

ENI S.p.A. - DIVISIONE E&P

**SERVIZI DI MONITORAGGIO AMBIENTALE
CAMPO ANNAMARIA B**

**MONITORAGGIO DELL'AREA INTERESSATA
DALL'INSTALLAZIONE DEL SEA-LINE
COLLEGANTE LE PIATTAFORME ANNAMARIA B -
ANNAMARIA A**

**V SURVEY DOPO I LAVORI DI INSTALLAZIONE
(I SEMESTRE 2012)**

OPERATORE SCIENTIFICO:
CNR – ISMAR SEDE DI ANCONA

RESPONSABILE SCIENTIFICO:
GIANNA FABI

RAPPORTO A CURA DI:
GIANNA FABI
ANNA MARIA DE BIASI
CRISTINA NASCI
ALESSANDRA SPAGNOLO

ANCONA, AGOSTO 2015

INDICE

1. INTRODUZIONE	1
2. MATERIALI E METODI	4
2.1. CAMPIONAMENTO IN MARE	4
2.1.1. INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI	5
2.1.2. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA.....	6
2.1.3. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI.....	6
2.1.4. AVVISTAMENTI DI CETACEI E TARTARUGHE MARINE	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	10
2.2.2.1 <i>Dunaliella tertiolecta</i>	10
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>Acartia tonsa</i>	15
2.2.2.5 <i>Crassostrea gigas</i>	16
2.2.2.6 <i>Hediste diversicolor</i>	18
2.2.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA.....	23
3. RISULTATI	28
3.1. INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI	28
3.1.1. GRANULOMETRIA	28
3.1.2. IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA).....	29
3.1.3. METALLI PESANTI	31
3.1.4. SOSTANZA ORGANICA	37
3.2. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI	39
3.2.1. <i>DUNALIELLA TERTIOLECTA</i>	39
3.2.2. <i>VIBRIO FISCHERI</i>	39
3.2.3. <i>COROPHIUM ORIENTALE</i>	40
3.2.4. <i>ACARTIA TONSA</i>	41
3.2.5. <i>CRASSOSTREA GIGAS</i>	42
3.2.6. <i>HEDISTE DIVERSICOLOR</i>	42
3.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA.....	45
3.3.1. DENSITÀ E BIOMASSA	45
3.3.2. AFFINITÀ BIOCENOTICHE DELLE SPECIE RINVENUTE	53
3.3.3. DOMINANZA	54
3.3.4. RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE	55
3.3.5. RICCHEZZA SPECIFICA MEDIA	56
3.3.6. DIVERSITÀ SPECIFICA	57
3.3.7. MULTIDIMENSIONAL SCALING	58
3.3.8. VALUTAZIONE DELLO STATO DI STRESS DELLE COMUNITÀ	59
3.3.8.1 Indice W di Clarke.....	59
3.3.8.2 Indice AMBI.....	60
3.3.8.3 Indice BENTIX	61

3.3.8.4 Stato ecologico	62
3.4. AVVISTAMENTI DI CETACEI E TARTARUGHE MARINE.....	65
4. CONCLUSIONI	66
5. BIBLIOGRAFIA	71
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 Inverno 2012.....	X

PARTECIPANTI AL PROGRAMMA

Il presente programma è stato svolto in collaborazione con il Consorzio Interuniversitario di Biologia Marina ed Ecologia Applicata (CIBM) di Livorno e con la Società THETIS di Venezia.

Responsabile Scientifico G. Fabi CNR - ISMAR Ancona

Analisi dei sedimenti ed
ecotossicologia

S. De Ranieri	CIBM Livorno
N. Bigongiari	CIBM Livorno
A.M. De Biasi	CIBM Livorno
S. Dell'Ira	CIBM Livorno
L. Kozinkova	CIBM Livorno
L. Pacciardi	CIBM Livorno
M. Pertusati	CIBM Livorno
S. Polese	CIBM Livorno
O. Spinelli	CIBM Livorno
C. Nasci	Thetis Venezia
M. Bergamin	Thetis Venezia
A. Gomiero	Thetis Venezia
R. Lo Re	Thetis Venezia
F. Perin	Thetis Venezia
M. Picone	Thetis Venezia

Comunità bentonica

A. Spagnolo	CNR - ISMAR Ancona
L. Bolognini	CNR - ISMAR Ancona
F. Domenichetti	CNR - ISMAR Ancona
N. Mariani	CNR - ISMAR Ancona
P. Polidori	CNR - ISMAR Ancona
E. Punzo	CNR - ISMAR Ancona
A. Santelli	CNR - ISMAR Ancona
P. Strafella	CNR - ISMAR Ancona

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

1. INTRODUZIONE

In riferimento al GAB-DEC-2008-0000271 del 12/12/2008 emesso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare il CNR-ISMAR Sede di Ancona è stato incaricato da ENI S.p.A. – Divisione E&P di effettuare un monitoraggio volto a valutare il potenziale impatto ambientale conseguente l'installazione della piattaforma Annamaria B e delle condotte sottomarine colleganti le piattaforme Annamaria B – Annamaria A e Annamaria B - Brenda.

