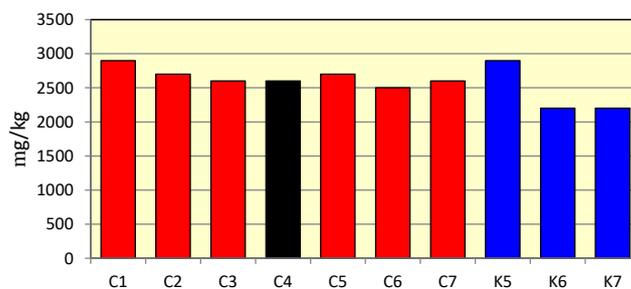


Fig. 3.6 - Concentrazioni di TOC (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell’inverno 2018. In nero il sito corrispondente al sea-line.

3.2. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI

3.2.1. *DUNALIELLA TERTIOLECTA*

QA-QC - Nell'inverno 2018 il valore di EC₅₀ con K₂Cr₂O₇ =9,29,15 mg/l (come cromo) (LC=9,11 e UC=9,47 mg/l) è rientrato nei limiti della carta di controllo del laboratorio; i coefficienti di variazione tra le repliche nei campioni non diluiti, alla massima concentrazione sono risultati conformi perché in tutti i casi inferiori al 15%. La crescita algale nei controlli è sempre stata superiore rispetto al limite minimo consentito (fattore ≥16).

Risultati del saggio - I risultati del saggio relativo all'inverno 2018 indicano l'assenza di un effetto tossico ovunque, non essendo stata rilevata un'inibizione della crescita algale (Tab. 3-VII), e confermano i risultati conseguiti sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2018).

Tab. 3-VII - Parametri di contorno e risultati del saggio di tossicità con *D. tertiolecta* nel 5° survey post lavori. In rosso il sito corrispondente alla condotta sottomarina.

campione	pH	Salinità (‰)	ΔG 72h%	EC ₂₀	EC ₅₀	Tossicità
C2	8,18	36	10,28	≥90	>100%	Assente
C4	8,40	36	1,87	≥90	>100%	Assente
C6	8,22	36	10,51	≥90	>100%	Assente
K6	8,42	36	1,17	≥90	>100%	Assente

3.2.2. *VIBRIO FISCHERI* (SISTEMA MICROTOX®)

QA-QC - Nell'inverno 2018 il valore della EC₅₀ a 15' =7,48 mg/l (LC=5,00 e UC=11,20) è rientrato nei limiti della carta di controllo del laboratorio.

Risultati del test - Tutti gli elutriati estratti dai sedimenti campionati nel 5° survey post lavori sono risultati privi di tossicità acuta (Tab. 3-VIII) confermando i risultati precedenti (Fabi *et al.*, 2018).

Tab. 3-VIII - Risultati del saggio biologico *V. fischeri* relativo al 5° survey post lavori. In rosso la stazione corrispondente al sea-line.

campione	pH	Salinità (‰)	% Effetto (15')	% Effetto (30')	EC ₂₀ (15/30')	EC ₅₀ (15/30')	Tossicità
C2	8,18	36	0,49	3,78	>90	>90	Assente
C4	8,40	36	2,23	2,38	>90	>90	Assente
C6	8,22	36	0,81	6,46	>90	>90	Assente
K6	8,42	36	1,95	4,97	>90	>90	Assente

3.2.3. COROPHIUM ORIENTALE

Nell'inverno 2018 la sensibilità rilevata degli organismi verso il tossico di riferimento (CdCl_2) $\text{LC}_{50} = 3,00$ ($\text{LC} = 2,50 \text{ mg/l}$ e $\text{UC} = 3,60 \text{ mg/l}$) è rientrata nella carta di controllo di laboratorio. La sopravvivenza degli organismi sul sedimento di controllo dopo 10 gg è risultata conforme, in quanto superiore al 85%. In Tab. 3-IX sono indicati i principali parametri chimici e fisici misurati all'inizio e alla fine del test.

Tab. 3-IX – Parametri chimici e fisici dell'acqua sovrastante il sedimento testato osservati all'inizio e alla fine del test relativo al 5° survey post lavori. In rosso il sito posizionato sul sea-line.

campione	Inizio del test					Fine del test				
	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH_4^+ (mg/l)	O_2 (%)	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH_4^+ (mg/l)	O_2 (%)
Controllo	16±1	35	8,10	0-0,5	> 85	16±1	36	8,17	0,5	> 85
C2		36	8,16	0			35	8,14	0	
C4		36	8,12	0			35	8,19	0	
C6		36	8,29	0			35	8,07	0	
K6		36	8,19	0			35	8,08	0	

Risultati del test - Nel 5° survey post lavori non è stata rilevata alcuna tossicità (Tab. 3-X) confermando i risultati precedenti (Fabi *et al.*, 2018). Infatti, solo nell'estate 2016 (2° post lavori) era stato registrato un debole segnale in C2 e K6.

Tab. 3-X - Percentuali di mortalità degli organismi *C. orientale* osservati nel test di tossicità acuta relativo al 5° survey post lavori. In rosso il sito posizionato sulla condotta sottomarina.

Campione	N. organismi esposti	% organismi morti (\pm dev. st. %)	% (corretta) organismi morti	Tossicità
Controllo	100	2 \pm 0,92	0	-
C2	100	5 \pm 3,83	3	Assente
C4	100	14 \pm 2,31	12	Assente
C6	100	11 \pm 2,00	9	Assente
K6	100	10 \pm 2,31	8	Assente

3.2.4. CRASSOSTREA GIGAS

QA-QC - Il test eseguito nell'inverno 2018 con la sostanza di riferimento ha prodotto una EC_{50} di 9,30 $\mu\text{g/l}$ di Cu ($\text{LC}=8,80$ e $\text{UC}=9,83$) che rientra nei limiti della carta di controllo; la % di larve D-shape normalmente sviluppate nel controllo ($85\pm 1,53\%$) è risultata superiore al limite del 70%.

Risultati del saggio - Nel 5° survey post lavori di installazione non è stata rilevata alcuna tossicità eccetto in C2 dove è stata bassa (Tab. 3-XI). Questi risultati indicano un

miglioramento generale rispetto al monitoraggio precedente quando era stata rilevata una tossicità bassa ovunque, e il ripristino delle condizioni del pre-survey in C4 e K6 (Fabi *et al.*, 2018).

Tab. 3-XI - Risultati relativi al saggio di tossicità con *C. gigas* nei campioni prelevati nel 5° survey post lavori. In rosso il sito corrispondente al sea-line.

campione	Concentrazione	% media di larve normali ± dev.st	% media di larve malformate	Correzione Abbott larve malformate	EC ₂₀ (%)	EC ₅₀ (%)	Tossicità
Controllo		85 ± 1,53	15	0			
C2	100	60 ± 2,00	40	29	64,4	>100	Bassa
	50	70 ± 1,53	30	17			
	25	81 ± 2,00	19	4			
C4	100	70 ± 1,53	30	18	>90	>100	Assente
	50	78 ± 1,53	22	7			
	25	83 ± 1,15	17	2			
C6	100	75 ± 1,15	25	11	>90	>100	Assente
	50	80 ± 1,00	20	6			
	25	83 ± 1,53	17	2			
K6	100	67 ± 0,58	33	20	>90	>100	Assente
	50	78 ± 1,53	22	8			
	25	83 ± 1,53	17	2			

3.2.5. RICERCA DI METALLI PESANTI IN *HEDISTE DIVERSICOLOR*

I parametri chimici e fisici dell'acqua sovrastante il sedimento, registrati all'inizio e al termine del test effettuato nel 5° survey post lavori, sono riportati in Tab. 3-XII, mentre in Tab. 3-XIII sono indicate le mortalità osservate negli organismi, risultate tutte inferiori rispetto a quella del controllo negativo.

Tab. 3-XII - Parametri chimico-fisici dell'acqua sovrastante il sedimento registrati all'inizio e al termine del test di bioaccumulo condotto nel 5° survey post lavori. In rosso il sito sul sea-line.

campione	Inizio del test					Fine del test				
	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg/l)	O ₂ (%)	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg/l)	O ₂ (%)
Controllo	15 ± 1	35	8,01	1	> 85	15 ± 1	36	8,24	2-3	> 85
C2		37	8,12	0			36	8,16	1-2	
C4		37	8,12	0			36	8,15	1	
C6		37	8,13	0			36	8,15	1	
K6		37	8,13	0			36	8,17	2	

Tab. 3-XIII - Percentuali di mortalità degli organismi *H. diversicolor* osservate nel test di bioaccumulo condotto in inverno 2018. In rosso è evidenziata la stazione posta sul sea-line.

Campione	Numero degli organismi esposti	% degli organismi morti (± dev.st %)
controllo	15	90 ± 8,25
C2	15	48 ± 8,25
C4	15	33 ± 8,25
C6	15	43 ± 8,25
K6	15	52 ± 8,25

Risultati del saggio - In Tab. 3-XIV sono riportate le concentrazioni dei metalli pesanti rilevate nel bianco (tempo 0') e quelle rilevate nei tessuti di *H. diversicolor* esposti ai sedimenti testati per 28 gg, mentre la Tab. 3-XV mostra le differenze tra le concentrazioni dei metalli pesanti rilevate nei tessuti di *H. diversicolor* dopo l'esposizione ai sedimenti testati e quelle determinate nel bianco (0').

Tab. 3-XVIII - Concentrazioni (mg/kg; Al espresso in %) dei metalli pesanti rilevate nei tessuti di *H. diversicolor* nel 5° survey post lavori. In rosso è evidenziata la stazione corrispondente al sea-line. Bianco = organismi analizzati al tempo 0, prima dell'esposizione al sedimento da testare. Controllo = organismi sottoposti per 28 gg a un sedimento di controllo. n.r. = non rilevabile. LQR = limite di rilevabilità strumentale.

	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	In	Pb	Si	V	Zn	Hg
Bianco	n.r.	2,23	n.r.	0,102	n.r.	7,17	183,41	n.r.	n.r.	0,40	65,92	n.r.	181,39	0,060
Controllo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,080
C2	n.r.	2,81	n.r.	0,022	n.r.	6,96	255,79	2,37	< 0,2	0,44	100,94	n.r.	65,10	0,066
C4	n.r.	3,04	n.r.	0,036	n.r.	8,38	266,45	2,37	< 0,2	0,41	90,90	n.r.	79,48	0,085
C6	n.r.	2,51	n.r.	0,016	n.r.	7,22	283,84	1,44	< 0,2	0,40	117,73	n.r.	76,59	0,072
K6	552,52	2,23	1,58	0,045	1,544	7,01	711,20	3,83	< 0,2	0,68	276,70	1,73	63,34	0,086
LQR	170	0,3	1,2	0,01	1,2	1,2	170	1,2	0,02	0,3	8	1,2	1,2	0,005

	Ga	Mn	Mg	Sn	Ti	Zr
bianco	n.r.	8,38	2294,27	n.r.	n.r.	n.r.
controllo	*	*	*	*	*	*
C2	n.r.	7,74	4240,78	n.r.	n.r.	n.r.
C4	n.r.	9,35	4319,23	n.r.	n.r.	n.r.
C6	n.r.	8,01	4167,81	1,22	n.r.	n.r.
K6	n.r.	24,79	4763,23	n.r.	9,77	n.r.
LQR	2,5	2,5	170	1,2	1,2	1,2

* quantità del campione insufficiente

Tab. 3-XIX - Differenze tra le concentrazioni dei metalli pesanti rilevate nei tessuti di *H. diversicolor* esposti al sedimento di controllo e ai sedimenti da testare e il bianco (0'). In rosso è evidenziata la stazione corrispondente al sea-line. In grassetto sono evidenziati i valori che indicano bioaccumulo da parte degli organismi. (bianco = organismi spurgati/non esposti ai sedimenti testati; controllo = organismi esposti al sedimento di controllo). n.c. = non calcolabile.

	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	In	Pb	Si	V	Zn	Hg
controllo	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,020
C2	n.c.	0,58	n.c.	-0,08	n.c.	-0,21	72,38	1,77	n.c.	0,04	35,02	n.c.	-116,29	0,006
C4	n.c.	0,81	n.c.	-0,066	n.c.	1,21	83,04	1,77	n.c.	0,01	24,98	n.c.	-101,91	0,025
C6	n.c.	0,28	n.c.	-0,086	n.c.	0,05	100,43	0,84	n.c.	0	51,81	n.c.	-104,8	0,012
K6	467,52	0	0,98	-0,057	0,94	-0,16	527,79	3,23	n.c.	0,28	210,78	1,13	-118,05	0,026

campione	Ga	Mn	Mg	Sn	Ti	Zr
controllo	*	*	*	*	*	*
C2	n.c.	-0,64	1946,51	n.c.	n.c.	n.c.
C4	n.c.	0,97	2024,96	n.c.	n.c.	n.c.
C6	n.c.	-0,37	1873,54	0,62	n.c.	n.c.
K6	n.c.	16,41	2468,96	n.c.	9,17	n.c.

* quantità del campione insufficiente

Per molti elementi (Cd, Cu, In, Pb, Zn, Ga e Zr) non è stato rilevato in alcun caso il fenomeno del bioaccumulo essendo risultati presenti in concentrazioni inferiori o comparabili a quelle del bianco o non essendo stati affatto rilevati negli organismi test. Per altri (Al, Ba, Cr, V, Mn, Ti) il bioaccumulo è apparso limitato al controllo K6.

Hg è stato bioaccumulato solo in C4 e nel controllo K6 in modo del tutto analogo. Sn ha presentato una concentrazione significativamente superiore a quella del bianco solo in C6 e As in tutti i siti del transetto. Fe, Ni, Si e Mg sono stati bioaccumulati in tutte le stazioni, con un incremento maggiore sempre nel controllo K6.

