



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

**SERVIZI DI MONITORAGGIO AMBIENTALE  
CAMPO CLARA NW**

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

-----  
**FASE DI PRODUZIONE**

**2° ANNO**

**RAPPORTO SEMESTRALE**

**(gennaio-giugno 2017)**

**RAPPORTO n. 7**

**OPERATORE SCIENTIFICO:  
CNR – ISMAR SEDE DI ANCONA**

**COORDINATORE:  
GIANNA FABI**

**RESPONSABILE SCIENTIFICO:  
ALESSANDRA SPAGNOLO**

**RAPPORTO A CURA DI:  
GIANNA FABI  
ALESSANDRA SPAGNOLO  
LUDMILA KOZINKOVA  
ANNA MARIA DE BIASI**

**ANCONA, Marzo 2018**



# 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 .....	7
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 .....	11
2.2.2.1	<i>Dunaliella tertiolecta</i> .....	11
2.2.2.2	<i>Vibrio fischeri</i> (sistema Microtox®) .....	13
2.2.2.3	<i>Corophium orientale</i> .....	13
2.2.2.4	<i>Crassostrea gigas</i> .....	14
2.2.2.5	Ricerca di metalli pesanti in <i>Hediste diversicolor</i> .....	15
2.2.3.	INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA .....	17
3.	RISULTATI.....	21
3.1.	INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI.....	21
3.1.1.	GRANULOMETRIA .....	21
3.1.2.	IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI .....	22
3.1.3.	IDROCARBURI TOTALI .....	24
3.1.4.	METALLI PESANTI.....	24
3.1.5.	SOSTANZA ORGANICA.....	30
3.1.6.	TOTAL ORGANIC CARBON (TOC).....	30
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> .....	32
3.2.4.	<i>CRASSOSTREA GIGAS</i> .....	34
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 BIOECENOTICHE DELLE SPECIE RINVENUTE.....	41
3.3.3.	DOMINANZA .....	41
3.3.4.	RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE (S) .....	42
3.3.5.	RICCHEZZA SPECIFICA MEDIA (S <sub>M</sub> ) .....	43
3.3.6.	DIVERSITÀ SPECIFICA (H') .....	44
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.....	46
3.3.8.3	Indice Bentix .....	46
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 3° survey post lavori (inverno 2017) .....	X

## PARTECIPANTI AL PROGRAMMA

Coordinatore	G. Fabi	CNR - ISMAR Ancona
Responsabile Scientifico	A. Spagnolo	CNR - ISMAR 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
	L. Montagnini	Cooperativa Mare Ricerca Ancona
	P. Polidori	CNR - ISMAR Ancona
	E. Punzo	CNR - ISMAR Ancona
	V. Salvalaggio	CNR - ISMAR Ancona
	A. Santelli	CNR - ISMAR Ancona
	P. Strafella	CNR - ISMAR Ancona

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

## 1. INTRODUZIONE

In riferimento al Decreto n. 0000227 del 17/09/2014 emesso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare il CNR-ISMAR UOS 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 Clara NW della condotta sottomarina collegante tale piattaforma alla già esistente Calipso.

Clara NW è installata in Adriatico centrale, a circa 45 km in direzione Est dalla costa marchigiana, al largo di Ancona, su un fondale di circa 74-75 m, nella zona siltosa del largo. La condotta collegante le piattaforme Clara NW e Calipso si estende per circa 13 km in direzione ESE-WNW e ricade nella stessa fascia sedimentologica di Clara NW.

L'area in cui sono poste 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 e/o tuttora in corso dal CNR-ISMAR presso analoghe strutture situate in Adriatico centrale e settentrionale (Fabi *et al.*, 2001a; 2001b; 2002; 2003; 2004; 2005a; 2005b; 2006; 2010a; 2010b; 2013; 2015; 2016; 2017a; 2017b; 2018), per quanto concerne il sea-line collegante Clara NW alla piattaforma Calipso si è ritenuto opportuno proporre un programma di monitoraggio comprendente le seguenti indagini:

1. caratteristiche fisiche e chimiche dei sedimenti;
2. ecotossicologia dei sedimenti;
3. caratteristiche delle comunità bentoniche;
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 a) (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 esercizio 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 della condotta 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 il sea-line nel 1° semestre del 2° anno relativo alla fase di esercizio (2017).

**Tab. 1-I** – Survey previsti durante il programma di monitoraggio ambientale presso il sea-line Clara NW - Calipso.

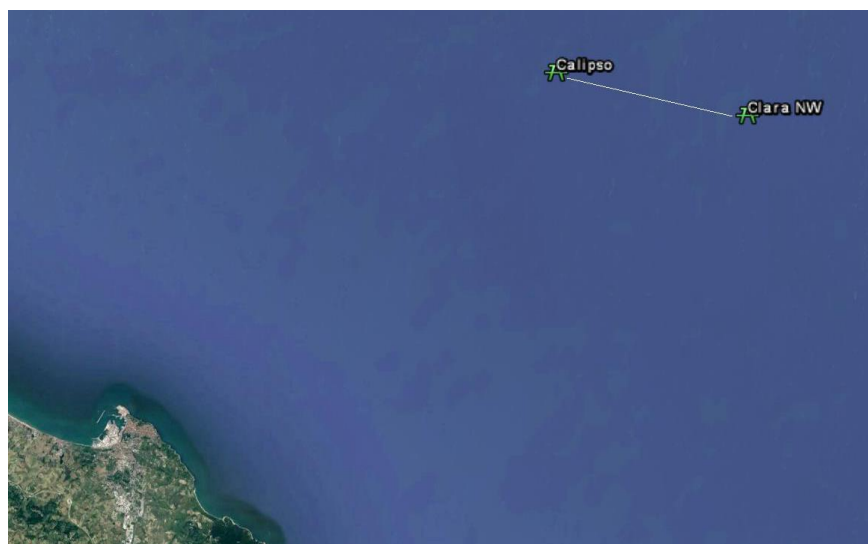
<b>Fase</b>	<b>Comparti d'indagine</b>	<b>Sealine</b>
<b>Ante operam</b>	Sedimenti	1-2 survey
	Ecotossicologia dei sedimenti	1-2 survey
	Comunità bentonica	1-2 survey
<b>Cantiere</b>	Rilevamento cetacei	*
<b>Esercizio</b>	Sedimenti	3 anni
	Ecotossicologia dei sedimenti	3 anni
	Comunità bentonica	3 anni
<b>Pre smantellamento</b>	Colonna d'acqua	1 survey
	Sedimenti	1 survey
	Ecotossicologia dei sedimenti	1 survey
	Comunità bentonica	1 survey
<b>Post smantellamento</b>	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 Clara NW e Calipso si estende per circa 13 km in direzione ESE-WNW (fig. 2.1). I lavori di installazione sono terminati nel marzo 2016.



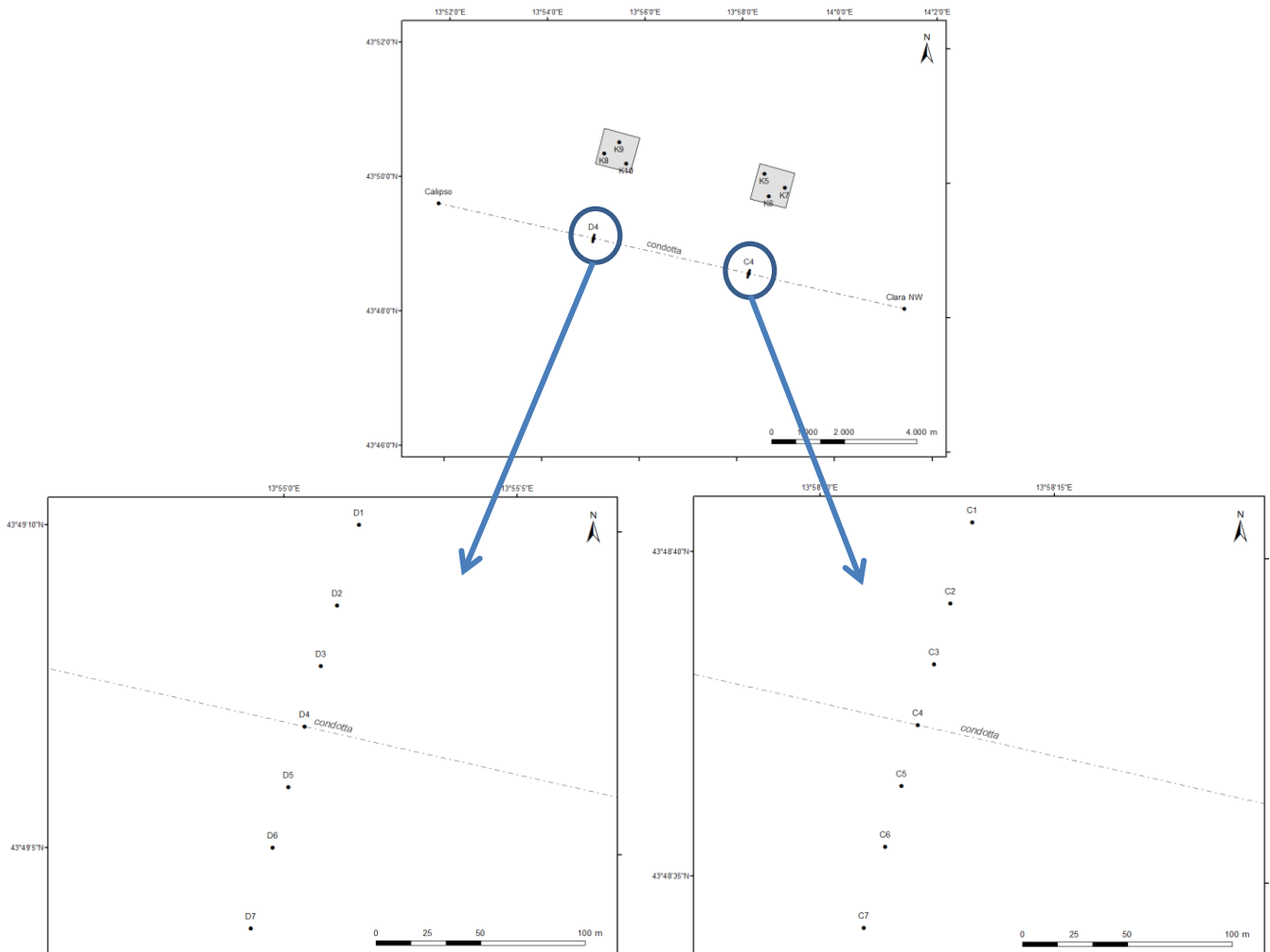
**Fig. 2.1** - Sea-line collegante le piattaforme Clara NW e Calipso.

### 2.1. CAMPIONAMENTO IN MARE

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

Nel 1° semestre 2017 è stato condotto il 3° survey post lavori di installazione. Come nei monitoraggi precedenti (Fabi *et al.*, 2017c), i prelievi sono stati effettuati lungo due 2 transetti perpendicolari alla condotta stessa e quindi orientati in direzione NNE-SSW, posti rispettivamente alla distanza di 4,3 km e 8,6 km dalla piattaforma Clara NW (fig. 2.2).

Su ciascun transetto sono state posizionate 7 stazioni, di cui 1 nelle immediate vicinanze del sea-line, 3 a distanze crescenti da esso in direzione NNE e 3 a distanze crescenti verso SSW. Inoltre sono stati campionati 3 siti di controllo per ciascun transetto posti in modo random all'interno di aree (1000x1000 m) prive di strutture artificiali situate a circa 2000 m dalla condotta in direzione NNE. Le coordinate delle singole stazioni campionate nell'inverno 2017 sono riportate in Tab. 2-I.



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

**Tab. 2-I** - Dati identificativi delle stazioni di campionamento utilizzate nel 3° survey post lavori per le indagini sedimentologiche e sulla comunità bentonica. In rosso i punti corrispondenti al sea-line.

	Distanza dal sea-line (m)	Posizione rispetto al sea-line	Coordinate geografiche	Profondità (m)
C1	100	NNE	43°48'689N 13°58'136E	75,4
C2	60	NNE	43°48'672N 13°58'107E	75,4
C3	30	NNE	43°48'653N 13°58'135E	75,2
C4	0	-	43°48'634N 13°58'152E	75,4
C5	30	SSW	43°48'612N 13°58'163E	75,2
C6	60	SSW	43°48'590N 13°58'189E	75,3
C7	100	SSW	43°48'561N 13°58'209E	75,3
K5	2000	NNE	43°50'212N 13°58'441E	75,0
K6	2000	NNE	43°50'158N 13°58'752E	75,0
K7	2000	NNE	43°50'034N 13°58'920E	75,0
D1	100	NNE	43°49'196N 13°54'986E	74,7
D2	60	NNE	43°49'173N 13°54'994E	74,7
D3	30	NNE	43°49'150N 13°54'990E	74,7
D4	0	-	43°49'125N 13°55'024E	74,5
D5	30	SSW	43°49'100N 13°55'020E	74,9
D6	60	SSW	43°49'085N 13°55'011E	75,0
D7	100	SSW	43°49'055N 13°55'011E	75,8
K8	2000	NNE	43°50'660N 13°55'337E	74,8
K9	2000	NNE	43°50'639N 13°55'466E	74,8
K10	2000	NNE	43°50'571N 13°55'703E	75,0

**Indagini fisiche e chimiche dei sedimenti** - Tutte le stazioni sono state campionate mediante box-corer (fig. 2.4; All. A1-I).

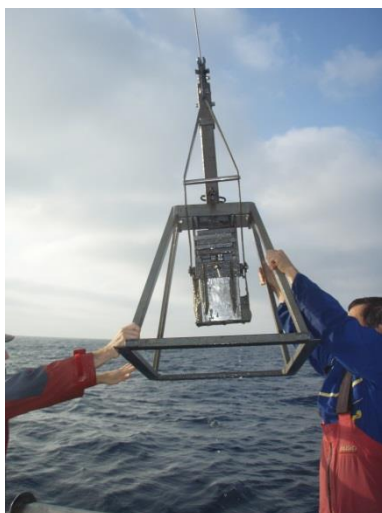
In situ sono stati rilevati i seguenti parametri:

- 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 (IPA);
- Idrocarburi totali;
- metalli pesanti: alluminio, arsenico, bario, cadmio, cromo, ferro, indio, mercurio, nichel, piombo, rame, silicio, vanadio, zinco; sono stati ricercati anche manganese, magnesio, titanio, gallio, zirconio, stagno e zirconio come da esplicita richiesta da parte di ARPAM (nota del 11/09/2015 - Prot. 0030430)
- sostanza organica totale;
- Total Organic Carbon (TOC).

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



**Fig. 2.4** – Box-corer utilizzato per le indagini fisiche e chimiche dei sedimenti.

**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. 2.5;

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 3 stazioni di campionamento lungo ciascun transetto: 1 prossima al sealine (C4 e D4) e 2 poste a 60 m da esso in direzione NNE (C2 e D2) e SSW (C6 e D6). E' stato campionato anche 1 sito di controllo come riferimento per ogni transetto (K6 e K9).

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 a 10 gg);
- *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  $\mu$ . 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  $\mu$ , 2000  $\mu$ , 1000  $\mu$ , 500  $\mu$ , 250  $\mu$ , 125  $\mu$ , 63  $\mu$ ). 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  $\mu$ ) 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 sono stati seguiti i metodi EPA3550C:2007, EPA3630C:1996 ed EPA8270D:2014. Ogni campione è stato scongelato e privato dell’eventuale frazione più grossolana; in seguito, l’analisi è stata compiuta su un’aliquota di circa 20 g (peso umido), mentre una seconda aliquota è stata utilizzata per la determinazione del peso secco.

La determinazione degli IPA è stata effettuata mediante gas cromatografia utilizzando un Gas cromatografo doppia colonna (All. A1-VI). I componenti della miscela (IPA), separati tra loro, sono stati rilevati con la tecnica FID (rilevatore ionizzazione di fiamma), che consente di valutare i tempi di ritenzione e l’ampiezza dei picchi relativi. Il limite di rilevabilità dello strumento è 0,2  $\mu$ g/kg.

Sono stati ricercati nei siti di campionamento i 16 IPA indicati dall’EPA come contaminanti di interesse prioritario, espressi in  $\mu$ g/kg di sostanza secca: Naftene, Acenaftalene, Acenaftene, Fenantrene, Antracene, Fluorantene, Pirene, Benz(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 preparate con la tecnica della standardizzazione esterna utilizzando come IPA di riferimento il Perilene, che permette anche di normalizzare le aree dei picchi dei singoli componenti la miscela e di confrontarle tra loro ai fini della quantizzazione.

**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. A1-VI).

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, indio, mercurio, nichel, piombo, rame, silicio, vanadio, zinco, manganese, magnesio, titanio, gallio, zirconio, stagno 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  $HNO_3$ , 1 ml di  $HCl$  e 4 ml di  $H_2O$ .

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-VII) 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 fornello di grafite (Varian SpectrAA-240Z. All. A1-VIII), secondo la procedura EPA 7010 (2007b).

Le concentrazioni di **alluminio, bario, cromo, nichel, rame, silicio, ferro, vanadio, zinco, manganese, magnesio, titanio, gallio, zirconio e stagno** sono state ottenute mediante tecnica ICP-AES (Varian ICP-720ES; All. A1-IX) 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 HNO<sub>3</sub>, 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-X) 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).

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	Pb	Si	V	Zn
Accuratezza (minima accettabilità del recupero)	25%	25%	25%	30%	25%	25%	20%	25%	nd	25%	25%	nd	25%	25%
Incertezza (%)	21	25	25	25	21	20	20	20	nd	20	21	nd	20	20
LOQ (mg/kg)	170	0,3	1,2	0,02	1,2	1,2	170	0,005	0,02	1,2	0,3	5	1,2	1,2
LOD (mg/kg)	5	0,07	0,2	0,002	0,04	0,12	5	0,002	0,01	0,25	0,07	205	0,07	0,6

	Mn	Mg	Ti	Ga	Zn	St
Accuratezza (minima accettabilità del recupero)	25%	nd	nd	nd	nd	nd
Incertezza (%)	20	nd	nd	nd	nd	nd
LOQ (mg/kg)	12	170	1,2	1,2	0,6	1,2
LOD (mg/kg)	0,1	12	0,1	0,4	0,1	0,6

**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 TOC 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 H<sub>2</sub>O 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  $2 \times 10^3$  cellule  $\text{ml}^{-1}$ ), 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  $\text{EC}_{50}$  o  $\text{EC}_{20}$ . L' $\text{EC}_{50}$  e l' $\text{EC}_{20}$  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  $\text{EC}_{50}$ , 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 ( $2 \times 10^3$  cellule  $\text{ml}^{-1}$ );
- 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 sopranatante, 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®.

Criterio	Tossicità
$EC_{20} \geq 90\%$	Assente
$EC_{20} < 90\%$ e $EC_{50} \geq 90\%$	Bassa
$20\% \leq EC_{50} < 90\%$	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
- $\text{O}_2$  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  $\text{mg l}^{-1}$   $\text{CdCl}_2$ .

All'inizio e alla fine del saggio biologico sono stati misurati i seguenti parametri dell'acqua sovrastante il sedimento: pH, salinità,  $\text{NH}_4^+$  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 percentuale 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 EC<sub>50</sub>, 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 EC<sub>50</sub> 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  $36\pm 2\%$ , 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  $\sim 300 \text{ cm}^3$  di sedimento da testare, ai quali sono stati aggiunti circa 600 ml di acqua di mare naturale filtrata ( $36\pm 2\%$ ). 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,  $\text{NH}_4^+$  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  $16\pm 2^\circ\text{C}$ , 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 reinseriti 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<sub>b</sub>** - concentrazione del metallo nei tessuti degli organismi prima (bianco) della loro esposizione ai sedimenti testati;

Ce - 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:

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

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

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 (MDS) 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). Tutti gli indici utilizzati per questo scopo sono stati applicati quasi esclusivamente in aree marine costiere.

Tuttavia, sono già stati utilizzati nell'ambito offshore in diversi casi (Fabi *et al.*, 2013; 2015; 2016b; 2016c; 2016d; Spagnolo *et al.*, 2014) fornendo utili indicazioni sull'eventuale impatto causato dalle piattaforme estrattive offshore e relativi sea-line.

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 marzo 2012) 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:

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.



**Tab. 2-VII** - Classificazione della qualità dell'ambiente in base al range di valori dell'indice AMBI (Borja *et al.*, 2000).

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

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

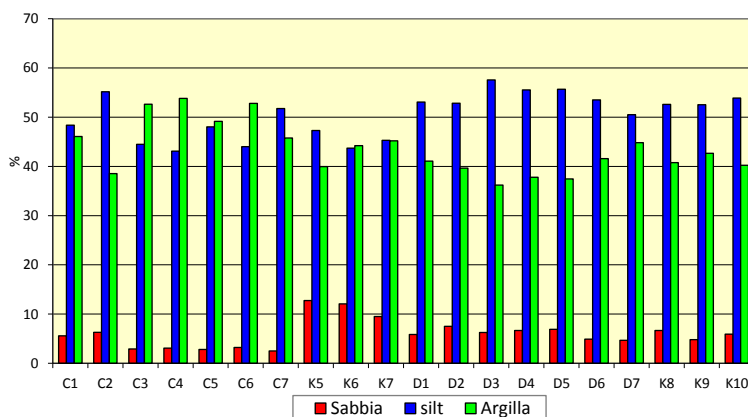
#### 3.1. INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI

##### 3.1.1. GRANULOMETRIA

Come nei survey precedenti (Fabi *et al.*, 2017c), anche nell'inverno 2017 all'analisi visiva tutti i sedimenti hanno presentato scarse differenze tra loro, essendo costituiti in prevalenza dalla frazione pelitica e caratterizzati da un colore nocciola; essi erano inoltre ben ossigenati e inodori, con uno strato ossidato di 2-3 cm di spessore.