La piattaforma Annamaria B è stata posizionata nel luglio 2010 a circa 60 km al largo di Pesaro alla profondità di circa 60 m, nella zona delle sabbie relitte del largo. Il sea-line collegante Annamaria B con la piattaforma Annamaria A, posizionato nel settembre 2009, si estende per circa 5 km in direzione NNW-SSE sulla stessa tipologia di fondale della piattaforma Annamaria B, mentre il sea-line collegante Annamaria B alla piattaforma Brenda, installato anch'esso nel settembre 2009, ha una lunghezza di circa 41 km, con direzione NNE-SSW, ed è posto per quasi tutta la sua estensione su sabbie relitte del largo, passando ai fanghi terrigeni costieri in prossimità di Brenda. L'area in cui sono installate le strutture è particolarmente interessante dal punto di vista idrodinamico in quanto, trovandosi al centro dell'Adriatico, non è influenzata in maniera consistente dalla circolazione generale di questo bacino (verso Nord lungo il versante croato e verso Sud lungo 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 chimiche e fisiche differenti da quelle presenti in zona e che possono modificare le caratteristiche biogeochimiche e la distribuzione spaziale dei sedimenti. La parte più superficiale della colonna d'acqua (10-20 m), può essere interessata da eventi di Bora anche abbastanza consistenti, che possono determinare variazioni brusche di correnti.

Sulla base di tali considerazioni e dell'esperienza maturata dal CNR-ISMAR Sede di Ancona in monitoraggi analoghi riguardanti condotte sottomarine colleganti piattaforme di estrazione offshore (Fabi *et al.*, 2001; 2004; 2005; 2010a; 2010b; 2010c; 2011; 2013), al fine di valutare gli effetti determinati dalla posa in opera dei due sea-line Annamaria B - Annamaria A e Annamaria B – Brenda si è ritenuto

opportuno proporre un programma di monitoraggio comprendente le seguenti indagini:

1. caratteristiche fisiche e chimiche dei sedimenti presenti nel fondo mobile circostante i sea-line;
 2. caratteristiche ecotossicologiche dei sedimenti circostanti i sea-line;
 3. caratteristiche delle comunità bentoniche presenti nei sedimenti circostanti i sea-line;
 4. rilevamento del passaggio di cetacei e tartarughe marine nei pressi delle condotte.
- Sulla base della tempistica delle operazioni di posa in opera fornite da ENI Divisione E&P, nel programma di monitoraggio sono stati previsti i seguenti survey (Tab. 1-I):
- due survey precedenti la posa in opera dei sea-line (pre-survey);
 - sei survey, da svolgersi durante le stagioni invernali ed estive nei tre anni di indagini successivi alla loro installazione.

Considerata la durata relativamente breve dei lavori di posa delle condotte sottomarine non è stato previsto alcun survey durante questa fase.

Non è stato possibile condurre il secondo pre-survey sulle aree destinate ad accogliere i sea-line previsto nell'estate 2009 poiché in quella stagione è avvenuta la posa delle condotte. Di conseguenza, i monitoraggi da effettuare dopo la fine dei lavori di posa in opera delle due condotte sottomarine sono iniziati nell'inverno 2010 (e non nell'estate 2010 come previsto inizialmente) e sono terminati nell'estate 2012 anziché nell'inverno 2013 (Tab. 1-I).

Nel presente rapporto sono descritti i risultati conseguiti nel corso del quinto survey effettuato sul sea-line Annamaria B - Annamaria A dopo l'installazione della condotta (inverno 2012), brevemente confrontati con quelli ottenuti precedentemente (Fabi *et al.*, 2015).

Tab. 1-I – Survey previsti durante il programma di monitoraggio ambientale. In base della tempistica dei lavori di installazione delle condotte sottomarine sono state apportate alcune modifiche rispetto al cronoprogramma riportato nella Specifica Tecnica. In particolare, in celeste sono indicati i survey che non sono stati effettuati (estate 2009) o che non verranno effettuati (inverno 2013). **x** = survey già eseguiti sino all’inverno 2012.

	Survey precedenti i lavori di installazione		Survey dopo i lavori di installazione						
	Inv '09	Est '09	Inv '10	Est '10	Inv '11	Est '11	Inv '12	Est '12	Inv '13
Sea-line Annamaria B – Annamaria A	x		x	x	x	x	x		
Sea-line Annamaria B - Brenda	x		x	x	x	x	x		

2. MATERIALI E METODI

Come già accennato nel Cap. 1, il sea-line collegante le piattaforme Annamaria B e Annamaria A si estende per circa 5 km in direzione SSE-NNW (fig. 2.1).