Considerando l'intero periodo di osservazione (Fabi *et al.*, 2018), è possibile affermare che il fenomeno del bioaccumulo è per lo più sporadico, indice di una bassa biodisponibilità dei metalli indagati. Nei casi in cui il fenomeno è risultato più ampio (es.: Mg, Si, As), ha sempre interessato anche il controllo K6 escludendo un ruolo del sea-line nel determinare la biodisponibilità degli elementi studiati.

3.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA

3.3.1. DENSITÀ (N) E BIOMASSA (P)

La densità registrata nel 5° survey post lavori lungo il transetto C (fig. 3.7) ha presentato un trend decrescente da C2 ($111,33 \pm 9,21$ ind/ $0,095 \text{ m}^2$) a C5, dove è stato raggiunto il minimo stagionale ($55,00 \pm 12,29$ ind/ $0,095 \text{ m}^2$), con una ripresa in C6 e un ulteriore decremento in C7. Solo queste ultime due stazioni non sono rientrate nel range dei controlli, compreso tra $93,33 \pm 11,92$ (K5) e $106,33 \pm 8,41$ ind/ $0,095 \text{ m}^2$ (K7).

Nel sito C4 ($89,67 \pm 2,96$ ind/ $0,095 \text{ m}^2$), la densità è risultata ancora una volta leggermente inferiore rispetto al pre-survey e paragonabile ai due campionamenti precedenti effettuati nel 2017 (Fabi *et al.*, 2018). In K6, invece, è avvenuto un sostanziale incremento.

I policheti Paraonidi sono risultati il taxon più abbondante in tutte le stazioni (Tab. 3-XX), così come già riscontrato in tutti i campionamenti sinora effettuati. A seguire i policheti *Ophelina cylindricaudata* e *Paradiopatra calliopae*.

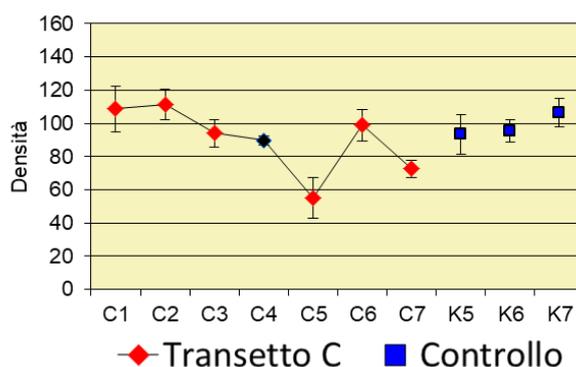


Fig. 3.7 – Densità (\pm e.s.) registrate presso i siti monitorati nell'inverno 2018.

I valori di biomassa sono risultati molto bassi come in tutto il periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2018), essendo compresi tra $0,22 \pm 0,08$ gr/ $0,195 \text{ m}^2$ (C6) e $2,15 \pm 1,26$ gr/ $0,195 \text{ m}^2$ (C5) lungo il transetto e tra $0,09 \pm 0,03$ gr/ $0,195 \text{ m}^2$ (K5) e $2,30 \pm 1,57$ gr/ $0,195 \text{ m}^2$ (K7) ai controlli (fig. 3.8; Tab. 3-XXI). I picchi relativi osservati in C5, C7 e K7 sono stati determinati dal rinvenimento di un esemplare del riccio di mare *Brissopsis atlantica mediterranea* nei primi due casi e del mollusco bivalve *Azorinus chamasolen* nel terzo.

Tab. 3-XX – Lista e densità (n. ind/0,095 m²) delle specie rinvenute nelle stazioni campionate nell'inverno 2018. Per ogni sito è riportato il numero totale di taxa osservati. Sono anche indicate le Biocenosi di appartenenza dei taxa determinati a livello di specie. C = Bioc. del Coralligeno; DC = Bioc. del Detritico Costiero; DE = Biocenosi del Detritico Infangato; DL= Bioc. del Detritico del Largo; HP = Bioc. delle praterie di Posidonia; Lim = limicolo; Lre = Larga Ripartizione Ecologica; MI = Bioc. dei Fondi Mobili Instabili; Minut = minuticolo; Mixt = misticolo; MO = indicatore della presenza di materia organica; Sab = sabulicolo; SFBC = Bioc. delle Sabbie Fini Ben Calibrate; SGCF = Bioc. delle Ghiaie Fini sotto l'influsso delle Correnti di Fondo; Sm = substrato mobile; SVMC = Bioc. delle Sabbie Infangate di Moda Calma; VB = Bioc. dei Fanghi Batiali; VTC = Bioc. dei Fanghi Terrigeni Costieri.

Stazione		Biocenosi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)			100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000
Briozoi												
	Briozoa nd						0,33					
	<i>Scrupocellaria scruposa</i>	Sd	0,33								0,33	
	<i>Triticella flava</i>						0,33					
	<i>Tubulipora</i> sp				0,33							
Cnidari												
	Anthozoa nd		0,33		0,67	0,67	1,00	0,67				0,67
	<i>Epizoanthus</i> sp					0,33						
	<i>Virgularia mirabilis</i>	VTC								0,33		
	Idrozoa nd		0,67	1,00	0,33	0,67		0,33	0,33		0,33	0,33
Crostacei												
	Anfipodi						0,33					0,33
	<i>Acidostoma nodiferum</i>	Lre					0,33					0,33
	<i>Ampelisca diadema</i>	DE	0,67	0,67	0,33	1,00		0,33	0,33	0,33		0,33
	<i>Carangoliopsis spinulosa</i>	VTC		2,00	3,33	0,33		0,67	0,33			
	<i>Corophium</i> sp			0,67				0,33	0,67			
	<i>Eriopisa elongata</i>	VB									0,33	
	<i>Gammaropsis</i> sp			0,33								0,33
	<i>Harpinia antennaria</i>	Lim	0,33		0,33						0,33	
	<i>Harpinia dellavallei</i>	VTC		0,33	0,67	0,33			1,00		0,67	
	<i>Idunella nana</i>	SGCF								0,33		
	<i>Leptocheirus guttatus</i>	Sm		0,33				0,33	0,33			0,33
	<i>Leucothoe incisa</i>	SFBC						0,33			0,33	0,33
	<i>Lysianassa</i> sp			0,33								
	<i>Othomaera schmidtii</i>	VB						0,33	1,67		0,67	0,33
	<i>Parapoxus oculatus</i>	Mixt	0,33	1,00	0,33	0,33	0,33		0,33			2,00
	<i>Periculodes longimanus</i>	SFBC								0,33		
	<i>Phtisica marina</i>	Lre	0,33									
	Cumacei			1,67	0,33	0,33		0,67	0,33			1,00
	Decapodi							0,33	0,33			0,67
	<i>Alpheus glaber</i>	VTC										
	<i>Athanas nitescens</i>	C									0,33	
	<i>Callinassa subterranea</i>	Lim	0,67	0,33	1,33	1,00	1,00	1,00	1,67	3,00	3,33	1,67
	<i>Goneplax rhomboides</i>	VTC	0,33	0,67	0,33	0,67	1,00	0,67	1,00	0,67	1,33	0,67
	<i>Monodaeus couchi</i>	Lre				0,33						
	<i>Processa</i> sp									0,33		
	<i>Solenocera membranacea</i>	VB	0,33									
	Isopodi			0,33								
	<i>Anthura gracilis</i>	Lim		0,33								
	<i>Astacilla</i> sp					0,67						
	<i>Gnathia</i> sp		0,33		0,33				0,33			
	Tanaidacei			0,33								
	<i>Leptochelia savignyi</i>	C		0,33								
	<i>Leptognathia</i> sp				0,33							
Echinodermi												
	Echinoidei					0,33	0,33		0,33			0,33
	Ofiuroidei							0,33				0,33
	Oloturoidei					0,33						
	<i>Holothurioidea</i> nd											
	<i>Labidoplax digitata</i>	VTC	0,33					0,33	0,33			
Molluschi												
	Bivalvi		0,33	0,33		0,33	0,33					
	<i>Abra prismatica</i>	DC	0,33	0,33		0,33	0,33					
	<i>Anodontia fragilis</i>	SFBC	1,00									
	<i>Azorinus chamasolen</i>	Mixt										0,33
	<i>Corbula gibba</i>	MI				0,33						
	<i>Nucula nitidosa</i>	Lim		0,33				0,33	0,33			
	<i>Nucula sulcata</i>	Lim		1,00								0,67
	<i>Pteria hirundo</i>	Mixt										0,33
	<i>Thyasira biplicata</i>	Lim		0,67				0,67				
	<i>Thyasira succisa</i>	Lim		0,67	0,33	1,00			0,67	0,33		
	<i>Timoclea ovata</i>	Lre			0,33							
	Caudofoveati		0,67	0,33	1,33		0,33					
	<i>Falcidens gutturosus</i>	Lim	0,67	0,33	1,33		0,33					
	Gasteropodi							0,33				
	<i>Alvania</i> sp							0,33				
	<i>Hyala vitrea</i>	VTC		2,00	0,33	0,67	2,33	1,33	1,67	0,67	0,67	1,67
	<i>Mangelia coarctata</i>	Sm			0,33							
	<i>Turritella communis</i>	VTC	0,33		1,33			0,33				0,33
Nemertini												
	Nemertea nd		1,00	1,67	2,00	1,00	1,00	1,67	2,00	1,67	1,00	1,33

Tab. 3-XX – Continuo.

Stazione	Biocenosi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)		100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000
Policheti											
<i>Ampharete acutifrons</i>	VTC				0,33				0,33	0,33	
Ampharetidae nd		0,67	2,33	0,33	1,67		0,33		1,33	0,67	1,00
<i>Ancistrosyllis groenlandica</i>	VB	0,33	0,33	0,67	0,67	0,33	0,67	0,33	0,33		
<i>Aphelochaeta filiformis</i>	MO	5,00	4,67	7,00	6,67	4,67	6,00	2,00	5,33	3,00	5,33
<i>Aphelochaeta marioni</i>	MO	1,00	1,33	2,00	1,00		0,67	1,33	0,33	1,33	0,33
<i>Aponuphis brementi</i>	Lim								0,33		
Capitellidae nd			1,33	0,67	1,33		0,67	1,00	1,00	1,00	1,33
Chaetopteridae nd			0,33							0,33	
<i>Chaetozone caputesocii</i>	Lim	0,67	1,33	1,00	1,00		0,67	0,33	0,67	0,33	0,67
Cirratulidae nd		0,33	0,33					0,33	0,33		0,33
<i>Drilonereis filum</i>	Lim	0,33				0,33	0,33	0,67			0,33
<i>Glycera alba</i>	Lim		0,67	0,67		0,33	0,33	0,67			0,33
<i>Glycera rouxii</i>	MO									0,33	
<i>Glycera</i> sp		1,67	2,00	1,67	1,00	0,33	1,00	1,33	1,67	0,33	0,67
<i>Glycera tessellata</i>	Sd	0,33	0,33	1,00	0,33		0,67	0,33	1,33	0,33	0,67
<i>Harmothoe</i> sp						0,33		0,33	0,67	0,33	0,33
<i>Labioleanira yhleni</i>	VTC				0,33					0,33	
<i>Lumbrineris gracilis</i>	Sab				0,33	0,33	0,33		0,33		0,33
Maldanidae nd			0,67			0,33					0,67
<i>Marphysa bellii</i>	Lim	2,00	2,67	3,33	0,67	1,00	1,33	1,00	1,33	1,00	2,67
<i>Melinna palmata</i>	Minut		0,33	0,33	0,67	0,33			1,00	0,33	
<i>Minuspio cirrifera</i>	MO	0,33									
<i>Nephtys hombergi</i>	SFBC								0,33		
<i>Nephtys hystricis</i>	VTC	0,33	0,67	0,67	0,33	1,67	1,00	0,67	0,33	1,33	0,67
<i>Ninoe</i> sp		0,67	0,33	1,00	1,00	0,33	0,67	0,33	0,33	0,67	1,67
<i>Notomastus aberans</i>	MO	1,00	1,00	0,33	0,67	0,33	1,67	1,67	1,33	3,33	1,00
<i>Ophelina cylindricaudata</i>	Lim	11,67	13,67	7,00	6,00	2,67	8,67	3,67	10,33	6,33	8,33
<i>Ophiodromus flexuosus</i>	Sab		0,67	0,33			0,33	0,33		1,00	
<i>Owenia fusiformis</i>	SFBC									0,33	
<i>Paradiopatra calliopae</i>	Lim	9,67	3,33	1,33	4,33	0,33	5,00	2,00	5,33	5,00	4,33
<i>Paralacydonia paradoxa</i>	MO	1,67	2,67	2,67	2,33	1,33	2,33	4,33	1,33	2,67	1,67
Paraonidae nd		53,33	38,33	35,67	36,00	25,33	42,67	28,67	38,00	37,67	47,00
<i>Phylo norvegica</i>	Lim									0,33	
Pilargidae nd		1,00	0,67		0,67		0,33	0,67	3,00	2,00	2,00
<i>Pilargis verrucosa</i>	Sab	0,33			0,67		1,33				0,33
<i>Poecilochetus serpens</i>	VTC	0,33	0,67								
<i>Prionospio</i> sp			0,67	0,33	1,00	0,33	0,67	1,00	0,33	1,00	0,33
Sabellidae nd			0,33	0,33	0,33						0,33
<i>Scalibregma inflatum</i>	Lim	0,33	1,00						0,33		
<i>Scoletoma impatiens</i>	Mixt							0,33			
<i>Scoletoma</i> sp		0,33			0,33		0,33				
<i>Scoloplos armiger</i>	Lre	2,33	3,00	2,67	1,00	3,00	5,00	1,67	3,00	5,67	5,00
<i>Sigambra tentaculata</i>	Mixt			0,67							
Sphaerodoridae nd		0,67	0,33				0,67	0,33			
Spionidae nd		0,67	5,00	4,67	3,00	0,67	1,67	1,33	1,00	3,33	1,33
<i>Spiophanes bombyx</i>	SFBC	0,33			0,33		0,33			0,67	0,33
<i>Syllis</i> sp		0,33									
Terebellidae nd				0,33			0,33				0,33
Sipunculidi											
<i>Nephasoma</i> sp							0,33				
<i>Onchnesoma steenstrupi</i>	VB	1,00	1,67	0,33	0,33	1,33	0,67	1,00	2,00	1,00	0,67
<i>Sipuncula</i> nd		1,67	1,67	2,33	4,00	0,33	1,33	1,00	2,00	3,67	1,67
Densità totale		108,67	111,33	94,00	89,67	55,00	99,00	72,67	93,33	95,67	106,33
Ricchezza specifica totale		47	54	46	51	35	50	47	40	43	52

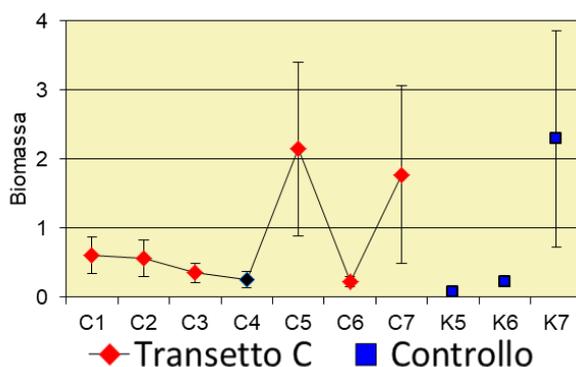


Fig. 3.8 – Biomassa (± e.s.) registrata nell'inverno 2018.