L'analisi granulometrica (fig. 3.1 e Tab. 3-I) ha consentito di confermare una composizione quasi esclusivamente pelitica della maggior parte delle stazioni, con una prevalenza di silt eccetto nel tratto C3-C6, in cui è risultata più abbondante l'argilla, e nei controlli K6 e K7 in cui le due componenti sono risultate pressoché identiche. La sabbia pertanto ha sempre rappresentato una frazione modesta dei campioni, superando il 12% esclusivamente in K5 e K6.

Rispetto all'estate precedente (Fabi *et al.*, 2017c) si è verificato un deciso decremento di silt a vantaggio dell'argilla sia lungo i transetti sia nei controlli. La sabbia è rimasta pressoché invariata, mentre rispetto al pre-survey è avvenuto un decremento della sabbia ovunque sempre a vantaggio dell'argilla.



**Fig. 3.1** - Ripartizione delle classi granulometriche, espresse in percentuale, nei sedimenti analizzati nell'inverno 2017.

**Tab. 3-I** - Composizione percentuale delle principali classi granulometriche dei sedimenti analizzati nell'inverno 2017. Le stazioni di campionamento poste in corrispondenza della condotta sottomarina sono evidenziate in rosso.

	Sabbia	Pelite		Classificazione di Shepard
		Silt	Argilla	
C1	5,59	48,36	46,06	Silt argilloso
C2	6,29	55,17	38,54	Silt argilloso
C3	2,92	44,47	52,61	Argilla siltosa
<b>C4</b>	<b>3,09</b>	<b>43,10</b>	<b>53,80</b>	<b>Argilla siltosa</b>
C5	2,81	48,04	49,15	Argilla siltosa
C6	3,21	44,00	52,79	Argilla siltosa
C7	2,50	51,75	45,75	Silt argilloso
K5	12,76	47,29	39,95	Silt argilloso
K6	12,09	43,69	44,22	Argilla siltosa
K7	9,51	45,28	45,20	Silt argilloso
D1	5,85	53,08	41,07	Silt argilloso
D2	7,52	52,83	39,65	Silt argilloso
D3	6,25	57,55	36,20	Silt argilloso
<b>D4</b>	<b>6,68</b>	<b>55,54</b>	<b>37,79</b>	<b>Silt argilloso</b>
D5	6,89	55,67	37,44	Silt argilloso
D6	4,92	53,51	41,57	Silt argilloso
D7	4,67	50,51	44,83	Silt argilloso
K8	6,66	52,58	40,76	Silt argilloso
K9	4,81	52,54	42,65	Silt argilloso
K10	5,92	53,86	40,22	Silt argilloso

### 3.1.2. IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

Nell'inverno 2017 molti dei composti ricercati sono risultati presenti in tutti i siti di entrambi i transetti e relativi controlli (Benzo(a)antracene, Acenaftilene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(k)fluorantene, Crisene, Indeno(1,2,3-c,d)pirene e Pirene; Tab. 3-II).

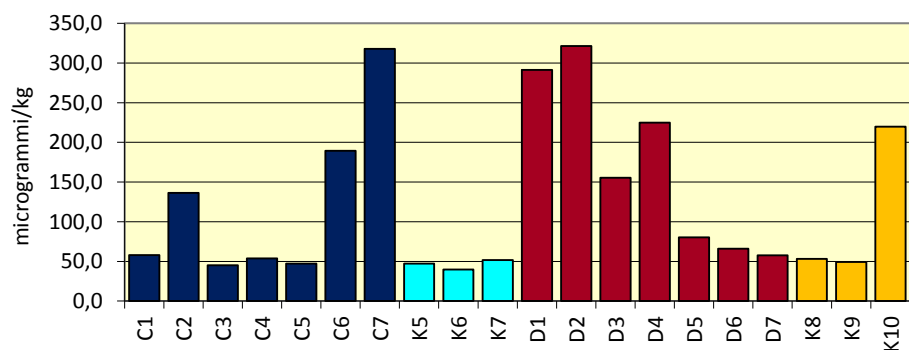
Altri IPA sono risultati diffusamente presenti, mentre il Dibenzo(a,h)antracene è stato rinvenuto solo nel tratto C3-C6 del transetto C e nei controlli K6, K7 e K8. Acenaftene, Fluorantene e Fenantrene non sono stati rinvenuti affatto.

I tenori sono comunque risultati sempre molto bassi, tutti ben al di sotto dei rispettivi LCB (ICRAM-APAT, 2007) con l'unica eccezione del Naftalene, superiore al proprio limite in C2, C6, C7, nel tratto D1-D4 e nel controllo K10. I superamenti sono apparsi consistenti soprattutto in C7, D1 e D2 (6-8 volte l'LCB) e sembrano correlati alla presenza della condotta. Ciononostante, i valori di IPA Totali sono rimasti molto modesti e ampiamente inferiori ai 900 µg/kg stabiliti come LCB da ICRAM-APAT.

Rispetto al monitoraggio precedente (Fabi *et al.*, 2017c) è avvenuto un notevole e generalizzato aumento delle concentrazioni, soprattutto lungo i transetti e nel controllo K10, evidentemente strettamente correlato alle concentrazioni del Naftalene.

**Tab. 3-II** - Concentrazioni degli Idrocarburi Policiclici Aromatici ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s.) nei sedimenti prelevati nell'inverno 2017. Le stazioni poste in corrispondenza della condotta sono evidenziate in rosso. Ove disponibili sono anche riportati gli LCB i valori chimici cautelativi per le sostanze pericolose prioritarie indicati da ICRAM-APAT (2007). lq = limite di quantificazione ( $0,2 \mu\text{g}/\text{kg}$ ).

	LCB/PP	3° survey post lavori																			
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	K8	K9	K10
Acenaftene	7	1,7	1,3	0,7	1,4	<lq	2,1	2,3	<lq	1,8	1,4	3,0	2,8	2,7	3,3	2,1	1,5	2,0	<lq	1,5	1,9
Acenaftilene		1,9	1,2	1,0	1,3	0,9	1,6	1,9	1,0	1,5	1,2	2,7	2,5	2,4	2,5	1,8	1,7	1,8	1,1	1,4	1,6
Antracene	47	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq
Benzo (a) antracene	75	2,5	1,7	1,8	1,8	1,9	2,0	2,3	2,1	2,0	2,2	2,9	2,7	2,8	2,5	2,3	2,3	2,4	2,3	2,0	2,1
Benzo (a) pirene	80	2,6	1,6	1,8	1,8	1,9	1,9	2,4	1,9	1,7	1,9	3,2	2,9	2,8	2,6	2,2	2,2	2,3	2,1	2,1	1,9
Benzo (b) fluorantene	40	15,2	12,1	13,7	13,7	15,1	16,2	15,8	15,4	8,8	14,7	15,9	8,4	15,8	17,1	13,6	16,7	16,2	16,1	14,2	14,4
Benzo (g, h,i) perilene	55	<lq	1,0	1,5	1,2	1,6	1,9	1,6	1,2	1,1	1,6	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	1,5	1,1	1,7	1,3	1,3
Benzo (k) fluorantene	20	15,9	12,4	14,0	14,0	15,4	16,4	16,3	15,8	5,9	15,0	16,9	6,4	16,6	17,7	14,1	17,1	16,7	16,4	14,6	14,7
Crisene	108	3,2	2,5	2,9	2,8	3,1	3,4	3,5	3,2	2,9	3,3	3,3	3,0	3,5	3,6	3,0	3,4	3,3	3,3	3,0	3,4
Dibenzo (a, h)antracene	6	<lq	<lq	0,7	0,7	0,8	0,8	<lq	<lq	0,7	0,7	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	0,8	<lq	<lq
Fenantrene	87	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq
Fluorantene	113	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq	<lq
Fluorene	21	1,3	1,1	0,6	1,1	<lq	1,3	1,5	<lq	1,4	1,3	2,1	1,9	1,8	2,2	1,6	1,5	1,7	1,0	1,3	1,6
Indeno (1,2,3 - c, d) pirene	70	4,4	3,5	3,9	3,8	4,2	4,6	4,8	3,9	3,7	4,0	4,8	3,6	4,4	4,6	3,6	4,7	4,4	4,6	4,3	4,0
Naftalene	35	6,9	95,9	0,4	8,1	<lq	135,0	263,0	<lq	5,8	1,5	233,9	284,8	99,6	165,7	33,3	10,0	2,6	0,8	1,0	170,3
Pirene	153	2,5	1,9	2,1	2,0	2,2	2,4	2,7	2,6	2,4	2,9	2,8	2,6	2,9	3,1	2,7	3,1	3,1	2,8	2,6	2,7
<b>IPA Totali</b>	<b>900</b>	<b>57,9</b>	<b>136,3</b>	<b>45,0</b>	<b>53,8</b>	<b>47,1</b>	<b>189,4</b>	<b>318,0</b>	<b>47,2</b>	<b>39,7</b>	<b>51,6</b>	<b>291,4</b>	<b>321,5</b>	<b>155,3</b>	<b>225,0</b>	<b>80,4</b>	<b>65,9</b>	<b>57,7</b>	<b>53,2</b>	<b>49,3</b>	<b>219,8</b>



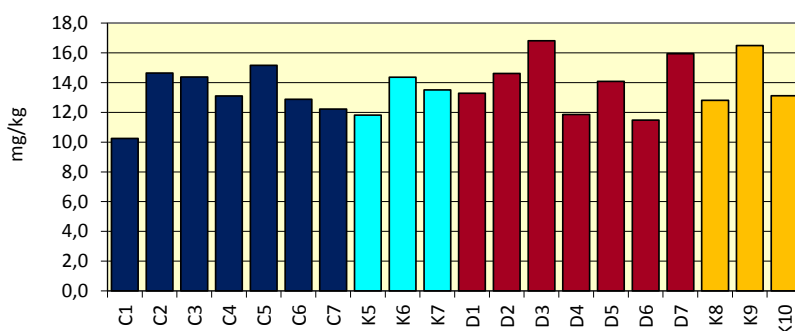
**Fig. 3.2** - Concentrazioni ( $\mu\text{g}/\text{kg}$  s.s.) di IPA nei sedimenti prelevati nell'inverno 2017. C4 e D4 = siti posti sul sea-line.

### 3.1.3. IDROCARBURI TOTALI

Gli idrocarburi leggeri ( $C < 12$ ) non sono stati rilevati né prima né dopo la posa della condotta (Fabi *et al.*, 2017c). Per quanto concerne gli idrocarburi pesanti ( $C > 12$ ), nell'inverno 2017 sono state osservate basse concentrazioni, confrontabili tra transetti e controlli (Tab. 3-III; fig. 3.3). Precedentemente questi contaminanti erano stati rilevati unicamente D4 (4,1 mg/kg) durante il pre-survey. E' stato pertanto rilevato un diffuso aumento ovunque, non relazionabile alla presenza della condotta.

**Tab. 3-III** - Concentrazioni degli Idrocarburi totali pesanti ( $C > 12$ ; mg/kg s.s.) rilevati nell'inverno 2017. C4 e D4 = siti posti in corrispondenza del sea-line.

Transetto C		Transetto D	
C1	10,2	D1	13,3
C2	14,6	D2	14,6
C3	14,4	D3	16,8
C4	13,1	D4	11,9
C5	15,2	D5	14,1
C6	12,9	D6	11,5
C7	12,2	D7	16,0
K5	11,8	K8	12,8
K6	14,4	K9	16,5
K7	13,5	K10	13,1



**Fig. 3.3** - Concentrazioni degli Idrocarburi totali pesanti ( $C > 12$ ) rinvenuti nei sedimenti prelevati nell'inverno 2017. C4 e D4 = siti posti in corrispondenza del sea-line.

### 3.1.4. METALLI PESANTI

I contenuti dei metalli pesanti rilevati nell'inverno 2017 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 LCNR) 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** – I valori di questo metallo sono risultati molto bassi e omogenei tra loro, come indicato dalle concentrazioni medie ( $\pm$  de.st.; C:  $2,51\pm 0,31$ ; K5-K7:  $2,47\pm 0,23$ ; D:  $2,46\pm 0,26$ ; K8-K10:  $2,48\pm 0,31\%$ ). Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) l'alluminio è aumentato un po' ovunque, sebbene si tratti di differenze molto modeste; non si ritiene siano presenti alterazioni dovute al sea-line.

**Arsenico** – L'arsenico è apparso omogeneamente distribuito (C:  $14,58\pm 0,91$ ; K5-K7:  $14,44\pm 0,90$ ; D:  $12,61\pm 1,74$ ; K8-K10:  $12,08\pm 0,70$  mg/kg). Solo in D1 e D2 sono state rilevate concentrazioni inferiori a tutte le altre, rappresentando gli unici due casi di non superamento dell'LCRN. Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) è avvenuto un aumento che, seppur modesto, ha comportato il superamento dell'LCRN anche ai controlli.

**Bario** – Le concentrazioni di bario sono risultate diffusamente modeste e tendenzialmente inferiori nei siti C e controlli corrispondenti rispetto agli altri due gruppi di stazioni.

Non sono state rilevate discrepanze in termini di valori medi (C:  $53,47\pm 7,66$ ; K5-K7:  $49,66\pm 4,07$ ; D:  $65,24\pm 8,32$ ; K8-K10:  $67,59\pm 7,11$  mg/kg).

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) C4 ha subito una leggera flessione, K6 e D4 sono rimasti praticamente invariati e in K9 il bario è aumentato, ma le concentrazioni sono molto basse e quindi si tratta esclusivamente di oscillazioni naturali.

**Cadmio** – Le concentrazioni di cadmio relative all'inverno 2017 sono risultate estremamente basse, notevolmente inferiori all'LCRN come in tutto il periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2017c). Inoltre, lungo i transetti sono apparse inferiori o comparabili a quelle dei controlli. Rispetto al pre-survey si osserva una trascurabile flessione dei valori.

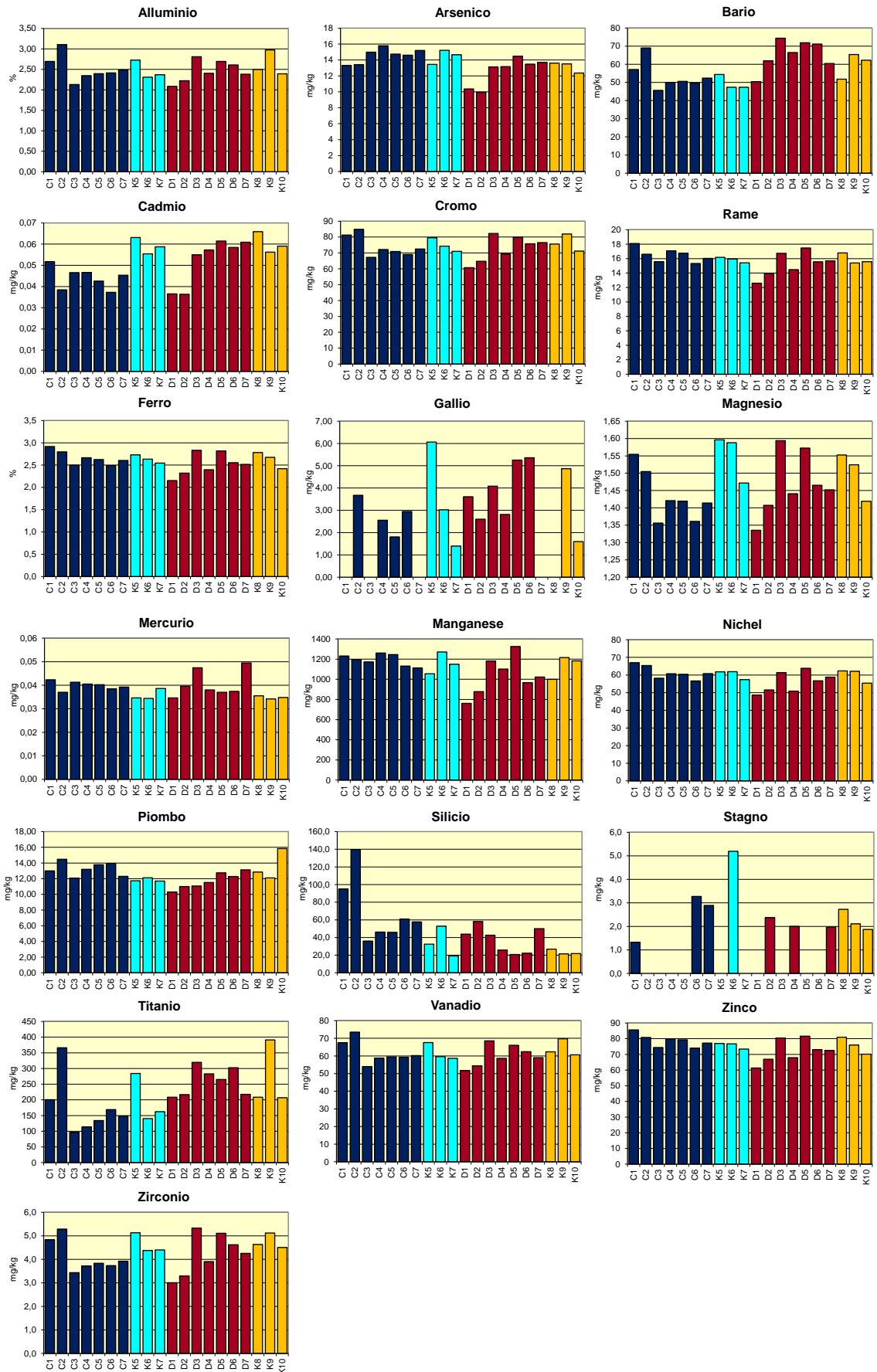
**Cromo** – Il cromo è apparso piuttosto omogeneo (C:  $73,97\pm 6,55$ ; K5-K7:  $74,90\pm 4,31$ ; D:  $72,72\pm 8,01$ ; K8-K10:  $72,10\pm 5,44$  mg/kg) e, come già nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c), presente in concentrazioni superiori all'LCRN ovunque. Rispetto a quel monitoraggio è avvenuta una flessione in C4, mentre nelle altre tre stazioni (K6, D4 e K9) il cromo è aumentato.

**Rame** – Anche il rame è risultato omogeneamente distribuito (C:  $16,49\pm 0,95$ ; K5-K7:  $15,84\pm 0,38$ ; D:  $15,21\pm 1,68$ ; K8-K10:  $15,04\pm 0,76$  mg/kg) e presente in concentrazioni nettamente inferiori all'LCRN. Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) C4 e D4 sono rimasti pressoché costanti, mentre i controlli hanno esibito un trascurabile incremento.

