



**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

3° ANNO

RAPPORTO SEMESTRALE

(gennaio-giugno 2018)

RAPPORTO n. 10

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

**COORDINATORE:
GIANNA FABI**

**RESPONSABILE SCIENTIFICO:
ALESSANDRA SPAGNOLO**

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

ANCONA, 2019

INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	1
2.	MATERIALI E METODI.....	4
2.1.	CAMPIONAMENTO IN MARE.....	4
2.1.1.	INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI E SULLA COMUNITÀ BENTONICA	4
2.1.2.	ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI E BIOACCUMULO IN ORGANISMI MARINI	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®)	12
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).....	31
3.2.	ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI.....	33
3.2.1.	<i>DUNALIELLA TERTIOLECTA</i>	33
3.2.2.	<i>VIBRIO FISCHERI</i> (SISTEMA MICROTOX®)	33
3.2.3.	<i>COROPHIUM ORIENTALE</i>	33
3.2.4.	<i>CRASSOSTREA GIGAS</i>	35
3.2.5.	RICERCA DI METALLI PESANTI IN <i>HEDISTE DIVERSICOLOR</i>	36
3.3.	INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA	39
3.3.1.	DENSITÀ (N) E BIOMASSA (P)	39
3.3.2.	AFFINITÀ BIOECENOTICHE DELLE SPECIE RINVENUTE.....	43
3.3.3.	DOMINANZA	44
3.3.4.	RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE (S)	45
3.3.5.	RICCHEZZA SPECIFICA MEDIA (S _M)	46
3.3.6.	DIVERSITÀ SPECIFICA (H')	46
3.3.7.	MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS).....	47
3.3.8.	VALUTAZIONE DELLO STATO AMBIENTALE	48
3.3.8.1	Indice W di Clarke.....	48
3.3.8.2	Indice AMBI.....	49
3.3.8.3	Indice BENTIX	49
3.3.8.4	Stato ecologico	51

4.	CONCLUSIONI.....	52
5.	BIBLIOGRAFIA.....	56
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 6° survey post lavori (inverno 2018)	IX

PARTECIPANTI AL PROGRAMMA

Coordinatore	G. Fabi	CNR - IRBIM Ancona
Responsabile Scientifico	A. Spagnolo	CNR - IRBIM Ancona
Analisi dei sedimenti ed ecotossicologia	A.M. De Biasi	CIBM Livorno
	G. Bontà Pittaluga	CIBM Livorno
	S. Dell'Ira	CIBM Livorno
	L. Kozinkova	CIBM Livorno
	M. Pertusati	CIBM Livorno
	S. Polese	CIBM Livorno
	O. Spinelli	CIBM Livorno
Comunità bentonica	C. Cuicchi	Cooperativa Mare Ricerca Ancona
	G. Del Sette	Cooperativa Mare Ricerca Ancona
	T. Manarini	Cooperativa Mare Ricerca Ancona
	L. Montagnini	Cooperativa Mare Ricerca Ancona
	P. Polidori	CNR - IRBIM Ancona
	E. Punzo	CNR - IRBIM Ancona
	V. Salvalaggio	CNR - IRBIM Ancona
	A. Santelli	CNR - IRBIM Ancona
	P. Strafella	CNR - IRBIM Ancona

Hanno inoltre collaborato allo svolgimento dei campionamenti in mare i Sigg.ri Giampaolo Gaetani e Antonio Marziali imbarcati sulla M/R Tecnopesca II del CNR-IRBIM di 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-IRBIM (ex CNR-ISMAR) di Ancona è stato incaricato da ENI S.p.A. – UPSTREAM DICS di effettuare un monitoraggio volto a valutare il potenziale impatto ambientale conseguente l'installazione della piattaforma 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; 2017; 2018a; 2018b; 2018c), 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 3° anno relativo alla fase di esercizio (2018).

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

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

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

2. MATERIALI E METODI

La condotta collegante le piattaforme 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.

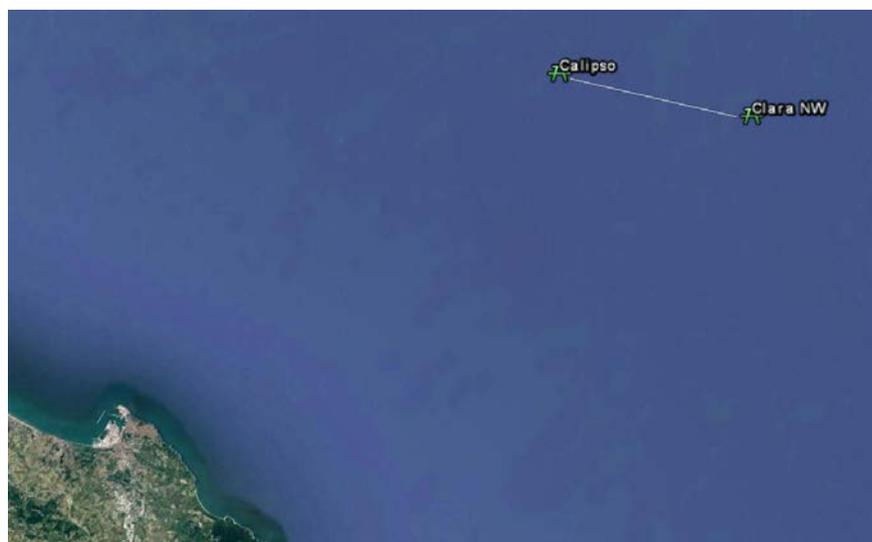


Fig. 2.1 - Sea-line collegante le piattaforme Clara NW e Calipso.

2.1. CAMPIONAMENTO IN MARE

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

Nel 1° semestre 2018 è stato condotto il 5° survey post lavori di installazione. Come nei monitoraggi precedenti (Fabi *et al.*, 2018d), i prelievi sono stati effettuati lungo due 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 2018 sono riportate in Tab. 2-I.

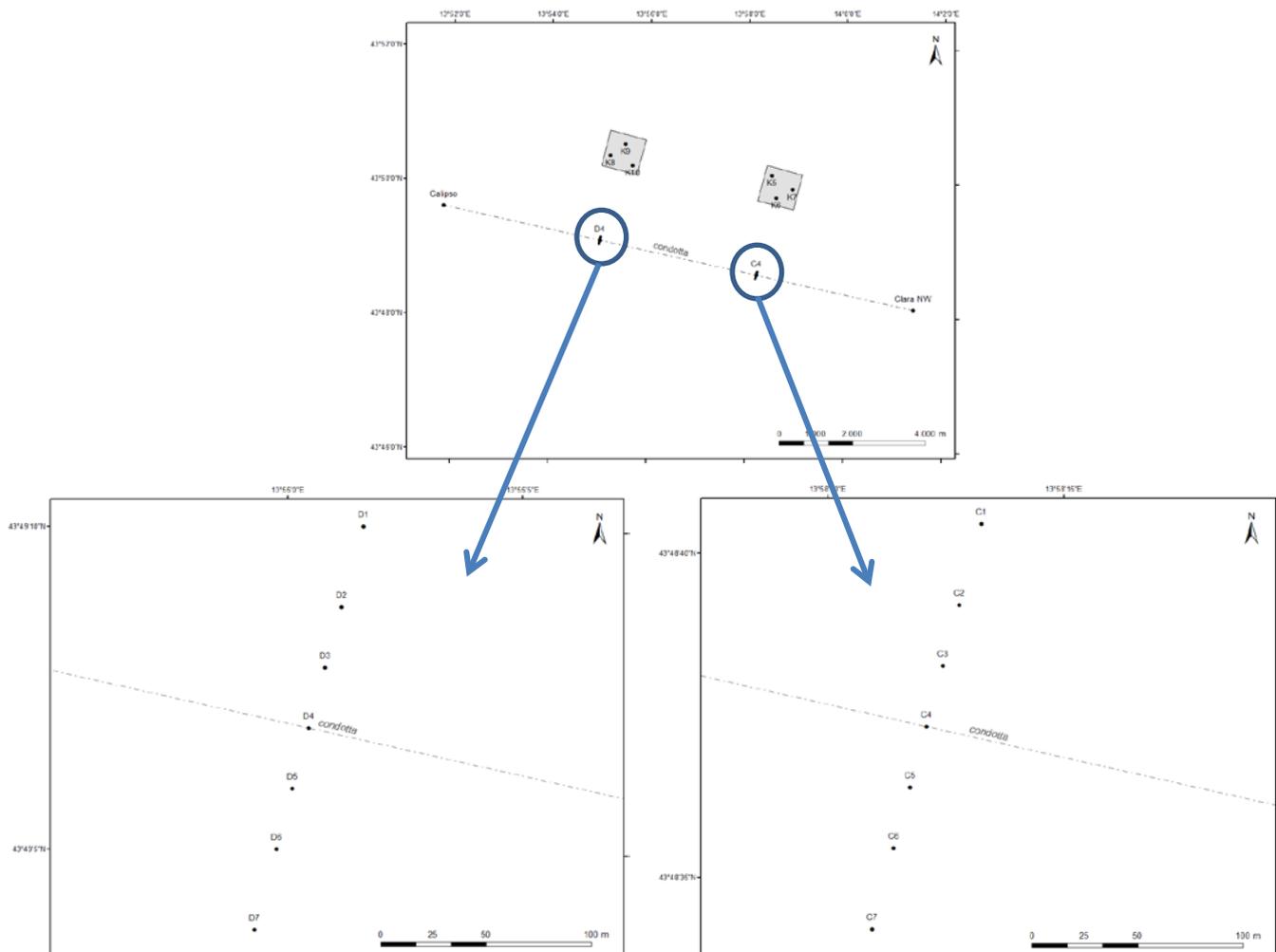


Fig. 2.2 - Schema di campionamento del sea-line per le indagini sedimentologiche e sulla comunità bentonica, con particolare dei due transetti.

Tab. 2-I - Dati identificativi delle stazioni di campionamento utilizzate nel 5° 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°48'680N 13°58'239E	75,4
C2	60	NNE	43°48'660N 13°58'230E	75,4
C3	30	NNE	43°48'640N 13°58'230E	75,5
C4	0	-	43°48'620N 13°58'226E	75,5
C5	30	SSW	43°48'610N 13°58'220E	75,5
C6	60	SSW	43°48'580N 13°58'226E	75,4
C7	100	SSW	43°48'556N 13°58'221E	75,6
K5	2000	NNE	43°49'987N 13°58'599E	75,2
K6	2000	NNE	43°50'202N 13°58'498E	75,0
K7	2000	NNE	43°49'770N 13°58'616E	75,2
D1	100	NNE	43°49'197N 13°54'948E	75,0
D2	60	NNE	43°49'173N 13°54'981E	75,1
D3	30	NNE	43°49'146N 13°55'019E	75,2
D4	0	-	43°49'121N 13°55'044E	75,1
D5	30	SSW	43°49'105N 13°55'052E	75,1
D6	60	SSW	43°49'079N 13°55'046E	75,1
D7	100	SSW	43°49'061N 13°55'032E	74,8
K8	2000	NNE	43°50'321N 13°55'321E	74,8
K9	2000	NNE	43°50'593N 13°55'476E	75,1
K10	2000	NNE	43°50'175N 13°55'612E	74,8

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°C ad eccezione di quelli utilizzati per la granulometria, conservati a $+4^{\circ}\text{C}$.

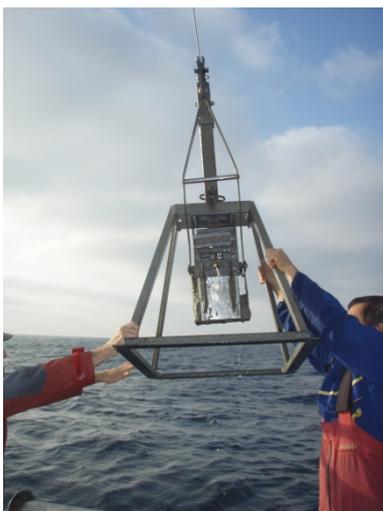


Fig. 2.4 – Box-corer utilizzato per le indagini fisiche e chimiche dei sedimenti.

Indagini sulle comunità bentoniche - Tutte le stazioni sono state campionate mediante una benna di tipo Van Veen avente una capacità di 12 lt 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 E BIOACCUMULO IN ORGANISMI MARINI

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

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

IPA - Per la determinazione degli IPA ogni campione è stato scongelato e privato dell'eventuale frazione più grossolana (> 2 mm); in seguito, l'estrazione e l'analisi sono state compiute su un'aliquota di circa 5 g.

I componenti della miscela di estrazione (IPA), sono stati separati tra loro e rilevati tramite tecnica GC-MS-MS (Gascromatografo associato ad uno spettrometri di massa a triplo quadrupolo; All. A2-VI), per la quantificazione degli IPA presenti nei sedimenti.

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

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

Idrocarburi totali - Per gli idrocarburi leggeri ($C < 12$) sono stati seguiti i metodi EPA 5021A (2003a) e EPA 8015D (2003b). 5 g di sedimento sono posti in vial in cui sono stati aggiunti 10 ml di acqua procedendo al riscaldamento della miscela a 65°C per 1 h. Successivamente 0,5 ml sono stati iniettati nello spazio di testa in Gascromatografia (GC) con rilevatore FID (All. A1-VII).

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

Metalli pesanti - Sono stati analizzati i seguenti elementi, espressi in percentuale o mg/kg di sostanza secca: alluminio, arsenico, bario, cadmio, cromo, ferro, 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-VIII) seguendo la metodica EPA 7473 (2007a). La prova è stata effettuata direttamente sul campione tal quale (senza passaggio di mineralizzazione) pesando aliquote comprese tra 10 e 100 mg.

Le determinazioni di **cadmio**, **arsenico** e **piombo** sono state condotte mediante spettroscopia di assorbimento atomico in fornello di grafite (Varian SpectrAA-240Z. All. A1-IX), 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-X) seguendo la metodica EPA 6010C (2007c).

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

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

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

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

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 H₂O e la quantità di potassio bicromato che non ha reagito è stata determinata per titolazione con una soluzione di ferro (II) solfato eptaidrato.

Il punto finale della titolazione è stato accertato con l'aggiunta di un opportuno indicatore di ossidoriduzione.

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

	Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	In	Ni
Accuratezza (minima accettabilità del recupero)	25%	25%	25%	30%	25%	25%	20%	25%	nd	25%
Incertezza (%)	21	25	25	25	21	20	20	20	nd	20
LOQ (mg/kg)	170	0,3	1,2	0,02	1,2	1,2	170	0,005	0.02	1,2
LOD (mg/kg)	5	0,07	0,2	0,002	0,04	0,12	5	0,002	0.01	0,25

	Pb	Si	V	Zn	Mn	Mg	Ti	Ga	Zn	St
Accuratezza (minima accettabilità del recupero)	25%	nd	25%	25%	25%	nd	nd	nd	nd	nd
Incertezza (%)	21	nd	20	20	20	nd	nd	nd	nd	nd
LOQ (mg/kg)	0,3	5	1,2	1,2	12	170	1,2	1,2	0,6	1,2
LOD (mg/kg)	0,07	205	0,07	0,6	0,1	12	0,1	0,4	0,1	0,6

2.2.2. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI

2.2.2.1 *Dunaliella tertiolecta*

Il saggio di crescita algale con la cloroficea *Dunaliella tertiolecta* è stato eseguito secondo le indicazioni riportate nella linea guida ASTM E1218-04 (2004a). Il saggio consiste nell'esposizione di una quantità definita di clone algale in condizioni di crescita esponenziale a diverse diluizioni di campione (nella fattispecie elutriato) e al controllo negativo costituito da sola acqua marina artificiale. Prima dell'inoculo del clone algale, tutti i trattamenti, compreso il controllo, sono stati arricchiti con macro- e micronutrienti secondo le specifiche riportate in USEPA (1995).

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

Esecuzione del saggio – Il saggio con *D. tertiolecta* è stato condotto in triplicato, effettuando 5 diluizioni a partire dal campione tal quale; come supporto sono state utilizzate piastre sterili di polistirene da 24 pozzetti della capacità di 3 ml ciascuno. Parallelamente, per ogni piastra è stato eseguito anche un test con un controllo negativo costituito da acqua di diluizione (acqua di mare ISO a cui sono state aggiunte concentrazioni note di nutrienti). A ciascuna diluizione e al controllo è stata aggiunta una concentrazione nota di clone algale in rapporto di 1:1000. Una volta inoculato il clone algale (concentrazione iniziale 2×10^3 cellule ml^{-1}), le piastre sono state trasferite per 72 h

in camera fitologica a condizioni di temperatura e luminosità controllate ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, luminosità < 10000 lux). Al termine dell'esposizione è stata verificata la crescita algale nel campione, espressa come densità algale, mediante lettura al Coulter Counter; si è proceduto quindi al conteggio delle tre repliche del campione tal quale e del controllo e al loro confronto statistico, per verificare eventuali aumenti o diminuzioni significative della crescita algale nel campione rispetto al controllo e procedere eventualmente alla lettura delle altre diluizioni.

Espressione e analisi dei dati – I risultati del saggio possono essere riportati come percentuale di inibizione della crescita algale e, qualora la tossicità del campione lo consenta, in termini di EC_{50} o EC_{20} . L' EC_{50} e l' EC_{20} si calcolano utilizzando il foglio Excel sviluppato dalla DTU (Danmarks Tekniske Universitet) denominato "KOK457T3" che utilizza i programmi statistici LOG457.EXE e LOG457W.EXE elaborati per la determinazione della relazione concentrazione-effetto in endpoint continui (Christensen *et al.*, 2009).

Sulla base dei risultati espressi in termini di inibizione/stimolazione della crescita e dell'analisi statistica del dato eco-tossicologico (eseguita secondo lo schema USEPA, 1991), i risultati del saggio possono essere suddivisi nelle seguenti categorie:

- *assenza di effetto*: percentuale di inibizione/stimolazione inferiore al 20% ed assenza di differenze significative;
- *presenza di significativo effetto eutrofizzante*: percentuale di biostimolazione $> 20\%$ e differenza significativa rispetto alla crescita nel controllo;
- *presenza di significativo effetto tossico*: inibizione della crescita $> 20\%$ e differenza significativa con il controllo.

QA/QC - La sensibilità di ogni clone algale impiegato per i test con i campioni di elutriato è stata verificata mediante il test di controllo positivo eseguito con bicromato di potassio il cui risultato, espresso come 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 (2×10^3 cellule ml^{-1});
- il coefficiente di variazione nei controlli e nel campione tal quale ($CV\%$) $\leq 15\%$.

2.2.2.2 *Vibrio fischeri* (sistema Microtox®)

Preparazione dell'elutriato - Gli elutriati sono stati preparati dai sedimenti freschi secondo

il protocollo indicato in ICRAM (2001).

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

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

Critério	Tossicità
$EC_{20} \geq 90\%$	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: $36 \pm 2\%$
- illuminazione: continua
- O_2 disciolto nell'acqua sovrastante il sedimento: $>60\%$.

Procedimento del saggio - Circa 200 cc di sedimento da testare sono stati introdotti in un barattolo di vetro da 1 l e sono stati aggiunti circa 750 cc di acqua di mare naturale filtrata. Per ogni campione sono state allestite 4 repliche. Dopo 24 h sono stati immessi 25 individui in ciascun barattolo. Come sedimento di controllo è stato utilizzato il sedimento nativo proveniente da un sito non contaminato. I barattoli contenenti gli organismi sono stati coperti per ridurre l'evaporazione dell'acqua, posti alla temperatura di $16 \pm 2^\circ\text{C}$ e areati in continuo. Dopo 10 gg è stato vagliato il contenuto di ogni barattolo contando gli

organismi ancora vivi. Sono stati considerati morti gli anfipodi che, dopo una delicata stimolazione, non mostravano alcun movimento degli arti. La sensibilità degli organismi (96hLC50) è stata determinata tramite l'esposizione per 96 h alle concentrazioni di 0,8; 1,6; 3,2 e 6,4 mg l⁻¹ CdCl₂.

All'inizio e alla fine del saggio biologico sono stati misurati i seguenti parametri dell'acqua sovrastante il sedimento: pH, salinità, NH₄⁺ e ossigeno disciolto.

Elaborazione dei dati - Il saggio biologico è considerato valido quando la mortalità media all'interno del sedimento di controllo è ≤15% e quando la mortalità nella singola replica per l'intero periodo di esposizione è ≤20%. Sia nei campioni da testare che nel sedimento di controllo sono state calcolate le percentuali medie (± 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≤30%	Bassa
30<M≤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 EC₅₀, qualora la distribuzione dei dati relativi alle singole repliche ne consenta il calcolo tramite il software Trimmed Spearman Karber v3.1 messo a disposizione da USEPA nel proprio portale. I dati di EC₅₀ sono successivamente trasformati in unità di tossicità (TU) secondo l'equazione $TU = 100 / EC_{50}$.

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

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

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

Dove:

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

TL = Toxicity limit = Controllo · 90% 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, 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_b - concentrazione del metallo nei tessuti degli organismi prima (bianco) della loro esposizione ai sedimenti testati;

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

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

2.2.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le affinità biocenotiche o le preferenze ecologiche (Pérès e Picard, 1964; Bellan Santini e Ledoyer, 1972; Amouroux, 1974; Bourcier *et al.*, 1979; Bellan *et al.*, 1980; Nodot *et al.*, 1984; Salen-Picard, 1985; Augier, 1992; Bianchi *et al.*, 1993; Poppe e Goto; 1991; 1993; Rinelli e Spanò, 1997; Chimenz Gusso *et al.*, 2001) sono state ricercate per tutti i taxa determinati a livello di specie.

Con i dati di densità delle singole specie sono state calcolate le curve di dominanza cumulativa. Per ricercare eventuali somiglianze tra le stazioni campionate con i dati di densità è stata effettuata un'analisi statistica multivariata (MDS) previa trasformazione in $\sqrt{2}$, 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 (W di Clarke, AMBI e BENTIX; Clarke e Warwick, 2001; Borja *et al.* 2000; Simboura e Zenetos, 2002; Muxika *et al.*, 2007; Borja e Mader, 2008), seguendo quanto suggerito da Teixeira *et al.* (2007).

L'indice W prevede l'integrazione dei dati di abbondanza numerica e di biomassa delle singole specie. Tale metodo si basa sul presupposto che in aree stabili è favorita la presenza di specie con una "strategia di tipo k", con ciclo vitale lungo, grandi dimensioni

corporee degli individui adulti, raramente dominanti numericamente, ma dominanti in termini di biomassa. Nelle comunità disturbate vengono invece favorite le specie con “strategia di tipo r”, dette anche opportuniste, caratterizzate da un ciclo vitale breve e piccola taglia corporea, generalmente dominanti numericamente (Pianka, 1970).

L’indice si basa sulla seguente formula:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

loro sensibilità ad arricchimenti organici:

gruppo I: Specie molto sensibili ad arricchimento organico e presenti solo in condizioni ambientali ottimali. Tale gruppo include i carnivori specialisti e alcuni policheti tubicoli detritivori.

gruppo II: Specie indifferenti all'arricchimento organico, sempre presenti in basse densità senza particolari variazioni nel tempo. Esse includono sospensivori, alcuni carnivori poco selettivi e scavatori.

gruppo III: Specie tolleranti a un eccessivo arricchimento organico nei sedimenti. Queste specie possono essere presenti in condizioni normali, ma le loro popolazioni sono stimolate da un aumento di sostanza organica. Si tratta prevalentemente di detritivori superficiali.

gruppo IV: Specie opportuniste di secondo ordine; principalmente piccoli policheti detritivori sub-superficiali, come i cirratulidi.

gruppo V: Specie opportuniste di primo ordine; sono detritivori che proliferano in sedimenti poco ossigenati e ridotti.

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

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

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

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.*, 2018d), anche nell'inverno 2018 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 dei sedimenti nella maggior parte delle stazioni, con una prevalenza di silt che ha raggiunto il massimo (80,1%) in C7. L'argilla ha costituito la seconda frazione più abbondante, con percentuali comprese tra 16,3% (K5) e 27,5% (C6). Solo nei controlli K6 e K7 l'argilla è stata superata dalla sabbia. In effetti, questi due siti sono stati gli unici ad essere classificati come silt sabbioso secondo Shepard (All. B). Tutti gli altri eccetto C7, K5 e D6 (classificati come silt) sono stati classificati come silt-argilloso.

Nel complesso, rispetto al pre-survey sia nei siti corrispondenti al sea-line che in K9 si è assistito a un incremento di silt di circa il 20%, compensato da una riduzione delle altre due componenti granulometriche in quantità paragonabili.

In K6, invece, l'aumento più consistente, che tuttavia non ha raggiunto il 10%, ha riguardato la sabbia; anche il silt è aumentato ma in percentuale inferiore. Di conseguenza, l'argilla si è ridotto di circa il 15%.