Tab. 3-XXI – Lista e biomassa (gr/0,095 m²) delle specie rinvenute nelle stazioni campionate nell'inverno 2018. C4 = sito posto in corrispondenza della condotta sottomarina. * = <0,001 gr/0,095 m².

Stazione	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)	100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000
Briozoi										
Briozoa nd					*					
<i>Scrupocellaria scruposa</i>	0,001								*	
<i>Triticella flava</i>					*					
<i>Tubulipora</i> sp				0,003						
Cnidari										
Antozoi										
Anthozoa nd	*		0,001	*	*	0,018				0,045
<i>Epizoanthus</i> sp				0,005						
<i>Virgularia mirabilis</i>								0,002		
Idrozoi										
Hydroidea nd	0,028	*	*	*		*	*		*	0,002
Crostacei										
Anfipodi										
<i>Acidostoma nodiferum</i>				*						*
<i>Ampelisca diadema</i>	0,002	*	*	*		*	0,002	*		0,001
<i>Carangoliopsis spinulosa</i>		*	*	*		*	*			
<i>Corophium</i> sp		*				*	*			
<i>Eriopisa elongata</i>									*	
<i>Gammaropsis</i> sp		*								*
<i>Harpinia antennaria</i>	*		*						*	
<i>Harpinia dellavallei</i>		*	*	*			*		*	
<i>Idunella nana</i>								*		
<i>Leptocheirus guttatus</i>		*				*	*			*
<i>Leucothoe incisa</i>						*			*	*
<i>Lysianassa</i> sp		*								
<i>Othomaera schmidtii</i>						0,001	0,003		0,001	0,004
<i>Paraphoxus oculatus</i>	*	*	*	*	*		*			*
<i>Perioculodes longimanus</i>								*		
<i>Phtisica marina</i>	*									
Cumacei										
<i>Eudorella truncatula</i>		0,001	*	*		*	*			*
Decapodi										
<i>Alpheus glaber</i>					0,064		0,056			0,076
<i>Athanas nitescens</i>									0,007	
<i>Callinassa subterranea</i>	*	0,001	*	0,006	0,003	0,004	0,021	0,015	0,061	0,031
<i>Goneplax rhomboides</i>	0,019	0,262	0,004	0,010	0,236	0,010	0,012	0,014	0,020	0,017
<i>Monodaeus couchi</i>				0,001						
<i>Processa</i> sp								0,001		
<i>Solenocera membranacea</i>	0,079									
Isopodi										
<i>Anthura gracilis</i>		*								
<i>Astacilla</i> sp				*						
<i>Gnathia</i> sp	*		*				0,001			
Tanaidacei										
<i>Leptochelia savignyi</i>		*								
<i>Leptognathia</i> sp			*							
Echinodermi										
Echinoidei										
<i>Brissopsis atlantica mediterranea</i>				0,003	1,033		1,392			0,257
Ofiuroidei							*			*
Ofiuroidei										
Holothurioidea nd				0,020						
<i>Labidoplax digitata</i>	*				0,113		0,137			
Molluschi										
Bivalvi										
<i>Abra prismatica</i>	0,002	0,001		0,019	0,061					
<i>Anodontia fragilis</i>	*									
<i>Azorinus chamasolen</i>										1,651
<i>Corbula gibba</i>		0,001		0,003						
<i>Nucula nitidosa</i>		0,004				0,007	0,003			
<i>Nucula sulcata</i>										0,001
<i>Pteria hirundo</i>										0,001
<i>Thyasira buplicata</i>		0,003				0,003				
<i>Thyasira succisa</i>		*	*	*			*	*		
<i>Timoclea ovata</i>			*							
Caudofoveati										
<i>Falcidens gutturosus</i>	*	*	0,002		*					
Gasteropodi										
<i>Alvania</i> sp						*				
<i>Hyala vitrea</i>		0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002
<i>Mangelia coarctata</i>			0,001							
<i>Turritella communis</i>	0,074		0,147				0,037			0,088
Nemertini										
Nemertea nd	0,026	0,002	*	*	*	0,031	0,001	*	*	0,001

Tab. 3-XXI – Continuo.

Stazione	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)	100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000
Policheti										
<i>Ampharete acutifrons</i>				*				0,006	*	
Ampharetidae nd	*	*	*	*		*		*	*	0,001
<i>Ancistrosyllis groenlandica</i>	*	*	*	*	*	0,001	*	*	*	
<i>Aphelochaeta filiformis</i>	0,198	0,001	0,001	0,001	*	*	*	*	0,001	0,001
<i>Aphelochaeta marioni</i>	*	*	*	*		*	*	*	*	*
<i>Aponuphis brementi</i>								0,006		
Capitellidae nd		0,001	0,003	0,016		0,003	0,001	*	0,008	0,001
Chaetopteridae nd		0,219							0,003	
<i>Chaetozone caputesocis</i>	*	0,010	0,001	0,001		*	0,001	0,001	*	0,001
Cirratulidae nd	*	*					0,001	*		*
<i>Drilonereis filum</i>	0,001				0,193	0,001	0,002			*
<i>Glycera alba</i>		0,012	0,014		0,403	0,013	0,004			0,008
<i>Glycera rouxii</i>									*	
<i>Glycera sp</i>	*	0,002	0,005	0,001	*	*	0,001	*	*	*
<i>Glycera tessellata</i>	0,002	*	0,003	*		0,002	*	0,003	0,001	0,001
<i>Harmothoe sp</i>					*		0,001	0,002	*	0,001
<i>Labioleanira yhleni</i>				0,029					0,042	
<i>Lumbrineris gracilis</i>				0,001	*	*		*		0,001
Maldanidae nd		*		*						0,028
<i>Marphysa bellii</i>	0,118	0,010	0,139	0,012	0,005	0,014	0,105	0,010	0,009	0,043
<i>Melinna palmata</i>		0,003	0,001	0,002	*			0,004	0,001	
<i>Minuspio cirrifera</i>	*									
<i>Nephtys hombergi</i>								*		
<i>Nephtys hystricis</i>	*	0,005	0,001	0,016	0,028	0,003	0,002	0,002	0,013	0,008
<i>Ninoe sp</i>	0,007	*	0,005	0,004	0,001	0,006	0,004	*	0,002	0,012
<i>Notomastus aberans</i>	0,030	0,005	0,005	0,001	0,003	0,009	0,011	0,007	0,037	0,002
<i>Ophelina cylindricaudata</i>	0,001	0,002	0,001	0,001	*	*	*	*	0,001	0,001
<i>Ophiodromus flexuosus</i>		*	*			*	*		*	
<i>Owenia fusiformis</i>									*	
<i>Paradiopatra calliopae</i>	0,009	0,003	*	0,004	*	0,003	0,001	0,002	0,006	0,004
<i>Paralacydonia paradoxa</i>	*	0,001	0,001	0,001	*	0,001	0,002	*	0,001	*
Paraonidae nd	0,003	0,003	0,004	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,003	0,004
<i>Phylo norvegica</i>									0,003	
Pilargidae nd	*	*		*		*	*	*	*	*
<i>Pilargis verrucosa</i>	*			0,001		*				*
<i>Poecilochetus serpens</i>	0,002	*								
<i>Prionospio sp</i>		*	0,001	0,001	0,001	*	0,002	*	0,001	*
Sabellidae nd		*	*	*						*
<i>Scalibregma inflatum</i>	0,001	0,001						*		
<i>Scoletoma impatiens</i>								*		
<i>Scoletoma sp</i>	*			*		0,003				
<i>Scoloplos armiger</i>	*	*	0,003	0,005	*	0,001	*	*	0,001	*
<i>Sigambra tentaculata</i>			*							
Sphaerodoridae nd	*	*				*	*			
Spionidae nd	*	*	0,001	*	*	*	*	*	*	*
<i>Spiophanes bombyx</i>	*			*		*			*	*
<i>Syllis sp</i>	0,001									
Terebellidae nd			0,011			0,007				0,001
Sipunculidi										
<i>Nephasoma sp</i>						0,036				
<i>Onchnesoma steenstrupi</i>	0,001	0,001	*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	*	*
Sipuncula nd	0,001	0,003	0,001	0,087	*	0,002	0,005	0,004	0,005	0,001
Biomassa totale	0,608	0,563	0,359	0,259	2,151	0,225	1,776	0,087	0,231	2,295

3.3.2. AFFINITÀ BIOECENOTICHE DELLE SPECIE RINVENUTE

Come già evidenziato in tutti i survey condotti sinora (Fabi *et al.*, 2018), anche nell'inverno 2018 i popolamenti rinvenuti sono risultati quasi esclusivamente composti da organismi di fondo mobile, in particolare Limicoli (Lim), nettamente dominanti ovunque per numero di taxa e densità (Tab. 3-XXII). A seguire gli organismi indicatori di Materia Organica (MO) e/o i Sabulicoli (Sab).

Tab. 3-XXII – Numero di taxa (a) e di individui (b; n/0,095 m²) rinvenuti nell'inverno 2018 determinati a livello di specie suddivisi in base alla loro affinità biocenotica. In giallo sono indicati i gruppi più numerosi. Per la legenda si rimanda alla Tab. 3-XX.

a)

	Sealine C							Controlli		
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Substrato mobile non rinv. in letter. (Sm)		1	1			1	1			1
Limicoli (Lim, VTC, VB)	17	20	17	16	15	18	20	15	16	17
Sabulicoli (Sab, SFBC)	3	1	1	3	1	5	1	3	4	4
Misticoli (Mixt, DC, DE, SGCF)	3	4	4	4	2	2	4	2		5
Fondi Mobili Instabili (MI)		1		1						
Minuticoli (Minut)		1	1	1	1			1	1	
Indicatori di Materia Organica (MO)	5	4	4	4	3	4	4	4	5	4
Substrato duro (C, Sd)	2	2	1	1		1	1	1	3	1
Larga ripartizione ecologica (Lre)	2	1	2	3	1	1	1	1	1	2

b)

	Sealine C							Controlli		
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Substrato mobile non rinv. in letter. (Sm)		0,33	0,33			0,33	0,33			0,33
Limicoli (Lim, VTC, VB)	29,67	34,33	24,33	18,33	13,67	24,33	19,67	26,33	23,33	24,67
Sabulicoli (Sab, SFBC)	1,67	0,67	0,33	1,33	0,33	2,67	0,33	1,00	2,33	1,33
Misticoli (Mixt, DC, DE, SGCF)	1,33	3,67	1,67	2,00	0,67	1,00	1,33	0,67		4,00
Fondi Mobili Instabili (MI)		0,33		0,33						
Minuticoli (Minut)		0,33	0,33	0,67	0,33			1,00	0,33	
Indicatori di Materia Organica (MO)	9,00	9,67	12,00	10,67	6,33	10,67	9,33	8,33	10,67	8,33
Substrato duro (C, Sd)	0,67	0,67	1,00	0,33		0,67	0,33	1,33	1,00	0,67
Larga ripartizione ecologica (Lre)	2,67	3,00	3,00	1,67	3,00	5,00	1,67	3,00	5,67	5,33

3.3.3. DOMINANZA

Per la rappresentazione grafica delle dominanze sono stati evidenziati i 10 taxa che nell'inverno 2018 hanno complessivamente costituito il 71% delle comunità, includendo i rimanenti nella categoria "altro" (fig. 3.10).

Come riscontrato sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2018), i policheti paraonidi sono risultati il taxon dominante in tutte le stazioni, rappresentando dal 34,43% (C2) al 49,08% (C1) delle comunità. A seguire *O. cylindricaudata*, *A. filiformis* e *P. calliope*, ma con percentuali decisamente più basse, raramente superiori al 10%.

La categoria "altro" è ancora una volta risultata ben rappresentata ovunque, con percentuali comprese tra il 19,63% (C1) e il 34,86% (C7). Non sono state evidenziate particolari differenze tra transetto e controlli.

Sia le specie principali, sia quelle secondarie, sono risultate equamente ripartite nelle diverse stazioni di campionamento, come evidenziato dall'andamento delle curve cumulative delle quali solo quella relativa a C5 appare leggermente distaccata da tutte le altre a causa del minor numero di taxa rinvenuti (fig 3.11).