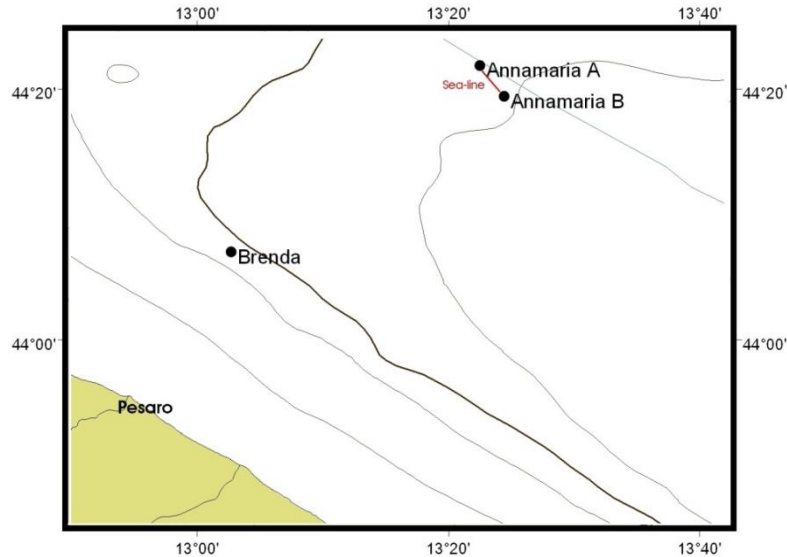


Fig. 2.1 – Ubicazione del sea-line Annamaria B - Annamaria A (in rosso).

2.1. CAMPIONAMENTO IN MARE

Data la lunghezza limitata del sea-line e l'omogeneità dell'area dal punto di vista geomorfologico, nel pre-survey si era deciso di campionare n. 1 stazione posizionata lungo il tracciato della futura condotta a circa metà della sua lunghezza (SL) e n. 1 stazione di controllo (SLK1) posta a circa 1 km in direzione NNE rispetto al sito SL. Nei monitoraggi condotti dopo la posa del sea-line (inverno ed estate 2010, inverno 2011) è stato tracciato un transetto perpendicolare al sea-line in direzione NNE - SSW (transetto "C"), lungo il quale sono state posizionate n. 7 stazioni di campionamento a 100 m, 60 m, 30 m, 0 m, 30 m, 60 m e 100 m di distanza dalla condotta stessa. La stazione posta in corrispondenza del sea-line, denominata C4, corrisponde al sito SL del pre-survey.

Sono state inoltre scelte tre stazioni di controllo (K5, K6 e K7) poste in direzione NNE rispetto al transetto a circa 1000 m di distanza dal sea-line e a circa 500 m l'una dall'altra. Il sito K6 corrisponde alla stazione SLK1 del pre-survey.

Lo schema di campionamento è riportato in fig. 2.2, mentre i dati identificativi delle stazioni campionate nell'estate 2011 sono riportati in Tab. 2-I.