**Tab. 3-III - Concentrazioni (mg/kg s.s.; Al e Fe espressi in %) dei metalli in tracce presenti nei sedimenti prelevati nell'inverno 2017. In rosso le stazioni corrispondenti alla condotta sottomarina. lq = limite di quantificazione.**

	Alluminio	Arsenico	Bario	Cadmio	Cromo	Rame	Ferro	Gallio	Indio	Magnesio
C1	2,69	13,32	57,09	0,052	81,25	18,08	2,92	< 1,20	< 0,2	1,55
C2	3,11	13,41	68,98	0,038	84,87	16,60	2,80	3,68	< 0,2	1,50
C3	2,13	14,98	45,61	0,047	67,17	15,58	2,50	< 1,20	< 0,2	1,36
<b>C4</b>	<b>2,35</b>	<b>15,79</b>	<b>49,99</b>	<b>0,047</b>	<b>72,13</b>	<b>17,08</b>	<b>2,67</b>	<b>2,55</b>	<b>&lt; 0,2</b>	<b>1,42</b>
C5	2,39	14,74	50,57	0,043	70,90	16,75	2,62	1,81	< 0,2	1,42
C6	2,41	14,60	49,66	0,037	69,05	15,32	2,49	2,95	< 0,2	1,36
C7	2,48	15,19	52,37	0,045	72,43	16,03	2,60	< 1,20	< 0,2	1,41
K5	2,73	13,45	54,36	0,063	79,50	16,17	2,73	6,06	< 0,2	1,60
K6	2,31	15,21	47,32	0,055	74,26	15,94	2,63	3,02	< 0,2	1,59
K7	2,37	14,66	47,31	0,059	70,95	15,42	2,55	1,40	< 0,2	1,47
D1	2,09	10,36	50,47	0,037	60,68	12,60	2,15	3,61	< 0,2	1,34
D2	2,22	9,93	61,91	0,036	64,72	13,91	2,32	2,60	< 0,2	1,41
D3	2,81	13,13	74,37	0,055	82,24	16,74	2,83	4,08	< 0,2	1,59
<b>D4</b>	<b>2,40</b>	<b>13,16</b>	<b>66,49</b>	<b>0,057</b>	<b>69,34</b>	<b>14,48</b>	<b>2,40</b>	<b>2,81</b>	<b>&lt; 0,2</b>	<b>1,44</b>
D5	2,69	14,47	71,86	0,061	79,84	17,48	2,82	5,25	< 0,2	1,57
D6	2,61	13,47	71,11	0,058	75,80	15,56	2,55	5,36	< 0,2	1,47
D7	2,38	13,71	60,46	0,061	76,46	15,68	2,52	< 1,20	< 0,2	1,45
K8	2,49	13,60	51,79	0,066	75,63	16,79	2,78	< 1,20	< 0,2	1,55
K9	2,98	13,52	65,36	0,056	81,95	15,40	2,67	4,87	< 0,2	1,52
K10	2,39	12,36	62,25	0,059	71,13	15,58	2,42	1,60	< 0,2	1,42

	Manganese	Mercurio	Nichel	Piombo	Silicio	Stagno	Titanio	Vanadio	Zinco	Zirconio
C1	1230,56	0,042	66,97	13,00	95,05	1,33	200,77	67,53	85,63	4,83
C2	1194,60	0,037	65,41	14,47	139,67	< 1,20	366,00	73,48	80,79	5,28
C3	1172,62	0,041	58,19	12,09	35,92	< 1,20	96,14	54,02	74,35	3,43
<b>C4</b>	<b>1260,94</b>	<b>0,041</b>	<b>60,72</b>	<b>13,19</b>	<b>46,22</b>	<b>&lt; 1,20</b>	<b>113,84</b>	<b>58,82</b>	<b>79,89</b>	<b>3,72</b>
C5	1245,63	0,040	60,40	13,78	45,89	< 1,20	133,91	59,50	79,28	3,83
C6	1131,67	0,039	56,65	13,95	61,04	3,27	168,94	59,32	73,97	3,73
C7	1112,57	0,039	60,80	12,29	57,74	2,89	148,13	60,22	77,20	3,92
K5	1054,94	0,035	61,81	11,73	32,38	< 1,20	284,08	67,56	76,99	5,13
K6	1271,31	0,034	61,94	12,11	52,90	5,19	140,21	59,62	76,71	4,38
K7	1149,48	0,039	57,39	11,70	19,12	< 1,20	162,53	58,69	73,38	4,40
D1	761,67	0,035	48,67	10,31	43,78	< 1,20	208,49	51,73	61,34	3,01
D2	877,96	0,040	51,56	11,00	58,17	2,37	216,80	54,47	66,87	3,30
D3	1181,80	0,047	61,38	11,08	42,64	< 1,20	319,54	68,58	80,48	5,33
<b>D4</b>	<b>1101,86</b>	<b>0,038</b>	<b>50,87</b>	<b>11,52</b>	<b>25,78</b>	<b>2,00</b>	<b>283,11</b>	<b>58,64</b>	<b>67,91</b>	<b>3,91</b>
D5	1324,83	0,037	63,82	12,75	20,78	< 1,20	265,24	66,02	81,66	5,11
D6	966,55	0,037	56,73	12,29	22,22	< 1,20	302,39	62,45	73,06	4,62
D7	1021,92	0,050	58,78	13,12	50,10	1,97	217,79	59,02	72,50	4,25
K8	999,70	0,036	62,38	12,85	26,79	2,72	208,53	62,31	80,92	4,63
K9	1215,70	0,034	62,10	12,09	21,50	2,11	391,07	69,71	75,99	5,12
K10	1183,46	0,035	55,41	15,85	21,84	1,87	207,00	60,63	70,14	4,51



**Fig. 3.3** - Concentrazioni (mg/kg; Al e Fe in %) dei metalli pesanti registrate nell'inverno 2017. C4 e D4 = stazioni corrispondenti al sea-line. Non si riporta l'indio in quanto non rilevabile ovunque.



**Ferro** – Anche i valori del ferro sono apparsi omogenei tra i siti, come evidenziato dalle concentrazioni medie (C:  $2,66\pm 0,15$ ; K5-K7:  $2,64\pm 0,09$ ; D:  $2,51\pm 0,25$ ; K8-K10:  $2,52\pm 0,19$  mg/kg). Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) in C4 il ferro si è leggermente ridotto, in D4 è rimasto simile mentre ai controlli è avvenuto un trascurabile incremento.

**Gallio** – Il gallio è risultato molto variabile, tanto da risultare inferiore al limite di quantificazione della metodica in alcuni casi (C1, C3, C7, D7 e K8). Nei siti posizionati lungo i transetti in cui esso è stato rilevato, i tenori sono apparsi comunque inferiori o in linea con i riferimenti. Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) è avvenuto un decremento.

**Indio** – L'indio è stato rilevato esclusivamente nell'inverno 2016 in concentrazioni prossime al limite di rilevabilità strumentale (Fabi *et al.*, 2017c).

**Magnesio** – Il magnesio è risultato omogeneamente distribuito (C:  $1,43\pm 0,07$ ; K5-K7:  $1,55\pm 0,07$ ; D:  $1,47\pm 0,09$ ; K8-K10:  $1,48\pm 0,07$  mg/kg) e ha mostrato, rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c), una leggera flessione.

**Manganese** – I valori di manganese registrati lungo i transetti sono apparsi inferiori o in linea con i controlli e più omogenei lungo C. Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) questo metallo è leggermente aumentato eccetto in C4 dove, al contrario, si è lievemente ridotto.

**Mercurio** – I valori di mercurio sono risultati molto bassi, tutti ampiamente inferiori all'LCRN, tanto che le differenze tra sito e sito sono da ritenere del tutto trascurabili. Non sono state evidenziate differenze apprezzabili rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c).

**Nichel** – Anche le concentrazioni di nichel sono apparse mediamente omogenee (C:  $61,31\pm 3,69$ ; K5-K7:  $60,38\pm 2,59$ ; D:  $55,97\pm 5,75$ ; K8-K10:  $54,61\pm 3,95$  mg/kg) e solo quelle registrate in C1 e C2 sono risultate leggermente superiori rispetto ai controlli corrispondenti. Tutti i tenori sono maggiori dell'LCRN come già a partire dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c). Rispetto a quest'ultimo le differenze sono del tutto trascurabili.

**Piombo** – I valori del piombo sono apparsi molto bassi, ampiamente inferiori all'LCRN come in tutto il periodo di indagine (Fabi *et al.*, 2017c), tanto che anche le differenze tra sito e sito sono da ritenere del tutto trascurabili. In termini di concentrazioni medie, non si rilevano discrepanze tra transetti e controlli corrispondenti (C:  $13,25\pm 0,88$ ; K5-K7:  $11,85\pm 0,23$ ; D:  $11,72\pm 1,02$ ; K8-K10:  $11,20\pm 1,99$  mg/kg). I risultati dell'inverno 2017 sono in linea con quelli del pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c).

**Silicio** – La nota elevata variabilità del silicio si è manifestata anche nell'inverno 2017. Lungo il transetto C i tenori sono infatti variati tra  $35,92$  mg/kg (C3) e  $139,67$  mg/kg (C2),

mentre nei controlli corrispondenti il range è risultato più ristretto essendo compreso tra 19,12 mg/kg (K7) e 52,90 mg/kg (K6). Meno variabili sono risultate le concentrazioni rilevate lungo il transetto D (20,78-58,17 mg/kg) e relativi controlli (21,50-26,79 mg/kg).

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) il silicio è aumentato ovunque, ma l'elevata variabilità, al momento, non consente di identificare dei trend relazionabili alla presenza della condotta. Le concentrazioni massime, ovunque notevolmente superiori a quelle dell'ultimo campionamento, erano state rilevate nel 1° survey post lavori di installazione.

**Stagno** – Anche lo stagno ha presentato un'elevata variabilità tra i siti, in molti dei quali è risultato inferiore al limite di quantificazione della metodica.

Il picco è stato rilevato nel controllo K5 (5,19 mg/kg) corrispondente, al momento, al valore più elevato dell'intero periodo di monitoraggio (Fabi *et al.*, 2017c). Lungo entrambi i transetti lo stagno è stato rilevato in tre stazioni; nei tre siti di C le concentrazioni sono apparse quasi dimezzate rispetto a K5, mentre nei tre del transetto D i tenori sono risultati confrontabili con quelli dei rispettivi riferimenti.

Il comportamento dello stagno è presumibilmente legato alla sua elevata variabilità e non riflette un legame con la presenza della condotta.

**Titanio** – Analogamente al gallio, al silicio e allo stagno, anche il titanio è risultato abbastanza variabile in tutto il periodo (Fabi *et al.*, 2017c), incluso l'ultimo survey. Il transetto C è apparso in linea con i controlli K6 (140,21 mg/kg) e K7 (162,53 mg/kg) e inferiori a K5 (284,08 mg/kg) con l'unica eccezione di C2 (366,00 mg/kg).

Le concentrazioni rilevate lungo D sono invece tutte rientrate nel range dei rispettivi riferimenti. Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) è avvenuto un incremento ovunque eccetto in C4 in cui il metallo si è ridotto.

**Vanadio** – La distribuzione del vanadio è stata piuttosto omogenea come si evince dalle concentrazioni medie (C: 61,84±6,49; K5-K7: 61,96±4,88; D: 60,13±6,02; K8-K10: 60,56±4,83 mg/kg). Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) non si rilevano anomalie.

**Zinco** – Anche le concentrazioni dello zinco sono apparse omogenee (C: 78,73±4,03; K5-K7: 75,69±2,01; D: 71,97±7,34; K8-K10: 71,75±5,40 mg/kg) e, come in tutto il periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2017c), inferiori all'LCRN. Rispetto al pre-survey non vi sono anomalie da segnalare.

**Zirconio** – Lungo i transetti lo zirconio ha presentato concentrazioni inferiori o in linea con i controlli, esibendo un range di variazione complessivo compreso tra 3,01 mg/kg (D1) e 5,33 mg/kg (D3), valori del tutto in linea con quelli del pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c). Dopo un incremento nel 1° post lavori, si rileva un progressivo decremento nella fase di

esercizio della condotta sottomarina.

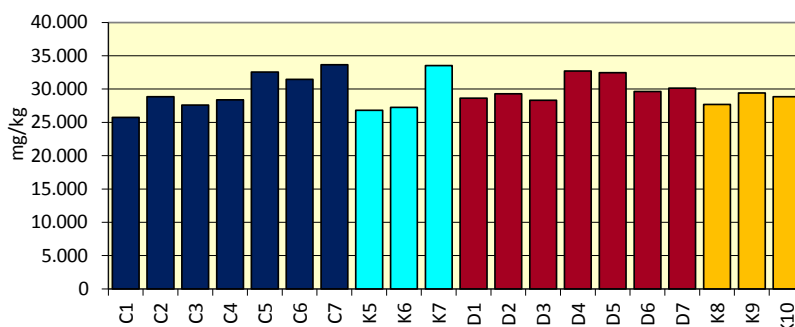
### 3.1.5. SOSTANZA ORGANICA

Nell'inverno 2017 lungo il transetto C la sostanza organica è oscillata tra 25740 mg/kg (C1) e 33652 mg/kg (C7; Tab. 3-IV e fig. 3.4), con un tenore medio ( $29746 \pm 2868$  mg/kg) del tutto in linea con i controlli K5-K7 ( $29191 \pm 3749$  mg/kg).

Lungo D il range di variazione è apparso ancora più ristretto (28322-32711 mg/kg) con una media anch'essa confrontabile con i rispettivi riferimenti (D:  $30170 \pm 1759$ ; K8-K10:  $28651 \pm 868$  mg/kg). Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) la sostanza organica si è ridotta leggermente.

**Tab. 3-IV** – Concentrazioni di sostanza organica (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell'inverno 2017. In rosso le stazioni corrispondenti alla condotta sottomarina.

C1	25740	D1	28637
C2	28837	D2	29284
C3	27598	D3	28322
C4	28395	D4	32711
C5	32558	D5	32466
C6	31445	D6	29639
C7	33652	D7	30129
K5	26804	K8	27701
K6	27257	K9	29403
K7	33513	K10	28849



**Fig. 3.4** - Concentrazioni di sostanza organica (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell'inverno 2017. C4 e D4 = stazioni corrispondenti al sea-line.

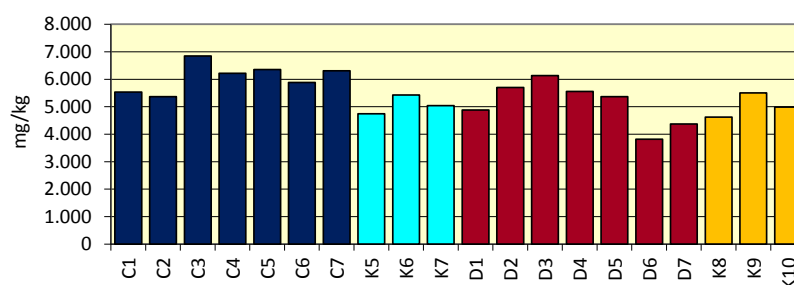
### 3.1.6. TOTAL ORGANIC CARBON (TOC)

Nell'ultimo campionamento il TOC è risultato mediamente più abbondante lungo il transetto C ( $6073 \pm 514$  mg/kg) rispetto ai propri controlli (K5-K7:  $5070 \pm 346$  mg/kg), ma si tratta di una differenza minima (Tab. 3-V e fig. 3.5). Nessuna differenza è stata riscontrata mediamente tra D ( $5119 \pm 809$  mg/kg) e rispettivi riferimenti ( $5037 \pm 442$  mg/kg). Dal confronto con il pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) il TOC è aumentato ovunque,

soprattutto ai controlli in cui non era stato rilevato, ad indicare l'estraneità della condotta a tale fenomeno.

**Tab. 3-V** – Concentrazioni di TOC (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell'inverno 2017. In rosso le stazioni corrispondenti alla condotta sottomarina.

C1	5530	D1	4880
C2	5370	D2	5700
C3	6850	D3	6130
C4	6220	D4	5560
C5	6350	D5	5370
C6	5880	D6	3820
C7	6310	D7	4370
K5	4740	K8	4620
K6	5430	K9	5500
K7	5040	K10	4990



**Fig. 3.5** - Total Organic Carbon (TOC) espresso in mg/kg s.s. rilevato nei sedimenti prelevati nell'inverno 2017. C4 e D4 = stazioni corrispondenti al sea-line.

## 3.2. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI

### 3.2.1. *DUNALIELLA TERTIOLECTA*

QA-QC - I due test eseguiti nell'inverno 2017 come controllo positivo con  $K_2Cr_2O_7$  (9,52 mg/l come cromo) sono rientrati nei limiti della carta di controllo del laboratorio (LC=9,32 e UC=9,74 mg/l); i coefficienti di variazione tra le repliche nei campioni non diluiti, alla massima concentrazione, sono risultati conformi in quanto inferiori al 15%. La crescita algale nei controlli è sempre stata superiore rispetto al limite minimo consentito (fattore  $\geq 16$ ).

Risultati del saggio - I risultati del saggio applicato agli elutriati estratti dai sedimenti, contestualmente ai principali parametri di contorno misurati, indicano l'assenza di un effetto tossico ovunque non essendo stata rilevata un'inibizione della crescita algale (Tab. 3-VI), e confermano quanto osservato sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c).

**Tab. 3-VI** - Parametri di contorno e risultati relativi al saggio di tossicità con *D. tertiolecta* nei campioni prelevati nel 3° survey post lavori. In rosso i siti in corrispondenza della condotta sottomarina. Valori negativi della % di effetto indicano effetto stimolante.

campione	pH	Salinità (‰)	$\Delta G$ (%) 72 h	EC <sub>20</sub> %	EC <sub>50</sub> %	Tossicità
C2	8,15	34	10,17	$\geq 90$	$\geq 100$	Assente
C4	8,17	34	11,63	$\geq 90$	$\geq 100$	Assente
C6	8,16	34	8,34	$\geq 90$	$\geq 100$	Assente
K6	8,17	34	9,44	$\geq 90$	$\geq 100$	Assente
D2	8,14	34	9,62	$\geq 90$	$\geq 100$	Assente
D4	8,12	34	3,41	$\geq 90$	$\geq 100$	Assente
D6	8,10	34	17,30	$\geq 90$	$\geq 100$	Assente
K9	8,13	34	17,11	$\geq 90$	$\geq 100$	Assente

### 3.2.2. *VIBRIO FISCHERI* (SISTEMA MICROTOX®)

QA-QC – Nell'inverno 2017 il valore della  $EC_{50}(15')$  = 8,13 mg/l ( LC=6,49 e UC=10,19) è rientrato nei limiti della carta di controllo del laboratorio (3,65-12,55).

Risultati del test – Tutti gli elutriati estratti dai sedimenti sono risultati privi di tossicità acuta (Tab. 3-VII) confermando quanto osservato sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c).

### 3.2.3. *COROPHIUM ORIENTALE*

Nell'inverno 2017 la sensibilità rilevata degli organismi verso il tossico di riferimento ( $CdCl_2$ )  $LC_{50} = 3,37$  (LC = 3,07 mg/l e UC = 3,70 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-VIII sono indicati i principali

parametri chimici e fisici misurati all'inizio e alla fine del test eseguito nel 3° survey post lavori.

**Tab. 3-VII** - Risultati del saggio biologico *V. fischeri* applicato agli elutriati estratti dai sedimenti prelevati nel 3° survey post lavori. In rosso le stazioni corrispondenti al sea-line.

campione	pH	Salinità (%)	% Effetto (15')	% Effetto (30')	EC <sub>20</sub> (15/30')	EC <sub>50</sub> (15/30')	Tossicità
C2	8,15	34	4,11	4,64	≥90	≥90	Assente
<b>C4</b>	<b>8,17</b>	<b>34</b>	<b>3,86</b>	<b>4,76</b>	<b>≥90</b>	<b>≥90</b>	<b>Assente</b>
C6	8,16	34	10,77	13,26	≥90	≥90	Assente
K6	8,17	34	10,12	12,81	≥90	≥90	Assente
D2	8,14	34	15,91	16,56	≥90	≥90	Assente
<b>D4</b>	<b>8,12</b>	<b>34</b>	<b>14,20</b>	<b>16,52</b>	<b>≥90</b>	<b>≥90</b>	<b>Assente</b>
D6	8,10	34	8,70	8,94	≥90	≥90	Assente
K9	8,13	34	6,53	8,16	≥90	≥90	Assente

**Tab. 3-VIII** – Parametri chimici e fisici dell'acqua sovrastante il sedimento testato osservati all'inizio e alla fine del test relativo al 3° survey post lavori. In rosso i siti corrispondenti alla condotta.

campione	Inizio del test					Fine del test				
	T (°C)	Salinità (%)	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	O <sub>2</sub> (%)	T (°C)	Salinità (%)	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	O <sub>2</sub> (%)
Controllo	15 ± 2	36	8,18	0	> 85	16 ± 1	36	8,18	0	> 85
C2		36	8,02	0			38	8,15	0,5	
<b>C4</b>		<b>36</b>	<b>7,99</b>	<b>0</b>			<b>38</b>	<b>8,07</b>	<b>0</b>	
C6		37	8,00	0			37	8,09	0	
K6		36	8,01	0			37	8,16	0	
D2		36	7,95	0			38	8,19	0,5	
<b>D4</b>		<b>36</b>	<b>8,02</b>	<b>0</b>			<b>38</b>	<b>8,03</b>	<b>0</b>	
D6		36	7,99	0,5-1			38	8,02	1	
K9		36	8,05	0			37	8,07	0,5	

Risultati del saggio - Nell'inverno 2017 non è stata rilevata alcuna tossicità (Tab. 3-IX) indicando il ripristino delle condizioni osservate nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c).

**Tab. 3-IX** - Percentuali di mortalità degli organismi *C.orientale* osservati nel test di tossicità acuta relativo al 3° survey post lavori. In rosso i siti corrispondenti alla condotta.

Campione	N. organismi esposti	% organismi morti (± dev. st. %)	% (corretta) organismi morti	Tossicità
Controllo	100	1 ± 3,18	0	-
C2	100	7 ± 3,18	6	Assente
<b>C4</b>	<b>100</b>	<b>5 ± 3,18</b>	<b>4</b>	<b>Assente</b>
C6	100	8 ± 5,19	7	Assente
K6	100	8 ± 5,19	7	Assente
D2	100	13 ± 9,54	12	Assente
<b>D4</b>	<b>100</b>	<b>4 ± 5,19</b>	<b>3</b>	<b>Assente</b>
D6	100	7 ± 3,18	6	Assente
K9	100	6 ± 8,21	5	Assente

### 3.2.4. CRASSOSTREA GIGAS

QA-QC - Il test eseguito nell'inverno 2017 con la sostanza di riferimento ha prodotto una EC<sub>50</sub> di 10,95 µg/l di Cu (LC=10,17 e UC=11,79) che rientra nei limiti della carta di controllo intralaboratorio; la % di larve D-shape normalmente sviluppate nel controllo (85±0,58%) è risultata conforme in quanto superiore al limite del 70%.

Risultati del saggio - Nell'inverno 2017 è stata riscontrata una tossicità bassa solo nell'elutriato C4 (Tab. 3-X). Altrove non è stata rilevata alcuna tossicità. Questi risultati confermano quanto osservato in C4 nel monitoraggio precedente condotto nell'estate 2016 (Fabi *et al.*, 2017c) e indicano un miglioramento in K6, D4 e K9 in cui, in quel campionamento, era stata rilevata una tossicità bassa. Altrove si confermano i risultati precedenti.