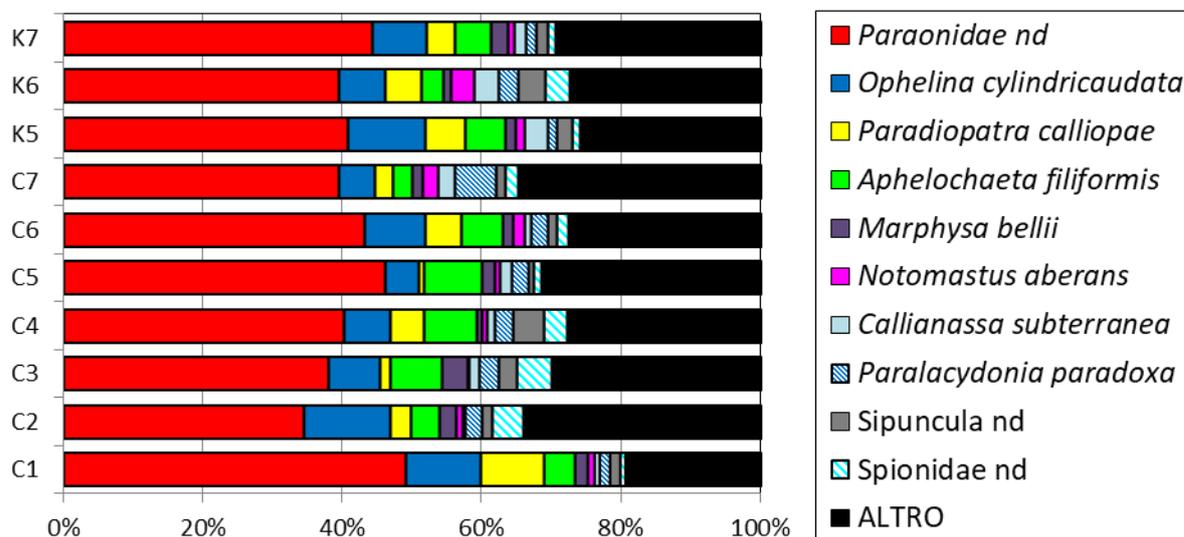


Fig. 3.10 - Valori percentuali di dominanza delle specie principali ottenuti nelle stazioni monitorate nell'inverno 2018.

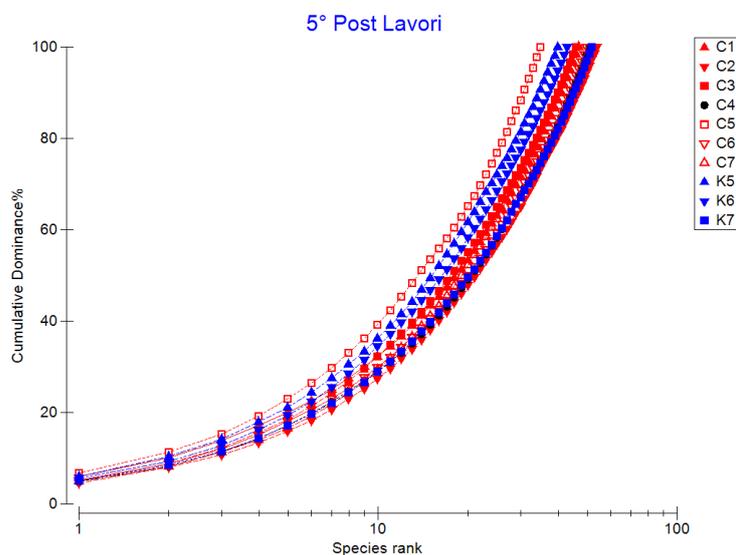


Fig. 3.11 - Curve di dominanza cumulativa ottenute per le stazioni campionate nell'inverno 2018.

3.3.4. RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE (S)

Nell'inverno 2018 sono stati rinvenuti complessivamente 108 taxa appartenenti principalmente a policheti (48), crostacei (29) e molluschi (15) come in precedenza (Tab.

3-XX; Fabi *et al.*, 2018). E' stata rilevata anche la presenza di 4 taxa appartenenti ai briozoi, agli cnidari e agli echinodermi, 3 taxa afferenti ai sipunculidi e un nemertino. Rispetto all'estate 2017, quando era stata raggiunta la maggiore Ricchezza speficia totale dell'intero periodo di indagine (123), è avvenuto un decremento.

Tutti i siti posizionati lungo il transetto sono rientrati nel range dei controlli, compreso tra 40 e 52 (K5 e K7 rispettivamente) eccetto C5 in cui è stato raggiunto il minimo stagionale (35; fig. 3.12). Rispetto all'estate 2017 non sono avvenute variazioni univoche essendo l'indice aumentato in alcuni siti e diminuito in altri, sia nell'area circostante la condotta che in quella scelta come riferimento. Rispetto invece al pre-survey, si è verificato un notevole incremento sia in C4 che in K6.

Ovunque i policheti hanno costituito il raggruppamento meglio rappresentato, seguiti dai crostacei e dai molluschi. Gli echinodermi sono stati rinvenuti sporadicamente.

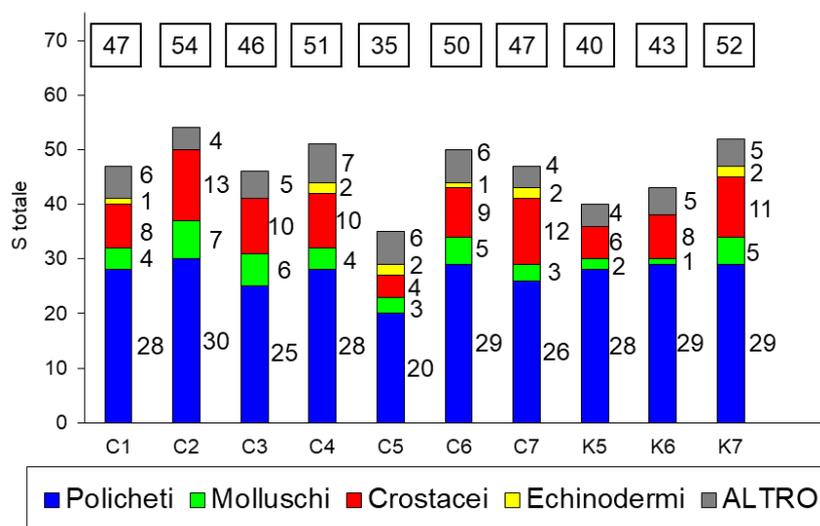


Fig. 3.12 - Ripartizione secondo il phylum di appartenenza delle specie rinvenute nelle singole stazioni campionate nell'inverno 2018. Sono anche riportati i valori della Ricchezza specifica totale ottenuti per i vari siti (riquadri).

3.3.5. RICCHEZZA SPECIFICA MEDIA (S_M)

La Ricchezza specifica media ha seguito un andamento del tutto analogo a quello appena descritto per S, oscillando lungo il transetto tra $18,33 \pm 1,1,20$ (C5) e $33,67 \pm 3,38$ (C2) e ai controlli tra $23,33 \pm 0,33$ (K5) e $28,67 \pm 1,33$ (K7; fig. 3.13). Solo C5 non è apparso confrontabile con i riferimenti. Rispetto all'estate 2017 (Fabi *et al.*, 2018) è da segnalare solo l'incremento in C7 e K5, mentre rispetto alla fase pre-installazione l'indice è aumentato sia C4 che in K6.

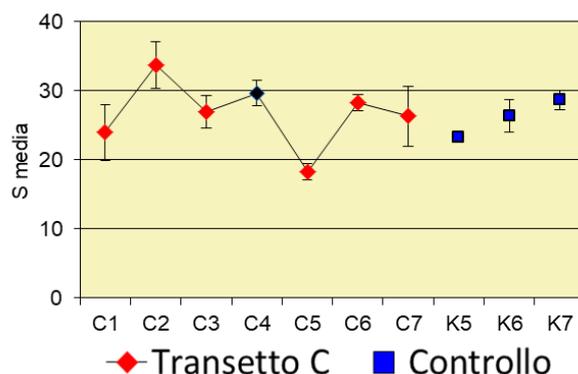


Fig. 3.13 - Ricchezza specifica media (\pm e.s.) registrata nel survey condotto nell'inverno 2018.

3.3.6. DIVERSITÀ SPECIFICA (H')

Anche la Diversità specifica ha mostrato per il transetto un andamento simile a quelli della Ricchezza specifica, sebbene caratterizzato da una maggiore linearità (fig. 3.14). Infatti, il range dei valori non è apparso molto ampio essendo compreso tra $2,01 \pm 0,16$ (C1) e $2,68 \pm 0,21$ (C2), tutti compresi nell'intervallo dei siti K ($2,33 \pm 0,04 \leq H' \leq 2,46 \pm 0,03$). Non si rileva alcuna variazione rispetto all'estate 2017 (Fabi *et al.*, 2018), mentre dal confronto con il pre-survey è emersa una maggiore diversificazione in corrispondenza della condotta.

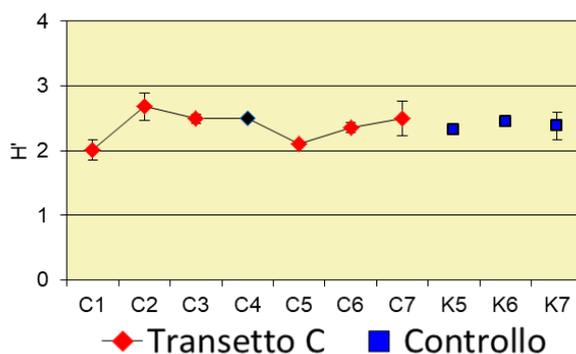


Fig. 3.14 - Diversità specifica (\pm e.s.) registrata nell'inverno 2018.

3.3.7. MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS)

Il MultiDimensional Scaling applicato ai dati di densità dei singoli taxa campionati nel 5° survey post lavori di installazione della condotta ha messo in evidenza, con una similarità del 60%, la somiglianza tra tutte le stazioni monitorate eccetto C5, rimasta isolata per i minori valori di densità e Ricchezza specifica (fig. 3.15a). Infatti, andando a plottare le densità delle specie principali emerge una grande somiglianza anche tra questo sito e gli altri (figg. 3.15b e 3.15c).

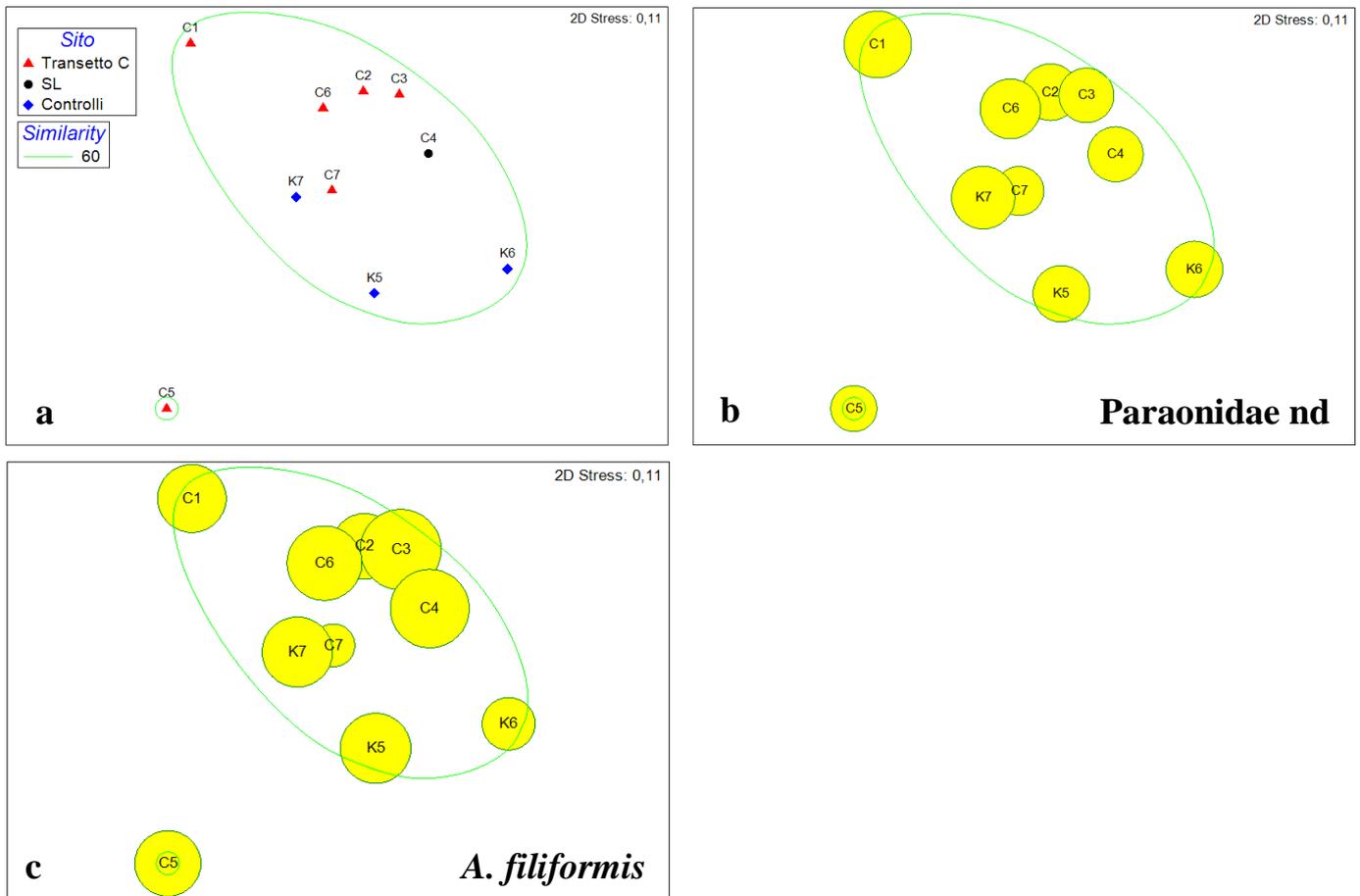


Fig. 3.15 – Rappresentazione bidimensionale dei siti campionati nell’inverno 2018 tramite il metodo del MultiDimensional Scaling. I cerchi gialli indicano i quantitativi in termini di densità delle singole specie.