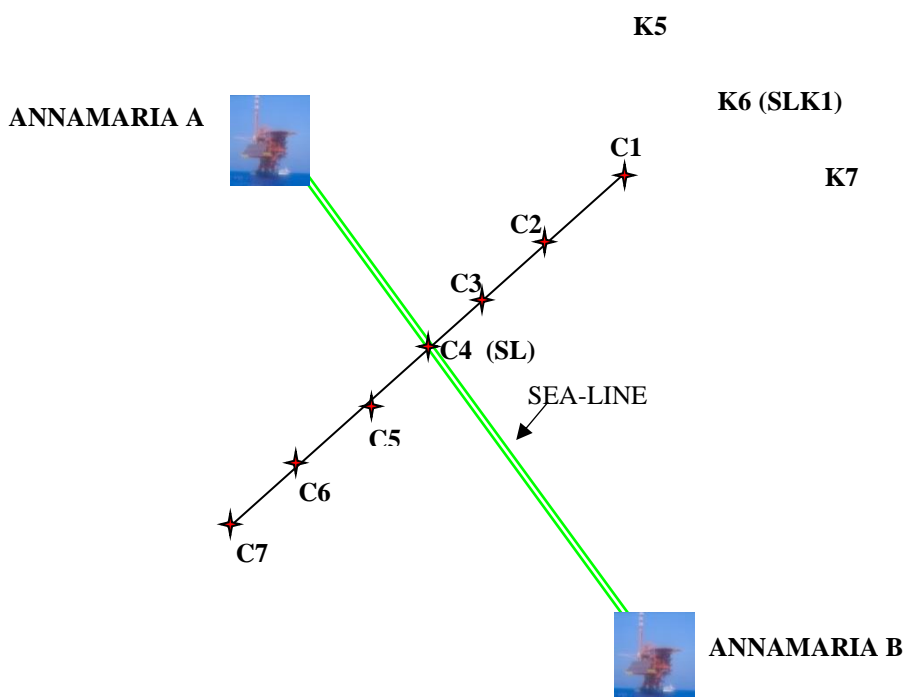


Fig. 2.2 - Schema delle stazioni di campionamento utilizzate nei survey successivi alla posa in opera del sea-line. Tra parentesi è riportata la nomenclatura delle stazioni campionate durante il pre-survey effettuato nell'inverno 2009. Non in scala.

Tab. 2-I - Dati identificativi delle stazioni di campionamento monitorate durante il survey effettuato nell'inverno 2012 per le indagini sedimentologiche e sulla comunità bentonica. In rosso il punto di campionamento in corrispondenza della condotta sottomarina. Coordinate geografiche.

	Distanza dal sea-line (m)	Posizione rispetto al sea-line	Coordinate	Profondità (m)
C1	100	NNE	44°20'35'',46N 13°23'33'',24E	58,6
C2	60	NNE	44°20'37'',62N 13°23'30'',90E	58,5
C3	30	NNE	44°20'35'',94N 13°23'29'',16E	58,4
C4	0	-	44°20'35'',46N 13°23'25'',68E	57,9
C5	30	SSW	44°20'35'',70N 13°23'25'',68E	58,3
C6	60	SSW	44°20'35'',82N 13°23'24'',42E	58,4
C7	100	SSW	44°20'36'',24N 13°23'22'',44E	58,2
K5	1000	NNE	44°21'06'',24N 13°23'33'',28E	59,0
K6	1000	NNE	44°20'51'',96N 13°24'04'',56E	59,3
K7	1000	NNE	44°20'39'',18N 13°24'14'',46E	59,3

2.1.1. INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI

Tutte le stazioni sono state campionate mediante box-corer (fig. 2.3; All. A1-I).

Dal campione, dopo la descrizione degli aspetti macroscopici, è stata prelevata la porzione superficiale (0-2 cm). L'ulteriore campione così ottenuto è stato successivamente omogeneizzato e suddiviso in 3 aliquote per le seguenti analisi:

- analisi granulometriche;
- metalli in tracce;
- composti organici (sostanza organica e IPA).

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. 2.3 – Box-corer utilizzato per le indagini fisiche e chimiche dei sedimenti (a sinistra) e calo della benna Van Veen utilizzata per lo studio della comunità bentonica (a destra).

2.1.2. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA

Tutte le stazioni sono state campionate mediante una benna di tipo Van Veen avente una capacità di 12 l e un'apertura di $0,095 \text{ m}^2$ (fig. 2.3; All. A2-I). Presso ogni stazione sono state prelevate 6 repliche. I campioni sono stati lavati e setacciati con maglia da 0,5 mm (All. A2-II) e fissati in formalina diluita in acqua di mare al 5%.

2.1.3. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI

Presso i siti C4, C6 e controllo K6, corrispondenti a 1/3 del totale delle stazioni, sono stati raccolti mediante benna Van Veen anche campioni di sedimento per lo svolgimento dei seguenti saggi biologici:

- *Dunaliella tertiolecta* (accrescimento);
- *Vibrio fischeri* (variazione della bioluminescenza);
- *Corophium orientale* (mortalità a 10 gg);
- *Acartia tonsa* (sviluppo larvale);
- *Crassostrea gigas* (embriotossicità);
- *Hediste diversicolor* (prove di bioaccumulo per Alluminio, Arsenico, Bario, Cadmio, Cromo, Mercurio, Nichel, Piombo, Rame, 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.

2.1.4. AVVISTAMENTI DI CETACEI

Nel periodo gennaio - giugno 2012 nell'area interessata dalla presenza del sea-line Annamaria B - Annamaria A sono stati condotti 3 censimenti visivi nel corso del campionamento dei sedimenti e della comunità bentonica.

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 a 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 utiliz-

zato 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 a un dato istante è funzione della qualità del prodotto solido non ancora depositato.

Idrocarburi Policiclici Aromatici - Per la determinazione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) ogni campione è stato scongelato e privato dell'eventuale frazione più grossolana; in seguito, l'analisi è stata compiuta su un'aliquota di circa 20 g (peso umido), mentre una seconda aliquota è stata utilizzata per la determinazione del peso secco.