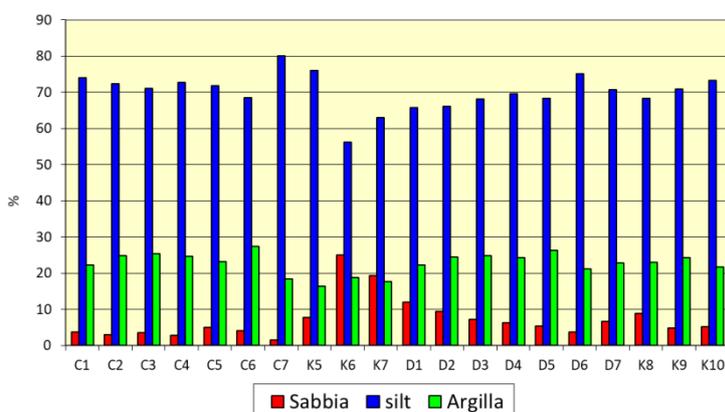


Fig. 3.1 - Ripartizione delle classi granulometriche, espresse in percentuale, nei sedimenti analizzati nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

Tab. 3-I - Composizione percentuale delle principali classi granulometriche dei sedimenti analizzati nell'inverno 2018. Le stazioni di campionamento poste in corrispondenza della condotta sottomarina sono evidenziate in rosso. K = controlli.

	Sabbia	Pelite		Classificazione di Shepard
		Silt	Argilla	
C1	3,73	74,03	22,24	Silt argilloso
C2	2,90	72,34	24,76	Silt argilloso
C3	3,60	71,07	25,32	Silt argilloso
C4	2,75	72,69	24,56	Silt argilloso
C5	5,00	71,84	23,15	Silt argilloso
C6	4,14	68,40	27,46	Silt argilloso
C7	1,47	80,10	18,43	Silt
K5	7,75	75,96	16,29	Silt
K6	24,95	56,22	18,83	Silt sabbioso
K7	19,23	63,05	17,72	Silt sabbioso
D1	11,90	65,81	22,28	Silt argilloso
D2	9,39	66,15	24,46	Silt argilloso
D3	7,13	68,15	24,71	Silt argilloso
D4	6,18	69,53	24,29	Silt argilloso
D5	5,44	68,32	26,24	Silt argilloso
D6	3,72	75,11	21,17	Silt
D7	6,54	70,70	22,76	Silt argilloso
K8	8,86	68,21	22,93	Silt argilloso
K9	4,76	70,90	24,33	Silt argilloso
K10	5,13	73,22	21,65	Silt argilloso

3.1.2. IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

Nell'inverno 2018 quasi tutti i composti ricercati sono risultati diffusamente presenti in tutti i siti controlli inclusi (Tab. 3-II).

I tenori sono comunque risultati sempre molto bassi, tutti ben al di sotto dei rispettivi LCB (ICRAM-APAT, 2007); di conseguenza, anche gli IPA totali sono rimasti molto modesti e ampiamente inferiori ai 900 µg/kg stabiliti come LCB. Dal confronto con i relativi siti di riferimento, gli IPA rilevati lungo C sono apparsi leggermente superiori verosimilmente per un minor contenuto di sabbia lungo il transetto, mentre tra D e i controlli K8-K10 è stata rilevata una notevole omogeneità (fig. 3.2). I tenori registrati sono apparsi confrontabili con quelli del pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d), pertanto è lecito affermare che dopo 2 anni e mezzo dalla messa in opera la condotta non influenza la distribuzione di questi contaminanti.

Tab. 3-II - Concentrazioni degli Idrocarburi Policiclici Aromatici ($\mu\text{g}/\text{kg}$ s.s.) nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. Le stazioni poste in corrispondenza della condotta sono evidenziate in rosso. K = controlli. 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	5° 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	1,6	0,5	1,2	0,6	1,7	0,7	0,6	1,2	0,7	1,6	0,9	2,2	1,0	0,7	0,8	1,2	0,2	2,2	1,4	1,5
Acenaftilene		0,2	0,2	0,2	<lq	0,3	<lq	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	<lq	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	<lq	<lq
Antracene	47	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	<lq	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	<lq	0,2
Benzo (a) antracene	75	1,3	1,3	1,4	2,5	1,3	1,2	1,3	1,0	1,1	1,0	1,2	1,4	1,1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,2
Benzo (a) pirene	80	1,1	1,3	1,3	2,4	1,2	1,2	1,4	1,0	0,9	0,9	1,3	1,2	1,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,0	1,0	1,1
Benzo (b) fluorantene	40	7,3	5,2	13,2	7,8	7,5	7,0	7,4	5,8	5,5	5,4	4,9	6,9	5,9	6,7	6,6	6,3	4,6	4,1	3,8	6,1
Benzo (g, h,i) perilene	55	6,4	6,5	7,0	8,1	7,1	6,9	7,3	5,6	4,8	5,6	7,0	7,4	6,6	7,3	6,8	7,0	7,1	6,1	5,9	6,1
Benzo (k) fluorantene	20	3,1	4,7	<lq	5,2	1,4	4,0	4,0	2,7	3,3	3,3	<lq	1,1	3,9	1,2	4,0	4,0	<0,2	3,7	<0,2	2,1
Crisene	108	3,0	3,0	3,4	4,4	3,1	2,9	3,2	2,4	2,2	2,2	3,1	3,0	2,7	3,1	2,7	3,0	3,1	2,7	<0,2	2,6
Dibenzo (a, h)antracene	6	<lq	4,1	<lq	5,1	<lq	4,5	4,5	<lq	<0,2	3,8	0,7	<lq	<lq	4,2	<lq	<lq	0,5	0,7	0,5	<lq
Fenantrene	87	1,8	1,5	2,0	1,1	1,8	0,9	1,4	1,4	1,2	1,2	1,5	2,0	0,3	1,2	1,7	1,3	1,1	1,7	0,8	1,0
Fluorantene	113	2,0	2,1	2,1	3,3	2,3	1,8	2,1	1,5	1,5	1,5	2,1	2,0	1,4	1,8	1,8	1,9	1,8	1,7	1,6	1,7
Fluorene	21	5,7	1,8	4,6	3,8	6,5	5,1	4,9	2,5	5,8	4,2	5,6	6,3	5,7	5,5	6,2	7,6	1,2	8,7	7,8	5,9
Indeno (1,2,3 - c, d) pirene	70	13,0	11,4	13,2	15,1	14,0	14,0	14,1	11,1	9,6	11,0	14,0	14,1	12,9	14,5	13,6	13,7	13,9	12,2	11,8	12,0
Naftalene	35	2,4	7,8	0,2	<lq	<lq	<lq	<lq	0,3	0,2	0,7	0,2	0,2	<lq	0,2	0,8	<lq	4,2	<lq	0,3	
Pirene	153	1,8	1,9	1,9	2,8	1,8	1,7	1,9	1,3	1,2	1,3	1,6	1,7	1,3	1,6	1,6	1,6	1,6	1,4	1,3	1,6
IPA Totali	900	51,1	53,7	52,0	62,5	50,3	52,2	54,6	38,1	38,4	44,2	44,5	50,1	43,8	51,0	49,7	51,2	37,7	51,8	37,0	43,6

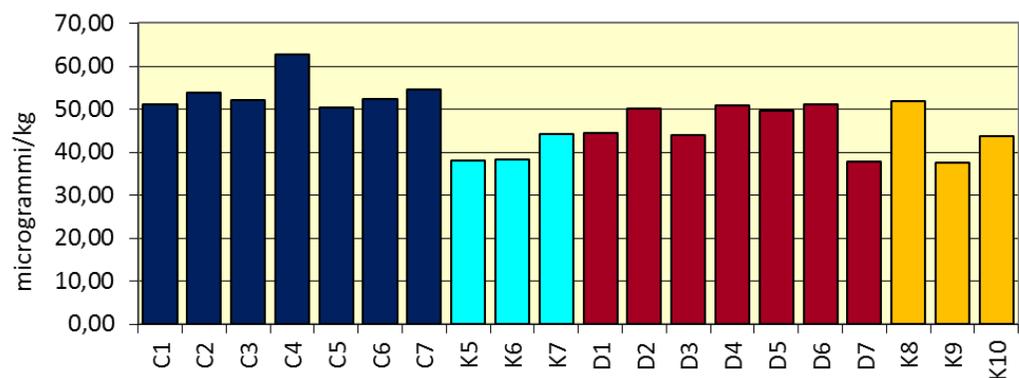


Fig. 3.2 - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{kg}$ s.s.) di IPA nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

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.*, 2018d). Per quanto concerne gli idrocarburi pesanti ($C > 12$), nell'inverno 2018 sono state osservate basse concentrazioni, la maggior parte delle quali confrontabili tra transetti e controlli (Tab. 3-III; fig. 3.3). Precedentemente questi contaminanti erano stati rilevati unicamente in D4 (4,1 mg/kg) durante il pre-survey, nell'inverno 2017 e in qualche sito nell'estate successiva. Rispetto a quest'ultimo campionamento i tenori sono aumentati ovunque eccetto in C1, K7 e K9 in cui sono diminuiti. Tuttavia, in quasi tutte le stazioni non sono state raggiunte le concentrazioni registrate nell'inverno 2017.

Tab. 3-III - Concentrazioni degli Idrocarburi totali pesanti ($C > 12$; mg/kg s.s.) rilevati nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posti in corrispondenza del sea-line. K = controlli.

Transetto C		Transetto D	
C1	9,5	D1	7,4
C2	15,0	D2	5,8
C3	10,2	D3	10,2
C4	9,6	D4	7,5
C5	12,2	D5	8,6
C6	13,9	D6	12,6
C7	12,0	D7	9,0
K5	10,2	K8	7,0
K6	11,7	K9	5,2
K7	7,2	K10	7,5

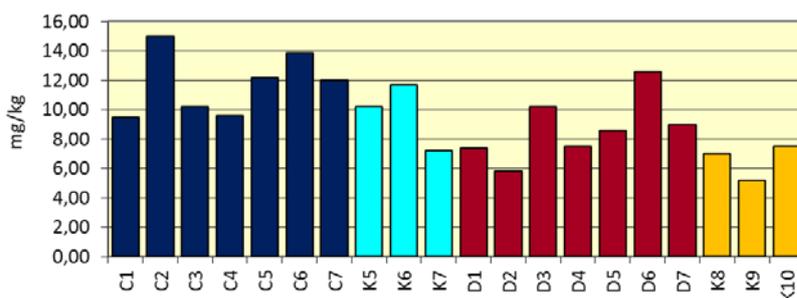


Fig. 3.3 - Concentrazioni degli Idrocarburi totali pesanti ($C > 12$) rinvenuti nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

3.1.4. METALLI PESANTI

I contenuti dei metalli pesanti rilevati nell'inverno 2018 sono riportati in Tab. 3-IV e in fig. 3.4. Nella discussione che segue vengono riportati riferimenti ai Livelli Chimici di Riferimento Nazionali (di seguito 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: $2,68\pm 0,28$; K5-K7: $2,37\pm 0,23$; D: $3,78\pm 0,22$; K8-K10: $3,12\pm 0,61\%$). I tenori sono apparsi trascurabilmente maggiori lungo D e controlli rispetto a C e riferimenti corrispondenti, ma non vi sono anomalie da segnalare. Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d) non sono state rilevate variazioni degne di nota in C4 e K6, mentre è avvenuto un aumento in D4 e K9.

Arsenico – L'arsenico è risultato solo leggermente più presente lungo C rispetto ai riferimenti corrispondenti (C: $14,06\pm 1,02$; K5-K7: $11,46\pm 1,42$ mg/kg), mentre tra D e siti K8-K10 non sono state rilevate differenze ($14,98\pm 0,88$ e $15,26\pm 1,15$ mg/kg rispettivamente). Tutte le concentrazioni eccetto quelle di K6 e K7 hanno superato l'LCRN, come già osservato quasi sempre e quasi ovunque nella fase di produzione della condotta (Fabi *et al.*, 2018d). I tenori dei quattro siti campionati anche nel pre-survey quando presentato concentrazioni leggermente superiori a quelle rilevate prima della realizzazione della condotta.

Bario – Le concentrazioni di bario relative all'inverno 2018 sono apparse diffusamente basse e mediamente confrontabili tra ciascun transetto e relativi controlli (C: $55,61\pm 5,95$; K5-K7: $47,49\pm 5,03$; D: $116,69\pm 6,61$; K8-K10: $79,94\pm 30,17$ mg/kg). Proprio per questa confrontabilità, il maggior contenuto di bario lungo D e riferimenti corrispondenti non desta preoccupazioni, nonostante in quest'area siano state raggiunte le più alte concentrazioni di tutto il periodo di indagine (Fabi *et al.*, 2018d). Rispetto al pre-survey non si rilevano variazioni in C, mentre, ovviamente, il tenore di bario in D4 e K9 sono risultati maggiori, soprattutto nel primo sito. Tuttavia, essendo la concentrazione di D4 paragonabile a quella di K8, non rappresenta un'anomalia.

Cadmio – Le concentrazioni di cadmio relative all'ultimo campionamento sono risultate diffusamente basse, estremamente inferiori all'LCRN, e omogenee tra loro. Non si rilevano discrepanze con i dati pregressi (Fabi *et al.*, 2018d).

Cromo – Il cromo è apparso piuttosto omogeneo e leggermente più abbondante lungo D e controlli rispetto a C e siti K5-K7, come si evince dal raffronto dei valori medi (C: $73,52\pm 3,72$; K5-K7: $68,75\pm 3,88$; D: $87,6\pm 4,11$; K8-K10: $78,56\pm 7,9$ mg/kg). Ovunque è stato superato l'LCRN come sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d). Merita sottolineare che

in D1 è stato rilevato il massimo assoluto. Il prossimo monitoraggio consentirà di verificare se si sia trattato di un fenomeno di accumulo nei sedimenti o di un evento limitato a questo survey.

Tab. 3-III - Concentrazioni (mg/kg s.s.; Al e Fe espressi in %) dei metalli in tracce presenti nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. In rosso le stazioni corrispondenti alla condotta sottomarina. K = controlli.

	Alluminio	Arsenico	Bario	Cadmio	Cromo	Rame	Ferro	Gallio	Indio	Magnesio
C1	2,43	14,27	51,25	0,071	72,59	17,02	2,67	11,10	< 0,2	2,08
C2	2,47	14,89	50,36	0,074	69,80	15,23	2,47	10,07	< 0,2	1,90
C3	2,36	12,99	49,18	0,084	68,81	15,51	2,50	9,63	< 0,2	1,93
C4	3,13	13,53	65,63	0,080	78,19	15,69	2,61	11,46	< 0,2	1,97
C5	2,72	12,66	57,32	0,080	72,78	14,86	2,50	10,49	< 0,2	1,91
C6	2,74	14,80	55,35	0,073	74,07	15,57	2,58	10,89	< 0,2	1,95
C7	2,91	15,31	60,19	0,070	78,38	16,08	2,70	10,98	< 0,2	2,00
K5	2,10	12,89	42,19	0,066	65,87	13,48	2,24	9,38	< 0,2	1,93
K6	2,46	11,44	48,10	0,069	73,17	13,36	2,32	9,12	< 0,2	1,97
K7	2,54	10,05	52,18	0,040	67,22	13,71	2,29	10,21	< 0,2	1,92
D1	4,07	14,56	129,23	0,063	92,46	16,72	2,81	14,81	< 0,2	2,29
D2	3,71	14,42	120,19	0,056	82,41	13,89	2,52	12,95	< 0,2	2,07
D3	3,49	15,50	108,63	0,071	83,68	14,59	2,60	12,81	< 0,2	2,12
D4	3,61	15,45	112,24	0,060	85,51	14,66	2,61	14,24	< 0,2	2,10
D5	3,69	14,00	114,32	0,070	86,33	14,30	2,55	13,89	< 0,2	2,07
D6	3,95	14,44	116,98	0,065	91,90	15,69	2,77	15,07	< 0,2	2,22
D7	3,98	16,51	115,23	0,077	90,90	16,09	2,83	15,04	< 0,2	2,25
K8	3,82	16,58	114,42	0,053	87,30	14,26	2,62	13,84	< 0,2	2,13
K9	2,74	14,74	58,41	0,063	71,94	13,34	2,33	10,48	< 0,2	1,92
K10	2,81	14,47	66,98	0,072	76,45	13,59	2,28	11,16	< 0,2	1,92

	Manganese	Mercurio	Nichel	Piombo	Silicio	Stagno	Titanio	Vanadio	Zinco	Zirconio
C1	1402,48	0,052	59,13	18,88	71,44	1,24	146,46	56,40	80,97	6,40
C2	956,51	0,050	54,03	18,19	82,96	1,05	187,12	55,53	72,80	6,57
C3	1033,80	0,052	54,93	19,70	60,97	1,05	125,14	53,29	74,15	6,19
C4	1174,43	0,046	56,70	18,35	65,57	3,06	316,40	65,32	76,27	7,54
C5	1180,37	0,054	55,73	15,39	53,58	1,11	221,53	58,81	73,61	6,82
C6	1302,40	0,052	56,30	18,91	67,72	1,85	213,25	60,38	75,92	6,93
C7	1400,28	0,055	59,12	20,29	68,21	1,30	239,70	64,31	79,19	7,45
K5	1033,01	0,045	51,48	13,52	59,20	0,67	165,49	48,59	65,04	5,76
K6	1049,02	0,043	52,76	15,88	64,08	1,34	250,43	54,45	66,62	6,32
K7	990,11	0,045	47,87	14,58	42,77	< 0,6	275,04	55,36	62,32	6,80
D1	1136,59	0,051	58,06	17,76	69,36	2,11	496,95	77,91	77,75	8,66
D2	964,44	0,053	50,75	20,54	79,35	2,48	449,12	70,27	70,11	7,75
D3	1156,07	0,043	53,54	15,86	70,88	1,90	478,89	70,07	72,58	7,78
D4	926,44	0,051	53,04	19,54	75,23	3,14	469,03	71,18	72,38	7,93
D5	875,35	0,050	53,24	18,28	52,68	3,58	442,95	70,16	70,90	7,60
D6	1209,85	0,048	57,71	19,89	85,68	3,78	484,26	77,09	78,21	8,48
D7	1170,84	0,051	58,00	19,17	78,67	2,44	499,31	77,40	79,90	8,62
K8	954,20	0,043	53,82	20,67	104,92	2,10	463,67	74,45	73,68	8,26
K9	1077,33	0,048	49,72	17,39	56,61	2,42	330,53	57,06	66,58	6,67
K10	885,69	0,047	49,02	15,28	74,21	2,53	378,44	58,39	60,67	6,86

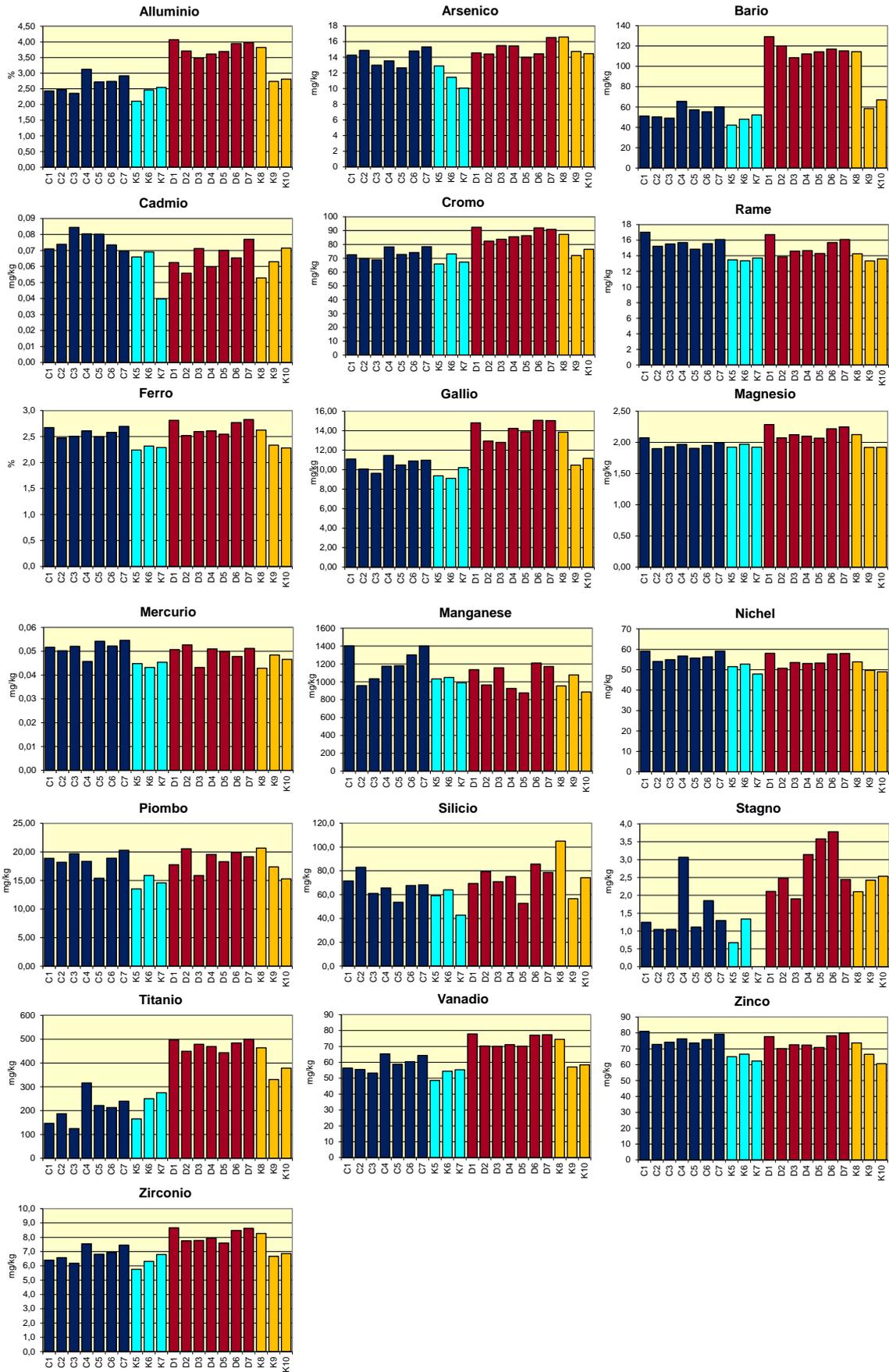


Fig. 3.3 - Concentrazioni (mg/kg; Al e Fe in %) dei metalli pesanti registrate nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posti sul sea-line. K = controlli. Non si riporta l'indio in quanto non rilevabile ovunque.

Rame – Le concentrazioni di rame sono risultate solo leggermente maggiori lungo C rispetto a K5-K7, mentre non sono state rilevate differenze tra gli altri due gruppi di siti (C: $15,71 \pm 0,69$; K5-K7: $13,52 \pm 0,18$; D: $15,13 \pm 1,04$; K8-K10: $13,73 \pm 0,47$ mg/kg), situazione questa già rilevata nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d); comunque, i tenori sono apparsi tutti nettamente inferiori all'LCRN. Non sono state osservate differenze degne di nota rispetto al periodo precedente all'installazione della condotta sottomarina.

Ferro – Anche il ferro è apparso in media leggermente più concentrato lungo C rispetto ai relativi controlli, mentre tra D e riferimenti K8-K10 non è stata rilevata alcuna differenza (C: $2,58 \pm 0,09$; K5-K7: $2,28 \pm 0,04$; D: $2,67 \pm 0,13$; K8-K10: $2,41 \pm 0,18\%$). Comunque, essendo le concentrazioni estremamente basse, anche la discrepanza tra C e riferimenti è da considerare irrisoria. Non si rilevano differenze degne di nota rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d).

Gallio – A differenza di quanto osservato sin dal primo monitoraggio (Fabi *et al.*, 2018d), nell'inverno 2018 il gallio è apparso omogeneamente distribuito tra ciascun transetto e relativi riferimenti, con concentrazioni maggiori lungo D rispetto a C. I tenori registrati sono apparsi tutti superiori rispetto a quelli del pre-survey, anche nei controlli.

Indio – L'indio è stato rilevato esclusivamente nell'inverno 2016 (1° survey post lavori di installazione) in concentrazioni prossime al limite di rilevabilità strumentale (Fabi *et al.*, 2018d).

Magnesio – Il magnesio è risultato omogeneamente distribuito (C: $1,96 \pm 0,06$; K5-K7: $1,94 \pm 0,03$; D: $2,16 \pm 0,09$; K8-K10: $1,99 \pm 0,12$ mg/kg) e comparabile con quanto rilevato nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d).