**Tab. 3-X** - Risultati relativi al saggio di tossicità con *C. gigas* nei campioni prelevati nel 3° survey post lavori. In rosso i siti corrispondenti alla condotta sottomarina.

campione	Concentrazione	% media di larve normali ± dev.st	% media di larve malformate	Correzione Abbott larve malformate	EC <sub>20</sub> (%)	EC <sub>50</sub> (%)	Tossicità
Controllo		85 ± 0,58	15	0			
C2	100	72 ± 2,00	28	16	≥90	≥100	Assente
	50	77 ± 2,08	23	10			
	25	83 ± 1,73	17	3			
C4	100	63 ± 1,15	37	27	75,4	≥100	Bassa
	50	75 ± 1,53	25	13			
	25	82 ± 2,00	18	4			
C6	100	76 ± 1,53	24	11	≥90	≥100	Assente
	50	80 ± 0,58	20	7			
	25	83 ± 1,53	17	2			
K6	100	73 ± 1,53	27	14	≥90	≥100	Assente
	50	77 ± 1,15	23	9			
	25	82 ± 1,53	18	4			
D2	100	74 ± 2,08	26	14	≥90	≥100	Assente
	50	79 ± 1,53	21	8			
	25	84 ± 0,58	16	2			
D4	100	72 ± 2,00	28	16	≥90	≥100	Assente
	50	78 ± 2,08	22	8			
	25	83 ± 1,53	17	3			
D6	100	72 ± 1,15	28	15	≥90	≥100	Assente
	50	76 ± 1,53	24	11			
	25	82 ± 1,53	18	4			
K9	100	73 ± 1,73	27	14	≥90	≥100	Assente
	50	77 ± 1,53	23	9			
	25	83 ± 2,52	17	3			

### 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 nell'inverno 2017 sono riportati in Tab. 3-XI, mentre in Tab. 3-XII sono indicate le mortalità degli organismi osservate nel test di bioaccumulo.

**Tab. 3-XI** - Parametri (chimico-fisici) dell'acqua sovrastante il sedimento, registrati all'inizio e al termine del test di bioaccumulo condotto nel 3° survey post lavori. In rosso sono evidenziate le stazioni corrispondenti al sea-line.

campione	Inizio del test					Fine del test				
	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	O <sub>2</sub> (%)	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	O <sub>2</sub> (%)
Controllo	16 ± 1	34	7,80	2	> 85	16 ± 1	34	8,05	3	> 85
C2		36	8,04	0			36	8,10	0,5	
<b>C4</b>		36	8,03	0			36	8,13	0	
C6		38	8,13	0			36	8,12	0	
K6		38	7,78	0			36	7,98	0	
D2		36	8,08	0			37	8,07	0	
<b>D4</b>		<b>36</b>	<b>8,08</b>	<b>0</b>			<b>35</b>	<b>8,15</b>	<b>0</b>	
D6		36	8,02	0			36	8,10	0,5	
K9		36	8,07	0			35	8,11	1	

**Tab. 3-XII** - Percentuali di mortalità degli organismi *H. diversicolor* osservate nel test di bioaccumulo condotto nel 3° survey post lavori. In rosso le stazioni corrispondenti al sea-line.

Campione	Numero degli organismi esposti	% degli organismi morti (± dev.st %)
Controllo	21	14 ± 0,00
C2	<b>21</b>	14 ± 0,00
<b>C4</b>	21	<b>24 ± 8,25</b>
C6	21	10 ± 8,25
K6	21	14 ± 8,25
D2	21	10 ± 8,25
<b>D4</b>	21	<b>14 ± 0,00</b>
D6	21	5 ± 8,25
K9	21	10 ± 0,00

Le mortalità riscontrate nei sedimenti da testare sono state tutte percentualmente confrontabili con quella del controllo negativo eccetto in C4 (superiore) e in K9 (inferiore).

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

E' stato riscontrato solo un bioaccumulo di **rame** in C2, di **nichel** in C6, K6 e D2 e uno più diffuso di **mercurio** che ha interessato tutto il transetto C, D2 e K9. Tutti gli altri metalli o non sono stati rilevati, o hanno presentato nei sedimenti testati concentrazioni comparabili o inferiori a quella del bianco.

Questi risultati confermano in larga parte quelli dei monitoraggi precedenti (Fabi *et al.*, 2017c) e indicano un netto miglioramento rispetto all'estate 2016 per il silicio, che era stato bioaccumulato ovunque, e per il nichel relativamente al transetto D. E' invece



avvenuto un peggioramento lungo C per quanto concerne il mercurio.

**Tab. 3-XIII** - Concentrazioni (mg/kg; Al espresso in %) dei metalli pesanti rilevate nei tessuti di *H. diversicolor* nel survey condotto nel 3° survey post lavori. (bianco = tempo zero 0' - organismi spurgati/non esposti ai sedimenti). In rosso le stazioni corrispondenti 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.

	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Ni	In	Pb	Si	V	Zn	Hg
Bianco	n.r.	2,15	0,60	0,11	n.r.	16,24	357,21	3,32	n.r.	0,31	204,17	n.r.	129,93	0,062
Controllo	n.r.	2,59	n.r.	0,11	n.r.	15,84	306,65	1,91	n.r.	0,34	72,64	n.r.	139,93	0,137
C2	n.r.	2,47	n.r.	0,08	n.r.	32,52	266,66	3,90	n.r.	0,28	98,87	n.r.	110,81	0,082
C4	n.r.	2,48	n.r.	0,08	n.r.	7,92	231,62	3,82	n.r.	0,26	98,08	n.r.	107,43	0,085
C6	n.r.	2,43	n.r.	0,08	n.r.	8,84	238,53	4,04	n.r.	0,29	122,13	n.r.	91,83	0,076
K6	n.r.	2,56	n.r.	0,08	n.r.	13,46	232,01	4,19	n.r.	0,33	122,63	n.r.	95,88	0,070
D2	n.r.	2,12	n.r.	0,08	n.r.	9,32	249,42	4,34	n.r.	0,29	139,70	n.r.	111,65	0,087
D4	n.r.	2,31	2,23	0,10	n.r.	8,31	232,41	3,87	n.r.	0,31	94,30	n.r.	115,40	0,068
D6	n.r.	2,45	n.r.	0,08	n.r.	9,96	254,32	3,79	n.r.	0,22	111,08	n.r.	112,78	0,071
K9	n.r.	2,36	n.r.	0,09	n.r.	7,64	233,11	3,82	n.r.	0,30	102,91	n.r.	106,20	0,082

**Tab. 3-XIV** - 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 le stazioni corrispondenti 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	n.c.	0,44	n.c.	0,00	n.c.	-0,40	-50,56	-1,41	n.c.	0,03	-131,53	n.c.	10,00	0,075
C2	n.c.	0,32	n.c.	-0,03	n.c.	16,28	-90,55	0,58	n.c.	-0,03	-105,30	n.c.	-19,12	0,020
C4	n.c.	0,33	n.c.	-0,03	n.c.	-8,32	-125,59	0,50	n.c.	-0,05	-106,09	n.c.	-22,50	0,023
C6	n.c.	0,28	n.c.	-0,03	n.c.	-7,40	-118,68	0,72	n.c.	-0,02	-82,04	n.c.	-38,10	0,014
K6	n.c.	0,41	n.c.	-0,03	n.c.	-2,78	-125,20	0,87	n.c.	0,02	-81,54	n.c.	-34,05	0,008
D2	n.c.	-0,03	n.c.	-0,03	n.c.	-6,92	-107,79	1,02	n.c.	-0,02	-64,47	n.c.	-18,28	0,025
D4	n.c.	0,16	1,63	-0,01	n.c.	-7,93	-124,80	0,55	n.c.	0,00	-109,87	n.c.	-14,53	0,006
D6	n.c.	0,30	n.c.	-0,03	n.c.	-6,28	-102,89	0,47	n.c.	-0,09	-93,09	n.c.	-17,15	0,009
K9	n.c.	0,21	n.c.	-0,02	n.c.	-8,60	-124,10	0,50	n.c.	-0,01	-101,26	n.c.	-23,73	0,020

### 3.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA

#### 3.3.1. DENSITÀ (N) E BIOMASSA (P)

La comunità bentonica rinvenuta nel 3° survey post lavori di installazione è risultata abbastanza povera in termini di numero di individui come nei monitoraggi precedenti (Fabi *et al.*, 2017c; fig. 3.6).

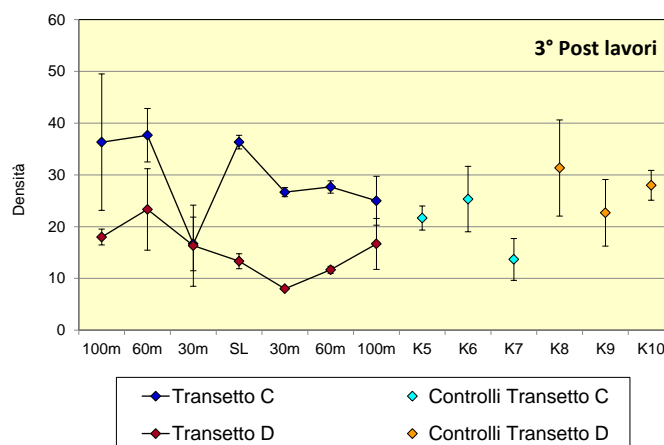


Fig. 3.6 – Densità ( $\pm e.s.$ ) nel monitoraggio effettuato nell'inverno 2017.

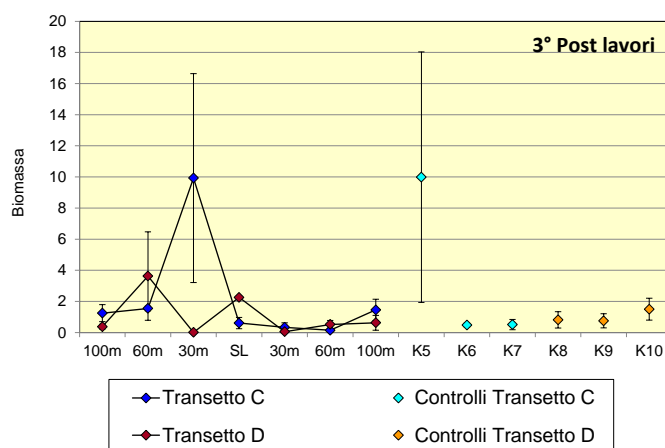
Il transetto C ha presentato un forte decremento in C3 dove è stato raggiunto il minimo per il transetto ( $16,67 \pm 5,17 \text{ ind}/0,095 \text{ m}^2$ ) e un altrettanto evidente aumento in corrispondenza della condotta (C4;  $36,33 \pm 1,33 \text{ ind}/0,095 \text{ m}^2$ ). È seguita un'altra riduzione, più lieve della precedente, in C5. Tutti i valori sono comunque rientrati nel range dei controlli K5-K7 ( $13,67 \pm 4,06 \leq N \leq 25,33 \pm 6,33 \text{ ind}/0,095 \text{ m}^2$ ).

Il trend del transetto D è apparso più regolare e caratterizzato da un decremento da D2 a D5 (minimo stagionale;  $8,00 \pm 0,00 \text{ ind}/0,095 \text{ m}^2$ ) e da una ripresa sino a D7. In questo caso, le densità nel tratto compreso tra D4 e D6 sono risultate inferiori al range dei controlli K8-K10 ( $22,67 \pm 6,44 \leq N \leq 31,33 \pm 9,28 \text{ ind}/0,095 \text{ m}^2$ ), mentre le altre sono apparse comprese. Rispetto al monitoraggio precedente (Fabi *et al.*, 2017c), è avvenuto un incremento lungo C e in diversi siti di riferimento e un decremento lungo D (eccetto D7 rimasto invariato). Rispetto invece al pre-survey è avvenuto un aumento in C4.

I policheti Paraonidae nd hanno rappresentato il primo taxon più numeroso nella maggior parte delle stazioni del transetto D, in C2 e C3 e nei controlli K6, K7 e K9 (Tab. 3-XV); altrove è apparso più abbondante il gasteropode *Hyala vitrea*. Altri taxa con densità degne di nota sono state il crostaceo decapode *Callianassa subterranea* e il polichete *Aphelochaeta filiformis*. Non sono state riscontrate differenze importanti con i survey precedenti (Fabi *et al.*, 2017c).



In termini di biomassa (Tab. 3-XVI; fig. 3.7) nell'inverno 2017 è stata rilevata una elevata variabilità in alcune stazioni determinata dal rinvenimento di uno o due esemplari del riccio di mare *Brissopsis atlantica mediterranea* e dell'antozoo *Funiculina quadrangularis*, specie incisive dal punto di vista ponderale (fig. 3.8). I valori massimi sono stati registrati in C3 e K5 ( $9,93 \pm 5,17$  e  $9,98 \pm 8,05$  gr/0,095 m<sup>2</sup> rispettivamente).



**Fig. 3.7** – Biomassa ( $\pm$ e.s.) registrata nell'inverno 2017.



**Fig. 3.8** – Esemplari di *B. atlantica mediterranea* e di *F. quadrangularis* rinvenuti nell'inverno 2017 rispettivamente in K5 e C3.



### 3.3.2. AFFINITÀ BIOCENTICHE DELLE SPECIE RINVENUTE

Nell'inverno 2017 i taxa di fondo mobile sono risultati i più rappresentati (Tab. 3-XVIIa e 3-XVIIb) come già precedentemente (Fabi et al., 2017c). In particolare, le specie limicole (legate alla presenza di fango) hanno costituito il raggruppamento biocenotico più importante in tutte le stazioni sia in termini di numero di specie che di densità, seguiti dagli indicatori di materia organica nei sedimenti eccetto in C2 in cui è risultata maggiore la Ricchezza specifica dei sabulicoli.

Tutte le altre categorie ecologiche sono apparse, ove presenti, meno rappresentative. La distribuzione dei gruppi biocenotici è apparsa piuttosto simile tra le due aree circostanti la condotta sottomarina e i siti di controllo.

**Tab. 3-XVII** – Numero di taxa (a) e di individui (b) rinvenuti nel 3° survey post lavori suddivisi in base alla loro affinità biocenotica. In giallo sono indicati i gruppi più numerosi. Per la legenda si rimanda alla Tab. 3-XV.

a)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	K8	K9	K10
Substrato mobile non in letter. (Sm)			1			1					1		1							
Limicoli (Lim, VTC, VB)	8	11	8	7	4	7	7	10	9	9	5	9	6	4	4	6	5	9	8	10
Sabulicoli (Sab, SFBC)	2	3			1		1					1	1	1		1	2	3		3
Misticoli (Mixt, DE, DL)	1	3					3			3		1	1		1			1	1	1
Indicatori di Materia Organica (MO)	3	2	2	3	2	1	3	4	4	2	2	4	2	1	2	2	1	1	2	3
Minuticoli (Minut)																			1	
Substrato duro (HP, Sd)	1	1		1					1	1										
Larga ripartizione ecologica (Lre)	1		3		1			1		1										

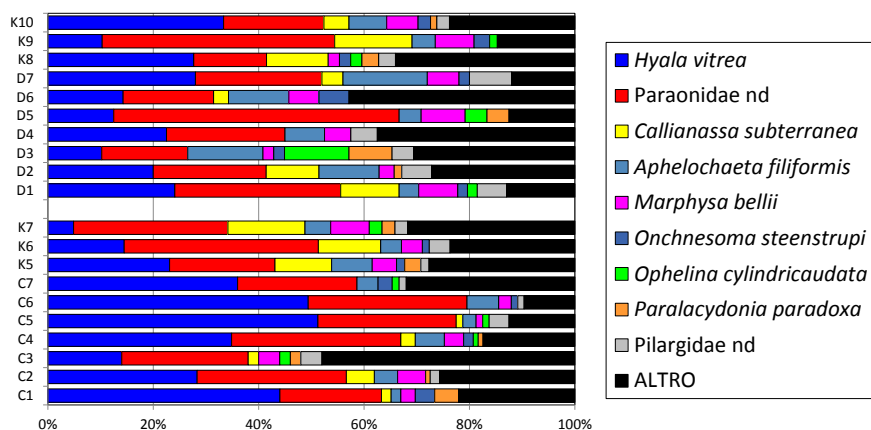
  

b)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	K8	K9	K10
Substrato mobile non in letter. (Sm)			0,33			0,33					0,33		0,33							
Limicoli (Lim, VTC, VB)	21,67	19,33	5,00	16,67	14,67	16,00	12,67	11,00	9,67	5,67	8,33	10,00	5,33	4,33	2,33	4,33	7,33	16,33	9,33	15,00
Sabulicoli (Sab, SFBC)	1,00	1,33			0,33		0,33					0,33	0,67	0,67		0,33	0,67	2,00		2,33
Misticoli (Mixt, DE, DL)	0,33	1,00					1,33			1,00		0,33	0,67		0,33			0,33	0,33	
Indicatori di Materia Organica (MO)	2,67	2,00	0,67	2,67	1,00	1,67	3,33	2,33	1,00	1,00	1,00	4,00	3,67	1,00	0,67	2,00	2,67	1,00	1,33	3,00
Minuticoli (Minut)																			0,33	
Substrato duro (HP, Sd)	0,33	0,33	0,00	0,33					0,33	0,33										
Larga ripartizione ecologica (Lre)	0,33		3,33		0,33			0,33		0,67										

### 3.3.3. DOMINANZA

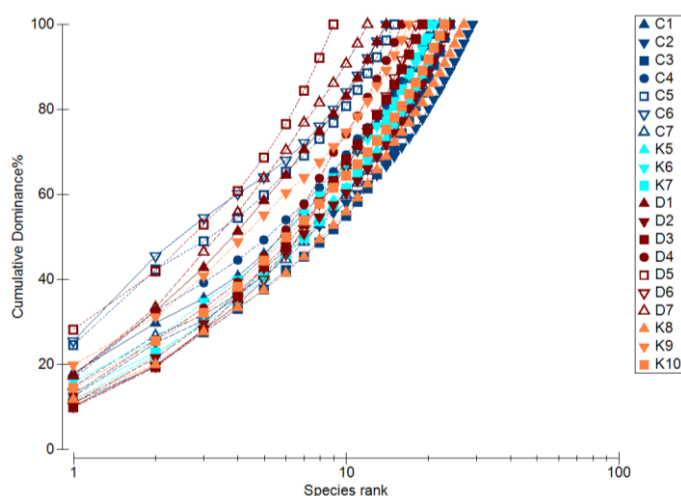
Per la rappresentazione grafica delle dominanze relative all'inverno 2017 sono stati evidenziati i 9 taxa che complessivamente hanno costituito il 75% delle comunità, includendo i rimanenti nella categoria “altro” (fig. 3.9).

Come anticipato nel Cap. 3.3.1, i policheti appartenenti alla famiglia Paraonidae e il gasteropode *H. vitrea* sono risultati i due taxa principali ovunque. I primi hanno raggiunto il massimo nel controllo K9 rappresentando il 44,1% del popolamento, il secondo in C5 con il 51,3%. Altre specie molto importanti sono il polichete *A. filiformis*, soprattutto lungo il transetto D e controlli corrispondenti (massimo pari al 16% in D7), e il decapode *C. subterranea*, ben rappresentato nei controlli e in alcuni siti di D. Gli altri taxa riportati in fig. 3.9 non hanno raggiunto il 10% in alcuna stazione.



**Fig. 3.9** - Valori percentuali di dominanza delle specie principali ottenuti nelle stazioni monitorate nell'inverno 2017.

Le curve di dominanza cumulativa hanno evidenziato una separazione di quei siti caratterizzati da un'elevata dominanza dei due taxa principali, ovvero C5, C6 e D5, quest'ultimo caratterizzato anche da una Ricchezza specifica molto bassa, indicando una buona uniformità tra tutte le restanti stazioni (fig. 3.10).



**Fig. 3.10** - Curve di dominanza cumulativa ottenute per le stazioni campionate nell'inverno 2017.

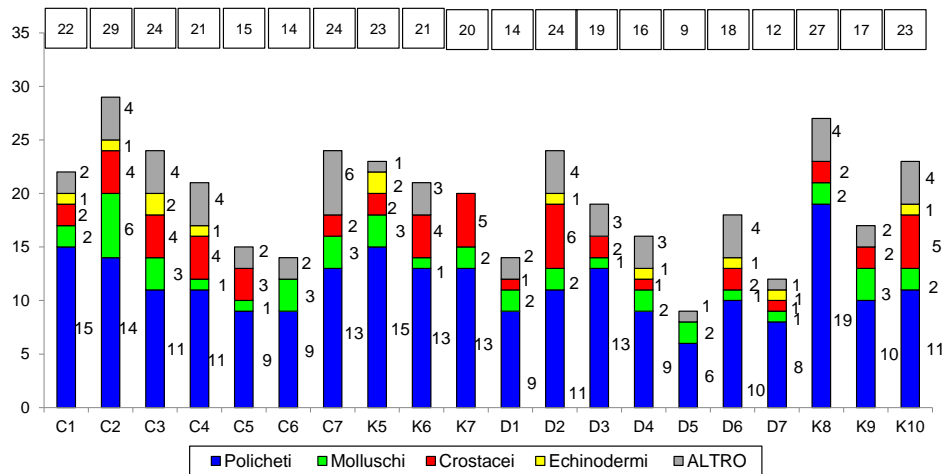
### 3.3.4. RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE (S)

Nell'inverno 2017 sono stati censiti complessivamente 91 taxa, indicando il proseguo dell'incremento della Ricchezza specifica totale nella fase di post installazione della condotta (Fabi *et al.*, 2017c). Come precedentemente, policheti, crostacei e molluschi sono stati i raggruppamenti meglio rappresentati.