3.3.8. VALUTAZIONE DELLO STATO AMBIENTALE

3.3.8.1 Indice W di Clarke

L’indice W di Clarke calcolato per l’inverno 2018 ha evidenziato la presenza di un ambiente moderatamente disturbato in tre siti posizionati lungo il transetto, tra cui C4 corrispondente alla condotta sottomarina, e in due controlli. Altrove è stata rilevata una situazione di lieve disturbo (Tab. 3-XXIII).

Rispetto all’estate 2017 (Fabi *et al.*, 2018) non sono avvenute variazioni eclatanti lungo C, pur essendosi il disturbo leggermente spostato tra le varie stazioni, mentre è stato evidenziato un peggioramento ai controlli. Quanto osservato in C4 è perfettamente in linea con il risultato del pre-survey, mentre presso K6 in quel monitoraggio era stato rilevato uno stato di disturbo leggero.

Tab. 3-XXIII – Valori dell'indice W di Clarke ottenuti per i siti monitorati nell'inverno 2018.

	Stazione	W	Classificazione ambientale
5° Post lavori	C1	0,334	Leggermente disturbato
	C2	0,307	Leggermente disturbato
	C3	0,276	Moderatamente disturbato
	C4	0,248	Moderatamente disturbato
	C5	0,449	Leggermente disturbato
	C6	0,219	Moderatamente disturbato
	C7	0,442	Leggermente disturbato
	K5	0,133	Moderatamente disturbato
	K6	0,235	Moderatamente disturbato
	K7	0,374	Leggermente disturbato

3.3.8.2 Indice AMBI

L'indice AMBI ha fornito risultati più ottimistici rispetto a W classificando tutti i siti come leggermente disturbati (Tab. 3-XXIV). Ciò sottolinea una situazione del tutto confrontabile con quella dell'estate 2017 e del pre-survey (Fabi *et al.*, 2018). Analogamente a quel primo monitoraggio, in tutti i siti è stata osservata una predominanza di organismi appartenenti al III gruppo ecologico, ovvero tolleranti a un eccessivo arricchimento organico nei sedimenti.

Tab. 3-XXIV – Suddivisione percentuale nei 5 gruppi ecologici (I = specie molto sensibili; II = specie indifferenti all'arricchimento organico; III = specie tolleranti; IV = specie opportuniste di II ordine; V = specie opportuniste di I ordine) delle specie rinvenute nei siti monitorati nell'inverno 2018 e classificazione del disturbo ambientale secondo l'indice AMBI. In giallo è riportato il gruppo ecologico più rappresentativo in ciascuna stazione.

	Stazione	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI	Classificazione ambientale
5° Post lavori	C1	28,09	9,57	60,19	2,16	0	2,05	Leggermente disturbato
	C2	30,15	11,08	53,23	4,31	1,23	2,03	Leggermente disturbato
	C3	18,08	15,13	60,89	5,17	0,74	2,33	Leggermente disturbato
	C4	25,19	9,92	59,54	3,82	1,53	2,20	Leggermente disturbato
	C5	17,68	14,02	67,07	1,22	0	2,28	Leggermente disturbato
	C6	22,79	11,57	62,59	2,38	0,68	2,20	Leggermente disturbato
	C7	21,30	15,28	56,94	5,09	1,39	2,25	Leggermente disturbato
	K5	27,86	10,00	59,29	1,79	1,07	2,07	Leggermente disturbato
	K6	25,87	9,09	61,19	2,80	1,05	2,16	Leggermente disturbato
	K7	24,29	12,62	59,94	1,89	1,26	2,15	Leggermente disturbato

3.3.8.3 Indice BENTIX

L'indice BENTIX ha classificato tutte le stazioni, inclusi i controlli, come moderatamente disturbate (Tab. 3-XXV), evidenziando un lieve peggioramento rispetto all'estate 2017 in C2 e C4 (Fabi *et al.*, 2018). Rispetto invece al pre-survey sono apparsi leggermente più impattati sia il sito corrispondente alla condotta che il controllo K6.

Tab. 3-XXV – Valori dell’indice BENTIX ottenuti per i siti monitorati nell’inverno 2018.

	Stazione	BENTIX	Classificazione ambientale
5° Post lavori	C1	3,37	Moderatamente disturbato
	C2	3,43	Moderatamente disturbato
	C3	3,32	Moderatamente disturbato
	C4	3,19	Moderatamente disturbato
	C5	2,96	Moderatamente disturbato
	C6	3,23	Moderatamente disturbato
	C7	3,16	Moderatamente disturbato
	K5	3,49	Moderatamente disturbato
	K6	3,28	Moderatamente disturbato
	K7	3,34	Moderatamente disturbato

3.3.8.4 Stato ecologico

In Tab. 3-XXVI è riportato lo stato ecologico derivato dalla combinazione dei risultati dei tre indici ottenuti nel 5° survey post lavori di installazione. Lo stato ecologico è oscillato tra buono/moderato e moderato sia nell’area circostante la condotta, sia nei siti di controllo. Rispetto all’estate 2017 (Fabi *et al.*, 2018) le variazioni, positive o negative, sono state molto modeste eccetto in C4 in cui, nel 4° post lavori, era stato raggiunto per la prima volta uno stato buono. Nel medesimo sito la differenza con quanto rilevato nel pre-survey appare più contenuta (pre-survey: stato buono/moderato); un peggioramento maggiore rispetto alla fase di pre-installazione è stato rilevato nel sito di controllo K6 caratterizzato, prima in quel monitoraggio, da uno stato buono.

Tab. 3-XXVI - Classificazione dello stato ecologico derivata dalla combinazione dei tre differenti indici.

		W	AMBI	BENTIX	Stato ecologico
		Classificazione ambientale	Classificazione ambientale	Classificazione ambientale	
5° Post lavori	C1	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	buono/moderato
	C2	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	buono/moderato
	C3	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	moderato
	C4	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	moderato
	C5	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	buono/moderato
	C6	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	moderato
	C7	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	buono/moderato
	K5	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	moderato
	K6	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	moderato
	K7	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	buono/moderato

4. CONCLUSIONI

In riferimento al Decreto n. 0000222 del 09/09/2014 emesso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare il CNR-IRBIM (ex ISMAR) di Ancona è stato incaricato da ENI S.p.A. – UPSTREAM DICS di effettuare un monitoraggio volto a valutare il potenziale impatto ambientale conseguente l'installazione della piattaforma Bonaccia NW e della condotta sottomarina collegante tale struttura alla piattaforma Bonaccia. Gli aspetti indagati contemplati in tale monitoraggio sono stati scelti in base: a) alle specifiche riportate nel Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare; b) alle prescrizioni dell'ARPAM; c) alle conoscenze acquisite dal CNR-IRBIM di Ancona a partire dalla sua costituzione (1969) nel campo dell'oceanografia e della biologia marina in Adriatico e negli altri mari italiani; d) alle numerose esperienze effettuate dal CNR-IRBIM dal 1998 ad oggi presso altri impianti di estrazione off-shore installati in alto e medio Adriatico su diverse tipologie di fondale da 20 a 85 m di profondità (Regina, Anemone, Annalisa, Barbara NW, Calpurnia, Naomi-Pandora, PCMS-1, Calipso, Clara Est, Clara Nord, Naide, Tea, Annamaria B, pozzi sottomarini Bonaccia EST 2&3, Fauzia, Elettra; (Fabi *et al.*, 2001; 2003; 2004; 2005; 2006; 2010; 2013; 2015; 2016; 2017; 2019a; 2019b; 2019c); d) alle caratteristiche idrologiche e sedimentologiche della zona in cui è installata Bonaccia NW.

Per la condotta sottomarina collegante le piattaforme Bonaccia NW e Bonaccia è stato predisposto un monitoraggio comprendente indagini riguardanti i sedimenti (granulometria, IPA, idrocarburi totali, metalli pesanti, sostanza organica, TOC, ecotossicologia, bioaccumulo) e la composizione quali-quantitativa della comunità bentonica.

Il monitoraggio comprende 3 fasi:

- a. fase precedente alla posa in opera (pre-survey);
- b. fase di esercizio;
- c. fase di fine esercizio.

Data la lunghezza limitata del sea-line (2,5 km) le indagini sono state svolte lungo un transetto intersecante la struttura lungo il quale sono state posizionate a distanze crescenti 7 stazioni di campionamento e in tre controlli.

Nella presente relazione sono riportati i risultati ottenuti nell'inverno 2018, corrispondente al 1° semestre del 3° anno della fase di produzione della struttura.

Caratteristiche fisiche e chimiche dei sedimenti – I dati relativi al 5° survey post lavori

di installazione del sea-line effettuato nell'inverno 2018 non hanno mostrato segnali di alterazione nella composizione granulometrica determinati dalla presenza della struttura.

Gli IPA sono apparsi maggiori nei siti del transetto (ad esclusione di quello corrispondente al sea-line) rispetto ai controlli, ma anche in queste stazioni i tenori sono risultati decine di volte inferiori rispetto all'LCB indicato da ICRAM-APAT (2007), per cui non vi è alterazione nell'area.

Gli idrocarburi totali C>12 (quelli C<12 non sono mai stati rilevati) sono risultati bassi, molto inferiori rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018) e perfettamente in linea tra transetto e riferimenti.

Per quanto concerne i metalli pesanti, per il bario sono state rilevate concentrazioni maggiori lungo C rispetto ai controlli, fatto comunque osservato anche nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2018).

Analoga situazione è stata riscontrata per altri metalli, molti dei quali (alluminio, cromo, ferro, manganese, nichel, rame, vanadio, zinco e zirconio) hanno presentato la concentrazione maggiore nel sito posto a 60 m verso SW (C2), fatto che comunque non suscita delle perplessità trattandosi di valori sempre modesti.

Anche la sostanza organica è risultata maggiormente concentrata in alcuni siti del transetto rispetto ai controlli. Il contenuto maggiore è stato riscontrato anche per questa variabile in corrispondenza di C2; in questo caso, trattandosi del massimo assoluto dell'intero periodo di indagine (Fabi *et al.*, 2018), il fenomeno sarà attentamente valutato nel monitoraggio successivo.

Infine, nulla da segnalare per il total organic carbon.

Ecotossicologia dei sedimenti – Nell'inverno 2018 non è stata rilevata alcuna tossicità nei confronti di *Dunaliella tertiolecta*, *Vibrio fischeri* e *Corophium orientale*, confermando i risultati precedenti (Fabi *et al.*, 2018).

Anche il test di embriotossicità condotto con *Crassostrea gigas*, non ha rilevato alcuna tossicità eccetto in C2 (60 m a SW) dove è risultata bassa. Comunque, i risultati relativi a questo test indicano un miglioramento generale rispetto al monitoraggio precedente, quando era stata rilevata una tossicità bassa ovunque, e il ripristino delle condizioni del pre-survey in corrispondenza della condotta (C4) e nel controllo K6 (Fabi *et al.*, 2018).

La ricerca di metalli pesanti nei policheti appartenenti alla specie *Hediste diversicolor* ha evidenziato un bioaccumulo di alcuni elementi (Al, Ba, Cr, V, Mn, Ti) esclusivamente nel controllo K6. Eccetto lo stagno bioaccumulato solo nel sito a 30 m a NE (C6), gli altri metalli rilevati in concentrazioni significativamente superiori a quella del bianco sono stati

accumulati sia lungo il transetto, sia nel controllo, suggerendo l'estraneità della condotta a tale fenomeno.

Comunità bentonica – Come riscontrato in tutti i survey sinora condotti (Fabi *et al.*, 2018), anche nel 5° survey post lavori di installazione della condotta nei popolamenti rinvenuti in tutta l'area investigata hanno dominato taxa tipici di fondo mobile, in particolare organismi limicoli, sempre seguiti da specie indicatrici della presenza di materia organica nei sedimenti o dai sabulicoli. Le restanti categorie biocenotiche sono risultate ancora una volta poco rappresentate. In tutte le stazioni hanno sempre prevalso i policheti, seguiti dai crostacei e dai molluschi. Rispetto al survey precedente condotto nell'estate 2017 è avvenuto un decremento per quanto concerne il numero totale di taxa censiti, mentre a livello delle singole stazioni le variazioni non sono state univoche essendo la Ricchezza specifica aumentata in alcuni casi e diminuita in altri (Fabi *et al.*, 2018). Rispetto invece al pre-survey, è avvenuto un notevole incremento sia in corrispondenza della condotta sottomarina, sia nel controllo K6.

Analogamente ai campionamenti precedenti la comunità bentonica non è risultata molto diversificata poiché, come in passato, anche nell'inverno 2018 è stata rilevata una netta dominanza dei policheti paraonidi, che ovunque hanno rappresentato oltre il 30% del popolamento. In termini di ripartizione delle abbondanze tutti i siti campionati sono apparsi omogenei come indicato dalle curve di dominanza cumulativa. Anche il MuldiDimensional Scaling ha evidenziato una notevole similarità tra le stazioni di campionamento, isolando esclusivamente quella posizionata a 30 m da condotta in direzione NE (C5) a causa dei valori inferiori di densità e ricchezza specifica.