Manganese – I valori di manganese registrati nell'inverno 2018 lungo il transetto C sono apparsi tendenzialmente maggiori rispetto ai controlli K5-K7, mentre non sono state rilevate differenze degne di nota tra gli altri due gruppi di stazioni, come anche indicato dalle concentrazioni medie (C: $1207,2 \pm 172,8$; K5-K7: $1024 \pm 30,5$; D: $1062,8 \pm 135,9$; K8-K10: $972,4 \pm 97,1$ mg/kg). Si tratta tuttavia di differenze contenute; infatti, anche i tenori più elevati osservati in C1 e C7 corrispondono a solo 1,3 volte la media dei riferimenti.

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d) non sono state evidenziate variazioni degne di nota.

Mercurio – I valori di mercurio sono risultati molto bassi, tutti ampiamente inferiori all'LCRN, tanto che le differenze tra i siti sono da ritenere del tutto trascurabili. Non sono state evidenziate differenze apprezzabili rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d).

Nichel – Le concentrazioni di nichel rilevate nell'inverno 2018 sono apparse omogenee tra

i siti e maggiori dell'LCRN come già a partire dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d). 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.*, 2018d), tanto che anche le differenze spaziali sono del tutto trascurabili. In termini di concentrazioni medie, è stata rilevata una lieve differenza solo tra C e relativi controlli (C: $18,53 \pm 1,57$; K5-K7: $14,66 \pm 1,18$; D: $18,72 \pm 1,57$; K8-K10: $17,78 \pm 2,72$ mg/kg). Rispetto al pre-survey i tenori sono apparsi complessivamente più elevati ovunque, ma la differenza in termini assoluti è da considerare praticamente nulla.

Silicio – Come già osservato in precedenza il silicio ha presentato concentrazioni variabili oscillando da un minimo di 42,77 mg/kg (K7) a un massimo di 104,92 mg/kg (K8), senza mostrare gradienti spaziali riconducibili alla presenza del sea-line.

Rispetto al pre-survey questo metallo è aumentato ovunque (Fabi *et al.*, 2018d); l'elevata variabilità e, soprattutto, l'incremento osservato ai controlli, non consente di identificare dei trend relazionabili alla presenza della condotta.

Stagno – Anche lo stagno ha presentato un'elevata variabilità tra i siti, risultando inferiore al limite di quantificazione della metodica in K7. Tendenzialmente le concentrazioni maggiori sono state rilevate lungo il transetto D e controlli corrispondenti rispetto a C e siti K5-K7. Mediamente, a causa della variabilità, non sono emerse differenze tra ciascun transetto e relativi riferimenti (C: $1,52 \pm 0,73$; K5-K6: $1,01 \pm 0,47$; D: $2,78 \pm 0,73$; K8-K10: $2,35 \pm 0,22$ mg/kg). Durante il pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d) questo metallo era apparso più elevato in C4 (2,61 mg/kg) rispetto a D4 (1,96 mg/kg), mentre nei riferimenti era risultato non quantificabile. Comunque, i tenori sono stati modesti in tutto il periodo di osservazione e le variazioni sono verosimilmente legate alla naturale variabilità ambientale e non alla presenza della condotta.

Titanio – Per il titanio sono stati rilevati tenori maggiori lungo il transetto D rispetto a C come si evince dal raffronto dei valori medi (C: $207,1 \pm 63,3$; D: $474,4 \pm 22,0$ mg/kg). Tale differenza è stata osservata anche tra i controlli (K5-K7: $230,3 \pm 57,5$; K8-K10: $390,9 \pm 67,4$ mg/kg), risultati comparabili ai rispettivi transetti.

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d) il titanio è aumentato ovunque e in maggior misura in D4 e K9, dove le concentrazioni sono più che raddoppiate.

Vanadio – Il vanadio è apparso omogeneamente distribuito lungo ciascun transetto e relativi riferimenti (C: $59,15 \pm 4,50$; K5-K6: $52,80 \pm 3,68$; D: $73,44 \pm 3,79$; K8-K10: $63,30 \pm 9,68$ mg/kg).

Rispetto al pre survey (Fabi *et al.*, 2018d) non ci sono anomalie da segnalare, anche se si osserva una tendenza (troppo modesta per indicare uno stato di alterazione) all'incremento lungo il transetto D.

Zinco – Lo zinco è risultato mediamente un po' più concentrato lungo C rispetto ai siti K5-K7 ($76,13 \pm 3,00$ e $64,66 \pm 2,17$ mg/kg rispettivamente), mentre non sono state riscontrate differenze tra gli altri due gruppi di stazioni (D: $74,55 \pm 3,96$; K8-K10: $66,98 \pm 6,51$ mg/kg). Tale situazione, comunque, era già stata rilevata nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d). In tutte le stazioni monitorate i tenori sono apparsi inferiori all'LCRN come in tutto il periodo di indagine precedente. Rispetto al pre-survey non ci sono anomalie da segnalare.

Zirconio e Ossido di zirconio – Lo zirconio è apparso mediamente confrontabile tra transetti e controlli corrispondenti (C: $6,84 \pm 0,51$; K5-K6: $6,29 \pm 0,52$; D: $8,11 \pm 0,45$; K8-K10: $7,26 \pm 0,87$ mg/kg).

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d) questo metallo ha mostrato un debole, diffuso incremento che ha coinvolto sia l'area circostante la condotta che i siti di controllo, pertanto non riconducibile alla presenza della struttura.

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

3.1.5. SOSTANZA ORGANICA

Nell'inverno 2018 l'intervallo delle concentrazioni rilevate lungo C e rispettivi controlli è apparso più ristretto rispetto a quello relativo agli altri due gruppi di stazioni, ma mediamente la sostanza organica è apparsa omogeneamente distribuita tra transetti e riferimenti corrispondenti (C: 31305 ± 4243 ; K5-K7: 31810 ± 1696 ; D: 33566 ± 5226 ; K8-K10: 28025 ± 1829 mg/kg).

Le differenze tra i siti sono apparse tutte modeste; si rileva il picco registrato in D7 pari a 1,6 volte la media dei controlli che, comunque, è inferiore a diverse concentrazioni rilevate nei survey precedenti anche nei siti di controllo.

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d) i tenori sono risultati confrontabili.

Tab. 3-IV – Concentrazioni di sostanza organica (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. In rosso le stazioni corrispondenti alla condotta sottomarina. K = controlli.

C1	27519	D1	31409
C2	27039	D2	30713
C3	27943	D3	29416
C4	30307	D4	30266
C5	35472	D5	32251
C6	37860	D6	36827
C7	32992	D7	44082
K5	30302	K8	25914
K6	33646	K9	29128
K7	31481	K10	29034

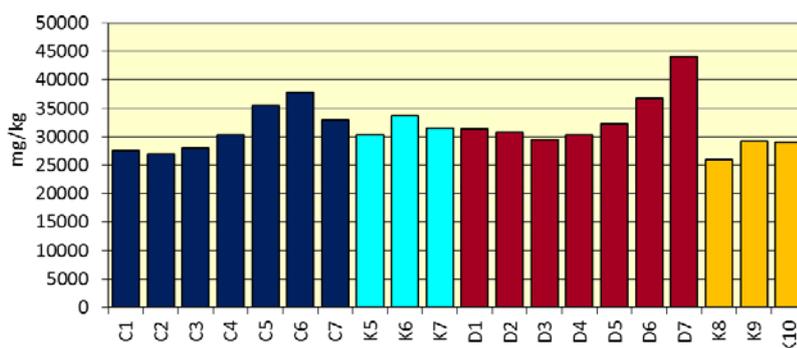


Fig. 3.4 - Concentrazioni di sostanza organica (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

3.1.6. TOTAL ORGANIC CARBON (TOC)

Nell'ultimo campionamento il TOC ha presentato concentrazioni maggiori lungo il transetto C (7237 ± 202 mg/kg) rispetto a D (6435 ± 182 mg/kg) e rispetto ai propri controlli (K5-K7: 6350 ± 87 mg/kg). Nessuna differenza è stata riscontrata tra il transetto D e riferimenti K8-K10 (6413 ± 231 mg/kg).

Rispetto al pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d), quando il TOC non era stato rilevato ai controlli, i dati dell'ultimo campionamento indicano un aumento, anche se le concentrazioni raggiunte non rappresentano i tenori massimi.

Tab. 3-V – Concentrazioni di TOC (mg/kg s.s.) rilevate nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. In rosso le stazioni corrispondenti alla condotta sottomarina. K = controlli.

C1	7370	D1	6280
C2	7070	D2	6290
C3	6860	D3	6540
C4	7320	D4	6340
C5	7260	D5	6270
C6	7350	D6	6640
C7	7430	D7	6690
K5	6290	K8	6200
K6	6310	K9	6660
K7	6450	K10	6380

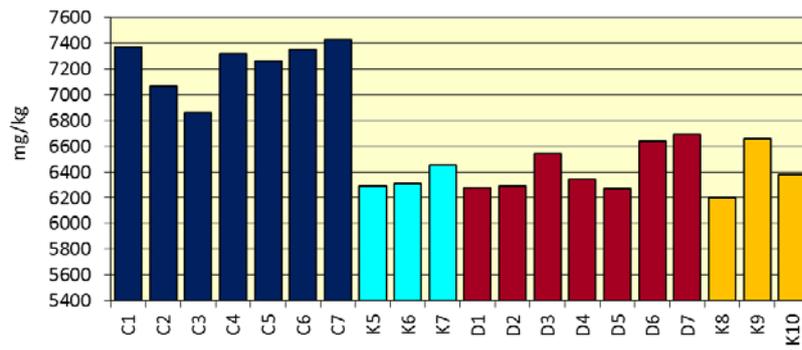


Fig. 3.5 - Total Organic Carbon (TOC) espresso in mg/kg s.s. rilevato nei sedimenti prelevati nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

3.2. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI

3.2.1. *DUNALIELLA TERTIOLECTA*

QA-QC - Nell'inverno 2018 il valore di EC_{50} con $K_2Cr_2O_7 = 14,15$ mg/l (come cromo) (LC=13,66 e UC=14,52 mg/l) è rientrato nei limiti della carta di controllo del laboratorio; i coefficienti di variazione tra le repliche nei campioni non diluiti, alla massima concentrazione, sono risultati conformi perché in tutti i casi inferiori al 15%. La crescita algale nei controlli è sempre stata superiore rispetto al limite minimo consentito (fattore ≥ 16).

Risultati del saggio - I risultati del saggio 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 alcuna inibizione della crescita algale (Tab. 3-VI), e confermano quanto osservato sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d).

Tab. 3-VI - Parametri di contorno e risultati relativi al saggio di tossicità con *D. tertiolecta* nei campioni prelevati nel 5° survey post lavori. In rosso i siti in corrispondenza della condotta sottomarina. K = controlli. Valori negativi della % di effetto indicano effetto stimolante.

campione	pH	Salinità (‰)	ΔG (%) 72 h	EC_{20} %	EC_{50} %	Tossicità
C2	8,13	34	-9,12	≥ 90	≥ 100	Assente
C4	8,20	34	-6,84	≥ 90	≥ 100	Assente
C6	8,22	34	-7,12	≥ 90	≥ 100	Assente
K6	8,15	34	-2,28	≥ 90	≥ 100	Assente
D2	8,04	34	-6,55	≥ 90	≥ 100	Assente
D4	8,20	34	1,14	≥ 90	≥ 100	Assente
D6	8,19	34	13,11	≥ 90	≥ 100	Assente
K9	8,13	34	-12,82	≥ 90	≥ 100	Assente

3.2.2. *VIBRIO FISCHERI* (SISTEMA MICROTOX®)

QA-QC – Nell'inverno 2018 il valore della EC_{50} (15')=10,89 mg/l (LC=7,97 e UC=14,89) è rientrato nei limiti della carta di controllo del laboratorio.

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.*, 2018d).

3.2.3. *COROPHIUM ORIENTALE*

Nell'inverno 2018 la sensibilità rilevata degli organismi verso il tossico di riferimento ($CdCl_2$) $LC_{50}=2,91$ (LC=2,64 mg/l e UC=3,22 mg/l) è rientrata nella carta di controllo di laboratorio. La sopravvivenza degli organismi sul sedimento di controllo dopo 10 gg è stata 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 5° survey post lavori.

Tab. 3-VII - Risultati del saggio biologico *V. fischeri* applicato agli elutriati estratti dai sedimenti prelevati nel 5° survey post lavori. In rosso le stazioni corrispondenti al sea-line. K = controlli.

campione	pH	Salinità (‰)	% Effetto (15')	% Effetto (30')	EC ₂₀ (15/30')	EC ₅₀ (15/30')	Tossicità
C2	8,13	34	-6,38	-6,28	≥90	≥90	Assente
C4	8,20	34	-9,50	-10,15	≥90	≥90	Assente
C6	8,22	34	-6,65	-7,16	≥90	≥90	Assente
K6	8,15	34	-7,77	-8,36	≥90	≥90	Assente
D2	8,04	34	-9,83	-11,44	≥90	≥90	Assente
D4	8,20	34	-10,00	-12,44	≥90	≥90	Assente
D6	8,19	34	-4,97	-5,02	≥90	≥90	Assente
K9	8,13	34	-8,61	-9,14	≥90	≥90	Assente

Tab. 3-VIII – Parametri chimici e fisici dell'acqua sovrastante il sedimento testato osservati all'inizio e alla fine del test eseguito con *C. orientale* e relativo al 5° survey post lavori. In rosso i siti corrispondenti alla condotta. K = controlli.

campione	Inizio del test					Fine del test				
	T (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg/l)	O ₂ (%)	T (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg/l)	O ₂ (%)
Controllo	16 ± 1	36	8,15	0,5	> 85	15 ± 1	36	8,13	0,5	> 85
C2		36	8,08	0			37	8,12	0	
C4		36	8,04	0			36	8,10	0	
C6		36	8,05	0			37	8,09	0	
K6		36	8,03	0			36	8,10	0	
D2		36	8,06	0			37	8,05	0	
D4		36	8,07	0			37	8,12	0,5-1	
D6		36	8,02	0			36	8,14	0	
K9		36	8,10	0			37	8,09	0	

Risultati del saggio - Nell'inverno 2018 è stata rilevata una tossicità bassa nei siti corrispondenti al sea-line e presso i rispettivi controlli; nelle stazioni posizionate a 60 m di distanza dalla struttura non è stata rilevata alcuna tossicità (Tab. 3-IX).

Tab. 3-IX - Percentuali di mortalità degli organismi *C. orientale* osservati nel test di tossicità acuta relativo al 5° survey post lavori. In rosso i siti corrispondenti alla condotta. K = controlli.

Campione	N. organismi esposti	% organismi morti (± dev. st. %)	% (corretta) organismi morti	Tossicità
Controllo	100	2 ± 3,67	0	
C2	100	16 ± 7,34	14	Assente
C4	100	21 ± 3,18	19	Bassa
C6	100	12 ± 5,19	10	Assente
K6	100	29 ± 6,09	28	Bassa
D2	100	12 ± 5,19	10	Assente
D4	100	19 ± 3,18	17	Bassa
D6	100	9 ± 3,18	7	Assente
K9	100	17 ± 3,18	15	Bassa

Questi risultati confermano quanto osservato nell'estate precedente in C4, C6 e K9; indicano inoltre un miglioramento in C2, D2 e, soprattutto, D6, in cui era risultata una tossicità media, e un lieve peggioramento in K6 e D4 (Fabi *et al.*, 2018d). Comunque, il pattern relativo all'ultimo monitoraggio suggerisce l'estraneità della condotta ai cambiamenti osservati.

3.2.4. *CRASSOSTREA GIGAS*

QA-QC - Il test eseguito nell'inverno 2018 con la sostanza di riferimento ha prodotto una EC₅₀ di 10,60 µg/l di Cu (LC=9,85 e UC=11,40) 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'ultimo monitoraggio non è stata rilevata alcuna tossicità eccetto in D6 (tossicità bassa; Tab. 3-X). I risultati conseguiti testimoniano un miglioramento e il ripristino delle condizioni rilevate nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d), pur permanendo un debole segnale solo in D6, tendenza questa osservata sin dal 3° monitoraggio post lavori di installazione.

Tab. 3-X - Risultati relativi al saggio di tossicità con *C. gigas* nei campioni prelevati nel 5° survey post lavori. In rosso i siti corrispondenti alla condotta sottomarina. K = controlli.

campione	Concentrazione	% media di larve normali ± dev.st	% media di larve malformate	Correzione Abbott larve malformate	EC ₂₀ (%)	EC ₅₀ (%)	Tossicità
Controllo		85 ± 1,00	15	0			
C2	100	74 ± 2,08	26	13	≥90	>100	Assente
	50	78 ± 1,73	22	8			
	25	83 ± 2,08	17	2			
C4	100	69 ± 1,00	31	19	≥90	>100	Assente
	50	76 ± 2,08	24	11			
	25	82 ± 1,53	18	3			
C6	100	75 ± 1,53	25	12	≥90	>100	Assente
	50	79 ± 1,73	21	7			
	25	83 ± 2,08	17	3			
K6	100	71 ± 1,00	29	16	≥90	>100	Assente
	50	76 ± 1,53	24	10			
	25	84 ± 2,08	17	3			
D2	100	77 ± 1,53	23	10	≥90	>100	Assente
	50	80 ± 1,53	20	6			
	25	84 ± 2,08	16	1			
D4	100	72 ± 2,00	28	15	≥90	>100	Assente
	50	76 ± 1,53	24	10			
	25	83 ± 2,08	17	2			
D6	100	64 ± 1,53	36	25	74,4	>100	Bassa
	50	72 ± 2,08	28	16			
	25	82 ± 1,53	18	4			
K9	100	76 ± 1,53	24	11	≥90	>100	Assente
	50	80 ± 1,00	20	6			
	25	84 ± 2,00	16	1			

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 2018, sono riportati in Tab. 3-XI, mentre in Tab. 3-XII sono indicate le mortalità degli organismi osservate nel test di bioaccumulo che sono state tutte percentualmente inferiori a quella del controllo negativo.

Tab. 3-XI - Parametri chimici e fisici dell'acqua sovrastante il sedimento registrati all'inizio e al termine del test di bioaccumulo condotto nel 5° survey post lavori. In rosso sono evidenziate le stazioni corrispondenti al sea-line. K = controlli.

campione	Inizio del test					Fine del test				
	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg/l)	O ₂ (%)	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg/l)	O ₂ (%)
Controllo	15 ± 1	36	8,08	0	> 85	15 ± 1	35	8,41	3-5	> 85
C2		35	8,09	0			38	8,08	0	
C4		35	8,06	0			38	8,02	0,5	
C6		35	8,08	0			38	8,10	1	
K6		35	8,05	0			38	8,13	0	
D2		35	8,06	0			38	8,22	3	
D4		37	8,10	0			38	8,11	1	
D6		35	8,04	0			38	7,74	0,5	
K9		35	8,04	0			38	8,10	2	

Tab. 3-XII - Percentuali di mortalità degli organismi *H. diversicolor* osservate nel test di bioaccumulo condotto nel 5° survey post lavori. In rosso le stazioni corrispondenti al sea-line. K = controlli.

Campione	Numero degli organismi esposti	% degli organismi morti (± dev.st %)
Controllo	15	90 ± 8,25
C2	15	43 ± 0,00
C4	15	43 ± 0,00
C6	15	67 ± 8,25
K6	15	57 ± 8,25
D2	15	67 ± 8,25
D4	15	52 ± 8,25
D6	15	52 ± 0,00
K9	15	67 ± 0,00

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').

Nell'inverno 2018 si è verificato il fenomeno del bioaccumulo per **nichel** e **silicio** in tutte le stazioni, per il **magnesio** quasi ovunque e per lo **stagno** in C6, D2 e K9.

Sulla base di tali risultati è possibile affermare che i casi verificatisi non sono relazionabili

unicamente alla presenza della condotta essendo stati osservati anche in uno o entrambi i controlli.

Tutti gli altri metalli o sono risultati non rilevabili, o hanno presentato negli organismi test concentrazioni inferiori o confrontabili con quelle del bianco.

Rispetto al monitoraggio precedente (Fabi *et al.*, 2018d) è stato rilevato un miglioramento per quanto concerne l'arsenico, il rame e il mercurio, un peggioramento per lo stagno, il silicio e il nichel; si tratta di variazioni che hanno riguardato anche i siti di controllo e pertanto, anche in questo caso, non collegabili al sea-line.

Tab. 3-XIII - Concentrazioni (mg/kg; Al espresso in %) dei metalli pesanti rilevate nei tessuti di *H. diversicolor* nel survey condotto nel 5° survey post lavori. (bianco = tempo zero 0' - organismi spurgati/non esposti ai sedimenti). In rosso le stazioni corrispondenti al sea-line. K = controlli. 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.	2,81	n.r.	0,031	n.r.	7,55	328,27	n.r.	n.r.	0,69	33,92	n.r.	108,01	0,068
Controllo	n.r.	0,77	n.r.	0,042	n.r.	18,80	249,97	1,58	n.r.	0,87	47,02	n.r.	103,98	*
C2	n.r.	2,47	n.r.	0,033	n.r.	7,98	249,46	3,93	n.r.	0,53	97,87	n.r.	97,92	0,052
C4	n.r.	2,41	n.r.	0,038	n.r.	8,88	268,33	3,92	n.r.	0,59	113,25	n.r.	114,76	0,031
C6	n.r.	3,02	n.r.	0,030	n.r.	7,79	211,35	3,69	n.r.	0,46	93,10	n.r.	84,09	0,044
K6	n.r.	2,47	n.r.	0,040	n.r.	7,28	324,58	2,37	n.r.	0,62	148,80	n.r.	116,36	0,035
D2	n.r.	2,55	n.r.	0,039	n.r.	7,28	266,30	1,56	n.r.	0,73	107,49	n.r.	118,35	0,045
D4	n.r.	2,26	n.r.	0,032	n.r.	7,89	281,19	2,28	n.r.	0,50	100,27	n.r.	83,36	0,024
D6	n.r.	2,15	n.r.	0,046	n.r.	8,45	281,81	1,81	n.r.	0,64	101,03	n.r.	99,33	0,029
K9	n.r.	2,53	n.r.	0,056	n.r.	8,05	248,15	2,37	n.r.	0,59	101,22	n.r.	86,84	0,033
	170	0,3	1,2	0,01	1,2	1,2	170	1,2	0,02	0,3	8	1,2	1,2	0,005

*quantità del campione insufficiente

	Ga	Mg	Mn	Sn	Ti	Zr
Bianco	n.r.	2991,27	11,24	1,32	n.r.	n.r.
Controllo	n.r.	3527,67	15,48	2,35	n.r.	n.r.
C2	n.r.	3617,68	7,20	1,37	n.r.	n.r.
C4	n.r.	3418,12	8,56	n.r.	n.r.	n.r.
C6	n.r.	3884,06	9,89	1,8	n.r.	n.r.
K6	n.r.	3909,93	8,64	n.r.	n.r.	n.r.
D2	n.r.	3714,40	8,79	1,72	n.r.	n.r.
D4	n.r.	3646,41	6,64	n.r.	n.r.	n.r.
D6	n.r.	3570,12	6,08	1,53	n.r.	n.r.
K9	n.r.	3882,08	7,92	1,96	n.r.	n.r.
L. o. Q	2,5	170	2,5	1,2	1,2	1,2

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. K = controlli. 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.	-2,04	n.c.	0,011	n.c.	11,26	-78,30	0,98	n.c.	0,18	13,10	n.c.	-4,03	*
C2	n.c.	-0,34	n.c.	0,002	n.c.	0,43	-78,81	3,33	n.c.	-0,16	63,95	n.c.	-10,09	-0,016
C4	n.c.	-0,40	n.c.	0,007	n.c.	1,33	-59,94	3,32	n.c.	-0,10	79,33	n.c.	6,75	-0,036
C6	n.c.	0,21	n.c.	-0,001	n.c.	0,24	-116,92	3,09	n.c.	-0,23	59,19	n.c.	-23,92	-0,024
K6	n.c.	-0,34	n.c.	0,009	n.c.	-0,27	-3,69	1,77	n.c.	-0,07	114,89	n.c.	8,35	-0,033
D2	n.c.	-0,26	n.c.	0,008	n.c.	-0,27	-61,97	0,96	n.c.	0,04	73,57	n.c.	10,34	-0,023
D4	n.c.	-0,55	n.c.	0,001	n.c.	0,34	-47,08	1,68	n.c.	-0,19	66,36	n.c.	-24,65	-0,043
D6	n.c.	-0,66	n.c.	0,015	n.c.	0,90	-46,46	1,21	n.c.	-0,05	67,11	n.c.	-8,68	-0,039
K9	n.c.	-0,28	n.c.	0,025	n.c.	0,50	-80,12	1,77	n.c.	-0,10	67,30	n.c.	-21,17	-0,035

*quantità del campione insufficiente

	Ga	Mg	Mn	Sn	Ti	Zr
Controllo	n.c.	536,40	4,24	1,03	n.c.	n.c.
C2	n.c.	626,41	-4,04	0,05	n.c.	n.c.
C4	n.c.	426,85	-2,68	n.c.	n.c.	n.c.
C6	n.c.	892,79	-1,35	0,48	n.c.	n.c.
K6	n.c.	918,66	-2,60	n.c.	n.c.	n.c.
D2	n.c.	723,13	-2,45	0,40	n.c.	n.c.
D4	n.c.	655,14	-4,60	n.c.	n.c.	n.c.
D6	n.c.	578,85	-5,16	0,21	n.c.	n.c.
K9	n.c.	890,81	-3,32	0,64	n.c.	n.c.