Nell'ultimo monitoraggio il transetto C è stato caratterizzato da un aumento di S in C2 dove è stato raggiunto il massimo stagionale (29), da una riduzione sino a C6 dove sono stati censiti 14 taxa e da un nuovo incremento in C7 (fig. 3.11). Nei controlli K5-K7 il

numero di taxa è variato tra 21 e 24. Anche il transetto D ha presentato un aumento in D2 e una riduzione che, in questo caso, si è arrestata in D5 dove è stato registrato il minimo stagionale (9). In D6 S è raddoppiata per poi ridursi nuovamente in D7. Solo D2 e D3 sono risultati inclusi nell'intervallo dei controlli K8-K10 (17-23); in tutti gli altri siti del transetto è risultata inferiore. Rispetto al monitoraggio precedente effettuato nell'estate 2016 (Fabi *et al.*, 2017c) è avvenuta una riduzione lungo tutto il transetto D, in C5 e in K7, mentre diversi siti del transetto C e 3 controlli (K6, K8 e K9) sono stati caratterizzati da un incremento.

I policheti hanno rappresentato il gruppo principale in tutte le stazioni, seguiti da crostacei e/o molluschi. Gli echinodermi ove presenti sono stati rappresentati al massimo da 2 specie.



**Fig. 3.11** - Ripartizione secondo il phylum di appartenenza delle specie rinvenute nelle singole stazioni campionate nell'inverno 2017. Sono anche riportati i valori della Ricchezza specifica totale ottenuti per i vari siti (riquadri).

### 3.3.5. RICCHEZZA SPECIFICA MEDIA ( $S_M$ )

Nell'inverno 2017 la Ricchezza specifica media ha presentato trend simili a quelli osservati per la totale (fig. 3.12). Lungo il transetto C  $S_m$  è oscillata tra  $6,33 \pm 1,20$  (C6) e  $13,67 \pm 2,60$  (C2) risultando compresa nell'intervallo dei controlli K5-K7. Il range del transetto D è variato tra  $4,33 \pm 0,88$  (D5) e  $10,67 \pm 1,20$  (D3), anch'esso comparabile con quello dei riferimenti K8-K10 dove l'indice è variato tra  $8,67 \pm 2,40$  e  $13,00 \pm 2,89$  (K9 e K8 rispettivamente). I cambiamenti rispetto all'estate 2016 (Fabi *et al.*, 2017c) sono i medesimi descritti per la Ricchezza specifica totale, anche se in questo caso le differenze appaiono attenuate per la variabilità tra le repliche prelevate da una stessa stazione.



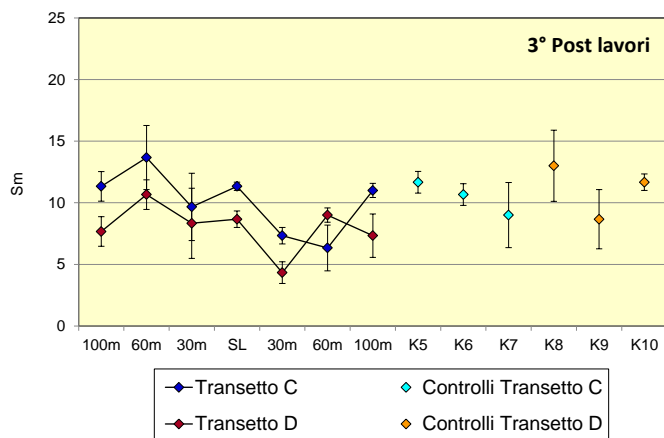


Fig. 3.12 – Ricchezza specifica media ( $\pm$  e.s.) registrata nell'inverno 2017.

### 3.3.6. DIVERSITÀ SPECIFICA ( $H'$ )

La Diversità specifica conferma la presenza di un popolamento poco diversificato (fig. 3.12). Nell'inverno 2017 i valori dei transetti sono risultati tutti comparabili alle varie distanze dalla condotta eccetto a 60 m a SSW dove in C6 il basso valore di  $H'$  ( $1,16 \pm 0,26$ ) è stato determinato dall'elevata dominanza dei due taxa principali (*H. vitrea* e *Paraonidae* nd) che, insieme, hanno costituito il 79,5% della comunità. Il minimo lungo D è stato osservato in D5 ( $1,21 \pm 0,11$ ), anch'esso conseguenza della predominanza dei due taxa sopra citati (66,7% del popolamento). Lungo C solo C5 e C6 non sono rientrati nel range di K5-K7 ( $1,94 \pm 0,03 \leq H' \leq 2,20 \pm 0,08$ ), mentre i siti D sono tutti compresi nell'intervallo dei controlli K8-K10 ( $1,61 \pm 0,21 \leq H' \leq 2,20 \pm 0,14$ ).

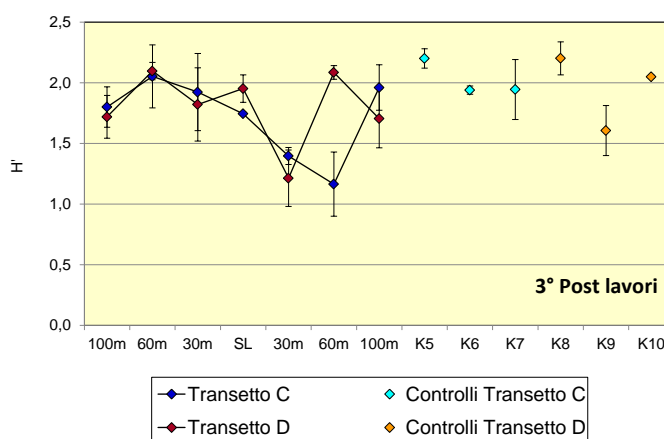
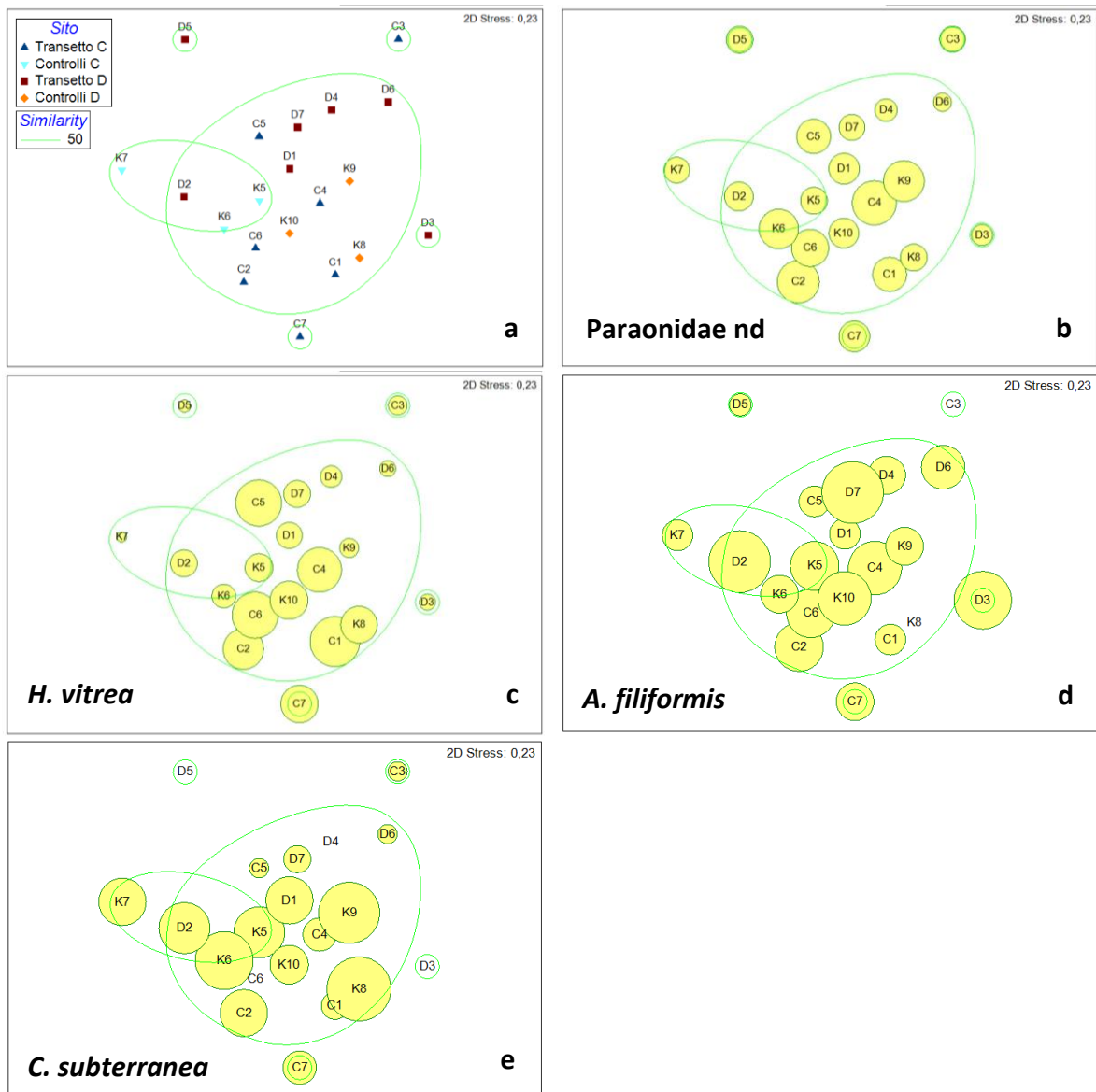


Fig. 3.12 - Diversità specifica ( $\pm$  e.s.) registrata nell'inverno 2017.

Rispetto al monitoraggio precedente (Fabi *et al.*, 2017c) le variazioni non sono state univoche essendo l'indice aumentato in alcuni casi, diminuito in altri e rimasto invariato in altri ancora.

### 3.3.7. MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS)

Il MultiDimensional Scaling applicato ai dati di densità delle singole specie campionate nell'inverno 2017 ha evidenziato una buona omogeneità tra i siti, la maggior parte dei quali è stata raggruppata in due cluster intersecanti (similarità del 50%; fig. 3.13a). Tale situazione è stata determinata dai quantitativi comparabili dei taxa principali riportati nelle figg. 3.13c - 3.13e. Sono rimaste isolate le stazioni D5, per la bassa Ricchezza specifica e la scarsità di individui presenti, oltre a C3, D3 e D7 per i diversi quantitativi o l'assenza di alcune delle suddette specie.



**Fig. 3.13** – Rappresentazione bidimensionale dei siti campionati nell'inverno 2017 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

Nell'ultimo monitoraggio questo indice ha evidenziato la presenza di un ambiente leggermente disturbato ovunque eccetto in due siti del transetto C e in D3 dove è stato rilevato un disturbo moderato (Tab. 3-XVIII). Nell'estate 2016 (Fabi *et al.*, 2017c) era stato rilevato un disturbo lieve ovunque eccetto in C6 che era apparsa non disturbata. Si evidenzia pertanto un peggioramento evidente in questo sito.

**Tab. 3-XVIII** – Valori dell'indice W di Clarke ottenuti nell'inverno 2017. In rosso i siti corrispondenti al sea-line.

Stazione	W	Classificazione ambientale
C1	0,325	Moderatamente disturbato
C2	0,449	Leggermente disturbato
C3	0,657	Leggermente disturbato
C4	0,377	Leggermente disturbato
C5	0,371	Leggermente disturbato
C6	0,271	Moderatamente disturbato
C7	0,502	Leggermente disturbato
K5	0,627	Leggermente disturbato
K6	0,380	Leggermente disturbato
K7	0,553	Leggermente disturbato
D1	0,464	Leggermente disturbato
D2	0,511	Leggermente disturbato
D3	0,171	Moderatamente disturbato
D4	0,629	Leggermente disturbato
D5	0,422	Leggermente disturbato
D6	0,501	Leggermente disturbato
D7	0,498	Leggermente disturbato
K8	0,415	Leggermente disturbato
K9	0,428	Leggermente disturbato
K10	0,415	Leggermente disturbato

#### 3.3.8.2 Indice AMBI

Nell'ultimo survey l'indice AMBI (Tab. 3-XIX) ha indicato una situazione di leggero disturbo ovunque eccetto in C3 e C5 in cui l'ambiente è stato classificato come non disturbato, analogamente all'estate 2016 (Fabi *et al.*, 2017c). Lungo il transetto C eccetto C4, così come nei controlli K8 e K10, si è registrata una preponderanza di taxa appartenenti al gruppo ecologico I (sensibili ad arricchimento organico e presenti solo in condizioni ambientali ottimali). In tutti gli altri siti hanno invece prevalso le specie "tolleranti a un eccessivo arricchimento organico nei sedimenti" (gruppo ecologico III).

#### 3.3.8.3 Indice BENTIX

Anche nell'inverno 2017 come nei survey precedenti (Fabi *et al.*, 2017c) l'indice BENTIX

(Tab. 3-XX) ha fornito risultati più negativi rispetto agli altri due indici, classificando la maggior parte dei siti come moderatamente disturbati e C6 addirittura come fortemente disturbato, sito in cui si è avuta una netta preponderanza di taxa classificati tolleranti rispetto a quelli sensibili (l'88% contro il 12%). In particolare BENTIX considera tollerante *H. vitrea*, fortemente dominante in questa stazione (cfr. Cap. 3.3.3.) che, dall'AMBI, è invece considerata sensibile. Rispetto all'estate 2016 (Fabi *et al.*, 2017c) si registra un peggioramento generalizzato che ha coinvolto anche quasi tutti i controlli.

**Tab. 3-XIX** – 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 nell'inverno 2017 e classificazione del disturbo ambientale secondo l'indice AMBI. In giallo è riportato il gruppo ecologico più rappresentativo in ciascuna stazione. In rosso i siti corrispondenti al sea-line.

Stazione	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI	Classificazione ambientale
C1	50,5	18,3	29,4	1,8	0,0	1,239	Leggermente disturbato
C2	41,1	11,6	47,3	0,0	0,0	1,594	Leggermente disturbato
C3	54,2	16,7	29,2	0,0	0,0	1,125	Non disturbato
C4	43,3	9,6	45,2	1,9	0,0	1,587	Leggermente disturbato
C5	60,0	3,8	35,0	1,3	0,0	1,162	Non disturbato
C6	55,4	4,8	38,6	1,2	0,0	1,283	Leggermente disturbato
C7	50,0	9,5	36,5	4,1	0,0	1,419	Leggermente disturbato
K5	31,2	15,6	50,0	1,6	1,6	1,898	Leggermente disturbato
K6	23,9	11,3	63,4	1,4	0,0	2,134	Leggermente disturbato
K7	22,0	17,1	58,5	0,0	2,4	2,159	Leggermente disturbato
D1	37,0	13,0	46,3	3,7	0,0	1,750	Leggermente disturbato
D2	34,3	14,9	49,3	1,5	0,0	1,769	Leggermente disturbato
D3	31,3	20,8	45,8	2,1	0,0	1,781	Leggermente disturbato
D4	35,0	22,5	42,5	0,0	0,0	1,612	Leggermente disturbato
D5	20,8	16,7	62,5	0,0	0,0	2,125	Leggermente disturbato
D6	34,3	22,9	37,1	5,7	0,0	1,714	Leggermente disturbato
D7	44,0	10,0	46,0	0,0	0,0	1,530	Leggermente disturbato
K8	45,2	14,0	34,4	4,3	2,2	1,565	Leggermente disturbato
K9	20,6	11,8	64,7	2,9	0,0	2,250	Leggermente disturbato
K10	45,8	12,0	41,0	1,2	0,0	1,464	Leggermente disturbato

**Tab. 3-XX** – Risultati dell'indice BENTIX e relativa classificazione del disturbo ambientale ottenuti per l'inverno 2017. In rosso i siti corrispondenti al sea-line.

Stazione	BENTIX	Classificazione ambientale
C1	2,88	Moderatamente disturbato
C2	3,14	Moderatamente disturbato
C3	4,04	Leggermente disturbato
C4	2,74	Moderatamente disturbato
C5	2,50	Moderatamente disturbato
C6	2,48	Fortemente disturbato
C7	3,12	Moderatamente disturbato
K5	3,17	Moderatamente disturbato
K6	3,15	Moderatamente disturbato
K7	3,56	Leggermente disturbato
D1	3,41	Moderatamente disturbato
D2	3,25	Moderatamente disturbato
D3	3,47	Moderatamente disturbato
D4	3,60	Leggermente disturbato
D5	2,50	Moderatamente disturbato
D6	3,49	Moderatamente disturbato
D7	3,12	Moderatamente disturbato
K8	3,32	Moderatamente disturbato
K9	3,29	Moderatamente disturbato
K10	3,01	Moderatamente disturbato

### 3.3.8.4 Stato ecologico

In Tab. 3-XXI è riportato lo stato ecologico relativo alle diverse stazioni derivato dalla combinazione dei tre indici. Esso è oscillato tra buono e moderato lungo entrambi i transetti e ha indicato un'omogeneità generale con i controlli dove lo stato è oscillato tra tra buono e buono/moderato. Rispetto all'estate 2016 (Fabi *et al.*, 2017c) è avvenuto un peggioramento lieve (più accentuato in C6) sia nell'area circostante il sea-line, sia nei riferimenti, che non ha coinvolto solo pochi siti rimasti invariati.

**Tab. 3-XXI** – Classificazione dello stato ecologico derivata dalla combinazione dei tre differenti indici e relativa all'inverno 2017. In rosso i siti corrispondenti al sea-line.

	W	AMBI	BENTIX	Stato ecologico
Stazione	Classificazione ambientale	Classificazione ambientale	Classificazione ambientale	
C1	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Moderato
C2	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
C3	Leggermente disturbato	Non disturbato	Leggermente disturbato	Buono
C4	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
C5	Leggermente disturbato	Non disturbato	Moderatamente disturbato	Buono
C6	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Fortemente disturbato	Moderato
C7	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
K5	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
K6	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
K7	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
D1	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
D2	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
D3	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Moderato
D4	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
D5	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
D6	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
D7	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
K8	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
K9	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
K10	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato

#### 4. CONCLUSIONI

In riferimento al Decreto n. 0000227 del 17/09/2014 emesso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare il CNR-ISMAR UOS 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 Clara NW e della condotta sottomarina collegante tale struttura alla piattaforma Calipso. 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-ISMAR 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-ISMAR di Ancona 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.*, 2001a; 2001b; 2002; 2003; 2004; 2005a; 2005b; 2006; 2010a; 2010b; 2013; 2015; 2016; 2017a; 2017b; 2017c; 2018); d) alle caratteristiche idrologiche e sedimentologiche della zona in cui è installata Clara NW.

Per quanto concerne la condotta sottomarina, è stato proposto un monitoraggio comprendente indagini riguardanti le caratteristiche fisiche, chimiche ed ecotossicologiche dei sedimenti e la composizione quali-quantitativa della comunità bentonica.

Il monitoraggio è stato suddiviso in 3 fasi:

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

Nella presente relazione sono riportati i risultati ottenuti nel 1° semestre del 2° anno della fase di esercizio del sea-line (inverno 2017).

**Caratteristiche sedimentologiche** - I sedimenti campionati nell'inverno 2017 sono apparsi caratterizzati da una dominanza della frazione pelitica. Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) si è verificato un generale decremento della sabbia, ma i comportamenti dei siti campionati lungo i transetti C e D sono risultati in linea con quelli dei propri controlli, escludendo un ruolo del sea-line nel determinare tale pattern.

Anche dalle indagini sui contaminanti si evince che, al momento, la condotta non ha

comportato sostanziali variazioni nell'area indagata eccetto nel caso degli IPA. Questi composti hanno subito un diffuso incremento rispetto al periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2017c) conseguente al comportamento del naftalene, unico IPA per il quale in molti siti sono state registrate anomalie positive e il superamento dell'LCB (ICRAM-APAT, 2007). Le anomalie hanno riguardato quasi esclusivamente i transetti, fatto che fa propendere per un ruolo del sea-line, anche se non si possono escludere concause estranee alla condotta essendo stato osservato il medesimo pattern anche nel controllo K10.

Per quanto concerne gli Idrocarburi totali, nell'inverno 2017 quelli a basso peso molecolare ( $C < 12$ ) non sono stati rilevati come in precedenza (Fabi *et al.*, 2017c), mentre ovunque sono risultati al di sopra del limite di quantificazione quelli pesanti ( $C > 12$ ). Questi composti erano stati rilevati unicamente in un sito nel pre-survey. Essendo presenti nell'inverno 2017 anche nei controlli, e non presentando picchi anomali lungo i transetti, si ritiene che il loro incremento sia indipendente dalla presenza della condotta.

Le concentrazioni dei metalli pesanti rilevate nell'ultimo monitoraggio hanno presentato poche variazioni rispetto a quelle del pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c).