I tre indici ecologici utilizzati per la valutazione dello stato ambientale (W di Clarke, AMBI e BENTIX) hanno evidenziato, in quest'ultimo monitoraggio, uno stato compreso tra il buono/moderato e il moderato sia nell'area circostante la condotta sottomarina che in quella di riferimento, suggerendo rispetto al pre-survey un peggioramento, più lieve in C4 (corrispondente al sea-line) e più evidente al controllo K6, che pertanto non è riconducibile alla presenza del sea-line.

5. BIBLIOGRAFIA

- Amouroux J.M. 1974. Etude des peuplements infralittoraux de la côte du Roussillon. *Vie Milieu*, 24 (1) sèr. B: 209-222.
- ASTM. 1998. *Standard guide for determination of the bioaccumulation of sediment-associated contaminants by benthic invertebrates*. Standard ASTM E1688-97a. American Society for testing and materials, Philadelphia, PA: 1072-1121.
- ASTM. 2004a. *Standard guide for conducting static toxicity tests with microalghe*. ASTM E1218-04-E1. 14 pp.
- ASTM. 2004b. *Standard Guide for Conducting Static Acute Toxicity Tests Starting with Embryos of Four Species of Saltwater Bivalve Molluscs*. ASTM E724-98. 21 pp.
- Augier H. 1992. *Inventaire et classification des biocénoses marines benthique de la Méditerranée*. Conseil de l'Europe. U.E.R. Des Sciences de la Mer et de l'Environnement de Luminy Marseille. 59 pp.
- Bellan Santini D., Ledoyer M. 1972. Inventaire des amphipodes gammariens récoltés dans la Région de Marseille. *Tethys*, 4(4): 899-934.
- Bellan G., Bellan Santini D., Picard J. 1980. Mise en évidence de modèles eco-biologiques dans des zones soumises à perturbations par matières organiques. *Oceanol. Acta*, 3: 383-390.
- Bettencourt A., Bricker S.B., Ferriera J.G., Franco A., Marques J.C., Melo J.J., Nobre A., Ramos L., Reis C.S., Salas F., Silva M.C., Simas T., Wolff W. 2004. *Typology and reference conditions for Portuguese transitional and coastal waters*. Instituto da Agua. Instituto do Mar, Lisbon.
- Bianchi C.N., Ceppodomo I., Galli C., Sgorbini S., Dell'Amico F., Morri C. 1993. Benthos dei mari toscani. I: Livorno – Isola d'Elba (Crociera ENEA 1985). *ENEA Arcipelago Toscano – Serie Studi Ambientali*: 263-291.
- Borja A., Mader J. 2008. *Instructions for the use of the AMBI index software (version 4.1)*. AZTI-Tecnalia. 13 pp.
- Borja A., Franco J., Pérez V. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environment. *Mar. Poll. Bull.*, 40(12): 1100-1114.
- Bourcier M., Nodot C., Jeudy De Grissac A., Tine J. 1979. Répartition des biocénoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France). *Tethys*, 9: 103-112.
- Chimenz Gusso C., Gravina M.F., Maggiore F.R. 2001. Temporal variations in soft bottom benthic communities in Central Tyrrhenian Sea (Italy). *Archo Oceanogr. Limnol.*, 22: 175-182.
- Christensen E.R., Kusk, K.O., Nyholm N. 2009. Dose-response regressions for algal growth and similar continuous endpoint: calculation of effective concentrations. *Environ. Toxicol. Chem.*, 28: 826-835.
- Clarke K.R., Warwick R.M. 2001. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd Edition. PRIMER-E, Plymouth, Uk. 172 pp.
- Craeymeersch J.A. 1991. Applicability of the abundance/biomass comparison method to detect pollution effects on intertidal macrobenthic communities. *Hydrobiol. Bull.*, 24(2): 133-140.
- EPA. 1993. *Guidance manual, Bedded sediment Bioaccumulation Tests*. EPA/600/R-93/183. 246 pp.
- EPA. 1996. *Silica gel cleanup*. EPA METHOD 3550C. 15 pp.
- EPA. 2003a. *Volatile organic compounds in various sample matrices using equilibrium headspace*

- analysis*. EPA METHOD 5021A. 25 pp.
- EPA. 2003b. *Nonhalogenated organics using gc/fid*. EPA METHOD 8015D. 37 pp.
- EPA. 2007a. *Ultrasonic extraction*. EPA METHOD 3550C. 17 pp.
- EPA. 2007b. *Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry*. EPA METHOD 7473. 15 pp.
- EPA. 2007c. *Graphite furnace atomic absorption spectrophotometry*. EPA METHOD 7010. 24 pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Grati F., Marini M., Spagnolo A. 2001. *Servizi di monitoraggio ambientale campo Regina. III Anno di indagine. Rapporto finale*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione AGIP, Distretto di Ravenna. 185 + XXVII pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Panfili M., Scarcella G., Spagnolo A. 2003. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Annalisa. III Anno di indagine. Rapporto Finale*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione AGIP, Distretto di Ravenna. 123 + XLVI pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Manoukian S., Marini M., Scarcella G., Spagnolo A. 2004. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Barbara NW. Rapporto conclusivo di tre anni di indagine (2000 – 2002)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 228 + XLIX pp.
- Fabi G., Boldrin A., De Ranieri S., Manoukian S., Nasci C., Scarcella G., Spagnolo A. 2005. *Servizi di monitoraggio ambientale Piattaforma di estrazione di idrocarburi gassosi “Naomi-Pandora”. Rapporto conclusivo di due anni di indagine (2002-2003)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 201 + XXVIII pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Manoukian S., Marini M., Meneghetti F., Paschini E., Scarcella G., Spagnolo A. 2006. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Calipso. Rapporto finale di 4 anni di studio (2002-2005)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 224 + XLII pp.
- Fabi G., Campanelli A., De Ranieri S., Nasci C., Polidori P., Punzo E. 2010. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Clara Est. Rapporto conclusivo di tre anni di monitoraggio (estate 2005 - inverno 2008)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 353 + XLI pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Manoukian S., Marini M., Nasci C., Scarcella G., Spagnolo A. 2013. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Naide. Rapporto conclusivo di 4 anni di monitoraggio, dal pre-survey al terzo anno dopo la posa (estate 2004 - inverno 2008)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 397 + xlvi pp.
- Fabi G., De Biasi A.M., Gomiero A., Kozinkova L., Penna P.G., Polidori P., Spagnolo A. 2015. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Tea - Rapporto conclusivo dal pre-survey al terzo anno successivo alla posa in opera della piattaforma (2006-2010)*. 251 + XLIV pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Borghini M., Campanelli A. De Biasi A.M., Gaetani A., Girasole M., Gomiero A., Kozinkova L., Polidori P., 2016. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Annamaria B - Piano Nazionale. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma. Rapporto finale di sei anni di indagine (dal pre-survey al 3° anno post lavori di installazione)*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS. 258 + CXVIII pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Borghini M., De Biasi A.M., Gomiero A., Kozinkova L. 2017. *Monitoraggio ambientale Pozzi sottomarini Bonaccia Est 2 e Bonaccia Est 3. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione dei pozzi sottomarini. V anno successivo ai lavori di installazione (2015) - Rapporto finale*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM, DICS. 61 + XXXI pp.
- Fabi G., Spagnolo A., De Biasi A.M., Kozinkova L., Salvalaggio V. 2018. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Bonaccia NW - Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della condotta collegante Bonaccia NW a Bonaccia. Fase di produzione - Rapporto Finale 2° anno (dal pre-survey a dicembre 2017)*. Rapporto n. 7. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS.

87 + XIX pp.

- Fabi G., Spagnolo A., Borghini M., Cassin D., De Biasi A.M., De Lazzari A., Girasole M., Gomiero A., Kozinkova L., Manarini T., Montagnini L., Scanu M., Tasseti A.N. 2019a. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Elettra. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma. 4° anno della fase di produzione - Rapporto finale - Rapporto n. 14.* Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM, DICS. 273 + LVIII pp.
- Fabi G., Borghini M., Cassin D., De Biasi A.M., De Lazzari A., Girasole M., Gomiero A., Kozinkova L., Manarini T., Pellini G., Spagnolo A., Tasseti A.N. 2019b. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Fauzia. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma. 4° anno della fase di produzione - Rapporto finale - Rapporto n. 14.* Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM, DICS. 351 + LVII pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Borghini M., Cassin D., De Biasi A.M., De Lazzari A., Kozinkova L., Masnadi F., Montagnini L., Tasseti A.N. 2019c. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Clara NW. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma Clara NW. Fase di produzione - 3° anno - Rapporto semestrale (gennaio - giugno 2018).* Rapporto n. 11. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM, DICS. 160 + LII pp.
- ICRAM. 2001. *Metodologie analitiche di riferimento. Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino-costiero (triennio 2001-2003).*
- ICRAM-APAT. 2007. *Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini.* 72 pp.
- ISO. 2004. *Determination of content of hydrocarbon in the range C10 to C40 by gas chromatography.* ISO 16703:2004. 18 pp.
- ISO. 2005. *Water quality - determination of acute toxicity of marine or estuarine sediment to amphipods.* ISO 16712:2005(E). 15 pp.
- May R.M. 1979. Patterns of Species Abundance and Diversity. Pagg. 81-120, in: Cody M.L. and Diamond J.M. (Eds). *Ecology and Evolution of Communities*, 4.
- Muxika I., Borja A., Bald J. 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Framework Directive. *Mar. Poll. Bull.*, 55: 13-29.
- Nodot C., Bourcier M., Juedy De Grissac A., Hursner S., Regis J., Tine J. 1984. Répartition des biocénoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France). 2. La Grande Rade. *Tethys*, 11: 141-153.
- Pérès J.M., Picard J. 1964. Nouveau Manuel de Bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Recl. Trav. St. Mar. Endoume*, 31(47). 137 pp.
- Pianka E.R. 1970. On r- and k-selection. *Amer. Nat.*, 104: 592-597.
- Pielou E.C. 1974. *Population and Community Ecology: Principles and Methods.* Gordon and Breach Sci. Publ., New York. 424 pp.
- Poppe G.T., Goto Y. 1991. *European Seashells (Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogastrea, Gastropoda).* Vol. 1. Pubbl. by V.C. Hemmen, Grillparzerstr. 22, D-6200 Wiesbaden, Federal Republic of Germany. 352 pp.
- Poppe G.T., Goto Y. 1993. *European seashells. Vol. II (Scaphopoda, Bivalvia, Cephalopoda).* Hemmen V.C. (Ed.), Germany. 221 pp.
- Rinelli P., Spanò N. 1997. Distribuzione di crostacei decapodi ed echinodermi di ambienti detritici insulari. *Biol. Mar. Medit.*, 4: 440-442.
- Salen-Picard C. 1985. Indicateurs biologiques et sédimentation en milieu circalittoral Méditerranéen. *Rapp. p. v. Réu. Comm. Int. pour l'Explor. Sci. Mer Médit.*, 29: 5.
- Simboura N., Zenetos A. 2002. Benthic indicators to use in ecological quality classification of

- Mediterranean soft bottom marine ecosystem, including a new biotic index. *Mediterr. Mar. Sci.*, 3: 77-111.
- Teixeira H., Salas F., Pardal M.A., Marques J.C. 2007. Applicability of ecological evaluation tools in estuarine ecosystem: a case of the lower Mondego estuary (Portugal). *Hydrobiologia*, 587: 101-112.
- UNI EN ISO. 2000. *Saggio di inibizione della crescita di alghe marine con Skeletonema costatum e Phaeodactylum tricornerutum*. UNI EN ISO 10253:2000. 14 pp.
- USEPA. 1991. *Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms -Section 14- Green alga Selenastrum capricornutum growth test - Method 1003.0*. EPA/600/4-91/002. 334 pp.
- USEPA. 1995. *Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluent and receiving waters to west coast marine and estuarine organisms*. EPA/600/R-95/136. 15 pp.
- Zenetos A., Bellou N., Abousamra F. 2004. *The use of BENTIX in Assessing Ecological Quality of coastal waters across the Mediterranean. Proceedings of an international workshop on the promotion and use of benthic tools for assessing the health of coastal marine ecosystems*. Intergovernmental Oceanographic Commission. Workshop Report n. 195: 19-22.

ALLEGATO A

SCHEDE TECNICHE DELLA STRUMENTAZIONE

UTILIZZATA NELLE INDAGINI

A1

INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI

A1-I - BOX-CORER per il prelievo dei campioni



Materiale	Dimensione scatola campionatore (cm)
Ferro zincato	17x10x24,5h

A1-II - BILANCIA ELETTRONICA



Le bilance elettroniche sono sensibili all'accelerazione di gravità; pertanto, in accordo con la direttiva 90/384, devono essere calibrate nel luogo di utilizzo con masse tarate in classe F1 che corrispondono a un peso di 200 g.

Strumento	Costruttore	Modello	Sensibilità	Capacità
Bilancia elettronica	Gibertini Elettronica S.r.l.	EU 2000	±0,01 g	1000 g

A1-III -STUFA TERMOSTATA “HIGH PERFORMANCE”



Strumento	Costruttore	Modello	Capacità (litri)	Temperatura (°C)	Precisione (°C)
Stufa termostata	F.lli Galli G&P	2100	96	50 – 300	±2

Ogni sei mesi viene inserito un termometro per verificare che la temperatura della stufa resti costante. La lettura del termometro viene eseguita ogni 45 minuti per una durata totale della prova di 3 ore. E' accettata una variazione di 2°C rispetto alla temperatura iniziale.

A1-IV - SETACCI



Strumento	Costruttore	Serie	Materiale	Diametro (mm)	Dimensione delle maglie (μ)
Setacci normalizzati	Giuliani Teconologie S.r.l.	ASTM	acciaio inox	100 - 200	63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000

Periodicamente si verifica che le maglie abbiano mantenuto le dimensioni e la forma originaria e si testa la regolarità delle saldature.