La determinazione degli IPA è stata effettuata mediante gas cromatografia utilizzando un Gas cromatografo doppia colonna (All. A1-VI). I componenti la miscela (IPA), separati tra loro, sono stati rilevati con la tecnica FID (rilevatore ionizzazione di fiamma), che consente di valutare i tempi di ritenzione e l'ampiezza dei picchi relativi. Il limite di rilevabilità dello strumento e quello della metodica corrispondono rispettivamente a 0,05 μg di solvente e 0,002 mg kg^{-1} di campione s.s.

Sono stati ricercati nei siti di campionamento i 16 IPA indicati dall'EPA come contaminanti di interesse prioritario, espressi in mg kg^{-1} di sostanza secca: Naftene, Acenaftalene, Acenaftene, Fenantrene, Antracene, Fluorantene, Pirene, Benz(a)Antrace-ne, Crisene, Benzo(b)Fluorantene, Benzo(k)Fluorantene, Benzo(a)Pirene, Di-Benzo(a,h)Antracene, Fluorene, Benzo(g,h,i)Perilene, Indeno(1,2,3,c,d)Pirene. Le rette di calibrazione sono state preparate con la tecnica della standardizzazione esterna utilizzando come IPA di riferimento il Perilene, che permette anche di normalizzare le aree dei picchi dei singoli componenti la miscela e di confrontarle tra loro ai fini della quantizzazione.

Metalli pesanti - Sono stati analizzati i seguenti elementi, espressi in percentuale o mg kg^{-1} di sostanza secca: alluminio, arsenico, bario, cadmio, cromo, mercurio, nichel, piombo, rame, vanadio e zinco.

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.

Per la determinazione del **mercurio** è stato seguito il metodo EPA 7473 (2007a) sul campione tal quale previa essiccazione in stufa a 40°C fino a peso costante (circa 48 h). Il particolare procedimento di decomposizione porta alla riduzione chimica del mercurio, alla sua successiva preconcentrazione su un amalgama d'oro e infine alla sua analisi quantitativa in assorbimento atomico (DMA-80 Analizzatore Diretto del Mercurio; All. A1-VII).

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

Le concentrazioni di **alluminio**, **bario**, **cromo**, **nichel**, **rame**, **vanadio** e **zinco** sono state determinate mediante spettrofotometria ad emissione atomica al plasma (Varian ICP-720ES; All.A1-IX) seguendo il metodo EPA6010C (2007c).

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).

I recuperi percentuali ottenuti rispetto ai valori certificati dei suddetti materiali sono riportati in Tab. 2-II.

Tab. 2-II - Recuperi percentuali ottenuti sui materiali certificati LGC 6137, tranne il mercurio per il quale è stato usato MESS-3.

Al	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	V	Zn
116	115	101	119	76	89	106	83	90	83	77

Tutti i parametri strumentali sono stati inoltre ottimizzati tramite una risposta tipica strumentale conforme a quella fornita dalla casa costruttrice.

I limiti di rilevabilità strumentale e della metodica per i metalli determinati,

relativamente alla strumentazione impiegata, sono riportati in Tab 2-III.

Tab. 2-III - Limiti di rilevabilità strumentali (D.L.) e della metodica (M.D.L.) dei metalli determinati.

Recupero %	Al	Ba	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	V	Zn
D.L. ($\mu\text{g l}^{-1}$)	1,5	0,07	0,01	4	2	4,5	5,5	0,28	2	0,9
M.D.L. (mg kg^{-1})	0,10%	1,0	0,02	1,0	1,0	0,04	0,50	0,20	2,0	1,0

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

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-E1 (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 in 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 (concentrazione iniziale $2 \cdot 10^3$ cellule ml^{-1}), quindi 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 sono stati riportati come percentuale di inibizione della crescita algale e, qualora la tossicità del campione lo consentiva, in termini di EC_{50} o EC_{20} . L' EC_{50} e l' EC_{20} sono stati calcolati 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 ecotossicologico (eseguita secondo lo schema USEPA, 1991), i risultati del saggio sono stati 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 6,2 e 8,9 mg l^{-1} come cromo; altri parametri che devono essere rispettati affinché il test sia considerato valido sono:

- 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});
- coefficiente di variazione nei controlli e nel campione tal quale (CV%): $\leq 15\%$.

2.2.2.2 *Vibrio fischeri* (sistema Microtox®)

Preparazione delle matrici - La fase solida è stata ottenuta per centrifugazione refrigerata (30' a 3.500 rpm a 4°C), con successiva riomogenizzazione.

Vibrio fischeri è un batterio marino Gram-negativo ed eterotrofo, appartenente alla famiglia delle *Vibrionaceae*. E' cosmopolita, ma con maggior diffusione nelle fasce temperate e subtropicali.