E' stata riscontrata una notevole omogeneità tra transetti e controlli eccetto per gallio, silicio, stagno e titanio noti per un'accentuata variabilità. L'indio è risultato non rilevabile ovunque. I metalli per i quali nel DM 173/2016 è riportato il livello chimico di riferimento nazionale non hanno mai superato tale limite eccetto nichel e cromo (superato sin dal pre-survey) e arsenico. Quest'ultimo metallo ha superato il rispettivo limite a partire dalla fase di esercizio; nell'ultimo campionamento il superamento è avvenuto ovunque controlli inclusi, pertanto tale comportamento non è imputabile alla presenza della condotta sottomarina.

La sostanza organica è apparsa omogeneamente distribuita nell'area del sea-line e nei controlli, senza variazioni apprezzabili con il pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c), mentre i TOC è aumentato ovunque. Anche in questo caso è stata evidenziata una distribuzione omogenea in tutta l'area indagata.

**Ecotossicologia dei sedimenti** - Nel 3° survey condotto dopo la posa della condotta sottomarina i sedimenti si sono dimostrati ottimali per la crescita algale di *Dunaliella tertiolecta* e per la bioluminescenza di *Vibrio fischeri*, nei confronti dei quali non sono state rilevate variazioni a partire dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c). Nel caso della sopravvivenza dell'anfipode *Corophium orientale* sono state ripristinate le condizioni ottimali presenti nell'area prima dell'installazione della condotta sottomarina.

Il test riguardante lo sviluppo larvale del mollusco bivalve *Crassostrea gigas* ha

evidenziato esclusivamente una bassa tossicità in corrispondenza del sea-line lungo il transetto C confermando quanto osservato nel monitoraggio precedente (Fabi *et al.*, 2017c). Altrove non è stata rilevata alcuna tossicità indicando un miglioramento o confermando i risultati dell'estate 2016.

Infine, la maggior parte dei metalli ricercati nel test di bioaccumulo condotto utilizzando policheti afferenti alla specie *Hediste diversicolor* è risultata in concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità o al contenuto rinvenuto nel bianco anche nell'inverno 2017 come in precedenza (Fabi *et al.*, 2017c). E' stato infatti rilevato solo un bioaccumulo di nichel nei due controlli K6 e K9 e a 60 m a NNE lungo D (D2), di rame a 60 m a NNE lungo C (C2) e uno più diffuso di mercurio che ha interessato tutto il transetto C, D2 e il riferimento K9. Alla luce dei risultati ottenuti, occorre tenere sotto controllo il bioaccumulo di mercurio relativamente al transetto C.

**Indagini sulla comunità bentonica** - La comunità bentonica rinvenuta nell'inverno 2017 è apparsa abbastanza povera in termini di numero di individui e di specie come già sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2017c) e costituita quasi esclusivamente da taxa di fondo mobile. In tutte le stazioni le specie limicole hanno rappresentato il raggruppamento biocenotico più importante, in termini sia di numero di taxa che di densità. I policheti sono risultati il taxon principale, seguiti da molluschi e crostacei. Per quanto concerne la Ricchezza specifica, sembra proseguire l'incremento iniziato nell'estate 2016, indicando che il popolamento si sta ancora modificando. A conferma che non sia ancora avvenuta una stabilizzazione sono i range rilevati lungo i transetti ancora piuttosto ampi. Comunque, i taxa principali (Paraonidae nd e *H. vitrea*) sono sempre gli stessi. Essendo questi insieme a pochi altri nettamente dominanti, la Diversità specifica si è presentata ancora bassa. Tuttavia, anche i siti di controllo hanno presentato valori di Diversità specifica non particolarmente elevati, per la quasi totalità dei casi comparabili a quelli dei transetti; pertanto si ritiene che, almeno al momento, la presenza del sea-line non abbia un ruolo determinante nella composizione del popolamento bentonico presente nell'area circostante.

A conferma di una generale omogeneità sono i risultati dell'MDS, che ha isolato solo pochi siti caratterizzati da una bassa Ricchezza specifica o da diversi quantitativi delle specie principali.

Lo stato ecologico relativo ai diversi siti campionati, derivato dalla combinazione dei tre indici W di Clarke, AMBI, BENTIX, è risultato compreso tra buono e moderato sia lungo i transetti che nei controlli, suggerendo un lieve peggioramento ovunque rispetto ai monitoraggi precedenti.



## 4. 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.
- Azur Environmental. 1994. *Microtox® M500 manual* (A toxicity testing handbook).
- 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 narine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environment. *Mar. Pollut. 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.
- EC. 2003. *Towards a guidance on establishment of the intercalibration network and the processes on the intercalibration exercise*. CIS Working Group 2.5 (Intercalibration), Common Implementation Strategy of the Water Framework Directive, European Commission. 54 pp.

- EPA. 1993. *Guidance manual, Bedded sediment Bioaccumulation Tests*. EPA/600/R-93/183. 246 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 METHODS 8015D. 37 pp.
- EPA. 2007a. *Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry*. EPA METHOD 7473. 15 pp.
- EPA. 2007b. *Graphite furnace atomic absorption spectrophotometry*. EPA METHOD 7010. 24 pp.
- EPA. 2007c. *Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry*. EPA METHOD 6010C. 34 pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Grati F., Marini M., Spagnolo A. 2001a. *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. 2001b. *Servizi di monitoraggio ambientale campo Anemone (1999-2000). Rapporto finale*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione AGIP, Distretto di Ravenna. 119 + XI pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Manoukian S., Panfili M. 2002. *Servizi di monitoraggio ambientale campo Calpurnia. Rapporto conclusivo di due anni di indagine (2000-2001)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione AGIP, Distretto di Ravenna. 65 + IX 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. 2005a. *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., Ausili S., De Ranieri S., Nasci C., Spagnolo A. 2005b. *Servizi di monitoraggio ambientale piattaforma di estrazione di idrocarburi gassosi “Porto Corsini Mare Sud 1 (PCMS-1)”*. Rapporto conclusivo di due anni di indagine. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 95 + XI 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. De Ranieri S., Grilli F., Nasci C., Spagnolo A. 2010a. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Clara Nord. Rapporto conclusivo di tre anni di indagine (estate 2005 - inverno 2008)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 240 + XLIII pp.
- Fabi G., Campanelli A., De Ranieri S., Nasci C., Polidori P., Punzo E. 2010b. *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., Bolognini L., De Ranieri S., Domenichetti F., Nasci C., Penna P., Santelli A., Spagnolo A. 2015. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Tea. II anno dopo la posa in opera della piattaforma, III anno dopo la posa del sea-line - Rapporto finale (estate 2006 - estate 2009)*. Rapporto per ENI S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 307 + XLV 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., Campanelli A., De Biasi A.M., Ferrà Vega C., Gaetani A., Gomiero A., Kozinkova L. 2017a. *Monitoraggio ambientale Pozzi sottomarini Bonaccia Est 2 e Bonaccia Est 3. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione dei pozzi sottomarini e del sea-line collegante i pozzi con la piattaforma Bonaccia. Rapporto finale dal pre-survey al 3° anno post lavori di installazione (2009 - 2013)*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM, DICS. 236 + XCV pp.
- Fabi G., Spagnolo A., De Biasi A.M., Kozinkova L. 2017b. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Elettra - Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione del sea-line collegante Elettra con la condotta Bonaccia - Barbara C. Rapporto finale dal pre-survey al 3° anno di installazione. Rapporto n. 11*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS. 99 + XX pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Kozinkova L., De Biasi A.M., Punzo E. 2017c. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Clara NW - Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della condotta collegante Clara NW a Calipso. Fase di produzione - 1° anno rapporto finale (gennaio-dicembre 2016)*. Rapporto n. 5. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS. 72 + XXX pp.
- Fabi G., Borghini M., Cassin D., De Biasi A.M., De Lazzari A., Gaetani A., M. Girasole, A. Gomiero, Kozinkova L., Leoni S., Spagnolo A. 2018. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Fauzia. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione del sea-line collegante Fauzia a Barbara B. Rapporto finale dal pre-survey al 3° anno post lavori di installazione. Rapporto n. 11*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS. 129 + XXX 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.
- Law R.J. 1978. Determination of petroleum hydrocarbons in water, fish and sediments following the Ekofisk blow-out. *Mar. Poll. Bul.*, 9: 321-324.
- Losso C., Picone M., Arizzi Novelli A., Delaney E., Ghetti P.F., Volpi Ghirardini A. 2007. Developing toxicity scores for embryotoxicity tests on elutriates with the sea urchin *Paracentrotus lividus*, the oyster *Crassostrea gigas* and the mussel *Mytilus galloprovincialis*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 53: 220–226.
- 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. Pollut. 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*. Publ. 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 circalitoral 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. *Medit. Mar. Sci.*, 3: 77-111.
- Spagnolo A., Punzo E., Santelli A., Scarcella G., Strafella P., Grati F., Fabi G. 2014. Offshore platforms: comparison of five benthic indicators for assessing the macrozoobenthic stress level. *Mar. Pollut. Bull.*, 82: 55-65.
- 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 tricornutum*. UNI EN ISO 10253:2000. 14 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	$\pm 0,01$ 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 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-VII DMA 80 per la misurazione del MERCURIO**



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-VIII VARIAN SPECTRA AA-240 Z per la misurazione di CADMIO e PIOMBO E ARSENICO**

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-IX      VARIAN ICP-720ES per la misurazione di ALLUMINIO, BARIO, FERRO, CROMO, NICHEL, RAME, SILICIO, VANADIO e ZINCO**



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-X      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 <sup>2</sup> )
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



<b>Strumento</b>	<b>Costruttore</b>	<b>Modello</b>	<b>Risoluzione</b>	<b>Capacità</b>
Bilancia elettronica	Mettler Toledo	ML204	0,0001 g	220 g

# **ALLEGATO B**

## **SCHEDE GRANULOMETRICHE DEI SITI POSTI NELL'AREA DEL SEA-LINE E DEI CONTROLLI**

**K5 - K10**

**3° SURVEY POST LAVORI DI INSTALLAZIONE**

**1° semestre 2017**



## Stazione C1 (100 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	49,6
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	Ø
Media	M <sub>i</sub>	7,62	5	3,85
Mediana	M <sub>d</sub>	7,78	16	5,02
Classazione	σ	2,30	25	6,19
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,12	50	7,78
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,88	75	9,38
			84	10,07
			95	10,71

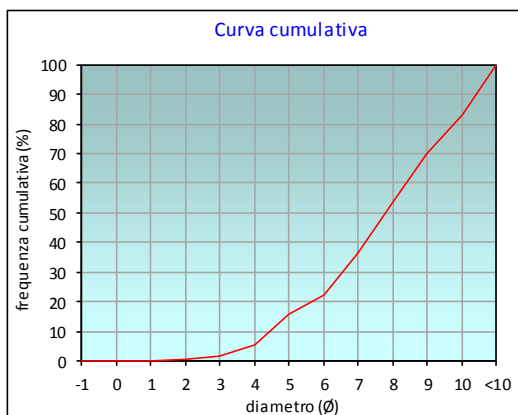
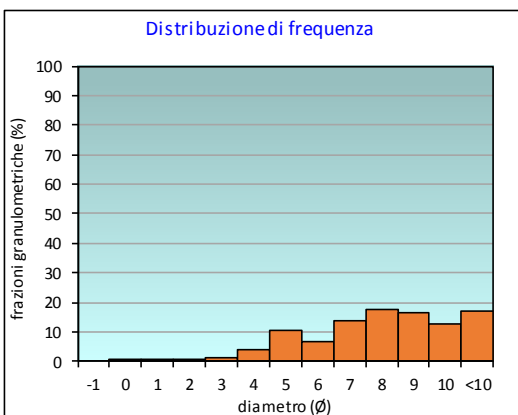
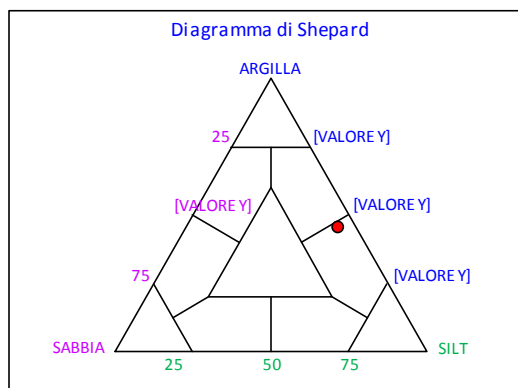
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,2	0,2
	2	250	0,4	0,7
	3	125	1,1	1,7
	4	62,5	3,9	5,6
LIMO	5	31,2	10,3	15,9
	6	15,6	6,5	22,4
	7	7,8	13,9	36,2
	8	3,9	17,7	53,9
ARGILLA	9	2	16,2	70,2
	10	0,98	12,6	82,8
	<10	<0,98	17,2	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	5,6	48,4	46,1

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Asimmetrica negativa
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione C2 (60 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	49,4
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,20	5	3,74
Mediana	M <sub>d</sub>	7,45	16	4,64
Classazione	σ	2,25	25	5,63
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,12	50	7,45
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,88	75	8,79
			84	9,51
			95	10,53

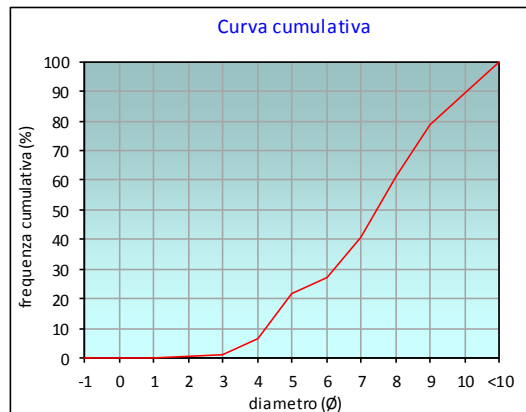
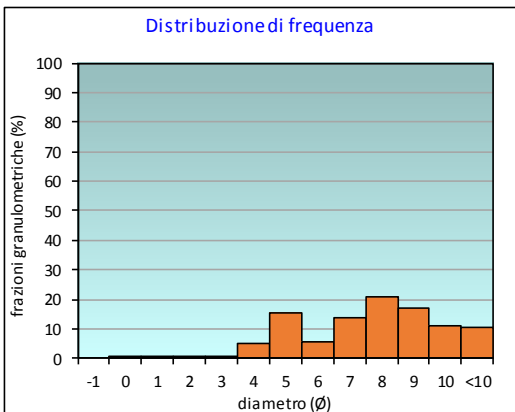
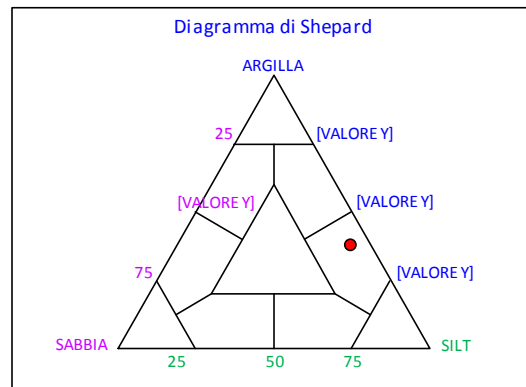
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	0,2	0,2
	2	250	0,3	0,5
	3	125	0,8	1,3
	4	62,5	5,0	6,3
LIMO	5	31,2	15,3	21,6
	6	15,6	5,4	27,0
	7	7,8	13,7	40,6
	8	3,9	20,8	61,5
ARGILLA	9	2	17,1	78,5
	10	0,98	10,8	89,3
	<10	<0,98	10,7	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	6,3	55,2	38,5

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Asimmetrica negativa
Appuntimento	Platicurtica





## Stazione C3 (30 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	55,7
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,94	5	4,30
Mediana	M <sub>d</sub>	8,11	16	5,88
Classazione	σ	1,95	25	6,62
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,17	50	8,11
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,97	75	9,28
			84	9,84
			95	10,63

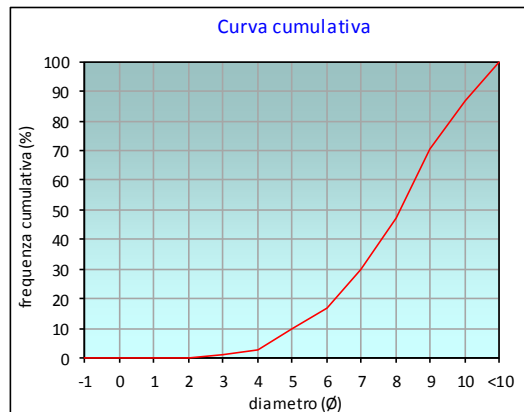
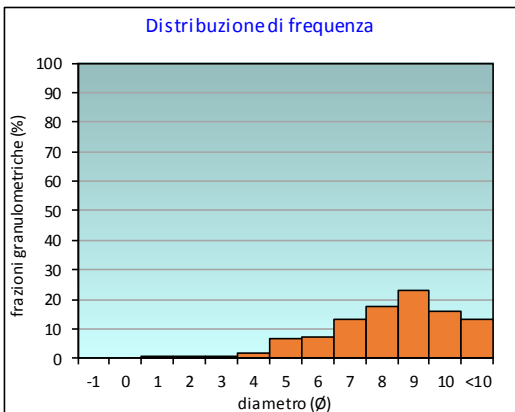
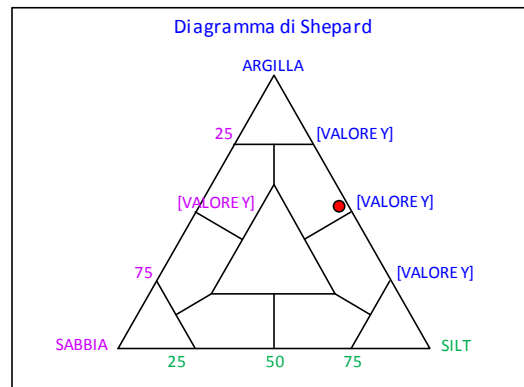
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	0,1	0,1
	2	250	0,1	0,2
	3	125	0,8	0,9
	4	62,5	2,0	2,9
LIMO	5	31,2	6,9	9,8
	6	15,6	7,0	16,9
	7	7,8	13,2	30,1
	8	3,9	17,3	47,4
ARGILLA	9	2	23,1	70,5
	10	0,98	16,1	86,6
	<10	<0,98	13,4	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	2,9	44,5	52,6

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Argilla siltosa
Classazione	Mal classato
Asimmetria	Asimmetrica negativa
Appuntimento	Mesocurtica



## Stazione C4 (SEA-LINE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	55,3
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	8,18	5	4,63
Mediana	M <sub>d</sub>	8,21	16	6,13
Classazione	σ	1,95	25	6,84
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,09	50	8,21
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,88	75	9,69
			84	10,21
			95	10,75

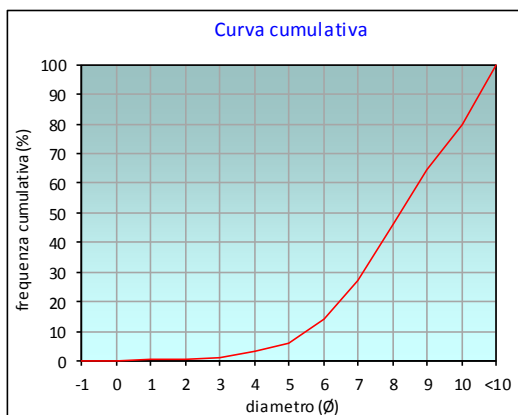
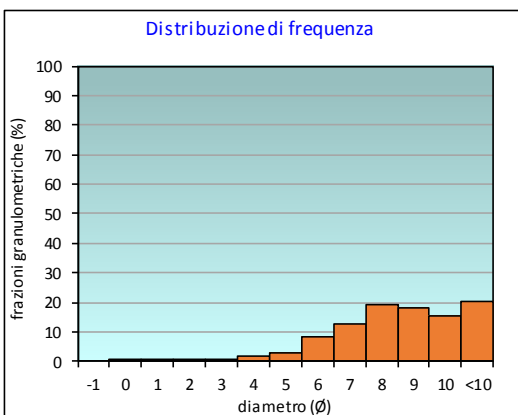
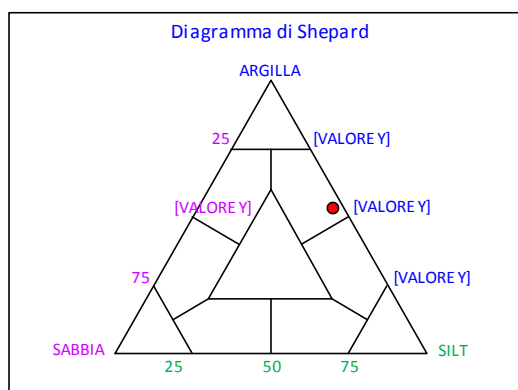
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,2	0,3
	2	250	0,3	0,6
	3	125	0,5	1,1
	4	62,5	2,0	3,1
LIMO	5	31,2	3,0	6,1
	6	15,6	8,2	14,3
	7	7,8	12,7	27,1
	8	3,9	19,1	46,2
ARGILLA	9	2	18,2	64,4
	10	0,98	15,4	79,7
	<10	<0,98	20,3	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	3,1	43,1	53,8

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Argilla siltosa
Classazione	Mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione C5 (30 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	55,7
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,90	5	4,50
Mediana	M <sub>d</sub>	7,96	16	5,87
Classazione	σ	1,94	25	6,56
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,08	50	7,96
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,93	75	9,27
			84	9,89
			95	10,65