3.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA

3.3.1. DENSITÀ (N) E BIOMASSA (P)

La comunità bentonica rinvenuta nel 5° survey post lavori di installazione è risultata abbastanza povera in termini di numero di individui come nei monitoraggi precedenti (Fabi *et al.*, 2018d; fig. 3.6).

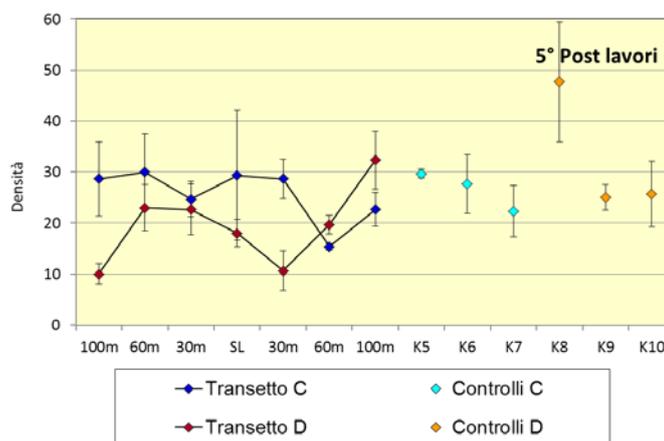


Fig. 3.6 – Densità ($\pm e.s.$) ottenute nell’inverno 2018. C4 e D4 = siti posti sul sea-line.

Il transetto C, nonostante diverse oscillazioni, è stato caratterizzato da valori confrontabili, tranne quello relativo a C6 corrispondente al minimo per il transetto ($15,33 \pm 0,67$ ind/ $0,095$ m²), che è stato anche l’unico a non rientrare nel range dei controlli K5-K7 ($22,33 \pm 5,04 \leq N \leq 29,67 \pm 0,88$ ind/ $0,095$ m²).

Il transetto D ha invece presentato un aumento in D2, una riduzione sino a D5 dove è stato raggiunto un valore del tutto simile a quello di D1 ($10,67 \pm 3,84$ e $10,00 \pm 2,08$ ind/ $0,095$ m² rispettivamente) e da una ripresa sino a D7. In questo caso, le densità di tutte le stazioni ad esclusione di D1 e D5 sono rientrate nell’intervallo dei controlli K9 e K10; in K8 è stato invece raggiunto il massimo stagionale, pari a $47,67 \pm 11,78$ ind/ $0,095$ m², confrontabile solo con D7.

Rispetto al monitoraggio precedente (Fabi *et al.*, 2018d) sono avvenute molte variazioni, ma quelle degne di nota riguardano D1, D4 e C7 in cui è avvenuto un decremento evidente, C5 e K8 caratterizzati invece da un aumento.

Anche nell’inverno 2018 i policheti Paraonidae nd hanno rappresentato il primo taxon più numeroso in quasi tutte le stazioni (Tab. 3-XV); in C3 e C4 ha prevalso il gasteropode *Hyala vitrea*, in K8 il bivalve *Anomia ephippium* assente altrove. Altri taxa con densità degne di nota sono state il crostaceo decapode *Callianassa subterranea* e il polichete *Aphelochaeta filiformis* come precedentemente.

Tab. 3-XV – Lista e densità (n. ind/0,095 m²) delle specie rinvenute nelle stazioni campionate durante il 5° survey post lavori di installazione. Per ogni sito è anche riportato il numero totale di taxa osservati. Sono anche indicate le Biocenosi di appartenenza dei taxa determinati a livello di specie: AP = Biocenosi delle Alge Fotofile; C = Bioc. del Coralligeno; DC = Bioc. del Detritico Costiero; DE = Bioc. del Detritico Infangato; DL = Bioc. del Detritico del Largo; HP = Bioc. delle Praterie di Fanerogame; Lim = limicolo; Lre = Larga Ripartizione Ecologica; MI = Bioc. dei Fondi Mobili Instabili; Minut = Minuticolo; Mixt = misticolo; MO = indicatore della presenza di Materia Organica; Sab = sabulicolo; Sd = substrato duro; SGCF = Bioc. delle Ghiaie fini sotto l'influsso di correnti di fondo; SFBC = Bioc. delle Sabbie Fini Ben Calibrate; VTC = Bioc. dei Fanghi Terrigeni Costieri; VB = Bioc. dei Fanghi Batiali.

Stazione	Biocenosi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	K8	K9	K10		
Distanza dal sea-line		100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000	100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000		
Briozoi																							
	<i>Amathia semiconvoluta</i>	Sd													0,33								
	<i>Cellaria salicornioides</i>	Mxt											0,33	0,33			0,67	0,33					
	<i>Triticella flava</i>									0,33		0,33											
Cnidati																							
	<i>Actinaria</i> nd																			0,33			
	<i>Anthozoa</i> nd																			0,33	0,33		
	<i>Edwardsia clapedii</i>	SFBC	0,33	0,33	0,33					0,33		0,33	0,33				0,33	0,33		1,00	0,33		
	<i>Hydroidea</i> nd					0,33														0,33			
Crostacei																							
	<i>Ampelisca diadema</i>	DE												0,67			0,33						
	<i>Aora</i> sp																			0,67			
	<i>Erichthonius brasiliensis</i>	Sd																		0,67			
	<i>Eriopisa elongata</i>	VB			0,33															0,67			
	<i>Harpinia dellavallei</i>	VTC	0,67		0,33	0,33			0,33		0,33			0,33						0,33	0,33		
	<i>Leucothoe incisa</i>	SFBC	0,33							0,67													
	<i>Leucothoe lilljeborgi</i>	MO							0,33		0,33			0,33			0,33						
	<i>Orchomene grimaldii</i>	VTC		0,33																			
	<i>Othomera schmidtii</i>	VB													0,33				0,33	0,33			
	<i>Paraphoxus oculatus</i>	Mxt																		0,67			
	<i>Urothoe</i> sp											0,33									0,33		
	<i>Scalpellum scalpellum</i>	Sd																			1,00		
Cumacei																							
	<i>Cumacea</i> nd					0,67			0,33	0,33													
	<i>Eudorella truncatula</i>	Mxt	0,33		0,67	0,67														0,33			
	<i>Leucon mediterraneus</i>	C																		0,33			
Decapodi																							
	<i>Alpheus glaber</i>	VTC			0,33	0,33																	
	<i>Callinassa subterranea</i>	Lim	3,00	2,33	1,67	1,67	3,00	0,67	3,00	3,33	1,33	3,33	1,00	2,33	2,33	2,67	0,67	2,00	3,00	1,33	1,00	3,33	
	<i>Goneplax rhomboides</i>	VTC			0,33	0,33					0,33	1,00	0,33			0,33				0,33	0,33	0,33	
	<i>Jaxea nocturna</i>	VTC														0,33							
	<i>Philocheles sculptus</i>	SGCF										0,33								0,33			
	<i>Processa</i> sp																				0,33		
	<i>Solenocera membranacea</i>	VB					0,33																
	<i>Upogebia deltaura</i>	DL							0,33														
	<i>Upogebia mediterranea</i>	HP				0,33																	
	<i>Idotea</i> sp													0,33									
	<i>Isopoda</i> nd									0,67					0,33								
Ostracodi																							
	<i>Ostracoda</i> nd														0,33								
Tanaidacei																							
	<i>Apeudes latreillii</i>	Minut				1,00	1,33																
	<i>Apeudes</i> sp		3,00			0,33						0,67											
	<i>Apeudes spinosus</i>	HP			0,33																		
	<i>Leptognathia</i> sp		0,33																		0,33		
Echinodermi																							
	<i>Brissopsis atlantica mediterranea</i>	VB	0,33	0,33		0,67			0,67			0,33			0,33								
	<i>Oloturoidei</i>	VTC	0,33		0,67	0,33				0,33													
Molluschi																							
	<i>Abra prismatica</i>	DC		0,33																			
	<i>Anomia ephippium</i>	Lre																			12,00		
	<i>Azorinus chamasolen</i>	Mxt							0,33														
	<i>Hiatella arctica</i>	Sd																		0,67			
	<i>Kellia suborbicularis</i>	DC								0,33										0,33			
	<i>Kurtiella bidentata</i>	VTC										0,33											
	<i>Modiolarca sulpicata</i>	AP																			0,67		
	<i>Nucula nitidosa</i>	Lim							0,33														
	<i>Nucula sulcata</i>	Lim					0,33																
	<i>Poromya granulata</i>	Mxt																			0,33		
	<i>Thyasira biplicata</i>	Lim												0,33									
	<i>Caudofoveati</i>	Lim																		0,33	0,33		
	<i>Falcidens gutturosus</i>	Lim												0,33						0,33	0,33		
	<i>Gasteropodi</i>	VTC	1,33	6,33	8,00	7,00	1,67	3,33	5,33	1,00	2,67	1,67	0,33	1,33	2,00	1,00	2,67			2,67	1,67	1,67	3,00
	<i>Hyalia vitrea</i>																						
	<i>Nudibranchia</i> nd																						
	<i>Turritella communis</i>	VTC				0,33															0,33		
Nemertini																							
	<i>Nemertea</i> nd		0,33	1,00		0,67	0,33	0,33	1,00	0,33				1,00	0,67	0,33	0,67	0,33	1,00	0,67	0,67		
Platelminti																							
	<i>Platelminta</i> nd													0,33							0,67		
Policheti																							
	<i>Ampharete acutifrons</i>	VTC	0,33																				
	<i>Ampharetidae</i> nd									0,33													
	<i>Ancystrosyllis groenlandica</i>	VB	0,33	0,33		0,33		0,33		0,33						0,33	0,33				0,67		
	<i>Aphelochaeta filiformis</i>	MO	2,67	1,33	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00	2,00	1,33	3,00	0,67	4,00	1,00	2,00	1,33	0,33	4,33	4,67	2,67	2,00	
	<i>Aphelochaeta marioni</i>	MO	0,33							0,33	0,33		0,33		0,33	0,33						0,33	
	<i>Capitellidae</i> nd																						
	<i>Chaetozone caputesocis</i>	Lim		0,33		0,67					0,67					0,33					0,33		
	<i>Cirratulidae</i> nd																						
	<i>Ditrupea arietina</i>	MI					0,33	0,33							0,67						0,33		
	<i>Eupanthalis kinbergi</i>	DE										0,33											
	<i>Glycera alba</i>	Lim		0,33																			

Tab. 3-XV – Continuo.

Stazione	Biocenosi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	K8	K9	K10
Distanza dal sea-line		100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000	100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000
Policheti																					
<i>Micronephthys sphaerocirrata</i>	Sab									0,33									0,67		0,33
<i>Nephtys hystrix</i>	VTC									0,33				0,33	0,67	0,33					
<i>Ninoe</i> sp			1,00	0,33	1,00	0,67	0,67	0,33	0,67	0,33				0,33	0,67	0,33		0,33	0,33	0,67	1,33
<i>Notomastus aberans</i>	MO					0,67	0,33			1,00	0,33			0,33				0,33	0,33		0,33
<i>Ophelina cylindricaudata</i>	Lim		0,33	0,67		0,67	0,33		0,33	0,33	0,67			0,33				0,33		0,33	0,33
<i>Ophiodromus flexuosus</i>	Sab	1,00			0,33	0,33	0,33	0,33	0,33			0,33		0,33	0,67		0,67	1,00		0,33	0,33
<i>Paradiopatra calliopae</i>	Lim	1,00						0,33						0,33							0,33
<i>Paralacydonia paradoxa</i>	MO			0,33	0,33	1,00		0,33	1,00	1,33	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	2,00	1,67	0,33
<i>Paraonidae</i> nd		6,33	10,00	5,33	6,67	8,33	3,67	6,67	9,00	10,00	6,67	2,00	9,00	4,00	3,00	4,00	5,67	7,33	8,67	9,33	5,33
<i>Phyto norvegica</i>	Lim	0,33												0,33		0,33					0,33
<i>Pilargidae</i> nd		0,67	0,67	1,00	0,33	0,67	0,33	0,67	2,00	1,67	0,33	0,67	1,00	0,67	1,33	0,67	1,67	1,67	0,67	1,00	2,33
<i>Pilargis verrucosa</i>	Sab	0,33				0,33	0,33									0,33					
<i>Poecilochetus serpens</i>	VTC													0,33							
<i>Praxillella gracilis</i>	Lim																		0,33		
<i>Prionospio</i> sp		0,33	0,33		0,33			0,67							0,33	0,33	0,33	0,33			
<i>Sabellidae</i> nd																					
<i>Scalibregma inflatum</i>	Lim																			0,33	
<i>Scoletoma impatiens</i>	Mxt	0,33			1,00	0,33								1,00				0,33	0,67		0,33
<i>Scoletoma</i> sp		0,33	0,33		0,33	0,33			0,33		0,33							0,33	0,67		0,33
<i>Scoloplos armiger</i>	Lre		1,00		0,67	0,33			0,67	0,67					0,33					0,33	
<i>Serpulidae</i> nd																					
<i>Spionidae</i> nd		0,33				0,33	0,33	0,33	0,67	0,33		0,33								1,00	
<i>Spiophanes bombyx</i>	SFBC		0,33		0,33	0,33															0,33
<i>Sternaspis scutata</i>	VTC								0,33						0,33				0,33		
<i>Syllis</i> sp						0,33								0,33	0,33						0,33
<i>Terebellidae</i> nd		0,33																			0,33
<i>Terebellides stroemi</i>	MO	0,33																			
Sipunculidi																					
<i>Orchnesoma steenstrupi</i>	VB	1,33	1,00	1,33		1,00	0,67	1,00	1,00	1,67	1,00	0,33	1,33	2,67	1,67	0,33	0,67	0,67	1,00	1,33	1,00
<i>Sipuncula</i> nd		0,33		0,33				0,33	1,00				0,33	0,67				0,33	0,33	1,33	0,33
Densità totale		28,67	24,67	29,33	28,67	15,33	22,67	29,67	27,67	22,33	10,00	23,00	22,67	18,00	10,67	19,67	32,33	47,67	25,00	25,67	25,67
Ricchezza specifica totale		31	24	16	29	29	20	19	30	25	19	19	16	29	22	14	19	34	34	21	26

In termini di biomassa (Tab. 3-XVI; fig. 3.7) anche nell'inverno 2018 è stata rilevata una'elevata variabilità in alcune stazioni (C2, C4, C7 e D4) determinata dal rinvenimento di uno o due esemplari del riccio di mare *Brissopsis atlantica mediterranea*, una specie incisiva dal punto di vista ponderale (fig. 3.8). Altrove la biomassa è stata molto bassa e confrontabile.

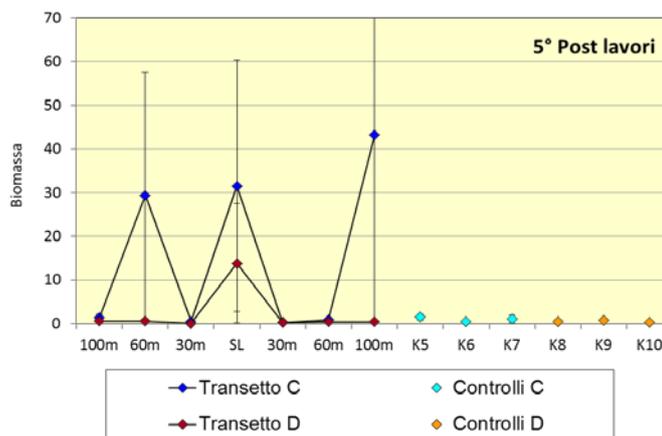


Fig. 3.7 – Biomassa (\pm s.) registrata nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posti sul sea-line.



Fig. 3.8 – Esemplare di *Brissopsis atlantica mediterranea* rinvenuto nell'inverno 2018 nel sito C2.

Tab. 3-XVI – Lista e biomassa (gr/0,095 m²) delle specie rinvenute nelle stazioni campionate nel 5° survey post lavori di installazione (inverno 2018). * = <0,001 gr/0,095 m².

Stazione	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	K8	K9	K10
Distanza dal sea-line	100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000	100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000
Briozoi																				
<i>Amathia semiconvoluta</i>														*						
<i>Cellaria salicornioides</i>									*			0,004	0,001			0,005	0,002			
<i>Triticella flava</i>																				
Cnidari																				
Antozoi																				
Actiniaria nd																		0,010		
Anthozoa nd																		0,008	0,002	
<i>Edwardsia claparedii</i>		0,307	0,090	0,612	*				0,272		0,160	0,041				0,239	0,265		0,737	0,218
Hydroidea nd																		0,016		
Idrozoi																				
Crostacei																				
Antipodi																				
<i>Ampelisca diadema</i>													0,001			*				
<i>Aora sp</i>																			*	
<i>Erichthonius brasiliensis</i>																			0,001	
<i>Eriopisa elongata</i>				*																
<i>Harpinia dellavallei</i>	*			*	*			*	*	*			*					*	*	*
<i>Leucothoe incisa</i>	*							*	*	*										
<i>Leucothoe liljeborgi</i>								*	*	*			0,001			*				
<i>Orchomene grimaldii</i>			*																	
<i>Othomaera schmidtii</i>										0,003				0,002			0,001	0,004	*	
<i>Paraphoxus oculatus</i>																		*		
<i>Urothoe sp</i>											*									*
Cirripedi																			0,001	
<i>Scalpellum scalpellum</i>								*	*											
Cumacei																				
Cumacea nd					*			*	*											
<i>Eudorella truncatula</i>	*			*	*													*	*	
<i>Leucon mediterraneus</i>																		*	*	
Decapodi																				
<i>Alpheus glaber</i>				0,017	0,019															
<i>Callinassa subterranea</i>	0,035	0,018	0,033	0,019	0,023	0,003	0,018	0,042	0,008	0,030	0,004	0,012	0,016	0,024	0,002	0,016	0,049	0,030	0,020	0,040
<i>Goneplax rhomboides</i>				0,001					0,090	0,005	0,064			0,002				0,001	0,002	*
<i>Jaxea nocturna</i>															0,009		0,020			
<i>Philocheras sculptus</i>										0,019										
<i>Processa sp</i>																				0,003
<i>Solenocera membranacea</i>						0,137														
<i>Upogebia deltaura</i>								0,005												
<i>Upogebia mediterranea</i>					0,003															
Isopodi																				
<i>Idotea sp</i>													0,001							
Isopoda nd										*										
Ostracodi																	*			
Ostracoda nd																				
Tanaidacei																				
<i>Apseudes latreillii</i>				*	0,001															
<i>Apseudes sp</i>	0,003			*	*					0,001										
<i>Apseudes spinosus</i>				*	*															
<i>Leptognathia sp</i>	*																*			
Echinodermi																				
Echinoidei																				
<i>Brissopsis atlantica mediterranea</i>	0,947	28,629		30,450			43,165			0,987				13,635						
Oloturoidei																				
<i>Labidoplax digitata</i>	0,142		0,069	0,376				0,658												
Molluschi																				
Bivalvi																				
<i>Abra prismatica</i>		0,004																		
<i>Anomia ephippium</i>																		*		
<i>Azorinus chamasolen</i>								0,708										*		
<i>Hiatella arctica</i>																		*		
<i>Kellia suborbicularis</i>									*									*		
<i>Kurtiella bidentata</i>											0,001							*		
<i>Modiolarca subpicta</i>																		*		
<i>Nucula nitidosa</i>								*										*		
<i>Nucula sulcata</i>						0,538												*		
<i>Poromya granulata</i>																		*		
<i>Thyasira biplicata</i>													0,001							0,002
Caudofoveati																				
<i>Falcidens gutturosus</i>																		*		
Gasteropodi																				
<i>Hyalia vitrea</i>	0,001	0,005	0,007	0,005	0,001	0,002	0,003	0,001	*	0,001	*	0,002	0,001	*		0,001	0,001	0,002	0,001	0,002
<i>Nudibranchia nd</i>																		*		
<i>Turritella communis</i>					0,031														0,351	
Nemertini																				
<i>Nemertea nd</i>	0,002	0,001		*	0,001	*	0,026	*					*	0,001	*	0,001	*	0,001	0,010	*
Policheti																				
<i>Ampharete acutifrons</i>	0,002																			
<i>Ampharetidae nd</i>								*	*	*										
<i>Ancistrosyllis groenlandica</i>	*	*		0,001			*	*	*	*									*	
<i>Aphelochaeta filiformis</i>	0,001	*	*	0,001	0,001	0,001	*	*	*	0,001	*	0,001	*	*	*	*	0,002	0,001	*	*
<i>Aphelochaeta marioni</i>	*						*	*	*	*	*		*	*	*	*			*	*
Capitellidae nd													0,013							
<i>Chaetozone caputesocis</i>		0,006		0,010					0,005									*		
Cirratulidae nd																				
<i>Ditrupa arietina</i>						*	*						*		0,002			*		
<i>Eupanthalis kinbergi</i>																				
<i>Glycera alba</i>		0,001									0,035									
<i>Glycera rouxii</i>	0,001	0,001	0,151	*	*				0,005	*		0,219	*						0,001	
<i>Glycera sp</i>				*	*				*	*		*	*							
<i>Glycera tessellata</i>							*				0,001									

Tab. 3-XVI – Continuo.

Stazione	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	K8	K9	K10	
Distanza dal sea-line	100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000	100	60	30	0	30	60	100	2000	2000	2000	
Policheti																					
<i>Micronephthys sphaerocirrata</i>									0,008									0,001		*	
<i>Nephtys hystricis</i>									0,001											*	
<i>Ninoe</i> sp		0,015	*	0,010	0,001	*	0,003	0,002	0,001				0,009	0,011	0,003		0,003	0,001		0,002	0,017
<i>Notomastus aberans</i>			0,013		0,016	0,016			0,009	0,001							*	0,002		0,007	*
<i>Ophelina cylindricaudata</i>		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Ophiodromus flexuosus</i>	0,001				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,001	*	*	*	*
<i>Paradiopatra calliopae</i>	0,004						0,001							0,001			*	*	*	*	*
<i>Paralacydonia paradoxa</i>			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Paraonidae nd	0,001	0,001	*	0,001	0,001	*	*	0,001	0,001	0,001	*	0,001	*	*	*	*	*	*	*	0,001	*
<i>Phylo norvegica</i>	0,064												0,005		0,006		0,009	*	*	*	*
Pilargidae nd	0,001	*	*	*	*	*	*	0,001	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Pilargis verrucosa</i>	0,001				*	0,001									*						*
<i>Poecilochetus serpens</i>													*								*
<i>Praxillella gracilis</i>																					0,013
<i>Prionospio</i> sp	*	*		*			*							*	*	*	*	*	*	*	*
Sabellidae nd													*				*	*	*	*	*
<i>Scalibregma inflatum</i>					*	*											*	*	*	*	*
<i>Scoletoma impatiens</i>	*			*	*								*				0,001	*	*	*	0,006
<i>Scoletoma</i> sp	*	0,013		*	0,001	*		0,001	*	*							*	0,012	*	*	*
<i>Scoloplos armiger</i>		*		*	*	*		*	*	*				*			*	*	*	*	*
Serpulidae nd																	*	*	*	*	*
Spionidae nd	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Spiophanes bombyx</i>				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
<i>Sternaspis scutata</i>								0,055						0,001	*			0,001	*	*	*
<i>Syllis</i> sp							0,001							*							*
Terebellidae nd	0,189	*																			0,001
<i>Terebellides stroemi</i>	*																				*
Sipunculidi																					
<i>Onchnesoma steenstrupi</i>	0,003	0,001	0,001		0,001	0,001	0,002	*	0,001	0,001	*	0,001	0,003	0,003	*	*	*	*	*	0,001	0,001
<i>Sipuncula</i> nd		*		0,003			*	0,001			*	*	*	*	0,009	*	*	0,001	*	*	*
Biomassa totale	1,411	29,352	0,500	31,557	0,282	0,904	43,266	1,504	0,399	1,081	0,574	0,568	0,064	13,814	0,283	0,382	0,445	0,522	0,778	0,372	

3.3.2. AFFINITÀ BIOECENOTICHE DELLE SPECIE RINVENUTE

Nell'inverno 2018 i taxa di fondo mobile sono risultati i più rappresentati (Tab. 3-XVIIa e 3-XVIIb) come già precedentemente (Fabi *et al.*, 2018d). 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 e/o dai sabulicoli e dai misticoli.