Il sistema Microtox® è un test biologico di tossicità acuta basato sull'utilizzo della bioluminescenza naturale di questa specie. Poiché in presenza di contaminanti l'emissione di luce diminuisce, la misura dell'eventuale inibizione della bioluminescenza, a seguito dell'esposizione del batterio a una sostanza nota o a un campione naturale di acqua o sedimento, consente di valutare il grado di tossicità acuta della sostanza o della matrice testata.

Il sistema di misura risulta piuttosto versatile in quanto è applicabile a matrici naturali, sia continentali che marine, acquose (acqua potabile, acqua interstiziale, elutriato, ecc.) e solide (fanghi, suoli, sedimenti), nonché a soluzioni acquose di sostanze tossiche pure sia organiche che inorganiche.

Procedura adottata e lettura dei dati - I saggi biologici sulla fase solida sono stati completati entro 24 h dalla preparazione della matrice.

L'emissione della bioluminescenza è stata misurata all'interno del luminometro M500, dotato di pozzetti termostatati a 15°C per i controlli e i campioni e a 4°C per il reagente.

E' stato applicato il protocollo Solid Phase Test (SPT) con la procedura Large Sample Method (Azur Environmental, 1994), organizzato con 9-12 diluizioni e 3 controlli, a seconda della granulometria del campione. Il test prevede una prima esposizione di 20' durante i quali i batteri si trovano a diretto contatto con il sedimento e una seconda fase di ulteriori 10' in cui la risospensione batterica viene incubata nel luminometro a 15°C.

La relazione dose-risposta, ovvero concentrazione del campione-inibizione della bioluminescenza, è stata elaborata mediante un software dedicato (Microtox OmniTM v. 1.16), che consente di individuare l'EC50 (o qualunque altra EC), ossia la concentrazione del campione cui corrisponde una riduzione della bioluminescenza pari al 50% o, in alternativa, la semplice variazione percentuale di emissione di luce

rispetto al controllo. Il risultato è stato espresso sia in TU (Unità Tossiche = 100/EC50), che consente di ottenere una relazione diretta fra tossicità e riduzione della bioluminescenza, sia come Sediment Toxicity Index (S.T.I.), che permette di esprimere la reale tossicità acuta del campione rispetto alla tossicità "naturale" di un campione di riferimento avente le medesime caratteristiche granulometriche (Onorati, 1999; Onorati *et al.*, 2007).

Al fine di esprimere il risultato del saggio nella scala S.T.I., poiché il test in fase solida viene effettivamente applicato sulla frazione granulometrica < 1 mm e poiché la componente naturale della tossicità è funzione della frazione pelitica, sono state utilizzate le analisi granulometriche dei campioni di sedimento per individuare la proporzione tra le due frazioni citate, indispensabile per la valutazione del reale livello di tossicità acuta.

La fase solida è stata giudicata tossica quando il valore di S.T.I è risultato >3.

E' stata adottata la scala di tossicità (Tab. 2-IV) indicata nella Tab. 1 del Manuale ICRAM-APAT (2007).

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

SPECIE-TEST	Colonna A Tossicità assente /trascurabile	Colonna B Tossicità presente	Colonna C Tossicità elevata	Colonna D Tossicità molto elevata
<i>Vibrio fischeri</i> (sedimento)	S.T.I. ≤ 3	3 < S.T.I. ≤ 6	6 < S.T.I. ≤ 12	S.T.I. > 12

2.2.2.3 *Corophium orientale*

Il saggio effettuato con esemplari di *Corophium orientale* (fig. 2.4) 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 stati campionati setacciando il loro sedimento nativo con setaccio a maglia di 0,5 mm, che permette di selezionare organismi di ~4 mm idonei per il test, scartando gli individui maturi e le forme giovanili. Gli anfipodi selezionati sono quindi stati portati in laboratorio e acclimatati alle seguenti condizioni del test:

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



Fig. 2.4 - Esemplici di *C. orientale*.

Procedimento del saggio - Circa 200 cc di sedimento da testare sono stati introdotti all'interno di un barattolo di vetro da 1 l, ai quali 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 considerati morti gli anfipodi che, dopo una delicata stimolazione, non mostrano alcun movimento degli arti. La sensibilità degli organismi (96hLC50) è determinata tramite l'esposizione per 96 h alle concentrazioni di 0,8; 1,6; 3,2; e 6,4 mg l^{-1} CdCl_2 .

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

Elaborazione dei dati - Il saggio biologico è considerato valido quando la mortalità media all'interno del sedimento di controllo è $\leq 15\%$ e la mortalità nella singola replica per l'intero periodo di esposizione è $\leq 20\%$. Sia nei campioni da testare che nel sedimento di controllo sono state calcolate le percentuali medie (\pm deviazione standard) degli anfipodi morti. La percentuale di mortalità rilevata in ogni campione

è stata confrontata con quella nel sedimento di controllo. Il livello di tossicità è stato valutato prendendo in considerazione la percentuale di mortalità degli organismi osservata nei campioni da saggiare, corretta con la formula di Abbott (M). La scala adottata per la quantificazione della tossicità è riportata Tab. 2-V.