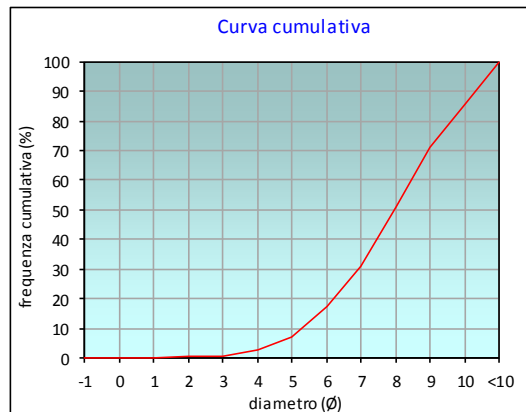
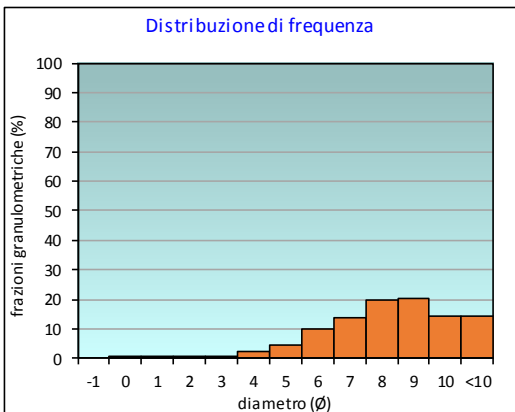
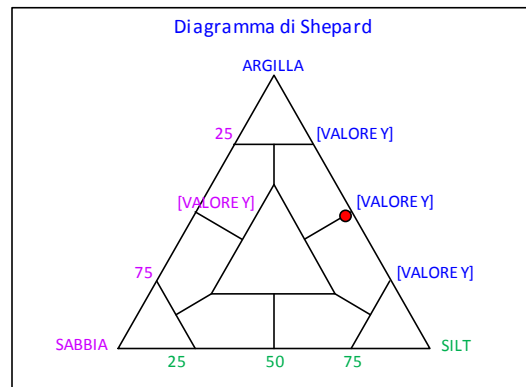
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,1	0,1
	2	250	0,2	0,3
	3	125	0,3	0,6
	4	62,5	2,2	2,8
LIMO	5	31,2	4,4	7,2
	6	15,6	10,1	17,4
	7	7,8	13,7	31,1
	8	3,9	19,8	50,9
ARGILLA	9	2	20,3	71,1
	10	0,98	14,5	85,6
	<10	<0,98	14,4	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	2,8	48,0	49,1

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Argilla siltosa
Classazione	Mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Mesocurtica



## Stazione C6 (60 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	53,4
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	8,00	5	4,35
Mediana	M <sub>d</sub>	8,13	16	5,90
Classazione	σ	1,98	25	6,62
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,14	50	8,13
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,93	75	9,41
			84	9,98
			95	10,68

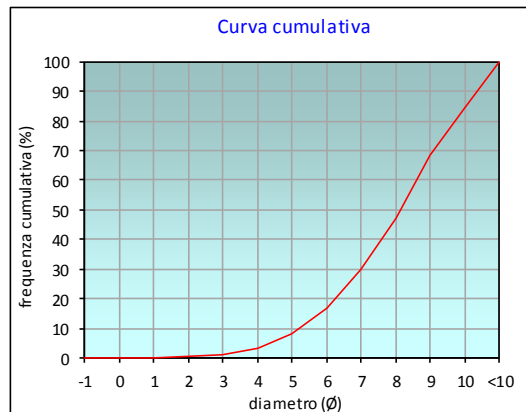
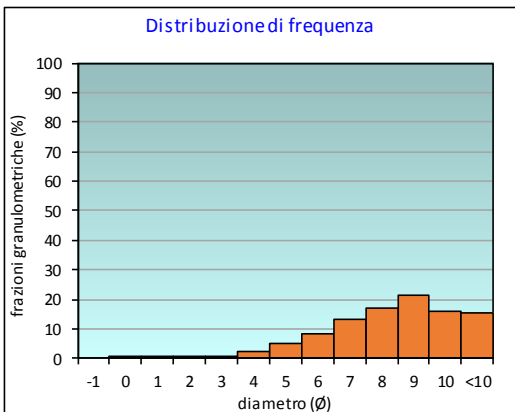
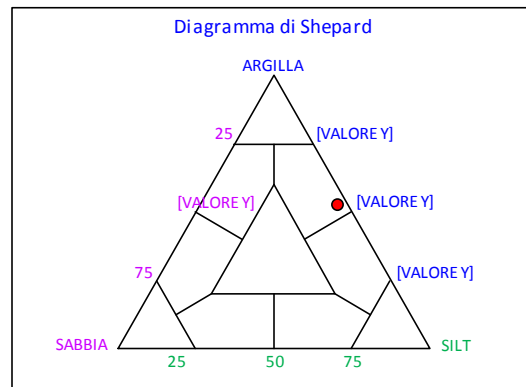
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,1	0,2
	2	250	0,3	0,4
	3	125	0,7	1,1
	4	62,5	2,1	3,2
LIMO	5	31,2	5,2	8,4
	6	15,6	8,5	16,9
	7	7,8	13,1	30,0
	8	3,9	17,2	47,2
ARGILLA	9	2	21,4	68,6
	10	0,98	15,8	84,4
	<10	<0,98	15,6	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	3,2	44,0	52,8

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonatici organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Argilla siltosa
Classazione	Mal classato
Asimmetria	Asimmetrica negativa
Appuntimento	Mesocurtica



## Stazione C7 (100 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	56,5
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

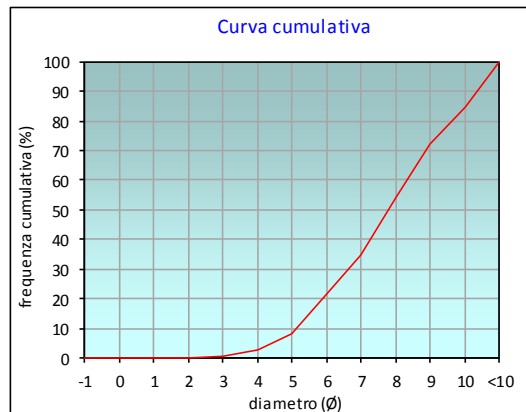
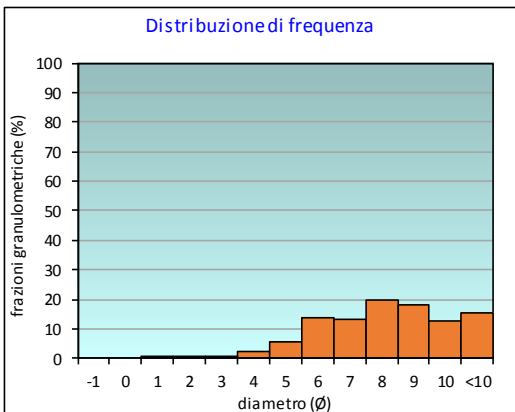
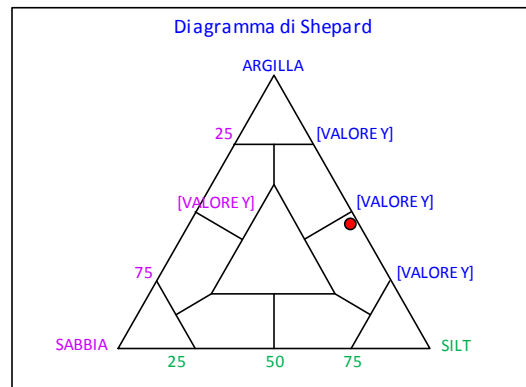
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,77	5	4,47
Mediana	M <sub>d</sub>	7,78	16	5,59
Classazione	σ	2,03	25	6,26
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,04	50	7,78
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,86	75	9,23
			84	9,94
			95	10,67

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	0,1	0,1
	2	250	0,1	0,2
	3	125	0,3	0,5
	4	62,5	2,0	2,5
LIMO	5	31,2	5,4	7,9
	6	15,6	13,7	21,6
	7	7,8	13,1	34,7
	8	3,9	19,6	54,2
ARGILLA	9	2	17,9	72,1
	10	0,98	12,7	84,8
	<10	<0,98	15,2	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	2,5	51,8	45,8

NOTE  
2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione K5

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	48,3
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,19	5	3,13
Mediana	M <sub>d</sub>	7,38	16	4,40
Classazione	σ	2,48	25	5,39
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,12	50	7,38
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,86	75	8,98
			84	9,77
			95	10,63

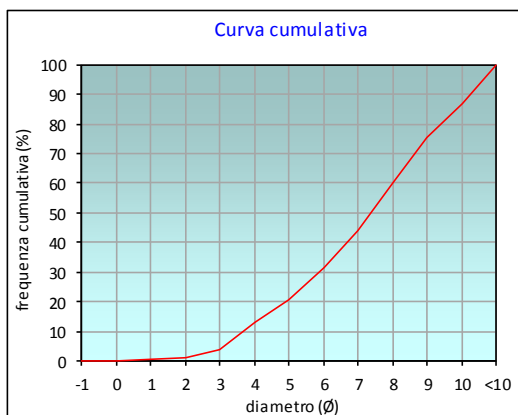
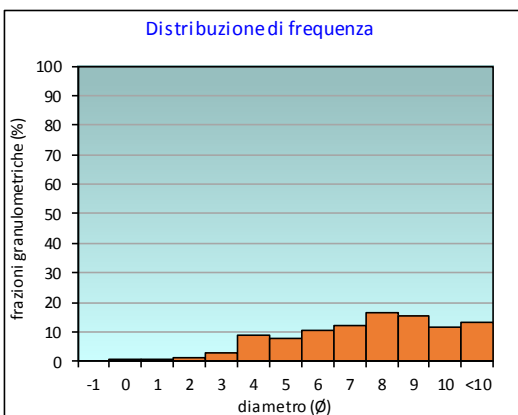
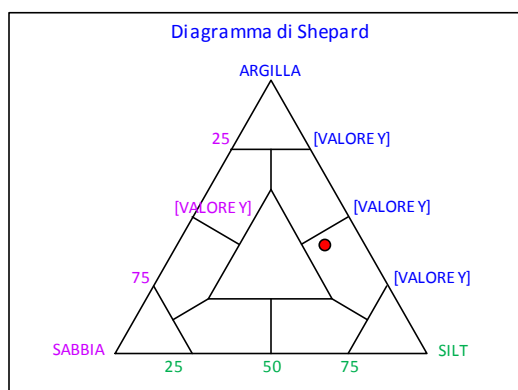
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,2	0,3
	2	250	1,0	1,3
	3	125	2,6	3,9
	4	62,5	8,9	12,8
LIMO	5	31,2	8,0	20,8
	6	15,6	10,7	31,5
	7	7,8	12,3	43,8
	8	3,9	16,2	60,0
ARGILLA	9	2	15,2	75,2
	10	0,98	11,4	86,6
	<10	<0,98	13,4	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	12,8	47,3	40,0

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Asimmetrica negativa
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione K6

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	51,2
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

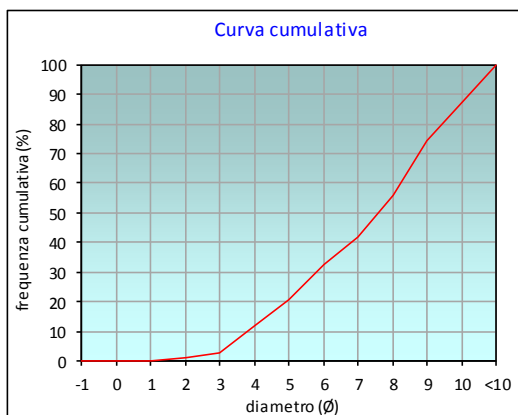
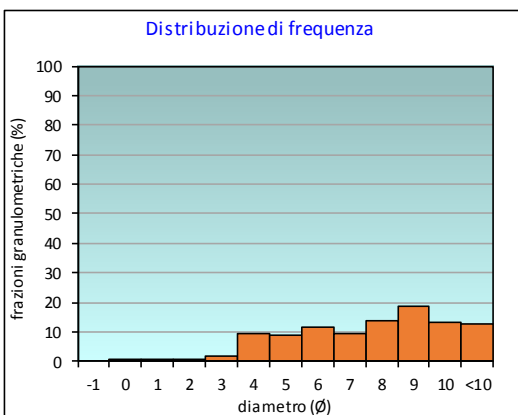
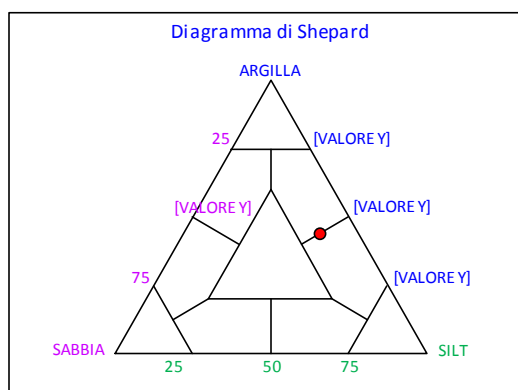
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,26	5	3,23
Mediana	M <sub>d</sub>	7,58	16	4,46
Classazione	σ	2,43	25	5,37
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,18	50	7,58
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,82	75	9,05
			84	9,73
			95	10,60

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,2	0,2
	2	250	0,7	0,9
	3	125	1,9	2,8
	4	62,5	9,3	12,1
LIMO	5	31,2	8,6	20,7
	6	15,6	11,6	32,3
	7	7,8	9,6	41,9
	8	3,9	13,9	55,8
ARGILLA	9	2	18,6	74,4
	10	0,98	13,2	87,6
	<10	<0,98	12,4	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	12,1	43,7	44,2

NOTE  
2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Argilla siltosa
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Asimmetrica negativa
Appuntimento	Platicurtica



# Stazione K7

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	50,6
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

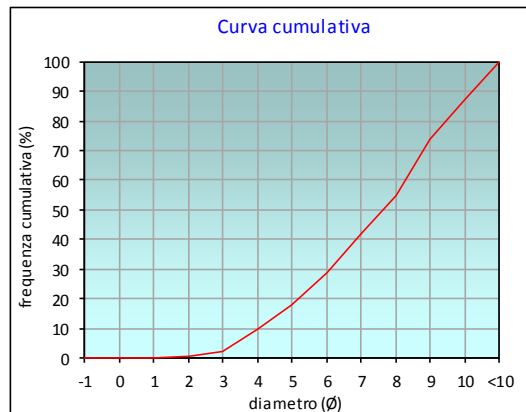
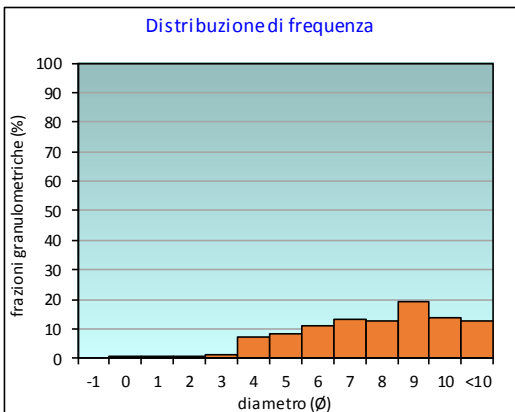
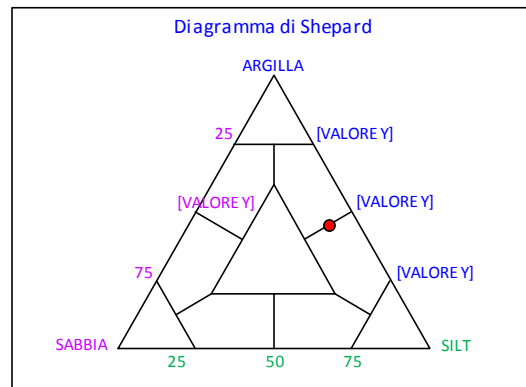
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	Ø
Media	M <sub>i</sub>	7,39	5	3,39
Mediana	M <sub>d</sub>	7,63	16	4,79
Classazione	σ	2,33	25	5,66
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,16	50	7,63
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,86	75	9,09
			84	9,74
			95	10,60

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,2	0,2
	2	250	0,5	0,8
	3	125	1,3	2,1
	4	62,5	7,4	9,5
LIMO	5	31,2	8,2	17,7
	6	15,6	11,0	28,7
	7	7,8	13,2	41,9
	8	3,9	12,9	54,8
ARGILLA	9	2	19,0	73,8
	10	0,98	13,8	87,6
	<10	<0,98	12,4	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	9,5	45,3	45,2

NOTE  
2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Asimmetrica negativa
Appuntimento	Platicurtica





## Stazione D1 (100 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	50,5
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,34	5	3,76
Mediana	M <sub>d</sub>	7,41	16	4,74
Classazione	σ	2,33	25	5,51
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,05	50	7,41
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,79	75	9,09
			84	9,87
			95	10,65

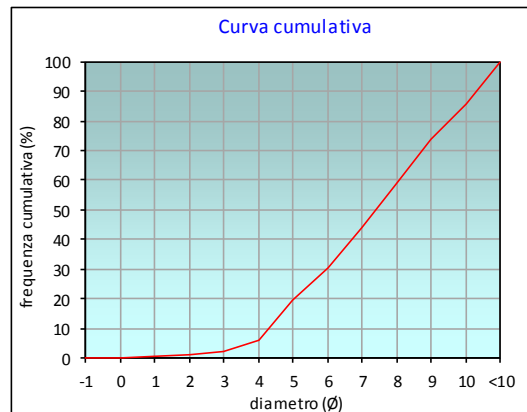
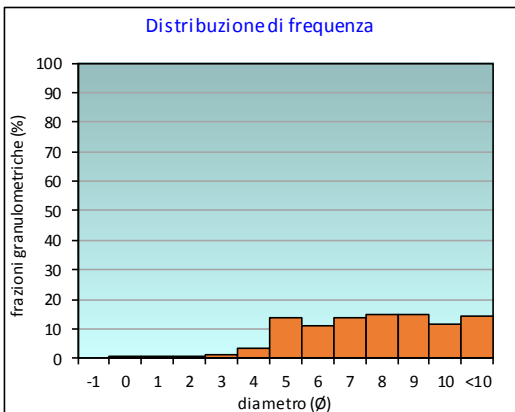
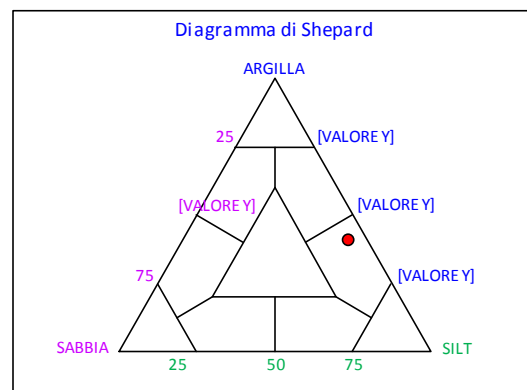
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,4	0,6
	2	250	0,6	1,1
	3	125	1,3	2,4
	4	62,5	3,5	5,9
LIMO	5	31,2	13,6	19,5
	6	15,6	10,8	30,3
	7	7,8	13,6	43,9
	8	3,9	15,1	58,9
ARGILLA	9	2	15,0	73,9
	10	0,98	11,6	85,6
	<10	<0,98	14,4	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	5,9	53,1	41,1

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione D2 (60 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	47,4
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,27	5	3,51
Mediana	M <sub>d</sub>	7,29	16	4,69
Classazione	σ	2,36	25	5,44
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,04	50	7,29
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,82	75	9,02
			84	9,82
			95	10,64

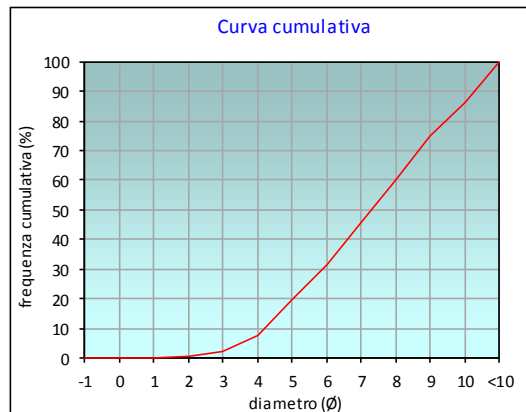
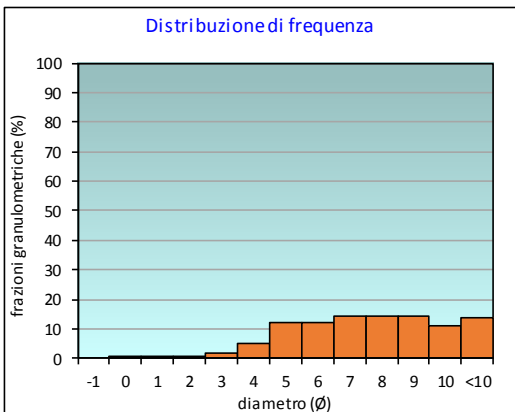
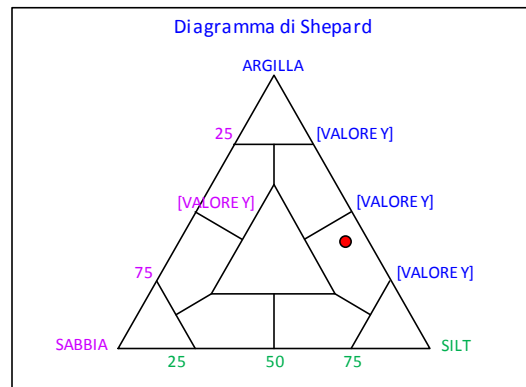
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,2	0,2
	2	250	0,4	0,7
	3	125	1,7	2,4
	4	62,5	5,1	7,5
LIMO	5	31,2	12,2	19,7
	6	15,6	11,9	31,7
	7	7,8	14,2	45,8
	8	3,9	14,5	60,4
ARGILLA	9	2	14,5	74,8
	10	0,98	11,2	86,1
	<10	<0,98	13,9	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	7,5	52,8	39,6