Tutte le altre categorie ecologiche sono apparse, ove presenti, meno rappresentative.

Tab. 3-XVII – Numero di taxa (a) e di individui (b) rinvenuti nel 5° survey post lavori suddivisi in base alla loro affinità biocenotica. In giallo sono indicati i gruppi più numerosi. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli. 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
Limicoli (Lim, VTC, VB)	11	10	7	11	9	7	7	9	8	9	6	5	9	10	6	5	11	11	9	7
Sabulicoli (Sab, SFBC)	4	3	1	4	3	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	3		2	4
Misticoli (Mixt, DE, DL, SGCF)	2	1		2	2			2	1	1	1	1	3			2	3	4		1
Indicatori di Materia Organica (MO)	4	2	4	2	3	2	2	4	5	4	3	3	5	3	2	3	4	3	2	4
Fondi Mobili Instabili (MI)						1	1						1				1			
Minuticoli (Minut)				1	1															
Substrato duro (AP, C, HP, Sd)				2	2		2				1		1	1				2	4	
Larga ripartizione ecologica (Lre)		1			1	1		1	1					1					1	1

b)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	K8	K9	K10
Limicoli (Lim, VTC, VB)	9,33	12,33	13,67	12,33	8,33	6,67	11,00	7,33	7,67	9,00	3,33	5,67	9,00	8,00	3,00	7,33	9,67	8,00	6,33	9,00
Sabulicoli (Sab, SFBC)	2,67	1,00	0,33	1,67	1,00	0,67	0,33	0,67	1,00	0,33	0,67	0,33	0,33	1,00	0,33	1,00	1,67		1,33	1,33
Misticoli (Mixt, DE, DL)	0,67	0,33	0,00	1,67	1,00			0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	2,00			1,00	1,00	2,00		0,33
Indicatori di Materia Organica (MO)	3,67	1,67	3,67	2,33	3,67	1,33	1,33	3,67	4,33	4,67	1,33	4,67	2,33	2,67	1,67	1,00	5,67	7,00	4,33	3,00
Fondi Mobili Instabili (MI)						0,33	0,33						0,67				0,33			
Minuticoli (Minut)				1,00	1,33															
Substrato duro (HP, Sd)				0,33	0,33		0,33				0,33			0,33			0,33	3,00		
Larga ripartizione ecologica (Lre)		1,00			0,67	0,33		0,67	0,67					0,33				12,00	0,33	

3.3.3. DOMINANZA

Per la rappresentazione grafica delle dominanze relative all'inverno 2018 sono stati evidenziati gli 11 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 eccetto in K8 dove ha prevalso *A. ehippium* con il 25,2%. I paraonidi hanno raggiunto il massimo nel controllo K9 rappresentando il 37,3% del popolamento, *H. vitrea* in C3 con il 32,4%. Altre specie importanti sono il polichete *A. filiformis*, soprattutto lungo il transetto D e controlli corrispondenti (massimo pari al 17,4% in D2), e il decapode *C. subterranea*, che ha raggiunto la percentuale più elevata (14,9%) in K7. Gli altri taxa riportati in fig. 3.9 non hanno quasi mai raggiunto il 10% nelle stazioni monitorate.

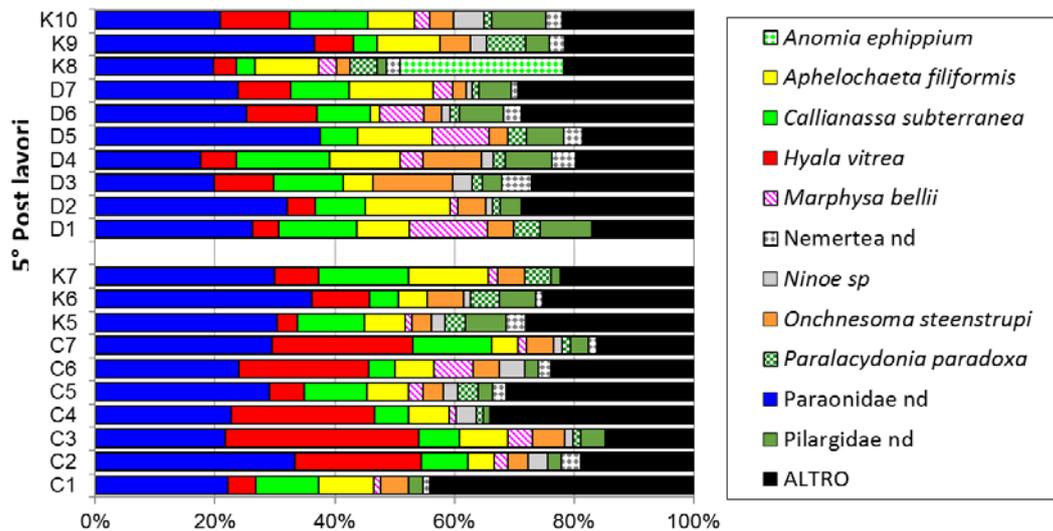


Fig. 3.9 - Valori percentuali di dominanza delle specie principali ottenuti nelle stazioni monitorate nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

Le curve di dominanza cumulativa hanno evidenziato una leggera separazione di quei siti caratterizzati dalla minore percentuale delle specie secondarie inserite in "altro", ovvero C3, D2 e D5, indicando una buona uniformità tra tutte le restanti stazioni (fig. 3.10).

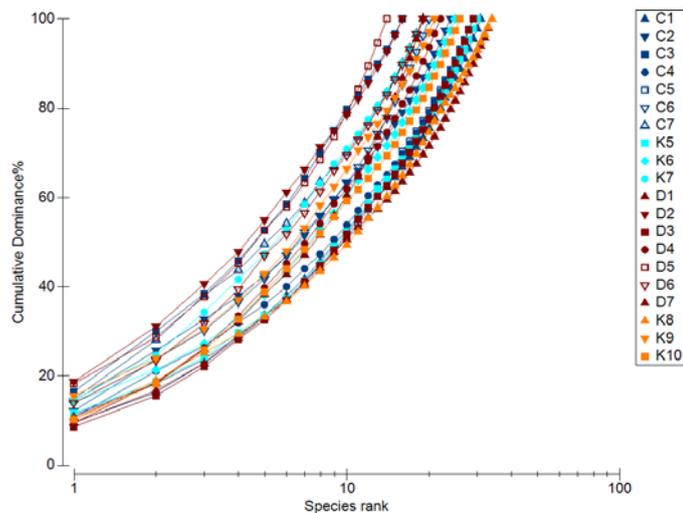


Fig. 3.10 - Curve di dominanza cumulativa ottenute per le stazioni campionate nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posti sul sea-line; K = controlli.

3.3.4. RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE (S)

Nell'inverno 2018 sono stati censiti complessivamente 108 taxa, indicando una certa stabilità con il monitoraggio precedente quando ne erano stati rilevati 106 (Fabi *et al.*, 2018d). Come in tutto il periodo di monitoraggio, policheti, crostacei e molluschi sono stati i raggruppamenti meglio rappresentati con 47, 31 e 15 taxa rispettivamente, seguiti da cnidari e sipungulidi (4 taxa ciascuno), briozoi (3), echinodermi (2) nemertini e platelminti (1 taxon ciascuno; Tab. 3-XV).

Nell'ultimo survey lungo il transetto C i siti C1, quello corrispondente alla struttura e C5 hanno presentato un Ricchezza specifica, compresa tra 29 e 31, molto simile a quella di K5 (30), mentre le restanti stazioni, caratterizzate da valori decisamente inferiori, sono apparse confrontabili con il controllo K7 (fig. 3.11).

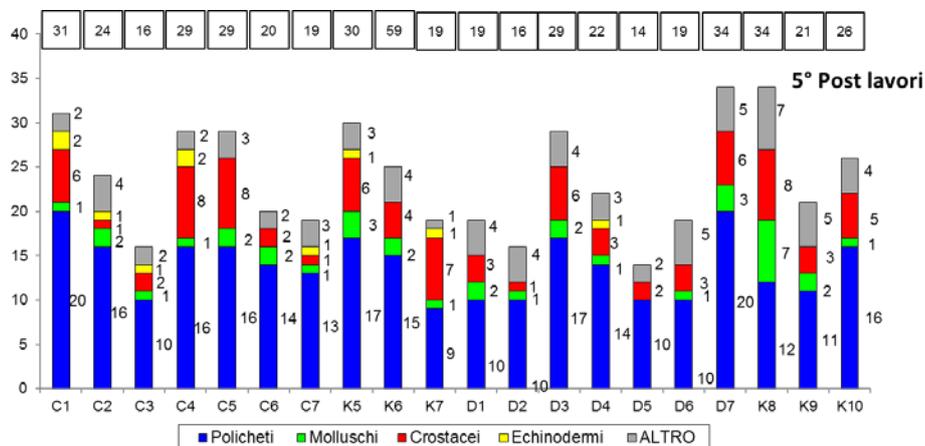


Fig. 3.11 - Ripartizione secondo il phylum di appartenenza delle specie rinvenute nelle singole stazioni campionate nell'inverno 2018. Sono anche riportati i valori della Ricchezza specifica totale ottenuti per i vari siti (riquadri). C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

Il transetto D ha presentato un range di valori più ampio essendo compreso tra 14 (D5) e 34 (D7), valore quest'ultimo identico a quello di K8. Quattro siti (D1, D2, D5 e D6) non sono rientrati nell'intervallo dei riferimenti (21-34) perché caratterizzati da valori inferiori. Rispetto al monitoraggio precedente S è aumentata in circa metà delle stazioni per lo più posizionate lungo i transetti.

I policheti hanno rappresentato il gruppo principale ovunque, seguiti dai crostacei e/o molluschi. Gli echinodermi ove presenti sono stati rappresentati al massimo da 2 specie (C1).

3.3.5. RICCHEZZA SPECIFICA MEDIA (S_M)

Nell'inverno 2018 la Ricchezza specifica media ha presentato trend molto simili a quelli osservati per la totale (fig. 3.12). Lungo il transetto C S_m è oscillata tra $6,33 \pm 0,33$ (C6), valore praticamente identico a quello di C3 ($6,33 \pm 0,88$), e $15,00 \pm 3,79$ (C4), risultando compresa nell'intervallo dei controlli K5-K7. Il range del transetto D è variato tra $6,67 \pm 1,45$ (D5) e $16,67 \pm 3,38$ (D7); in questo caso, non sono rientrati nell'intervallo dei riferimenti K8-K10 i siti D1 e D5 in cui i valori sono apparsi inferiori. Rispetto all'estate 2017 (Fabi *et al.*, 2018) sono da segnalare alcuni incrementi, dei quali i più evidenti riguardano C1, C4, C5 e D7, e la riduzione in D1.

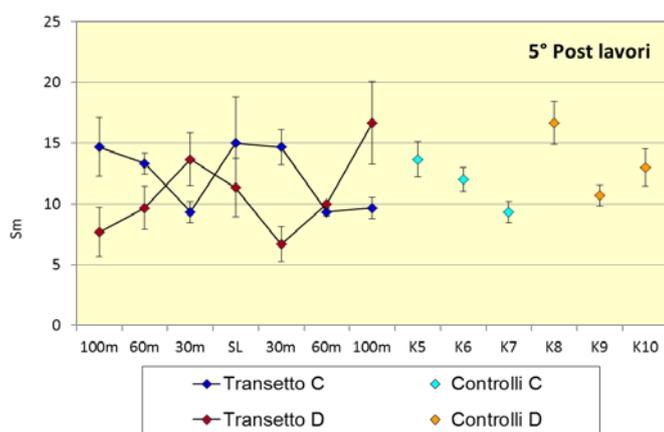


Fig. 3.12 – Ricchezza specifica media (\pm e.s.) registrata nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

3.3.6. DIVERSITÀ SPECIFICA (H')

La Diversità specifica conferma la presenza di un popolamento poco diversificato (fig. 3.12). Nell'inverno 2018 i trend dei due transetti sono apparsi molto simili a quelli della Ricchezza specifica e sono stati condizionati dagli andamenti delle specie principali. Comunque, i valori sono tutti rientrati nei range dei rispettivi controlli eccetto quello

relativo a D5, corrispondente al minimo stagionale ($1,65 \pm 0,16$) a causa della maggiore dominanza dei paraonidi rispetto alle altre stazioni e della bassa Ricchezza specifica.

Rispetto al monitoraggio precedente (Fabi *et al.*, 2018d) la variazione più evidente è stata l'aumento in C4 e C5 per una perdita di importanza rispettivamente dei paraonidi e di *H. vitrea*.

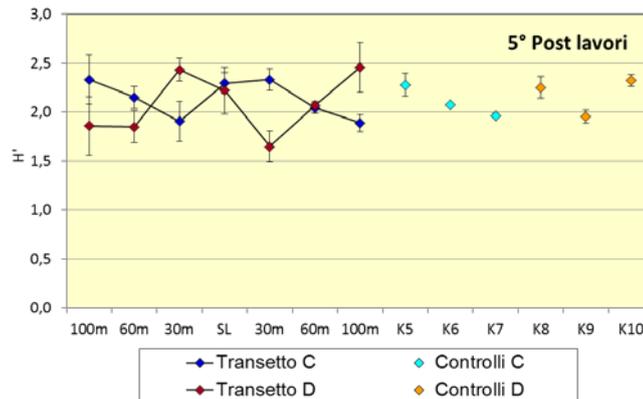


Fig. 3.12 - Diversità specifica (\pm e.s.) registrata nell'inverno 2018. C4 e D4 = siti posizionati sul sea-line; K = controlli.

3.3.7. MULTIDIMENSIONAL SCALING (MDS)

Il MultiDimensional Scaling applicato ai dati di densità delle singole specie campionate nell'inverno 2018 ha evidenziato una buona omogeneità tra i siti, la maggior parte dei quali è stata raggruppata in un unico cluster (similarità del 50%; fig. 3.13a). Tale situazione è stata determinata dai quantitativi comparabili dei taxa principali riportati nelle figg. 3.13b - 3.13e. Sono rimaste isolate le stazioni D1 e D5 per la scarsità di individui presenti, D3 in cui non sono stati rinvenuti alcuni organismi tra cui *M. bellii* e K8 per la netta dominanza di *A. ephippium*, assente altrove.

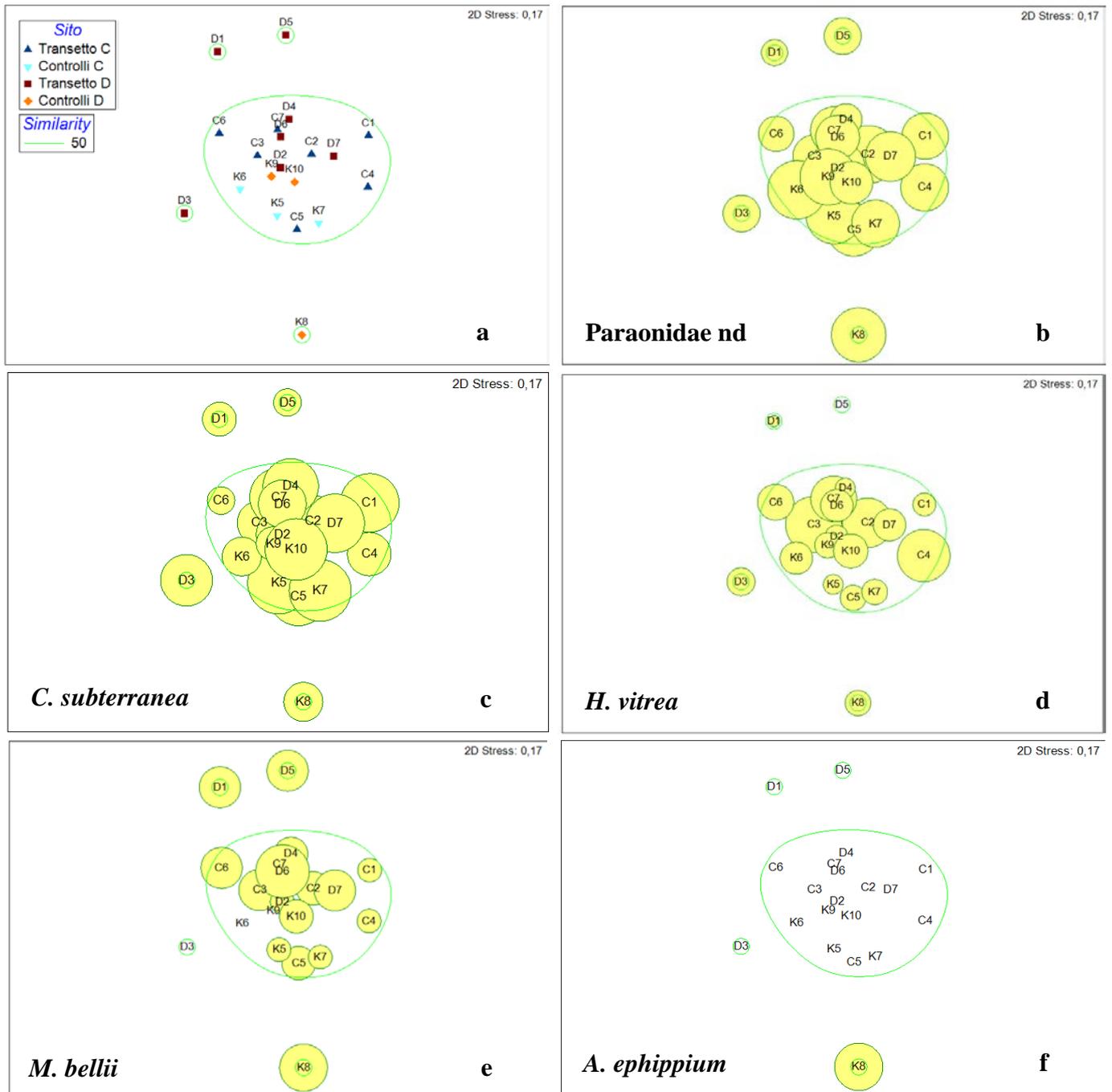


Fig. 3.13 – Rappresentazione bidimensionale dei siti campionati nell’inverno 2018 tramite il metodo del MultiDimensional Scaling. I cerchi gialli indicano i quantitativi in termini di densità delle singole specie.

3.3.8. VALUTAZIONE DELLO STATO AMBIENTALE

3.3.8.1 Indice W di Clarke

Nell’ultimo monitoraggio questo indice ha evidenziato la presenza di un ambiente leggermente disturbato ovunque eccetto in D3 dove è stato rilevato un disturbo moderato (Tab. 3-XVIII). Questa situazione rispecchia quella osservata anche nei survey precedenti

(Fabi *et al.*, 2018d), caratterizzati da uno stato leggermente disturbato in tutte o quasi tutte le stazioni campionate.

Tab. 3-XVIII – Valori dell’indice W di Clarke ottenuti nell’inverno 2018. In rosso i siti corrispondenti al sea-line. K = controlli.

	Stazione	W	Classificazione ambientale
5° Post lavori	C1	0,501	Leggermente disturbato
	C2	0,592	Leggermente disturbato
	C3	0,346	Leggermente disturbato
	C4	0,648	Leggermente disturbato
	C5	0,420	Leggermente disturbato
	C6	0,524	Leggermente disturbato
	C7	0,656	Leggermente disturbato
	K5	0,541	Leggermente disturbato
	K6	0,465	Leggermente disturbato
	K7	0,457	Leggermente disturbato
	D1	0,631	Leggermente disturbato
	D2	0,349	Leggermente disturbato
	D3	0,280	Moderatamente disturbato
	D4	0,670	Leggermente disturbato
	D5	0,516	Leggermente disturbato
	D6	0,476	Leggermente disturbato
	D7	0,459	Leggermente disturbato
	K8	0,373	Leggermente disturbato
	K9	0,495	Leggermente disturbato
	K10	0,443	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 analogamente ai monitoraggi precedenti in cui solo in pochi casi era stata rilevata assenza di disturbo (Fabi *et al.*, 2018d). In tutti i siti, eccetto C3 e K8 in cui hanno prevalso i taxa appartenenti al gruppo ecologico I (sensibili ad arricchimento organico e presenti solo in condizioni ambientali ottimali), è stata registrata una preponderanza di organismi “tolleranti a un eccessivo arricchimento organico nei sedimenti” (gruppo ecologico III).

3.3.8.3 Indice BENTIX

Anche nell’inverno 2018 come nei survey precedenti (Fabi *et al.*, 2018d) l’indice BENTIX (Tab. 3-XX) ha fornito risultati più negativi rispetto agli altri due indici, classificando la maggior parte dei siti appartenenti al transetto C, D2, D7 e i controlli K6, K7 e K9 come moderatamente disturbati.

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 2018 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. K = controlli.

	Stazione	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI	Classificazione ambientale
5° Post lavori	C1	29,9	16,9	50,6	2,6	0,0	1,890	Leggermente disturbato
	C2	32,2	8,9	55,6	3,3	0,0	1,950	Leggermente disturbato
	C3	47,3	10,8	41,9	0,0	0,0	1,419	Leggermente disturbato
	C4	36,4	18,2	42,0	3,4	0,0	1,687	Leggermente disturbato
	C5	24,7	15,3	60,0	0,0	0,0	2,029	Leggermente disturbato
	C6	37,0	19,6	43,5	0,0	0,0	1,598	Leggermente disturbato
	C7	38,2	7,4	51,5	2,9	0,0	1,787	Leggermente disturbato
	K5	30,3	11,2	57,3	1,1	0,0	1,938	Leggermente disturbato
	K6	29,3	9,8	57,3	3,7	0,0	2,030	Leggermente disturbato
	K7	29,2	9,2	61,5	0,0	0,0	1,985	Leggermente disturbato
	D1	25,0	21,4	50,0	3,6	0,0	1,982	Leggermente disturbato
	D2	20,6	10,3	69,1	0,0	0,0	2,228	Leggermente disturbato
	D3	34,8	19,7	40,9	3,0	1,5	1,750	Leggermente disturbato
	D4	31,5	13,0	48,1	7,4	0,0	1,972	Leggermente disturbato
	D5	18,7	12,5	62,5	6,3	0,0	2,344	Leggermente disturbato
	D6	29,8	19,3	49,1	1,8	0,0	1,842	Leggermente disturbato
	D7	26,0	18,7	53,1	2,1	0,0	1,969	Leggermente disturbato
	K8	46,9	16,1	37,1	0,0	0,0	1,353	Leggermente disturbato
	K9	22,7	14,7	62,7	0,0	0,0	2,100	Leggermente disturbato
	K10	33,8	16,9	48,1	1,3	0,0	1,753	Leggermente disturbato

Tab. 3-XX – Risultati dell’indice BENTIX e relativa classificazione del disturbo ambientale ottenuti per l’inverno 2018. In rosso i siti corrispondenti al sea-line. K = controlli.

	Stazione	BENTIX	Classificazione ambientale
5° Post lavori	C1	3,56	Leggermente disturbato
	C2	2,98	Moderatamente disturbato
	C3	3,19	Moderatamente disturbato
	C4	3,09	Moderatamente disturbato
	C5	3,51	Leggermente disturbato
	C6	3,30	Moderatamente disturbato
	C7	3,29	Moderatamente disturbato
	K5	3,57	Leggermente disturbato
	K6	3,12	Moderatamente disturbato
	K7	3,31	Moderatamente disturbato
	D1	3,79	Leggermente disturbato
	D2	3,33	Moderatamente disturbato
	D3	3,61	Leggermente disturbato
	D4	3,78	Leggermente disturbato
	D5	3,50	Leggermente disturbato
	D6	3,69	Leggermente disturbato
	D7	3,44	Moderatamente disturbato
	K8	4,24	Leggermente disturbato
	K9	3,07	Moderatamente disturbato
	K10	3,71	Leggermente 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 buono/moderato lungo entrambi i transetti e ai controlli, indicando un'omogeneità generale. Rispetto all'estate 2017 (Fabi *et al.*, 2018d) sono aumentati i siti con uno stato buono. Si ricorda che, nel pre-survey, lo stato era risultato buono/moderato in corrispondenza delle stazioni in cui sarebbe stata installata la condotta e buono ai controlli.

Tab. 3-XXI – Classificazione dello stato ecologico derivata dalla combinazione dei tre differenti indici e relativa all'inverno 2018. In rosso i siti corrispondenti al sea-line. K = controlli.