Tab. 2-V – 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 *Acartia tonsa*

Il saggio di sviluppo larvale (LDR test) con il copepode *A. tonsa* è stato eseguito secondo la procedura di Kusk e Wollenberger (2007), modificata per renderla adatta all'impiego per la fase solida (Picone, 2006). Obiettivo del saggio è la determinazione di eventuali effetti stimolatori o inibitori sullo sviluppo larvale.

Esecuzione del saggio - Il saggio prevede l'esposizione di un numero variabile tra 50 e 80 uova di *A. tonsa* a 3,5 g di sedimento e 80 ml di acqua marina artificiale (S = 25), ricostituita secondo le specifiche riportate in Kusk e Wollenberger (1999). Il saggio è quindi condotto in condizioni statiche per 6 gg, alla temperatura di 20°C e in regime di fotoperiodo controllato (16:8 luce:buio) con illuminazione a bassa intensità mantenuta da lampade fluorescenti. Il giorno-0 e il giorno-2 in ognuna delle repliche sperimentali (6 per ogni campione e il controllo) è stato somministrato l'alimento (la criptofitea *Rhodomonas salina*) in aliquote adeguate a determinare una concentrazione finale di 6×10^4 cell ml⁻¹ in ciascuno dei beaker in cui erano esposte le larve di *A. tonsa*. Al termine dei 6 gg di esposizione è stata prelevata una replica del controllo che è stata fissata aggiungendo circa 1 ml della soluzione di Lugol. Dopo lieve agitazione la fase liquida è stata versata su un sistema filtrante ed è stata determinata la proporzione nauplii:copepoditi recuperati sul filtro impiegando uno stereomicroscopio. Se il rapporto nauplii-copepoditi era di circa 50:50, si è proceduto al fissaggio del test anche negli altri beaker altrimenti, in caso di netta prevalenza di nauplii (>70%), si è lasciato procedere il test per alcune ore per ripetere poi la

procedura.

QA-QC - La sensibilità di ogni coltura di *A. tonsa* è stata verificata mediante il test di controllo positivo con 3,5-DCP, il cui risultato deve essere compreso nell'intervallo 33-388 $\mu\text{g l}^{-1}$; ogni coltura viene mantenuta per un periodo non superiore a 7 settimane. Affinché il test possa essere considerato valido, la percentuale di copepoditi recuperata alla fine del test deve essere almeno il 30% del totale delle larve recuperate (nauplii + copepoditi).

Espressione e analisi dei dati – I risultati del saggio sono riportati come Larval Development Rate (LDR), ossia come rapporto tra numero di copepoditi e numero complessivo di forme giovanili recuperate a fine test (nauplii + copepoditi), e successivamente normalizzati rispetto al valore di LDR rilevato nel controllo per determinare la percentuale di inibizione (In%). Valori negativi di In(%) indicano effetto biostimolante.

La significatività statistica delle risposte tra campioni e nei confronti del controllo è stata valutata tramite analisi della varianza (ANOVA) a una via.

Ai risultati espressi come percentuale di inibizione è stato quindi associato un giudizio qualitativo secondo lo schema riportato in Tab. 2-VI.

Tab 2-VI – Criteri di classificazione dei risultati del saggio con *A. tonsa*.

Critero	Giudizio
$\text{In}(\%) \leq -40$	Biostimolazione significativa
$-40 < \text{In}(\%) \leq -25$	Potenziale biostimolazione
$-25 < \text{In}(\%) < 25$	Assenza di effetto
$25 \leq \text{In}(\%) < 40$	Potenziale tossicità
$\text{In}(\%) \geq 40$	Tossicità significativa

2.2.2.5 *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 si utilizza 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 ($5-33 \mu\text{l}^{-1}$). La percentuale di larve normalmente sviluppate nel controllo con la sola acqua di diluizione deve inoltre essere superiore al 70%.

Espressione ed analisi dei dati – I risultati del saggio di embriotossicità possono essere espressi sia in termini di percentuale di successo del test normalizzata (S%) rispetto alla risposta del controllo (acqua marina artificiale), sia in termini di EC_{50} , qualora la distribuzione dei dati relativi alle singole repliche ne consenta il calcolo tramite il software Trimmed Spearman Karber v3.1 messo a disposizione da USEPA nel proprio portale. I dati di EC_{50} 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-VII.