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione D3 (30 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	49,1
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,20	5	3,73
Mediana	M <sub>d</sub>	7,17	16	4,75
Classazione	σ	2,27	25	5,49
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	0,01	50	7,17
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,84	75	8,83
			84	9,67
			95	10,61

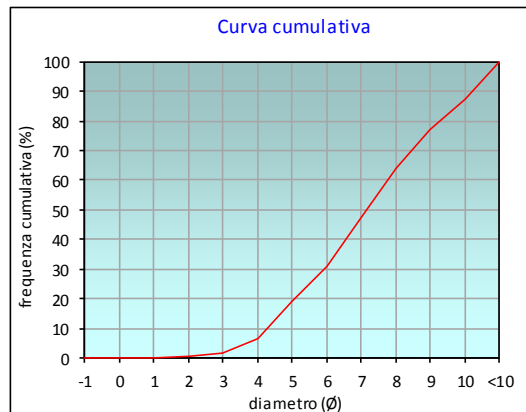
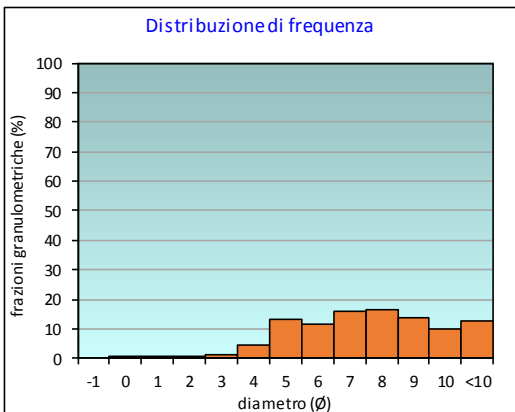
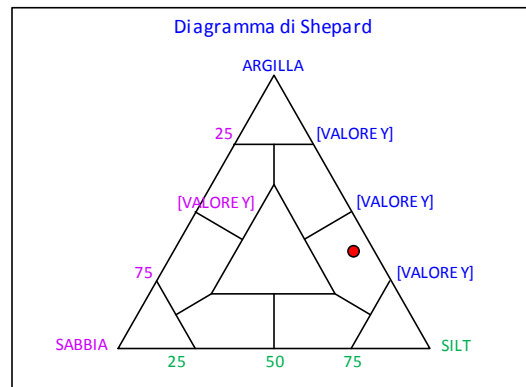
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,1	0,2
	2	250	0,2	0,4
	3	125	1,2	1,7
	4	62,5	4,6	6,2
LIMO	5	31,2	13,0	19,3
	6	15,6	11,8	31,1
	7	7,8	16,1	47,2
	8	3,9	16,6	63,8
ARGILLA	9	2	13,5	77,3
	10	0,98	10,0	87,3
	<10	<0,98	12,7	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	6,2	57,6	36,2

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione D4 (SEA-LINE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	50,5
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

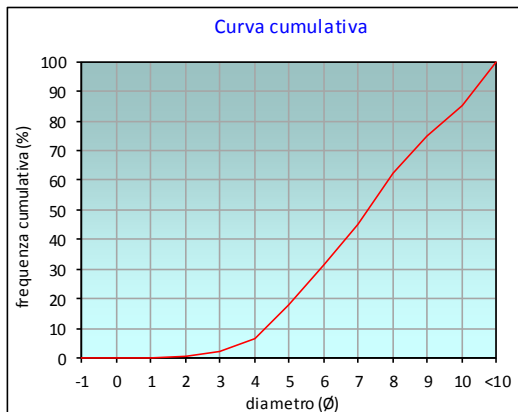
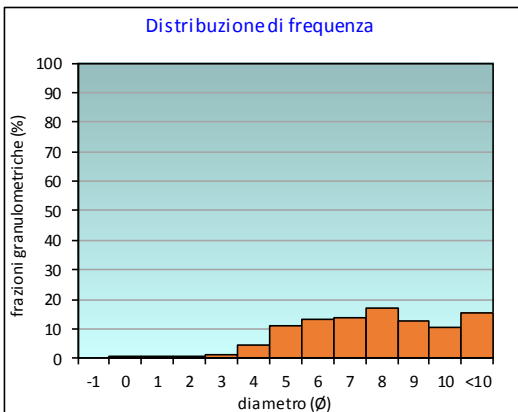
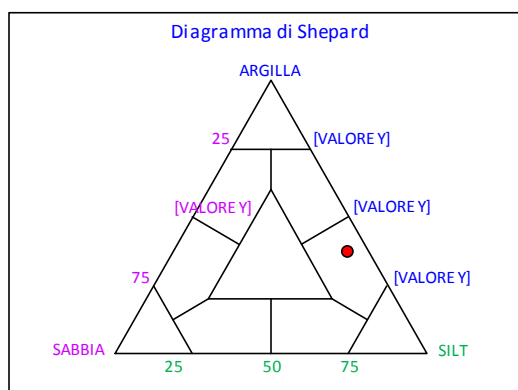
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,34	5	3,64
Mediana	M <sub>d</sub>	7,28	16	4,84
Classazione	σ	2,33	25	5,54
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	0,00	50	7,28
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,82	75	9,04
			84	9,91
			95	10,67

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,1	0,2
	2	250	0,3	0,6
	3	125	1,4	2,0
	4	62,5	4,7	6,7
LIMO	5	31,2	11,1	17,8
	6	15,6	13,5	31,2
	7	7,8	13,9	45,2
	8	3,9	17,0	62,2
ARGILLA	9	2	12,4	74,6
	10	0,98	10,3	84,9
	<10	<0,98	15,1	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	6,7	55,5	37,8

NOTE
2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione D5 (30 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	48,6
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,16	5	3,58
Mediana	M <sub>d</sub>	7,24	16	4,65
Classazione	σ	2,29	25	5,44
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,05	50	7,24
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,85	75	8,82
			84	9,59
			95	10,57

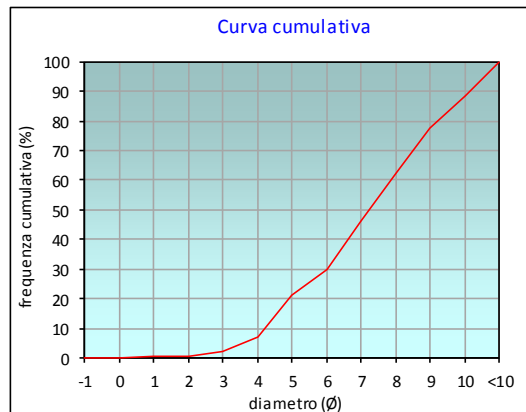
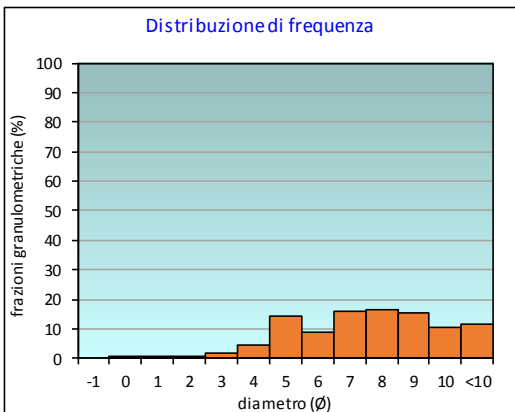
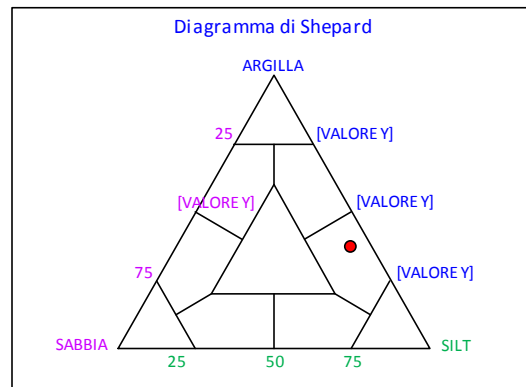
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,3	0,4
	2	250	0,4	0,8
	3	125	1,7	2,4
	4	62,5	4,5	6,9
LIMO	5	31,2	14,1	21,0
	6	15,6	9,0	30,0
	7	7,8	16,0	46,0
	8	3,9	16,6	62,6
ARGILLA	9	2	15,2	77,8
	10	0,98	10,6	88,4
	<10	<0,98	11,6	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	6,9	55,7	37,4

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione D6 (60 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	48,5
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	Ø
Media	M <sub>i</sub>	7,30	5	4,01
Mediana	M <sub>d</sub>	7,34	16	4,81
Classazione	σ	2,24	25	5,45
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,01	50	7,34
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,75	75	9,05
			84	9,76
			95	10,62

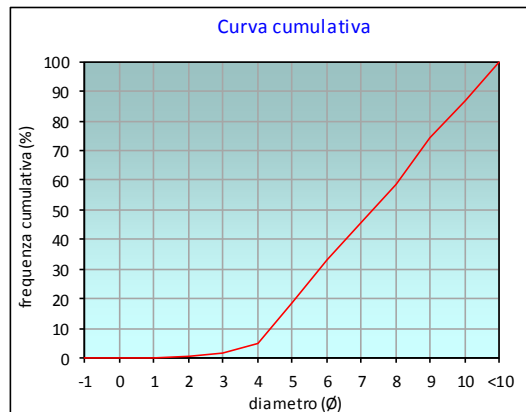
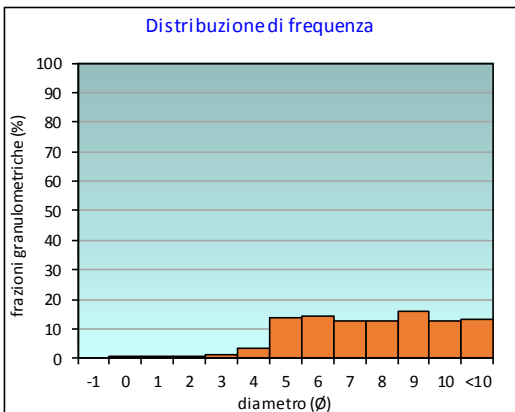
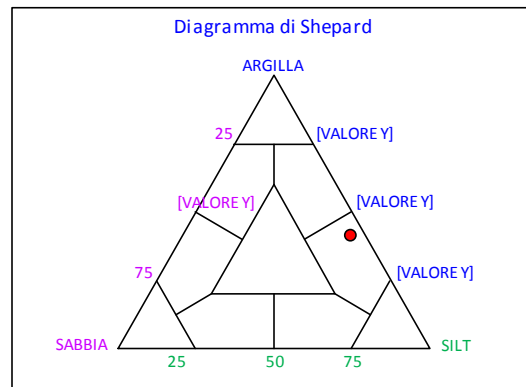
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,2	0,2
	2	250	0,2	0,5
	3	125	1,1	1,6
	4	62,5	3,4	4,9
LIMO	5	31,2	13,7	18,6
	6	15,6	14,3	32,9
	7	7,8	12,8	45,7
	8	3,9	12,8	58,4
ARGILLA	9	2	16,0	74,4
	10	0,98	12,5	87,0
	<10	<0,98	13,0	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	4,9	53,5	41,6

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione D7 (100 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	51,7
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	Ø
Media	M <sub>i</sub>	7,65	5	4,04
Mediana	M <sub>d</sub>	7,68	16	5,29
Classazione	σ	2,18	25	6,06
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,06	50	7,68
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,85	75	9,26
			84	9,97
			95	10,68

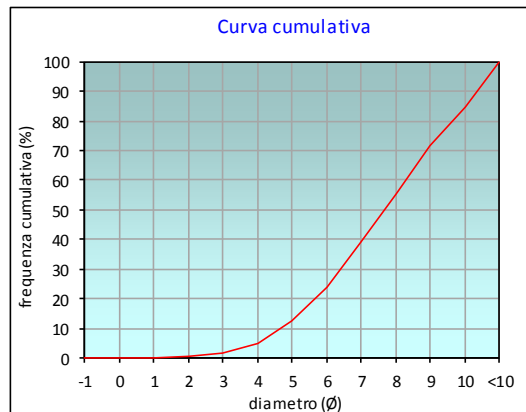
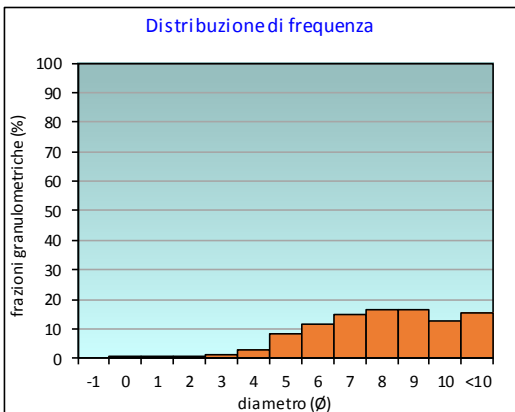
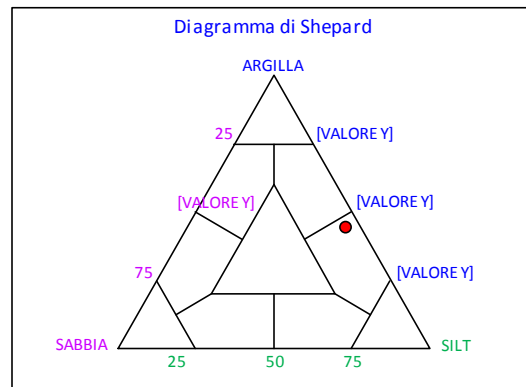
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,1	0,2
	2	250	0,4	0,6
	3	125	1,1	1,7
	4	62,5	3,0	4,7
LIMO	5	31,2	8,1	12,7
	6	15,6	11,3	24,1
	7	7,8	14,8	38,9
	8	3,9	16,2	55,2
ARGILLA	9	2	16,5	71,7
	10	0,98	12,7	84,4
	<10	<0,98	15,6	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	4,7	50,5	44,8

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



# Stazione K8

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	46,0
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

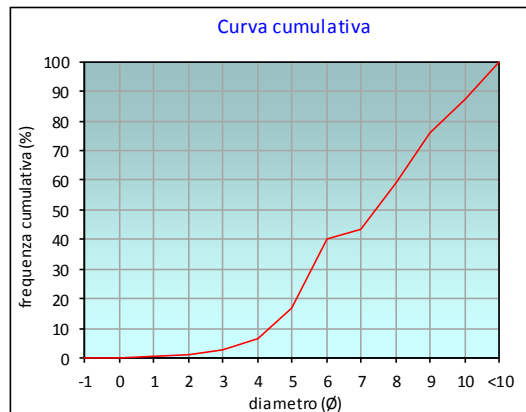
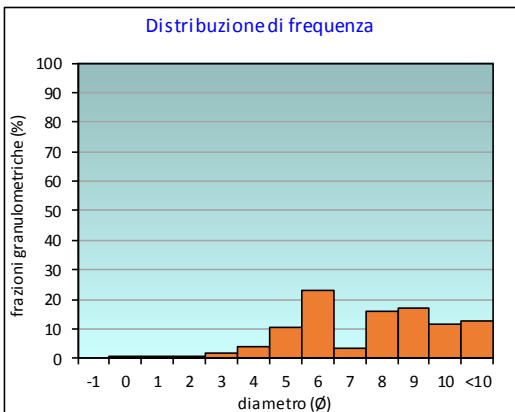
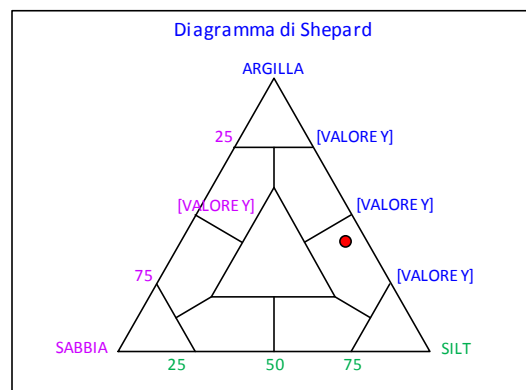
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M <sub>i</sub>	7,34	5	3,58
Mediana	M <sub>d</sub>	7,42	16	4,91
Classazione	σ	2,26	25	5,35
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,07	50	7,42
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,80	75	8,93
			84	9,69
			95	10,60

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,4	0,5
	2	250	0,6	1,1
	3	125	1,6	2,7
	4	62,5	4,0	6,7
LIMO	5	31,2	10,3	16,9
	6	15,6	23,1	40,0
	7	7,8	3,4	43,4
	8	3,9	15,8	59,2
ARGILLA	9	2	16,9	76,1
	10	0,98	11,5	87,6
	<10	<0,98	12,4	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	6,7	52,6	40,8

NOTE  
2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica





## Stazione K9

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	52,7
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	Ø
Media	M <sub>i</sub>	7,65	5	4,02
Mediana	M <sub>d</sub>	7,64	16	5,20
Classazione	σ	2,24	25	6,10
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,04	50	7,64
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,84	75	9,38
			84	10,11
			95	10,72

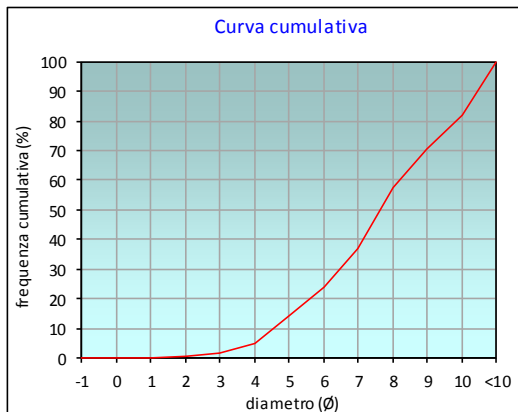
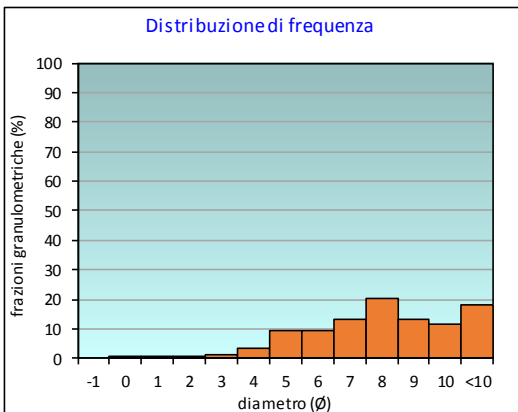
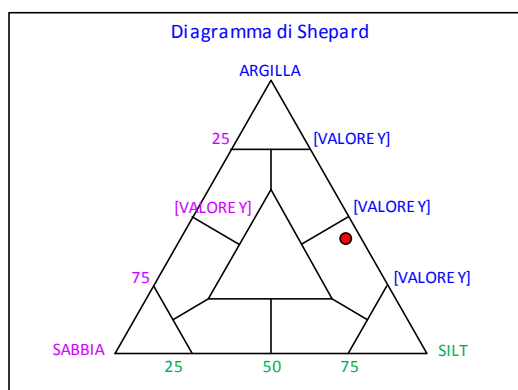
	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,1	0,2
	2	250	0,3	0,5
	3	125	1,1	1,6
	4	62,5	3,2	4,8
LIMO	5	31,2	9,3	14,1
	6	15,6	9,5	23,6
	7	7,8	13,2	36,8
	8	3,9	20,5	57,4
ARGILLA	9	2	13,3	70,7
	10	0,98	11,4	82,1
	<10	<0,98	17,9	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	4,8	52,5	42,6

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica



## Stazione K10

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm <sup>3</sup> )	n.d.
Umidità (%)	49,4
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	Ø
Media	M <sub>i</sub>	7,44	5	3,77
Mediana	M <sub>d</sub>	7,50	16	4,92
Classazione	σ	2,29	25	5,73
Asimmetria	S <sub>ki</sub>	-0,06	50	7,50
Appuntimento	K <sub>G</sub>	0,84	75	9,09
			84	9,91
			95	10,67

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	0,2	0,2
	2	250	0,4	0,6
	3	125	1,3	1,8
	4	62,5	4,1	5,9
LIMO	5	31,2	11,0	16,9
	6	15,6	11,2	28,1
	7	7,8	12,1	40,2
	8	3,9	19,6	59,8
ARGILLA	9	2	14,3	74,1
	10	0,98	11,0	85,0
	<10	<0,98	15,0	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	5,9	53,9	40,2

NOTE

2000µm resti conchiliari; 1000, 500 e 250µm resti carbonatici organogeni; 125µm circa 65% resti carbonati organogeni.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Simmetrica
Appuntimento	Platicurtica