A1-V – DENSIMETRO



Strumento	Costruttore	Serie	Scala (ml)	Divisione (ml)	Zavorra	Taratura (°F)
Densimetro per terreni	Vetrotecnica	Normale ASTM	0,995 – 1,040	0,001	piombo	68/68

Lo strumento non necessita di verifica e taratura. Viene sostituito quando la scala graduata non è più visibile.

A1-VI - TSQ™ 9000 TRIPLE QUADRUPOLE GC-MS/MS SYSTEM



A1-VII - GAS-CROMATOGRAFO DOPPIA COLONNA, RIVELATORE FID - PERKIN ELMER SIGMA3B – DUAL FID



Il controllo interno della taratura dello strumento viene effettuato preliminarmente all'avvio di ogni indagine commissionata. Il controllo esterno e l'eventuale taratura ordinaria sono condotti annualmente da un Tecnico incaricato dalla Ditta costruttrice, quando il controllo interno risulta sfavorevole.

A1-VIII - DMA 80 per la misurazione di Hg



Consente di effettuare analisi per la determinazione diretta del contenuto di mercurio su matrici di varia natura, senza che si rendano necessari trattamenti chimici del campione.

A1-IX - VARIAN SPECTRA AA-240 Z per la misurazione di Cd, Pb e As

Spettrofotometro ad assorbimento atomico usato mediante l'impiego del fornello di grafite con piattaforma pirolitica. La correzione del rumore di fondo è assicurata dalla correzione di background trasversa "Zeeman" e dall'interpolazione polinomiale per la correzione delle interferenze. Al fine di ridurre il rumore di fondo e il limite di rivelabilità e di incrementare la sensibilità vengono utilizzate lampade monoelemento a catodo cavo.



A1-X - VARIAN ICP-720ES per la misurazione di Al, Ba, Fe, Cr, Ni, Cu, Si V, Zn, Mg, Mn, Ti, Ga, Zr e St



Spettrofotometro ad emissione atomica al plasma ad accoppiamento induttivo (ICP) e lettura sequenziale. Il sistema di raccolta della radiazione emessa dal plasma è di tipo assiale. Il generatore di radiofrequenze è 40 MHz. Per il raffreddamento del plasma viene impiegato argon ultrapuro.

A1-XI - ICP-MS Agilent Mod. 7700 per la misurazione dell'INDIO



A2

INDAGINI SULLA COMUNITA' BENTONICA

A2-I BENNA VAN VEEN



Materiale	superficie di sedimento campionata (m ²)
Acciaio	0,095

A2-II SETACCIO



Materiale	Lato maglia (mm)
Acciaio inox	0,5

A2-III MICROSCOPIO STEREO ZEISS STEMI 2000-C



Range dello zoom: 0,65x...5,0x.

A2-IV MICROSCOPIO OTTICO ZEISS AXIOLAB



Obiettivi in dotazione: 10x, 40x, 100x.

A2-V BILANCIA ANALITICA



Strumento	Costruttore	Modello	Risoluzione	Capacità
Bilancia elettronica	Mettler Toledo	ML204	0,0001 g	220 g

ALLEGATO B

SCHEDE GRANULOMETRICHE DEI SITI POSTI LUNGO IL TRANSETTO C E DEI CONTROLLI K5-K7

5° SURVEY POST LAVORI DI INSTALLAZIONE

1° semestre 2018



Stazione C1 (100 m SW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	n.d.
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

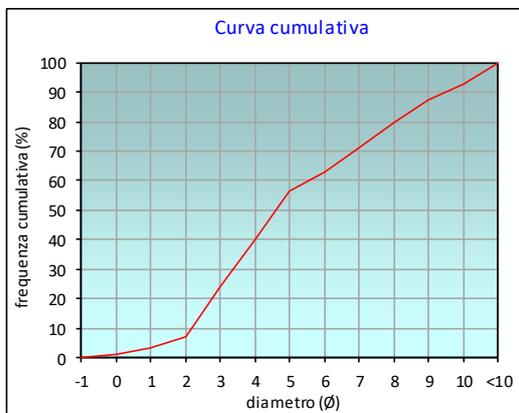
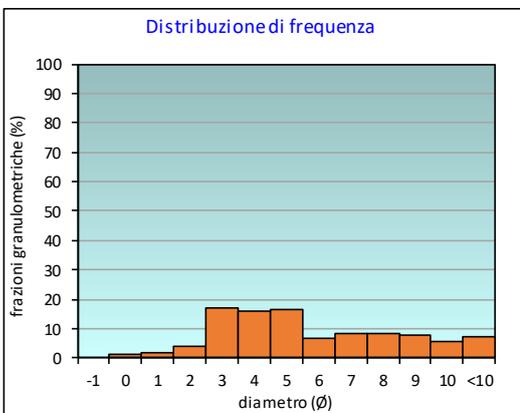
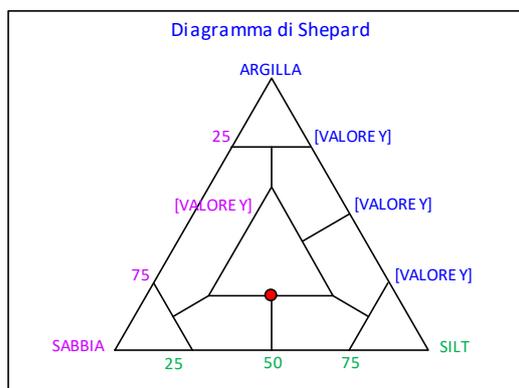
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,24	5	1,48
Mediana	M _d	4,61	16	2,53
Classazione	σ	2,85	25	3,06
Asimmetria	S _{ki}	0,30	50	4,61
Appuntimento	K _g	0,82	75	7,45
			84	8,58
			95	10,30

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	1,1	1,1
SABBIA	1	500	2,0	3,1
	2	250	3,9	7,0
	3	125	17,1	24,1
	4	62,5	15,8	39,9
LIMO	5	31,2	16,4	56,4
	6	15,6	6,8	63,2
	7	7,8	8,0	71,2
	8	3,9	8,3	79,5
ARGILLA	9	2	7,8	87,3
	10	0,98	5,6	92,9
	<10	<0,98	7,1	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	39,9	39,6	20,5

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Loam
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Platicurtica



Stazione C3 (30 m SW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	n.d.
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

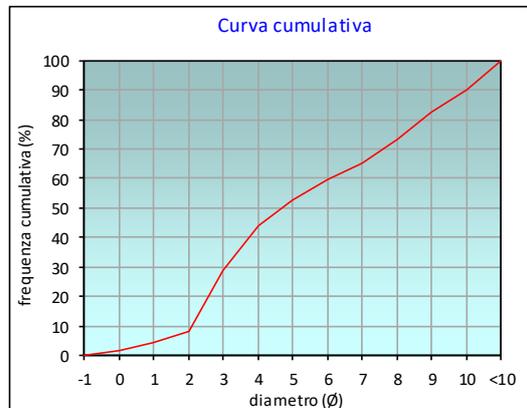
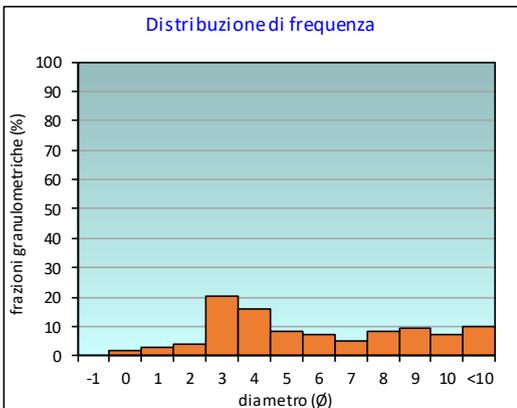
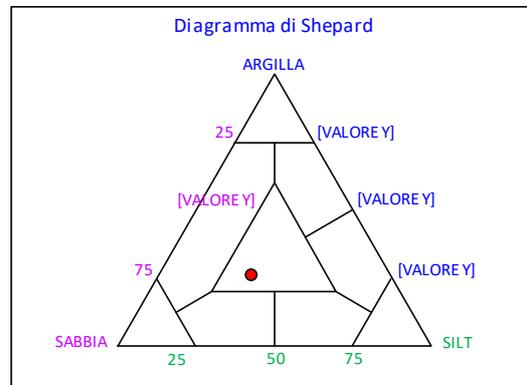
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,43	5	1,20
Mediana	M _d	4,69	16	2,38
Classazione	σ	3,12	25	2,83
Asimmetria	S _{ki}	0,29	50	4,69
Appuntimento	K _c	0,71	75	8,19
			84	9,22
			95	10,51

	∅	μm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
SABBIA	0	1000	1,5	1,5
	1	500	2,7	4,2
	2	250	4,1	8,3
	3	125	20,2	28,5
LIMO	4	62,5	15,7	44,2
	5	31,2	8,4	52,6
	6	15,6	7,2	59,8
	7	7,8	5,0	64,9
ARGILLA	8	3,9	8,4	73,3
	9	2	9,1	82,4
	10	0,98	7,4	89,8
	<10	<0,98	10,2	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	44,2	29,1	26,7

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Loam
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Asimmetrica positiva
Appuntimento	Platicurtica



Stazione C4 (SEA-LINE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	n.d.
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

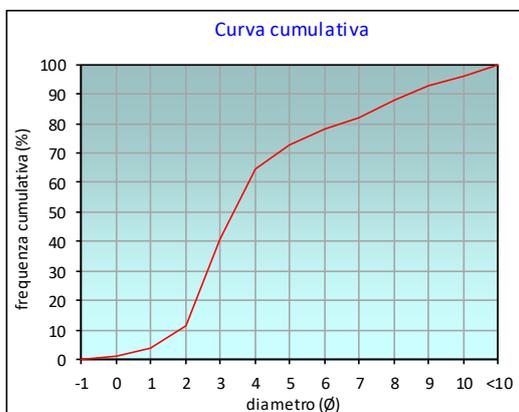
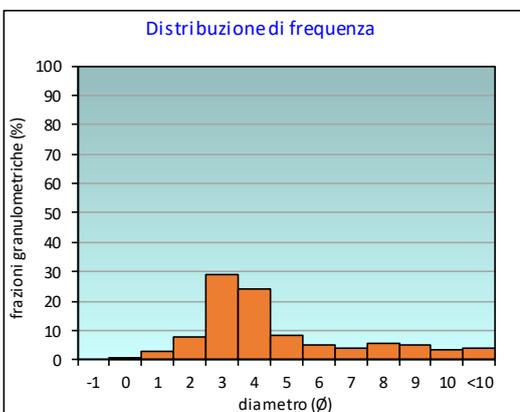
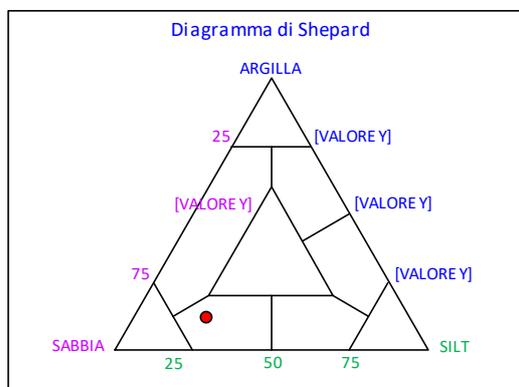
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	4,30	5	1,16
Mediana	M _d	3,39	16	2,16
Classazione	σ	2,59	25	2,47
Asimmetria	S _{ki}	0,50	50	3,39
Appuntimento	K _c	1,18	75	5,43
			84	7,36
			95	9,69

	∅	μm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,9	0,9
SABBIA	1	500	2,9	3,8
	2	250	7,7	11,5
	3	125	28,9	40,4
	4	62,5	24,3	64,7
LIMO	5	31,2	8,1	72,8
	6	15,6	5,1	77,9
	7	7,8	4,1	82,0
	8	3,9	5,6	87,6
ARGILLA	9	2	5,1	92,7
	10	0,98	3,4	96,0
	<10	<0,98	4,0	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	64,7	22,9	12,4

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Sabbia siltosa
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Leptocurtica



Stazione C5 (30 m NE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	n.d.
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

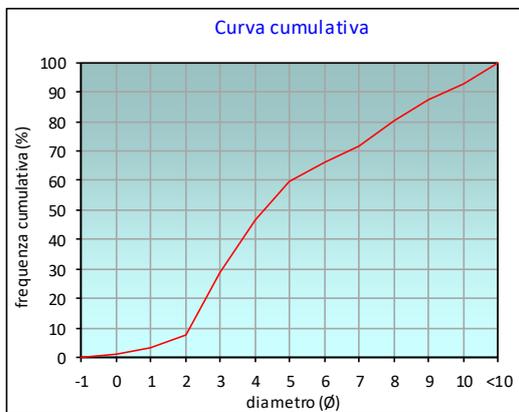
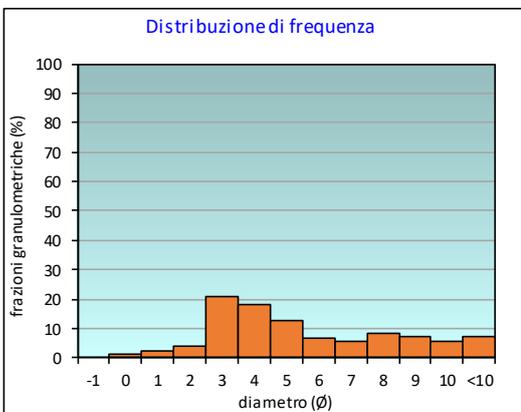
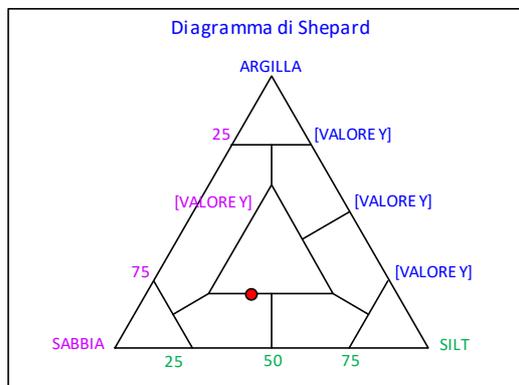
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,07	5	1,37
Mediana	M _d	4,26	16	2,40
Classazione	σ	2,89	25	2,83
Asimmetria	S _{ki}	0,37	50	4,26
Appuntimento	K _c	0,80	75	7,40
			84	8,54
			95	10,31