	Stazione	W	AMBI	BENTIX	Stato ecologico
		Classificazione ambientale	Classificazione ambientale	Classificazione ambientale	
5° Post lavori	C1	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
	C2	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	C3	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	C4	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	C5	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
	C6	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	C7	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	K5	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
	K6	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	K7	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	D1	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
	D2	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	D3	Moderatamente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono/moderato
	D4	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
	D5	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
	D6	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
	D7	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	K8	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono
	K9	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Moderatamente disturbato	Buono/moderato
	K10	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Leggermente disturbato	Buono

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-IRBIM (già ISMAR) di Ancona è stato incaricato da ENI S.p.A. – UPSTREAM DICS di effettuare un monitoraggio volto a valutare il potenziale impatto ambientale conseguente l'installazione della piattaforma 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-IRBIM di Ancona a partire dalla sua costituzione (1969) nel campo dell'oceanografia e della biologia marina in Adriatico e negli altri mari italiani; d) alle numerose esperienze effettuate dal CNR-IRBIM 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; 2017; 2018a; 2018b; 2018c); 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 3° anno della fase di esercizio del sea-line (inverno 2018).

Caratteristiche sedimentologiche - I sedimenti campionati nell'inverno 2018 sono apparsi caratterizzati da una dominanza della frazione pelitica come già precedentemente (Fabi *et al.*, 2018d). Rispetto al pre-survey si è verificato un generale aumento di silt sia nei siti corrispondenti alla condotta che nel controllo K6 relativo al transetto C. Il silt è aumentato anche nel riferimento K9 ma in percentuale inferiore rispetto alle altre tre stazioni. Essendo le variazioni osservate lungo i transetti C e D in linea con quelle dei

propri controlli, si esclude un ruolo del sea-line nel determinare tale pattern.

Anche dalle indagini sui contaminanti si evince che dopo 2 anni e mezzo dalla sua messa in opera la condotta non ha comportato sostanziali variazioni nell'area indagata. Infatti, sono state registrate quasi sempre concentrazioni comparabili a quelle rilevate nel pre-survey.

Per quanto concerne gli IPA, i tenori sono risultati tutti estremamente inferiori agli LCB indicati da ICRAM-APAT (2007) e, anche se le concentrazioni di questi contaminanti sono apparse lievemente superiori lungo il transetto C rispetto a quelle dei relativi controlli, esse sono talmente modeste (circa 16 volte inferiori all'LCB) da non suscitare preoccupazioni.

Per quanto concerne gli Idrocarburi totali, nell'inverno 2018 quelli a basso peso molecolare ($C < 12$) non sono stati rilevati come in precedenza (Fabi *et al.*, 2018d), mentre ovunque sono risultati al di sopra del limite di quantificazione quelli pesanti ($C > 12$), raggiungendo comunque concentrazioni modeste. In alcuni siti dei transetti gli idrocarburi totali pesanti sono apparsi più abbondanti rispetto ai controlli, ma si tratta anche in questi casi di tenori bassi. Questi composti erano stati rilevati nel pre-survey unicamente nel sito D4 corrispondente al futuro sea-line e nel 2017 in tutte o in parte delle stazioni controlli inclusi. Nell'ultimo monitoraggio è avvenuto un incremento quasi ovunque, pertanto questa variazione non è correlabile al sea-line; inoltre, non sono state raggiunte le concentrazioni registrate nell'inverno 2017.

I tenori dei metalli pesanti rilevati nell'ultimo monitoraggio hanno presentato lievi differenze rispetto a quelli del pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d).

E' stata riscontrata una notevole omogeneità tra il transetto D e i controlli corrispondenti, mentre le concentrazioni medie di arsenico, rame, ferro, manganese, piombo e zinco relative al transetto C sono risultate leggermente superiori rispetto a quelle dei riferimenti K5-K7. Bisogna però a tale proposito evidenziare che anche nel pre-survey era stata registrata la medesima situazione, pertanto non è imputabile alla presenza della condotta.

I metalli per i quali è disponibile il Livello Chimico di Riferimento Nazionale sono risultati tutti al di sotto di tale limite eccetto l'arsenico, il nichel e il cromo. I superamenti da parte di questi elementi sono avvenuti anche nei siti di controllo e, nel caso di Ni e Cr, anche nel pre-survey, per cui anche in questo caso si ritiene che la condotta non ne sia responsabile. E' solo da segnalare che nell'ultimo campionamento presso il sito posizionato a 100 m dalla struttura verso NNE lungo D (sito D1) è stato registrato il massimo contenuto di cromo dell'intero periodo di indagine (92,46 mg/kg) quasi doppio al livello chimico di riferimento (50,00 mg/kg). Il prossimo survey consentirà di verificare se si sia trattato di un

fenomeno di accumulo nei sedimenti o di un evento limitato all'inverno 2018.

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.*, 2018d). È stato rilevato un picco nella stazione posta a 100 m di distanza dalla condotta verso SSW lungo il transetto D (D7), comunque inferiore ad altri rilevati precedentemente anche nei siti di controllo. Il TOC, invece, è risultato maggiore lungo il transetto C rispetto ai siti di riferimento corrispondenti, ma le concentrazioni raggiunte non rappresentano i tenori massimi registrati nel corso del tempo (Fabi *et al.*, 2018d).

Ecotossicologia dei sedimenti - Nel 5° 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.*, 2018d). Nel caso della sopravvivenza dell'anfipode *Corophium orientale* è stata rilevata una tossicità bassa nei due siti corrispondenti alla struttura e nei due controlli; pertanto tale situazione non è correlabile al sea-line.

Il test riguardante lo sviluppo larvale del mollusco bivalve *Crassostrea gigas* ha evidenziato esclusivamente una bassa tossicità in corrispondenza di D6, posto a 60 m di distanza a SSW, mentre altrove non è stata rilevata alcuna tossicità indicando una situazione molto simile a quella rilevata nel pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d).

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 2018 come in precedenza (Fabi *et al.*, 2018d). È stato infatti rilevato solo un bioaccumulo generalizzato di nichel, silicio e magnesio, oltre che di stagno in poche stazioni tra cui un controllo.

Indagini sulla comunità bentonica - La comunità bentonica rinvenuta nell'inverno 2018 è apparsa abbastanza povera in termini di numero di individui e di specie come già sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2018d) 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, è presumibile che il popolamento si stia ormai stabilizzando non essendo proseguito l'incremento del numero di taxa censiti osservato sino all'estate 2017. I policheti appartenenti alla famiglia Paraonidae e il gasteropode *H. vitrea* si sono confermati come i taxa principali sia lungo i transetti che ai controlli come osservato sin

dall'inizio delle indagini. La dominanza di questi insieme a quella di pochi altri ha fatto sì che la Diversità specifica sia ancora bassa come precedentemente. Non sono state in generale rilevate discrepanze tra i siti di controllo e i transetti per tutti gli indici biotici considerati, pertanto si ritiene che 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.

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 buono/moderato sia lungo i transetti che nei controlli, suggerendo un lieve miglioramento rispetto al monitoraggio 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).
- Banni M., Dondero F., Jebali J., Guerbej H., Boussetta H., Viarengo A. 2007. Assessment of heavy metal contamination using real-time PCR analysis of mussel metallothionein MT10 and MT20 expression: a validation along the Tunisian coast. *Biomarkers*, 12(4): 369-383.
- 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.
- Bolognesi C., Fenzilli G., Lasagna C., Perrone E., Roggeri P. 2004. Genotoxicity biomarkers in *Mytilus galloprovincialis* wild versus caged mussels. *Mut. Res.*, 552: 153-162.
- Bolognesi C., Rabboni R., Roggeri P. 1996. Genotoxicity biomarkers in *M. galloprovincialis* as indicators of marine pollutants. *Comp. Biochem. Physiol.*, 113C(2): 319-323.
- Bombace G., Fabi G., Fiorentini L., Speranza S. 1994. Analysis of the efficacy of artificial reefs located in five different areas of the Adriatic Sea. *Bull. Mar. Sci.*, 55(2-3): 559-580.
- Borja A., Mader J. 2008. *Instructions for the use of the AMBI index software (version 4.1)*. AZTI-Tecnalia. 13 pp.
- Borja A., Franco J., Pérez V. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environment. *Mar. Poll. Bull.*, 40(12): 1100-1114.
- Bourcier M., Nodot C., Jeudy De Grissac A., Tine J. 1979. Répartition des biocénoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France). *Tethys*, 9: 103-112.
- Bradford M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72(1-2): 248-254.
- Carro N., Cobas J., Maneiro J. 2006. Distribution of aliphatic compounds in bivalve mollusks from Galicia after the Prestige oil spill: Spatial and temporal trends. *Environ. Res.*, 100(3): 339-348.

- 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.
- Dondero F., Piacentini L., Banni M., Reselo M., Burlando B., Viarengo A. 2005. Quantitative PCR analysis of two molluscan metallothionein genes unveils differential expression and regulation. *Gene*, 345: 259-270.
- Donnini F., Dinelli E., Sangiorgi F., Fabbri E. 2007. A biological and geochemical integrated approach to assess the environmental quality of a coastal lagoon (Ravenna, Italy). *Environ. Int.*, 33(7): 919-928.
- 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 pp + allegati.
- 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. 2004a. *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., De Biasi A.M., Gomiero A., Kozinkova L., Penna P.G., Polidori P., Spagnolo A. 2015. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Tea - Rapporto conclusivo dal pre-survey al terzo anno successivo alla posa in opera della piattaforma (2006-2010)*. 251 + XLIV pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Borghini M., Campanelli A. De Biasi A.M., Gaetani A., Girasole M., Gomiero A., Kozinkova L., Polidori P., 2016. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Annamaria B - Piano Nazionale. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma. Rapporto finale di sei anni di indagine (dal pre-survey al 3° anno post lavori di installazione)*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS. 258 + CXVIII pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Borghini M., Campanelli A., De Biasi A.M., Ferrà Vega C., Gaetani A., Gomiero A., Kozinkova L. 2017. *Monitoraggio ambientale Pozzi sottomarini Bonaccia Est 2 e Bonaccia Est 3. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione dei pozzi sottomarini 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., Borghini M., Cassin D., De Biasi A.M., De Lazzari A., Girasole M., Gomiero A., Kozinkova L., Pellini G., Tasseti A.N. 2018a. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Fauzia - Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma. 4° anno della fase di produzione - Rapporto semestrale. Rapporto n. 13*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS. 199 + LV pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Borghini M., Cassin D., De Biasi A.M., De Lazzari A., Girasole M., Gomiero A., Kozinkova L., Scanu M., Tasseti A.N. 2018b. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Elettra - Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma. 4° anno della fase di produzione - Rapporto semestrale. Rapporto n. 13*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS. 188 + LV pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Armelloni E.N., Borghini M., Cassin D., De Biasi A.M., De Lazzari A., Kozinkova L., Salvalaggio V., Tasseti A.N. 2018c. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Bonaccia NW - Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma Bonaccia NW. Fase di produzione - Rapporto Finale 2° anno (dal pre-survey a dicembre 2017)*. Rapporto n. 6. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM DICS. 234 + LII pp.
- Fabi G., Spagnolo A., Borghini M., Cassin D., De Biasi A.M., De Lazzari A., Kozinkova L., Masnadi F., Montagnini L., Scanu M. 2018d. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Clara NW. Monitoraggio dell'area interessata dall'installazione della piattaforma Clara NW. Fase di produzione - 2° anno - Rapporto finale. Rapporto n. 8*. Rapporto per Eni S.p.A. – UPSTREAM, DICS. 217 + XLV pp.

- Fattorini D., Notti A., Di Mento R., Cicero A.M., Gabellini M., Russo A., Regoli F. 2008. Seasonal, spatial and inter-annual variations of trace metals in mussels from the Adriatic Sea: a regional gradient for arsenic and implications for monitoring the impact of offshore activities. *Chemosphere*, 72: 1524–1533.
- Fisher W., Bauchot M.L., Schneider M. (Eds). 1987. *Fishes FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. (Révision 1) Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37. Vol. 1. Végétaux et Invertébrés*. Publication préparée par la FAO, résultat d'un accord entre la FAO et la Commission des Communautés Européennes (Project GCP/INT/422/EEC) financée conjointement par ces deux organizations. Rome, FAO. 760 pp.
- Gomiero A., Da Ros L., Meneghetti F., Nasci C., Spagnolo A., Fabi G. 2011. Integrated use of biomarkers in the mussel *Mytilus galloprovincialis* for assessing off-shore gas platforms in the Adriatic Sea: Results of a two-year biomonitoring program. *Mar. Pollut. Bull.*, 62(11): 2483-2495.
- Gomiero A., Volpato E., Nasci C., Perra G., Viarengo A., Dagnino A., Spagnolo A., Fabi G. 2015. Use of multiple cell and tissue-level biomarkers in mussels collected along two gas fields in the northern Adriatic Sea as a tool for long term environmental monitoring. *Mar. Pollut. Bull.*, 93 (1-2): 228-244.
- Gorbi S., Lamberti C.V., Notti A., Benedetti M., Fattorini D., Moltedo G., Regoli F. 2008. An ecotoxicological protocol with caged mussels, *Mytilus galloprovincialis*, for monitoring the impact of an offshore platform in the Adriatic sea. *Mar. Environ. Res.*, 65(1): 34-49.
- Grasshoff K., Cremling K., Erhardt M. 1999. *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, Weinheim, Germany. 600 pp.
- Higuchi R., Fockler C., Dollinger G., Watson R. 1993. Kinetic PCR analysis: real-time monitoring of DNA amplification reactions. *Biotechnology (NY)*, 11 (9): 1026-1030.
- 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.
- IRSA-CNR. 1994. *Metodi analitici per le acque*. Istituto poligrafico e zecca dello Stato, Roma.
- ISO 2011. *Soil quality - 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.
- Lima I., Moreira S. M., Rendón-Von Osten J., Soares A.M.V.M., Guilhermino L. 2007. Biochemical responses of the marine mussel *Mytilus galloprovincialis* to petrochemical environmental contamination along the north-western coast of Portugal. *Chemosphere*, 66(7): 1230-1242.
- Livak J., Schmittgen T.D. 2001. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2⁻ $\Delta\Delta$ CT. *Methods*, 25: 402-408.
- 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.
- Michael X.R., Cassand P.M., Ribera D. G. Narbonne J. F. 1992. Metabolism and mutagenic activation of benzo(a)pyrene by subcellular fractions from mussel (*Mytilus galloprovincialis*) digestive gland and sea bass (*Discenthrarcus labrax*) liver. *Comp. Biochem. Physiol.*, 103C(1): 43-51.

- Muxika I., Borja A., Bald J. 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Framework Directive. *Mar. Poll. Bull.*, 55: 13-29.
- Nodot C., Bourcier M., Juedy De Grissac A., Hursner S., Regis J., Tine J. 1984. Répartition des biocénoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France). 2. La Grande Rade. *Tethys*, 11: 141-153.
- Ottaviani E., Franceschini C. 1997. The invertebrate phagocytic immunocyte: clues to a common evolution of immune and neuroendocrine system. *Immunology Today*, 18: 169-174.
- Pérès J.M., Picard J. 1964. Nouveau Manuel de Bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Recl. Trav. St. Mar. Endoume*, 31(47). 137 pp.
- Petrovic S., Semencic L., Ozetic B., Orzetic M. 2004. Seasonal variations of physiological and cellular biomarkers and their use in the biomonitoring of north Adriatic coastal waters (Croatia). *Mar. Pollut. Bull.*, 49(9-10): 713-720.
- 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.
- Saggiomo V., Catalano G., Ribera d'Alcalà M. 1990. Ossigeno disciolto. Pagg. 91-103, in: Innamorati M., Ferrari I., Marino D., Ribera d'Alcalà M. (Eds.), *Metodi nell'ecologia del plancton marino*. Nova Thalassia, 11.
- 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.
- Scarcella G., Grati F., Fabi G. 2011. Temporal and Spatial Variation of the Fish Assemblage Around a Gas Platform in the Northern Adriatic Sea, Italy. *Turkish J. Fish. Aquatic Sci.*, 11: 433-444.
- Schlitzer R., 2014. *Ocean Data View*. <http://odv.awi.de>.
- Simboura N., Zenetos A. 2002. Benthic indicators to use in ecological quality classification of Mediterranean soft bottom marine ecosystem, including a new biotic index. *Mediterr. Mar. Sci.*, 3: 77-111.
- Strickland J.D.H., Parsons T.R. 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167. 310 pp.
- 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 tricorutum*. UNI EN ISO 10253:2000. 14 pp.
- UNESCO. 1983. *Algorithms for computation of fundamental properties of seawater*. Tech. Pap. Mar. Sci., 44. 53 pp.
- UNESCO. 1988. *The acquisition, calibration, and analysis of CTD data*. Tech. Pap. Mar. Sci., 54. 59 pp.

- USEPA. 1991. *Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms -Section 14- Green alga Selenastrum capricornutum growth test - Method 1003.0*. EPA/600/4-91/002. 334 pp.
- USEPA. 1995. *Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluent and receiving waters to west coast marine and estuarine organisms*. EPA/600/R-95/136. 15 pp.
- Viarengo A., Canesi L. 1991. Mussels as biological indicators of pollution. *Aquaculture*, 94(2–3): 225–243.
- Vidussi F., Claustre H., Bustillos-Guzmán J., Cailliau C., Marty J.C. 1996. Determination of Chlorophylls and carotenoids of marine phytoplankton: separation of Chlorophyll a from divinylChlorophyll a and zeaxanthin from lutein. *J. Plankton Res.*, 18(12): 2377-2382.
- Whitehead P.J.P., Bauchot M.L., Hureau J.C., Nielsen J., Tortonese E. (eds). 1986. *Fishes of the North- Eastern Atlantic and Mediterranean*. UNESCO, Voll. 1-2-3. 1473 pp.
- Winkler L.W. 1888. Die Bestimmung des im Wasser gelosten Sauerstoffes. *Chem. Ber.*, 21: 2843-2855.
- Zar J.H. 1984. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 663 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.

A2-VI TSQ™ 9000 TRIPLE QUADRUPOLE GC-MS/MS SYSTEM



A2-VII GAS-CROMATOGRAFO DOPPIA COLONNA, RIVELATORE FID - PERKIN ELMER SIGMA3B – DUAL FID



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

A1-VIII DMA 80 per la misurazione 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-IX 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-X VARIAN ICP-720ES per la misurazione di ALLUMINIO, BARIO, CROMO, NICHEL, RAME, SILICIO, FERRO, VANADIO, ZINCO, MANGANESE, MAGNESIO, TITANIO, GALLIO, ZIRCONIO E STAGNO



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

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



A2

INDAGINI SULLA COMUNITA' BENTONICA

A2-I BENNA VAN VEEN



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

A2-II SETACCIO



Materiale	Lato maglia (mm)
Acciaio inox	0,5

A2-III MICROSCOPIO STEREO ZEISS STEMI 2000-C



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

A2-IV MICROSCOPIO OTTICO ZEISS AXIOLAB



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

A2-V BILANCIA ANALITICA



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

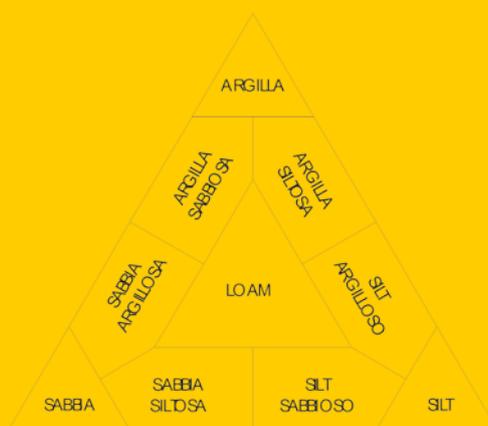
ALLEGATO B

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

K5 - K10

5° SURVEY POST LAVORI DI INSTALLAZIONE

1° semestre 2018



Stazione C1 (100 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	50,4
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

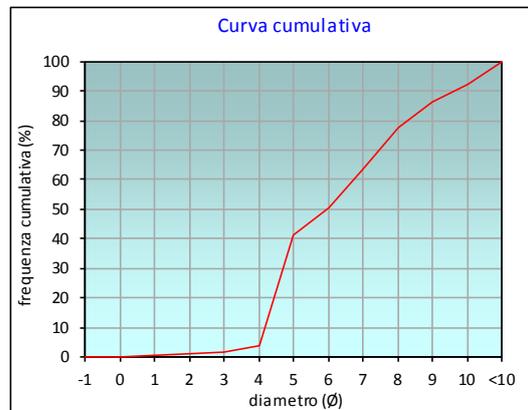
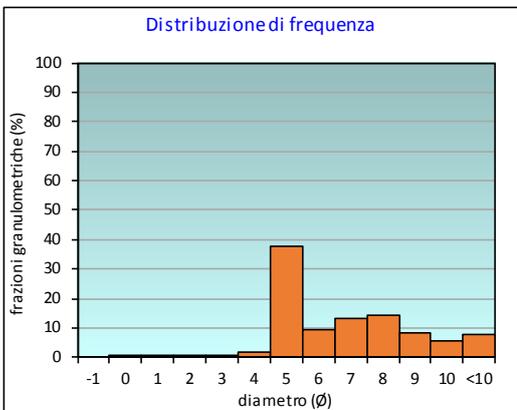
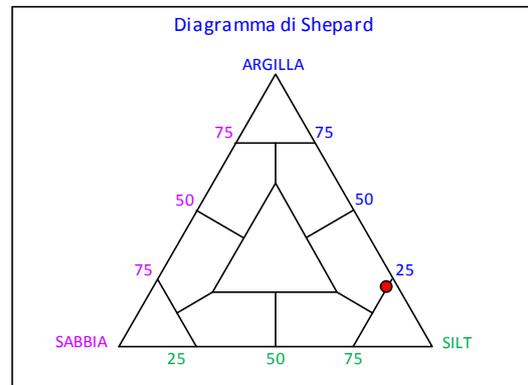
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,34	5	4,03
Mediana	M _d	5,96	16	4,33
Classazione	σ	2,06	25	4,57
Asimmetria	S _{ki}	0,32	50	5,96
Appuntimento	K _c	0,80	75	7,80
			84	8,73
			95	10,37

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,5	0,6
	2	250	0,5	1,1
	3	125	0,8	1,9
	4	62,5	1,9	3,7
LIMO	5	31,2	37,5	41,2
	6	15,6	9,2	50,4
	7	7,8	13,2	63,6
	8	3,9	14,2	77,8
ARGILLA	9	2	8,5	86,3
	10	0,98	5,8	92,1
	<10	<0,98	7,9	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	3,7	74,0	22,2

NOTE	
n.d.	

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



Stazione C2 (60 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	49,9
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

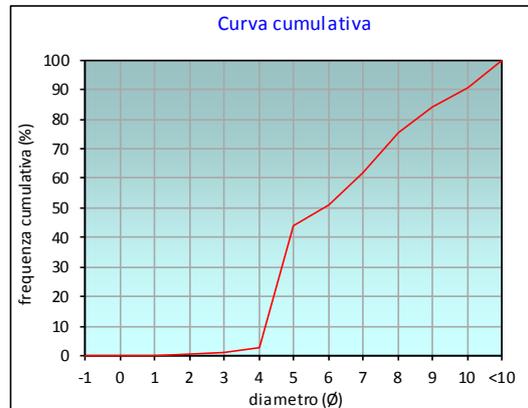
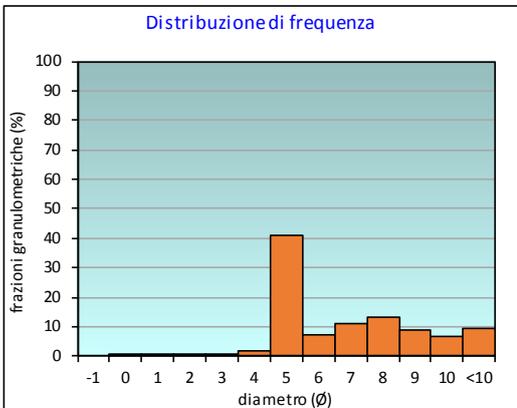
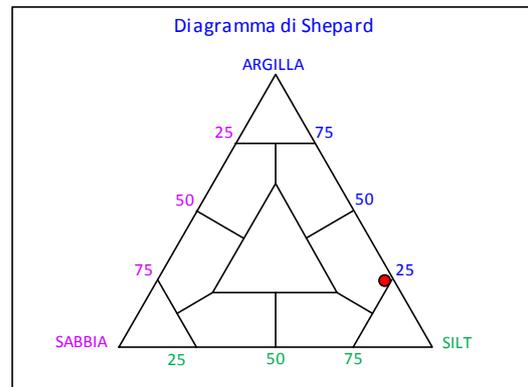
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,38	5	4,05
Mediana	M _d	5,85	16	4,32
Classazione	σ	2,14	25	4,54
Asimmetria	S _{ki}	0,39	50	5,85
Appuntimento	K _c	0,76	75	7,98
			84	8,98
			95	10,46

	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	1,8	2,9
LIMO	5	31,2	40,8	43,7
	6	15,6	7,4	51,1
	7	7,8	10,8	61,9
	8	3,9	13,3	75,2
ARGILLA	9	2	8,9	84,2
	10	0,98	6,6	90,8
	<10	<0,98	9,2	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	2,9	72,3	24,8

NOTE
n.d.

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



Stazione C3 (30 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	48,1
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

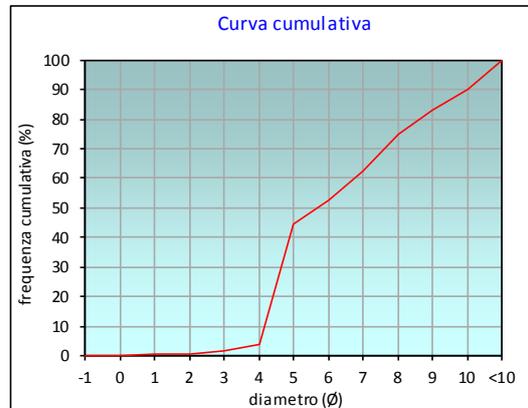
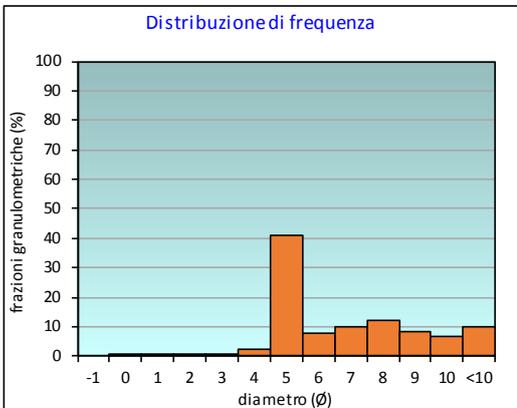
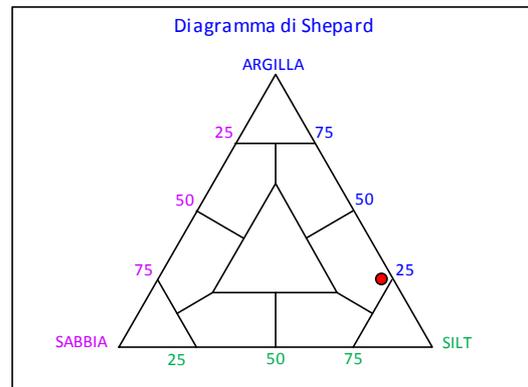
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,37	5	4,03
Mediana	M _d	5,67	16	4,30
Classazione	σ	2,19	25	4,52
Asimmetria	S _{ki}	0,46	50	5,67
Appuntimento	K _c	0,75	75	8,04
			84	9,13
			95	10,50

	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	0,8	1,6
	4	62,5	2,0	3,6
LIMO	5	31,2	41,0	44,6
	6	15,6	8,0	52,6
	7	7,8	9,9	62,6
	8	3,9	12,1	74,7
ARGILLA	9	2	8,5	83,1
	10	0,98	6,8	90,0
	<10	<0,98	10,0	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	3,6	71,1	25,3

NOTE
n.d.

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



Stazione C4 (SEA-LINE)

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

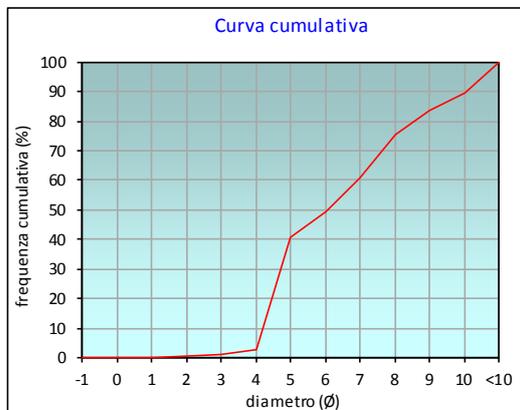
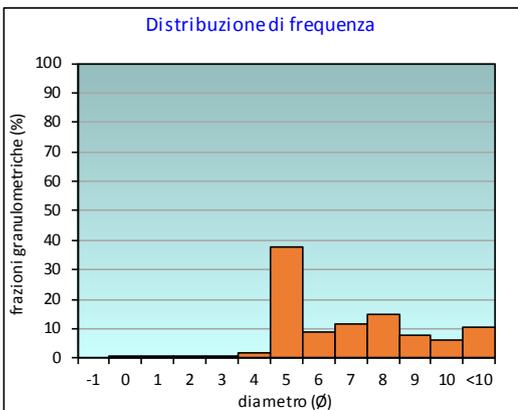
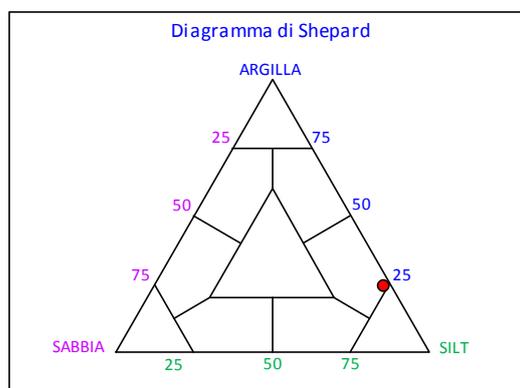
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,50	5	4,06
Mediana	M _d	6,06	16	4,35
Classazione	σ	2,17	25	4,59
Asimmetria	S _{ki}	0,33	50	6,06
Appuntimento	K _c	0,78	75	7,97
			84	9,10
			95	10,52

	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	0,2	0,4
	3	125	0,6	1,0
	4	62,5	1,8	2,7
LIMO	5	31,2	37,9	40,7
	6	15,6	8,7	49,3
	7	7,8	11,4	60,7
	8	3,9	14,8	75,4
ARGILLA	9	2	7,9	83,3
	10	0,98	6,4	89,7
	<10	<0,98	10,3	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	2,7	72,7	24,6

NOTE
n.d.

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



Stazione C5 (30 m SSE)

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

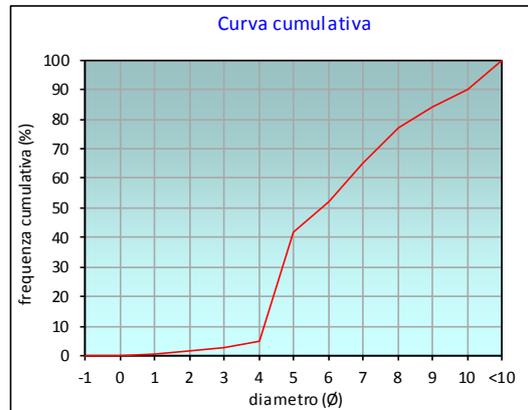
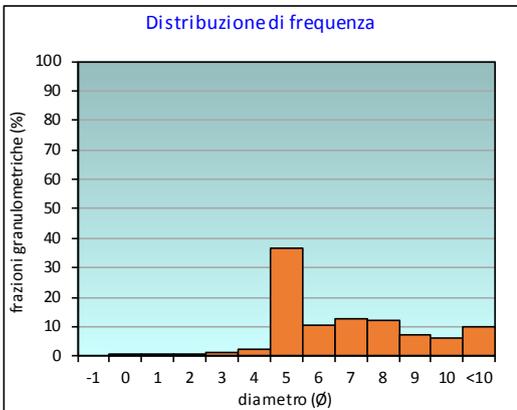
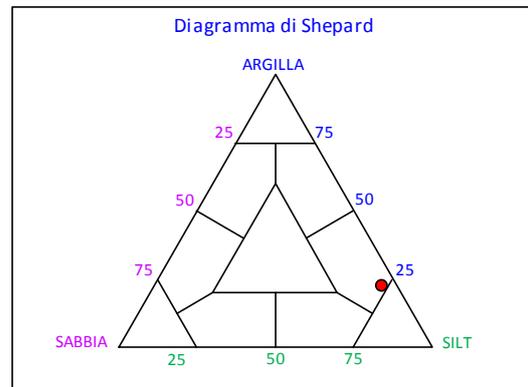
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,36	5	4,00
Mediana	M _d	5,79	16	4,30
Classazione	σ	2,16	25	4,55
Asimmetria	S _{ki}	0,41	50	5,79
Appuntimento	K _c	0,81	75	7,85
			84	8,99
			95	10,49

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,1	0,1
SABBIA	1	500	0,6	0,7
	2	250	0,8	1,5
	3	125	1,3	2,8
	4	62,5	2,2	5,0
LIMO	5	31,2	36,6	41,6
	6	15,6	10,6	52,2
	7	7,8	12,6	64,9
	8	3,9	12,0	76,8
ARGILLA	9	2	7,2	84,1
	10	0,98	6,1	90,1
	<10	<0,98	9,9	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	5,0	71,8	23,2

NOTE	
n.d.	

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



Stazione C6 (60 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	48,1
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

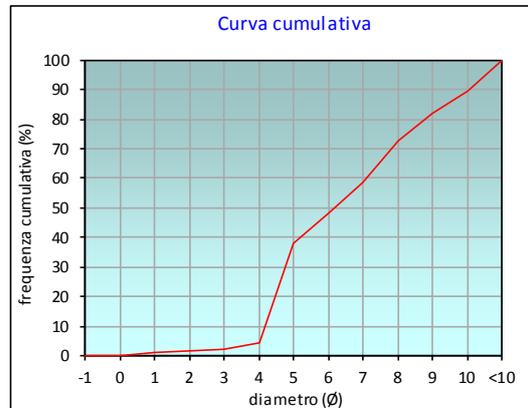
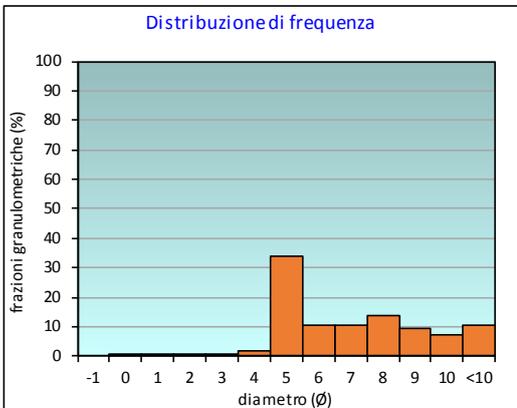
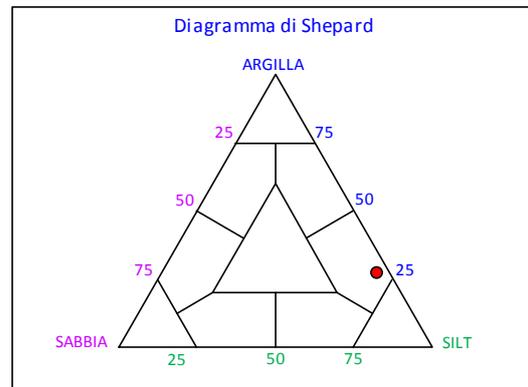
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,60	5	4,03
Mediana	M _d	6,17	16	4,35
Classazione	σ	2,22	25	4,62
Asimmetria	S _{ki}	0,30	50	6,17
Appuntimento	K _c	0,73	75	8,26
			84	9,28
			95	10,53

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,2	0,2
SABBIA	1	500	0,7	0,8
	2	250	0,7	1,5
	3	125	0,9	2,4
	4	62,5	1,7	4,1
LIMO	5	31,2	33,7	37,9
	6	15,6	10,4	48,2
	7	7,8	10,4	58,6
	8	3,9	13,9	72,5
ARGILLA	9	2	9,4	81,9
	10	0,98	7,4	89,3
	<10	<0,98	10,7	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	4,1	68,4	27,5

NOTE
n.d.

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



Stazione C7 (100 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	44,2
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

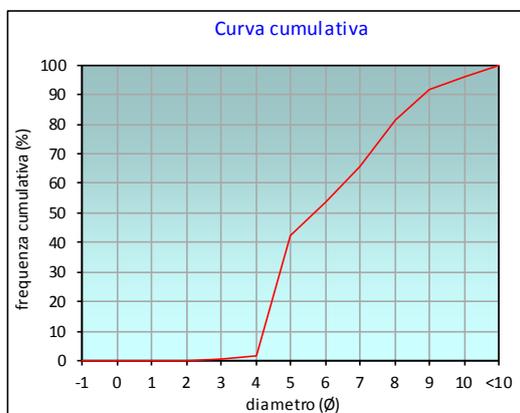
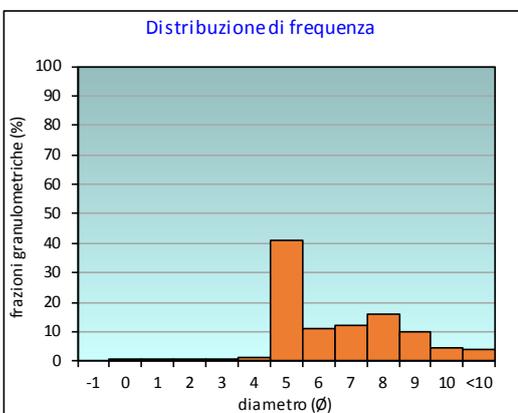
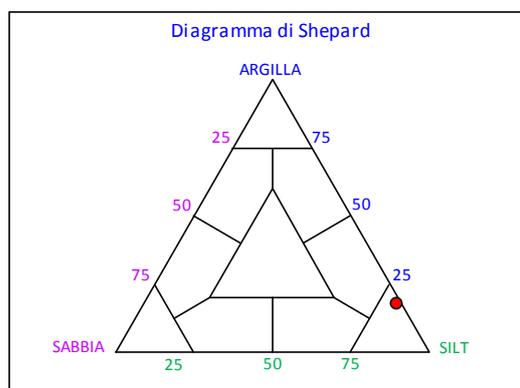
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,09	5	4,09
Mediana	M _d	5,68	16	4,35
Classazione	σ	1,83	25	4,57
Asimmetria	S _{ki}	0,38	50	5,68
Appuntimento	K _c	0,77	75	7,58
			84	8,25
			95	9,75

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	0,0	0,0
	2	250	0,1	0,1
	3	125	0,3	0,4
	4	62,5	1,1	1,5
LIMO	5	31,2	41,0	42,4
	6	15,6	11,1	53,6
	7	7,8	12,3	65,9
	8	3,9	15,7	81,6
ARGILLA	9	2	9,9	91,5
	10	0,98	4,7	96,2
	<10	<0,98	3,8	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	1,5	80,1	18,4

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt
Classazione	Mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Platicurtica



Stazione K5

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	40,6
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

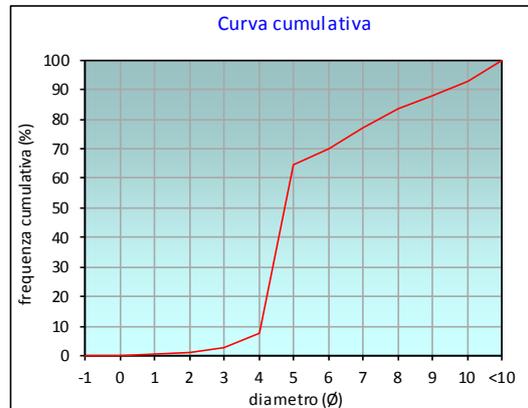
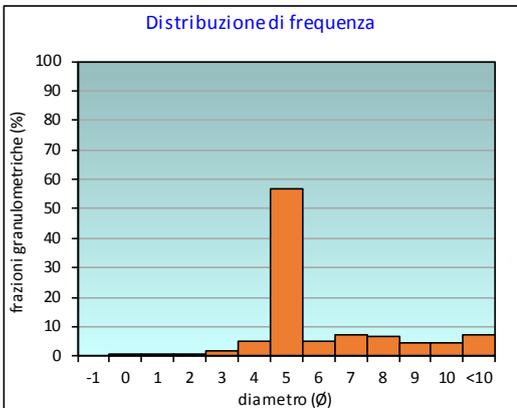
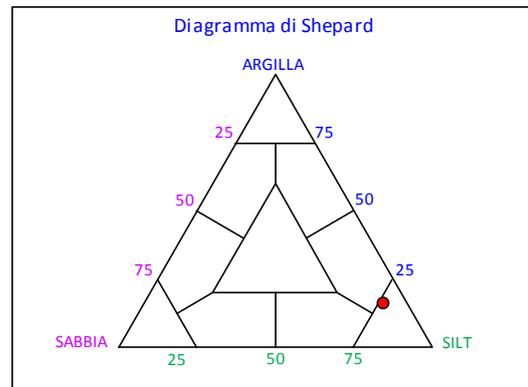
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,65	5	3,48
Mediana	M _d	4,74	16	4,15
Classazione	σ	2,02	25	4,30
Asimmetria	S _{ki}	0,66	50	4,74
Appuntimento	K _c	1,17	75	6,70
			84	8,07
			95	10,33

	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	0,6	1,0
	3	125	1,5	2,5
	4	62,5	5,3	7,7
LIMO	5	31,2	56,8	64,6
	6	15,6	5,2	69,8
	7	7,8	7,5	77,3
	8	3,9	6,5	83,7
ARGILLA	9	2	4,4	88,1
	10	0,98	4,4	92,5
	<10	<0,98	7,5	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	7,7	76,0	16,3

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Leptocurtica



Stazione K6

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

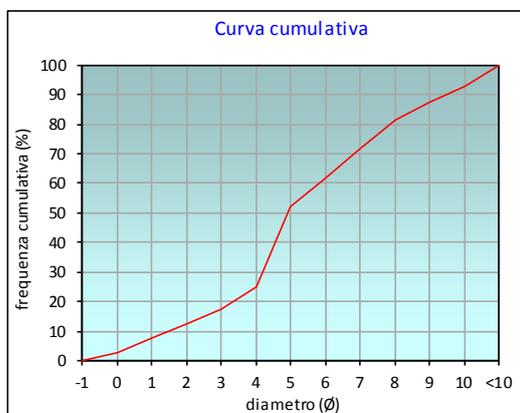
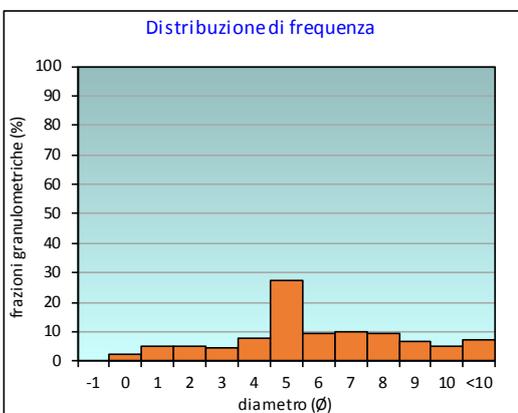
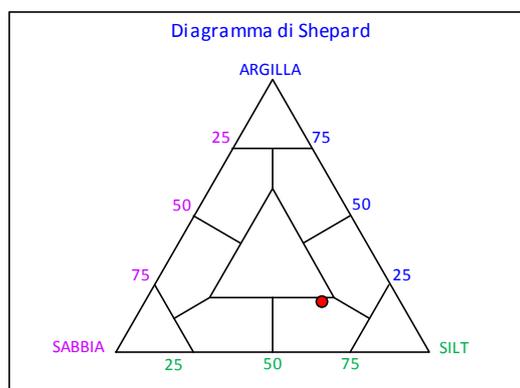
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,36	5	0,50
Mediana	M _d	4,92	16	2,73
Classazione	σ	2,92	25	4,00
Asimmetria	S _{ki}	0,17	50	4,92
Appuntimento	K _c	1,21	75	7,34
			84	8,44
			95	10,32

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	2,5	2,5
SABBIA	1	500	5,1	7,6
	2	250	5,0	12,6
	3	125	4,7	17,3
	4	62,5	7,7	25,0
LIMO	5	31,2	27,3	52,3
	6	15,6	9,6	61,9
	7	7,8	10,0	71,8
	8	3,9	9,3	81,2
ARGILLA	9	2	6,4	87,6
	10	0,98	5,0	92,6
	<10	<0,98	7,4	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	25,0	56,2	18,8

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt sabbioso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Asimmetrica positiva
Appuntimento	Leptocurtica



Stazione K7

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	53,8
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

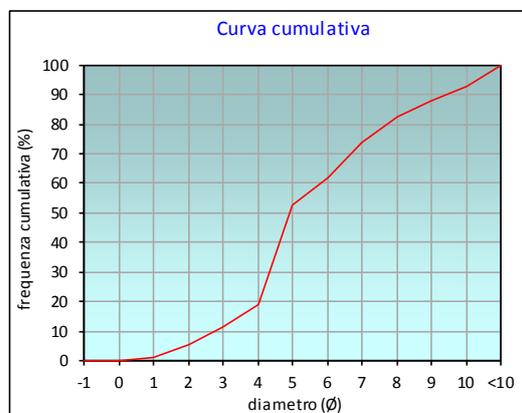
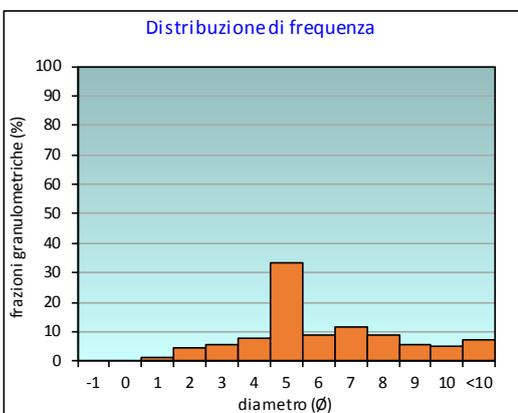
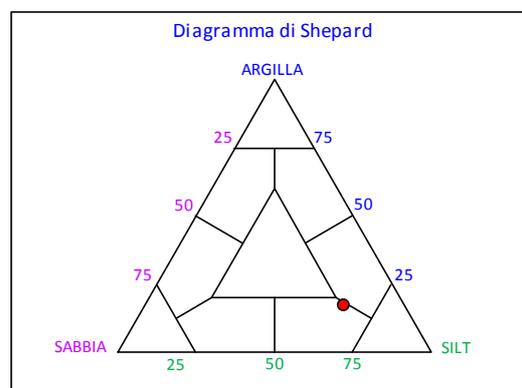
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,61	5	1,88
Mediana	M _d	4,92	16	3,59
Classazione	σ	2,46	25	4,17
Asimmetria	S _{ki}	0,36	50	4,92
Appuntimento	K _c	1,16	75	7,17
			84	8,32
			95	10,33

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	1,2	1,2
	2	250	4,3	5,5
	3	125	5,8	11,3
	4	62,5	7,9	19,2
LIMO	5	31,2	33,4	52,6
	6	15,6	9,1	61,8
	7	7,8	11,8	73,5
	8	3,9	8,8	82,3
ARGILLA	9	2	5,4	87,6
	10	0,98	4,9	92,5
	<10	<0,98	7,5	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	19,2	63,1	17,7

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt sabbioso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Leptocurtica



Stazione D1 (100 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	48,1
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

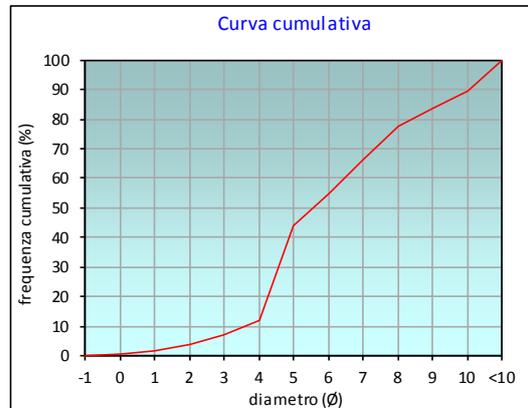
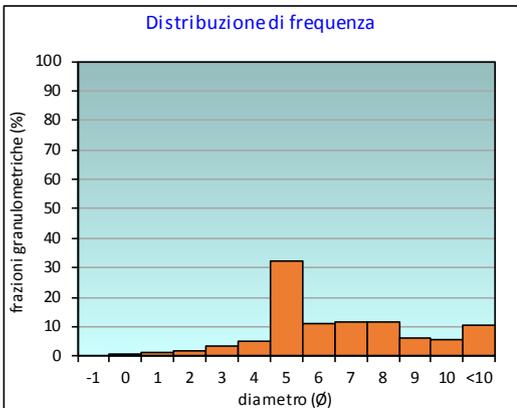
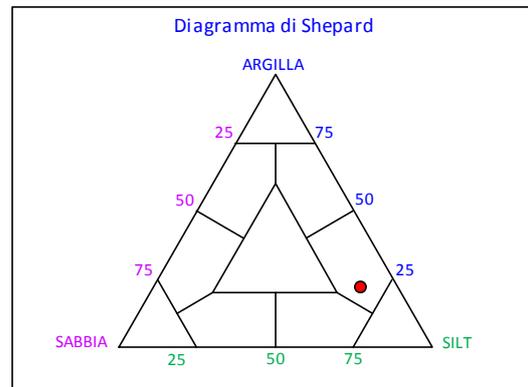
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,25	5	2,45
Mediana	M _d	5,57	16	4,13
Classazione	σ	2,45	25	4,41
Asimmetria	S _{ki}	0,32	50	5,57
Appuntimento	K _c	0,99	75	7,76
			84	9,04
			95	10,52