	∅	μm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
SABBIA	0	1000	1,3	1,3
	1	500	2,2	3,5
	2	250	4,0	7,5
	3	125	21,0	28,5
LIMO	4	62,5	18,1	46,7
	5	31,2	12,8	59,5
	6	15,6	6,6	66,1
	7	7,8	5,5	71,6
ARGILLA	8	3,9	8,5	80,1
	9	2	7,2	87,3
	10	0,98	5,4	92,7
	<10	<0,98	7,3	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	46,7	33,4	19,9

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Sabbia siltosa
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Platicurtica



Stazione C6 (60 m NE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	n.d.
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

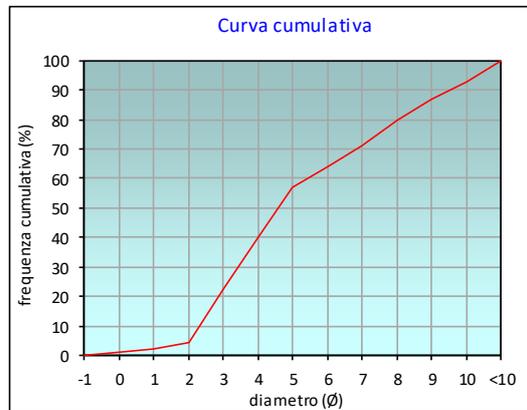
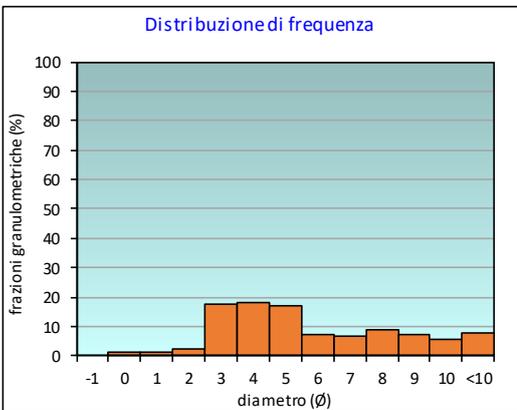
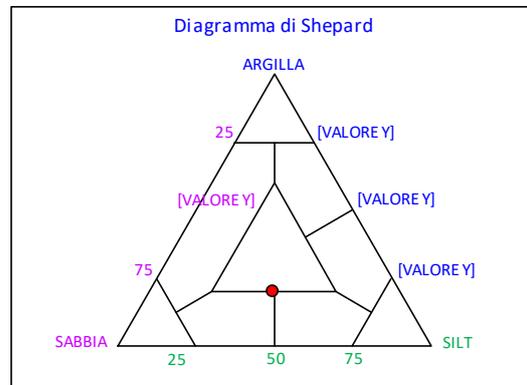
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,28	5	2,03
Mediana	M _d	4,58	16	2,65
Classazione	σ	2,75	25	3,16
Asimmetria	S _{ki}	0,37	50	4,58
Appuntimento	K _c	0,79	75	7,48
			84	8,60
			95	10,33

	∅	μm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
SABBIA	0	1000	1,0	1,0
	1	500	1,1	2,1
	2	250	2,4	4,5
	3	125	17,6	22,1
LIMO	4	62,5	18,3	40,4
	5	31,2	16,7	57,1
	6	15,6	7,2	64,3
	7	7,8	6,5	70,8
ARGILLA	8	3,9	8,7	79,5
	9	2	7,5	87,0
	10	0,98	5,5	92,5
	<10	<0,98	7,5	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	40,4	39,1	20,5

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Loam
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Platicurtica



Stazione C7 (100 m NE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	n.d.
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

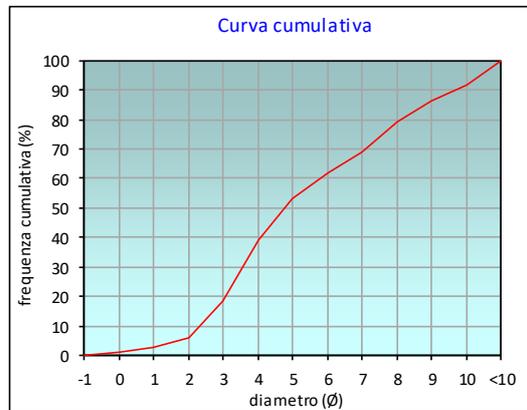
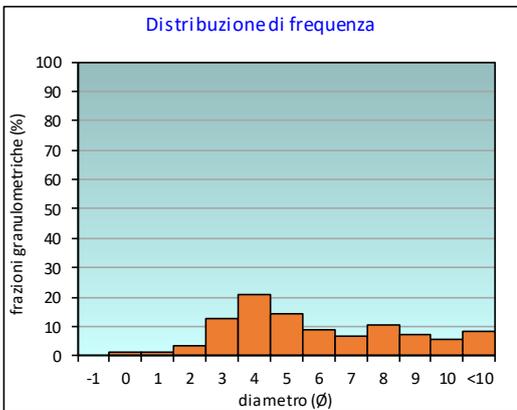
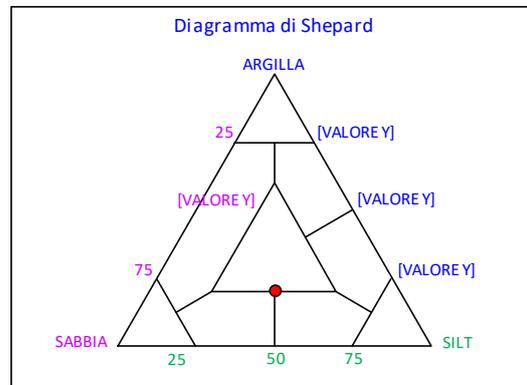
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,41	5	1,75
Mediana	M _d	4,76	16	2,79
Classazione	σ	2,78	25	3,31
Asimmetria	S _{ki}	0,32	50	4,76
Appuntimento	K _c	0,83	75	7,59
			84	8,68
			95	10,39

	∅	μm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
SABBIA	0	1000	1,0	1,0
	1	500	1,5	2,5
	2	250	3,4	5,8
	3	125	12,9	18,7
LIMO	4	62,5	20,6	39,3
	5	31,2	14,2	53,4
	6	15,6	8,7	62,1
	7	7,8	6,8	68,9
ARGILLA	8	3,9	10,3	79,2
	9	2	7,1	86,3
	10	0,98	5,5	91,8
	<10	<0,98	8,2	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	39,3	39,9	20,8

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Loam
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Platicurtica



Stazione K5

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	n.d.
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

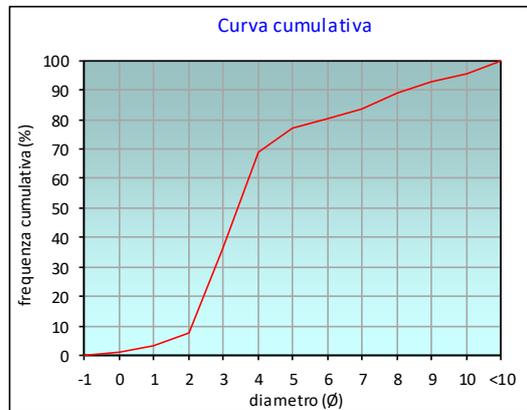
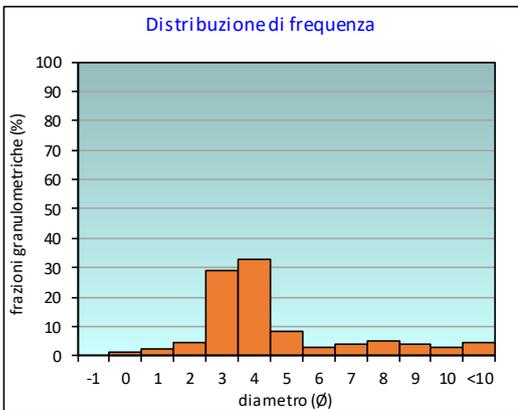
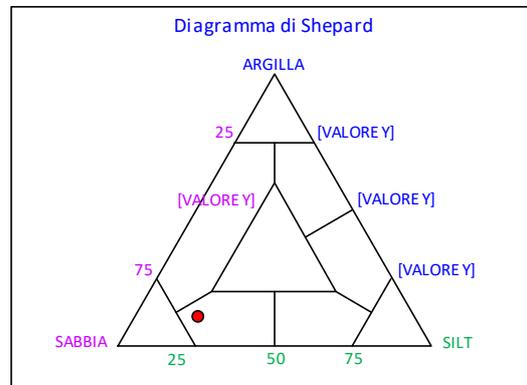
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	4,25	5	1,43
Mediana	M _d	3,42	16	2,29
Classazione	σ	2,45	25	2,61
Asimmetria	S _{ki}	0,53	50	3,42
Appuntimento	K _c	1,60	75	4,74
			84	7,05
			95	9,77

	∅	μm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
SABBIA	0	1000	1,0	1,0
	1	500	2,0	3,1
	2	250	4,4	7,5
	3	125	28,9	36,4
LIMO	4	62,5	32,6	69,0
	5	31,2	8,1	77,2
	6	15,6	2,9	80,1
	7	7,8	3,7	83,8
ARGILLA	8	3,9	5,1	88,8
	9	2	3,8	92,7
	10	0,98	3,0	95,7
	<10	<0,98	4,3	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	69,0	19,8	11,2

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Sabbia siltosa
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Molto Leptocurtica



Stazione K6

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	n.d.
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

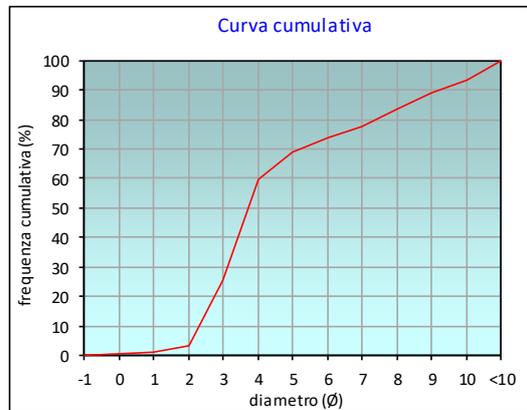
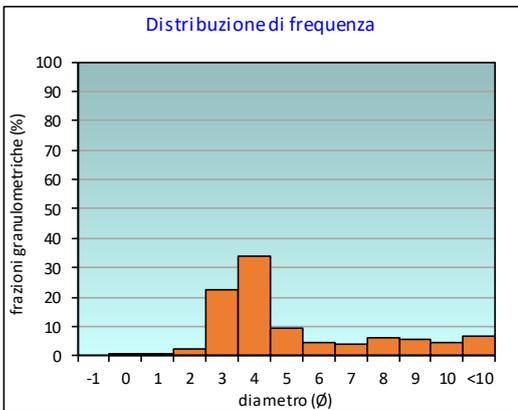
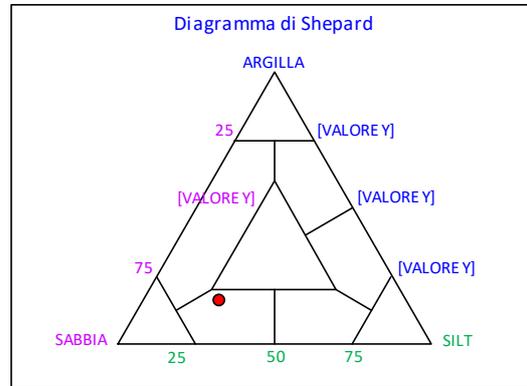
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	4,80	5	2,08
Mediana	M _d	3,72	16	2,57
Classazione	σ	2,62	25	2,97
Asimmetria	S _{ki}	0,59	50	3,72
Appuntimento	K _c	0,98	75	6,37
			84	8,11
			95	10,24

	∅	μm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,4	0,4
SABBIA	1	500	0,6	0,9
	2	250	2,2	3,2
	3	125	22,4	25,6
	4	62,5	34,1	59,7
LIMO	5	31,2	9,2	68,9
	6	15,6	4,6	73,5
	7	7,8	4,0	77,5
	8	3,9	5,9	83,4
ARGILLA	9	2	5,5	88,9
	10	0,98	4,6	93,5
	<10	<0,98	6,5	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	59,7	23,7	16,6

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Sabbia siltosa
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Mesocurtica



Stazione K7

PARAMETRI FISICI		
Peso specifico (g/cm ³)		n.d.
Umidità (%)		n.d.
Colore MUNSEL (codice)		n.d.
Colore MUNSEL (nome)		n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	4,78	5	2,07
Mediana	M _d	3,72	16	2,53
Classazione	σ	2,63	25	2,90
Asimmetria	S _{ki}	0,58	50	3,72
Appuntimento	K _α	0,90	75	6,62
			84	8,10
			95	10,24

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,2	0,2
SABBIA	1	500	0,6	0,9
	2	250	2,5	3,4
	3	125	23,9	27,3
	4	62,5	31,4	58,7
LIMO	5	31,2	9,3	68,0
	6	15,6	4,1	72,2
	7	7,8	4,6	76,7
	8	3,9	6,7	83,4
ARGILLA	9	2	5,5	88,9
	10	0,98	4,5	93,4
	<10	<0,98	6,6	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	58,7	24,7	16,6

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Sabbia siltosa
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Mesocurtica