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,4	0,4
SABBIA	1	500	1,2	1,6
	2	250	1,9	3,5
	3	125	3,3	6,8
	4	62,5	5,1	11,9
LIMO	5	31,2	32,0	43,9
	6	15,6	10,8	54,7
	7	7,8	11,5	66,2
	8	3,9	11,5	77,7
ARGILLA	9	2	6,0	83,8
	10	0,98	5,8	89,5
	<10	<0,98	10,5	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	11,9	65,8	22,3

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Mesocurtica



Stazione D2 (60 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	45,0
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

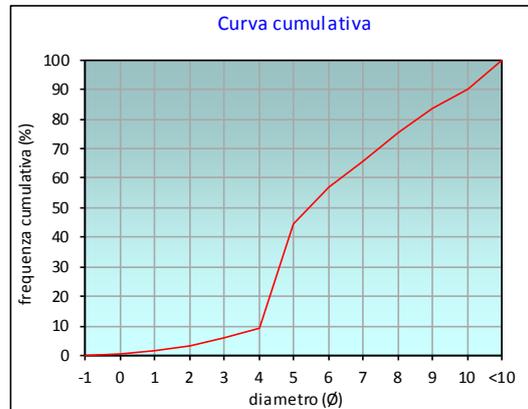
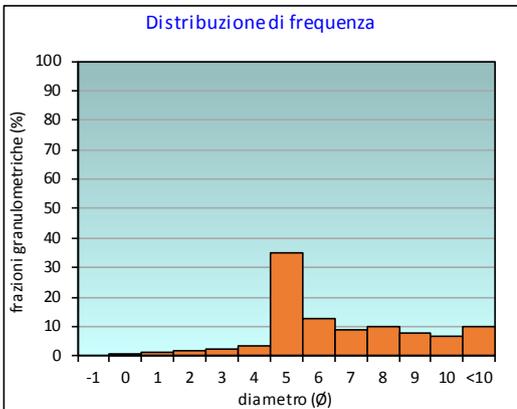
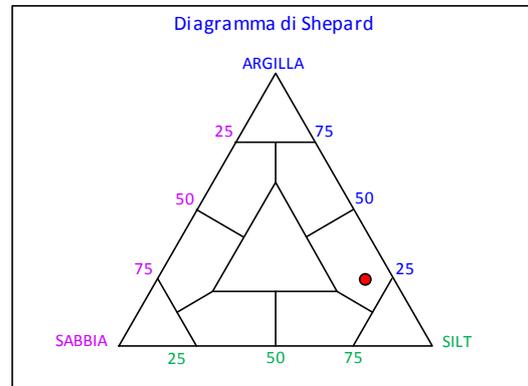
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE		ϕ
Media	M_f	6,24	5	2,66	
Mediana	M_d	5,45	16	4,19	
Classazione	σ	2,41	25	4,45	
Asimmetria	S_{ki}	0,39	50	5,45	
Appuntimento	K_c	0,92	75	7,94	
			84	9,08	
			95	10,49	

	ϕ	μm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
SABBIA	0	1000	0,6	0,6
	1	500	1,2	1,8
	2	250	1,6	3,4
	3	125	2,5	5,9
LIMO	4	62,5	3,5	9,4
	5	31,2	35,1	44,4
	6	15,6	12,4	56,9
	7	7,8	8,8	65,7
ARGILLA	8	3,9	9,9	75,5
	9	2	7,9	83,5
	10	0,98	6,7	90,2
	<10	<0,98	9,8	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	9,4	66,2	24,5

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt argilloso
Classazione	Molto mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Mesocurtica



Stazione D3 (30 m NNW)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	44,9
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

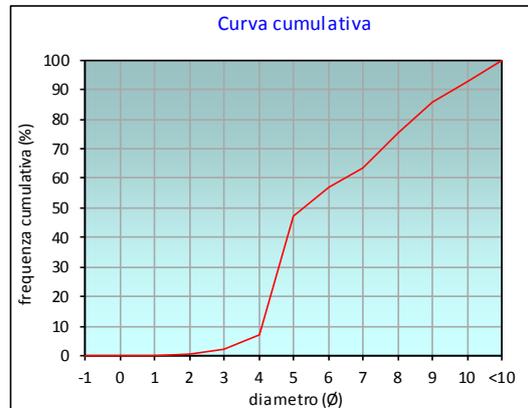
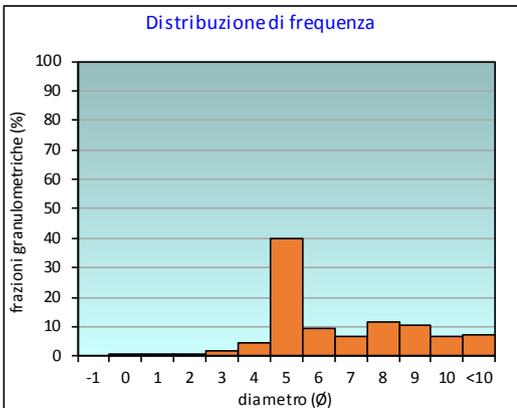
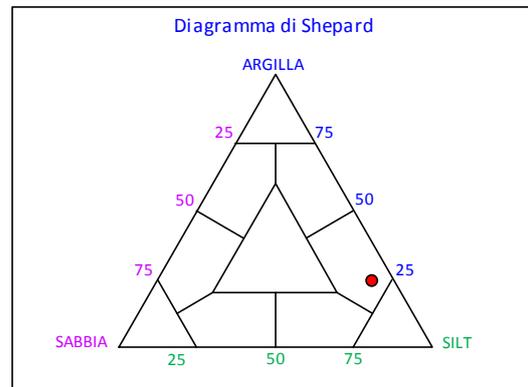
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,11	5	3,55
Mediana	M _d	5,30	16	4,22
Classazione	σ	2,18	25	4,45
Asimmetria	S _{ki}	0,51	50	5,30
Appuntimento	K _c	0,79	75	7,98
			84	8,82
			95	10,32

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	0,1	0,2
	2	250	0,3	0,5
	3	125	1,9	2,4
	4	62,5	4,7	7,1
LIMO	5	31,2	40,0	47,1
	6	15,6	9,6	56,7
	7	7,8	6,8	63,5
	8	3,9	11,8	75,3
ARGILLA	9	2	10,6	85,9
	10	0,98	6,7	92,7
	<10	<0,98	7,3	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	7,1	68,2	24,7

NOTE
n.d.

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



Stazione D4 (SEA-LINE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	42,9
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

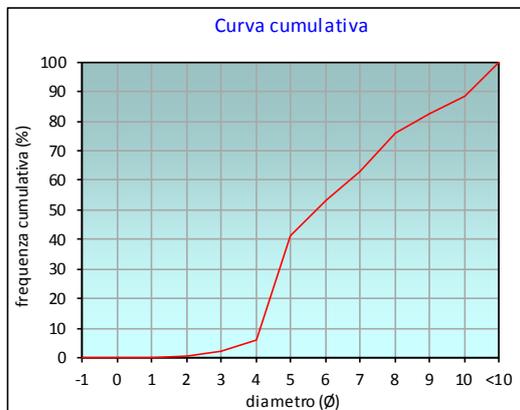
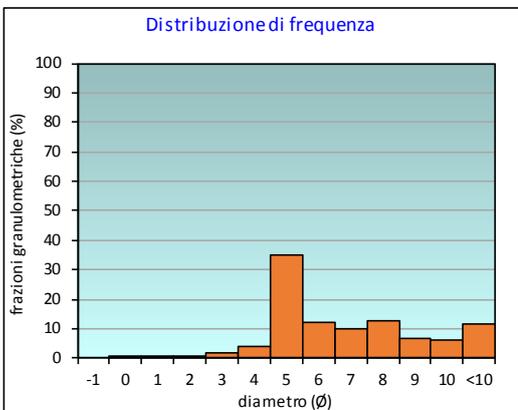
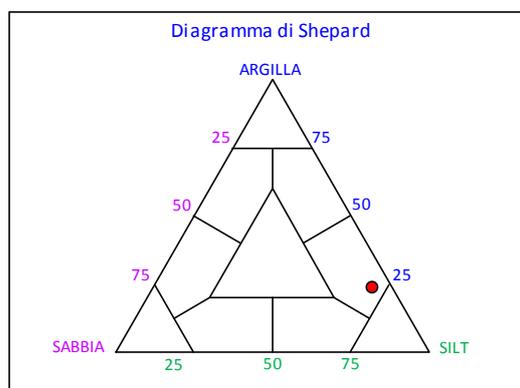
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,43	5	3,69
Mediana	M _d	5,73	16	4,28
Classazione	σ	2,29	25	4,54
Asimmetria	S _{ki}	0,41	50	5,73
Appuntimento	K _c	0,83	75	7,94
			84	9,29
			95	10,56

	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	0,6
	3	125	1,7	2,3
	4	62,5	3,9	6,2
LIMO	5	31,2	35,0	41,1
	6	15,6	12,1	53,3
	7	7,8	9,8	63,1
	8	3,9	12,6	75,7
ARGILLA	9	2	6,5	82,2
	10	0,98	6,3	88,5
	<10	<0,98	11,5	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	6,2	69,5	24,3

NOTE
n.d.

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



Stazione D5 (30 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	44,5
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

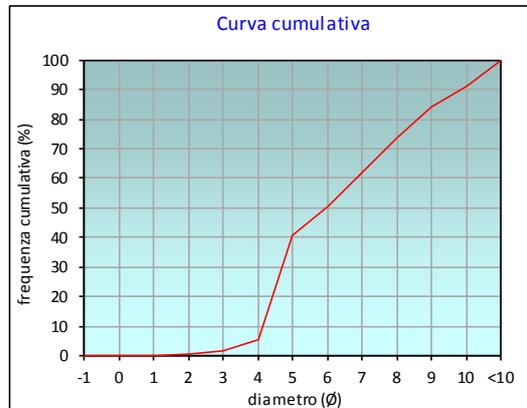
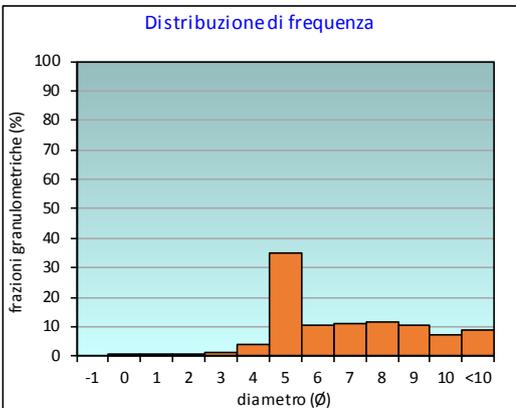
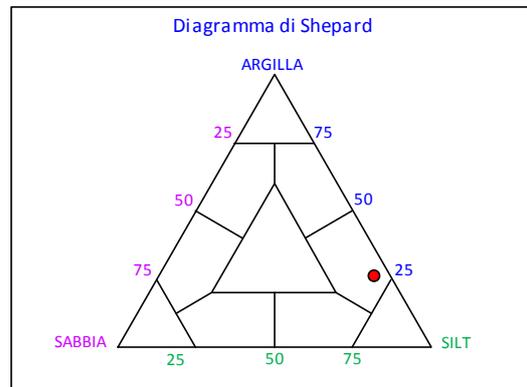
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,41	5	3,88
Mediana	M _d	5,93	16	4,30
Classazione	σ	2,17	25	4,56
Asimmetria	S _{ki}	0,34	50	5,93
Appuntimento	K _c	0,75	75	8,12
			84	9,00
			95	10,43

	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	1,2	1,7
	4	62,5	3,8	5,4
LIMO	5	31,2	35,0	40,4
	6	15,6	10,3	50,7
	7	7,8	11,3	62,0
	8	3,9	11,8	73,8
ARGILLA	9	2	10,2	84,0
	10	0,98	7,2	91,2
	<10	<0,98	8,8	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	5,4	68,3	26,2

NOTE
n.d.

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



Stazione D6 (60 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	38,6
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

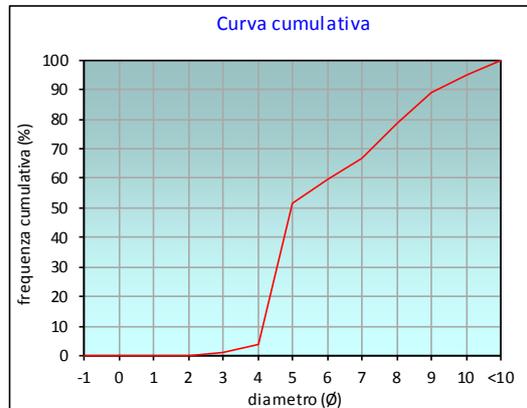
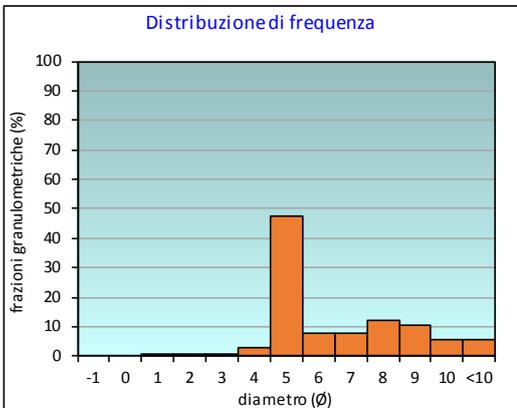
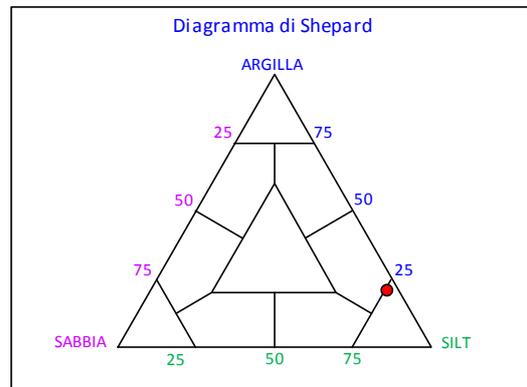
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,91	5	4,03
Mediana	M _d	4,97	16	4,26
Classazione	σ	1,98	25	4,45
Asimmetria	S _{ki}	0,68	50	4,97
Appuntimento	K _c	0,76	75	7,68
			84	8,51
			95	10,06

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	0,0	0,0
	2	250	0,2	0,2
	3	125	0,7	0,9
	4	62,5	2,8	3,7
LIMO	5	31,2	47,7	51,5
	6	15,6	7,9	59,4
	7	7,8	7,5	66,9
	8	3,9	11,9	78,8
ARGILLA	9	2	10,2	89,1
	10	0,98	5,6	94,7
	<10	<0,98	5,3	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	3,7	75,1	21,2

NOTE
n.d.

CLASSIFICAZIONE	
Shepard	Silt
Classazione	Mal classato
Asimmetria	Molto positiva
Appuntimento	Platicurtica



Stazione D7 (100 m SSE)

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	52,2
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

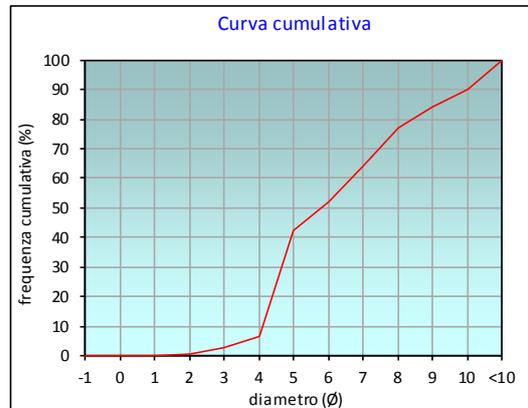
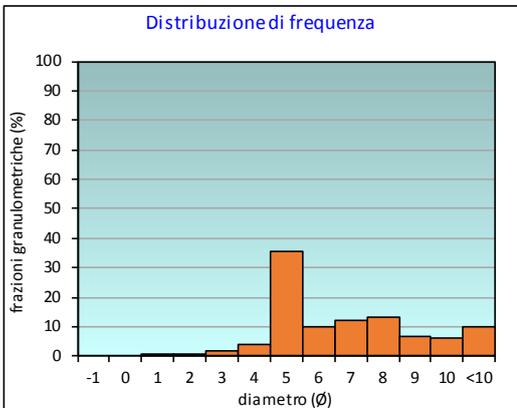
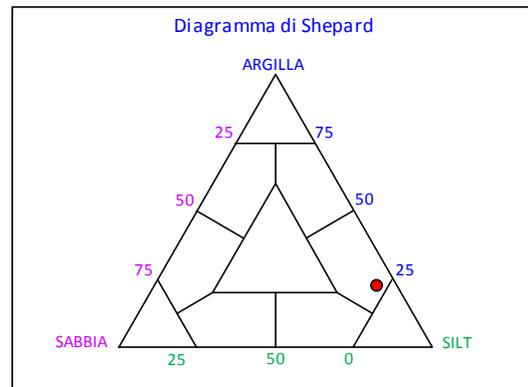
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,36	5	3,61
Mediana	M _d	5,79	16	4,26
Classazione	σ	2,23	25	4,52
Asimmetria	S _{ki}	0,36	50	5,79
Appuntimento	K _c	0,85	75	7,83
			84	9,01
			95	10,50

	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	0,5	0,7
	3	125	1,9	2,6
	4	62,5	4,0	6,5
LIMO	5	31,2	35,7	42,3
	6	15,6	9,7	52,0
	7	7,8	11,9	63,9
	8	3,9	13,4	77,2
ARGILLA	9	2	6,7	83,9
	10	0,98	6,0	89,9
	<10	<0,98	10,1	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	6,5	70,7	22,8

NOTE
n.d.

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



Stazione K8

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	47,1
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

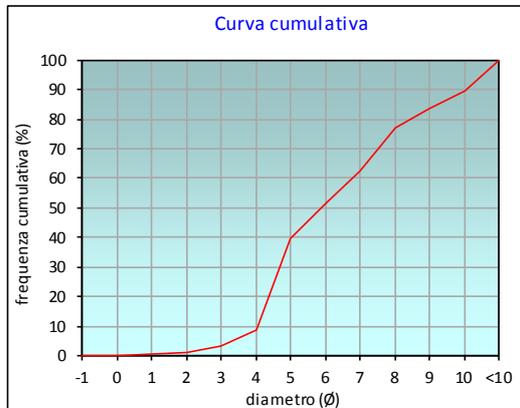
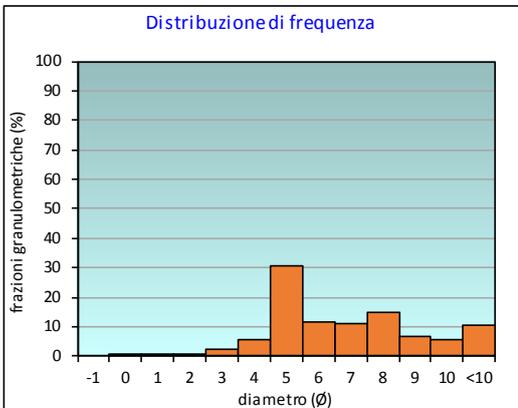
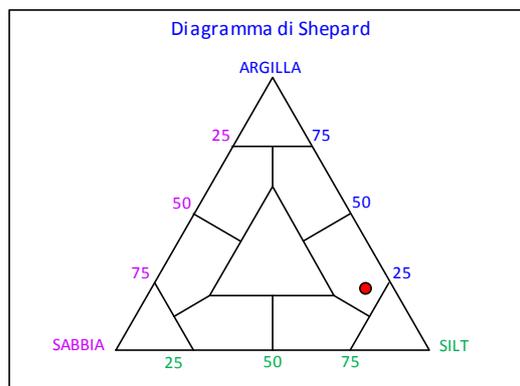
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,39	5	3,30
Mediana	M _d	5,89	16	4,23
Classazione	σ	2,30	25	4,53
Asimmetria	S _{ki}	0,30	50	5,89
Appuntimento	K _c	0,89	75	7,86
			84	9,04
			95	10,52

	Ø	µm	%	Freq. Comul. %
GHIAIA	-1	2000	0,0	0,0
	0	1000	0,0	0,0
SABBIA	1	500	0,2	0,3
	2	250	0,7	1,0
	3	125	2,4	3,4
	4	62,5	5,5	8,9
LIMO	5	31,2	30,6	39,5
	6	15,6	11,8	51,3
	7	7,8	11,1	62,4
	8	3,9	14,7	77,1
ARGILLA	9	2	6,7	83,8
	10	0,98	5,8	89,5
	<10	<0,98	10,5	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	8,9	68,2	22,9

NOTE	
n.d.	

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



Stazione K9

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	43,3
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

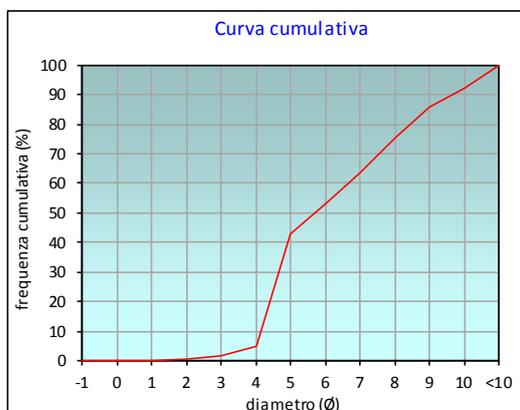
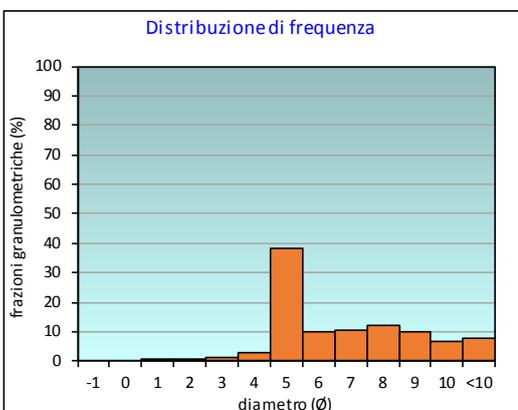
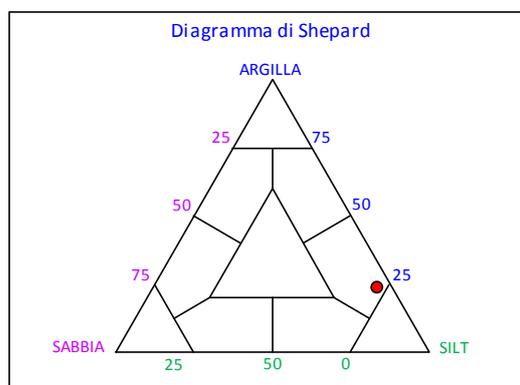
PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	6,28	5	4,01
Mediana	M _d	5,70	16	4,29
Classazione	σ	2,10	25	4,53
Asimmetria	S _{ki}	0,42	50	5,70
Appuntimento	K _c	0,76	75	7,95
			84	8,85
			95	10,36

	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	0,3	0,4
	3	125	1,3	1,7
	4	62,5	3,0	4,8
LIMO	5	31,2	38,3	43,0
	6	15,6	9,9	52,9
	7	7,8	10,4	63,4
	8	3,9	12,3	75,7
ARGILLA	9	2	9,8	85,5
	10	0,98	6,7	92,2
	<10	<0,98	7,8	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	4,8	70,9	24,3

NOTE
n.d.

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



Stazione K10

PARAMETRI FISICI	
Peso specifico (g/cm ³)	n.d.
Umidità (%)	41,2
Colore MUNSEL (codice)	n.d.
Colore MUNSEL (nome)	n.d.

PARAMETRI STATISTICI			PERCENTILE	
Media	M _i	5,94	5	3,97
Mediana	M _d	4,94	16	4,23
Classazione	σ	2,06	25	4,42
Asimmetria	S _{ki}	0,68	50	4,94
Appuntimento	K _c	0,80	75	7,64
			84	8,64
			95	10,25

	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	0,2	0,3
	3	125	1,0	1,3
	4	62,5	3,8	5,1
LIMO	5	31,2	47,6	52,7
	6	15,6	7,6	60,3
	7	7,8	8,8	69,1
	8	3,9	9,2	78,3
ARGILLA	9	2	8,8	87,2
	10	0,98	6,1	93,3
	<10	<0,98	6,7	100,0

CLASSE GRANULOMETRICA			
GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
0,0	5,1	73,2	21,7

NOTE	
n.d.	

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