Tab. 2-VII - 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
$50 < S \leq TL$	Bassa		
$1 \leq TU < 2$	Media	Semiscala delle T.U.	$S \leq 50$
$2 \leq TU < 4$	Alta		
$TU \geq 4$	Molto alta		

Dove:

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

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

2.2.2.6 *Hediste diversicolor*

L'accumulo dei metalli nel biota (fig. 2.5) può avvenire mediante assorbimento diretto dall'ambiente attraverso la parete corporea o le superfici respiratorie o del tratto digerente. Negli organismi acquatici è stato dimostrato che la via dominante di assorbimento dei metalli è la diffusione passiva tramite la superficie corporea, le branchie o i polmoni, oppure per trasporto attivo con le pompe di calcio. Il bioaccumulo negli invertebrati attraverso l'alimentazione è stato dimostrato per Cr, Cd, Ag e Co. La concentrazione dei metalli nei tessuti dipende dalla quantità del metallo acquisito, dalla cinetica di assorbimento, dalla sua distribuzione nei tessuti, dai requisiti metabolici per i metalli e dai meccanismi di disintossicazione /escrezione.

Alluminio - L'alluminio è l'elemento metallico più abbondante nella litosfera. La sua biodisponibilità e tossicità sono generalmente maggiori in ambiente acido. La forma predominante in acqua di mare è insolubile $[Al(OH)_3]$, quindi le sue concentrazioni nell'acqua marina sono basse. Le conoscenze riguardo la tossicità e l'assimilazione di questo metallo negli organismi acquatici sono limitate.

Arsenico - I sedimenti possono essere una fonte notevole di questo metallo per gli organismi marini bentonici (Bryan e Langston, 1992). Langston (1980; 1984) ha dimostrato che il polichete *Hediste diversicolor* (fig. 2.6) accumula questo elemento dalle particelle del sedimento ingerito e per contatto diretto dei palpi con il sedimento. Esiste un rapporto diretto tra la concentrazione del metallo nei tessuti degli invertebrati bentonici e la proporzione As/Fe nelle frazioni facilmente estraibili dei sedimenti nei quali gli invertebrati vivono. Le concentrazioni di arsenico disciolto nell'acqua interstiziale degli strati di sedimenti ossigenati e riducenti sono elevate e presenti nelle forme più biodisponibili (Reimer e Tompson, 1988).

Bario - Il bario è il quattordicesimo elemento più abbondante nella crosta terrestre. Per la sua bassa solubilità nell'acqua non è immediatamente accumulato nei tessuti duri o morbidi degli organismi marini (Neff, 2002). Se accumulato, il metallo rimane nei tessuti come calcoli insolubili e inerti (Jenkins *et al.*, 1989).

Cadmio - Questo metallo di per sé è insolubile in acqua, ma i suoi sali, sotto forma di cloriti e solfuri, sono liberamente solubili (Neff, 2002). Il cadmio è abbastanza mobile nei sedimenti marini per la sua speciazione in acqua marina e la sua tendenza

a legarsi facilmente alle particelle formando solfiti solubili in ambiente riducente. Questo metallo è accumulato dagli organismi marini sia disciolto che sotto forma di ioni principalmente attraverso le branchie. L'accumulo può essere passivo o attivo quando trasportato attraverso l'epitelio delle branchie. Il bioaccumulo del cadmio e di altri metalli (rame, mercurio e zinco) in alcuni invertebrati marini, pesci, uccelli e mammiferi può portare all'induzione di metallotioneine, proteine che si legano al metallo nei tessuti. Il cadmio tende ad accumularsi preferibilmente nei tessuti di alcuni organi, come il fegato, le ghiandole digestive e i reni, ma anche nei muscoli degli organismi marini.

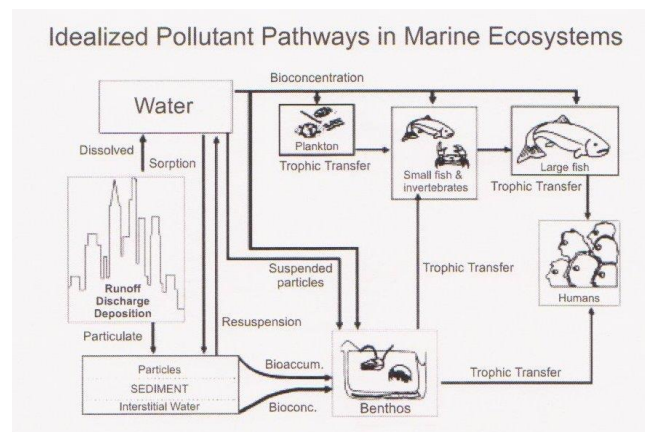


Fig. 2.5 - Schema idealizzato del percorso di un inquinante nel sistema marino (Lee, 1988).



Fig. 2.6 - Esempi di *H. diversicolor*.

Cromo - Il cromo si presenta prevalentemente in due stati di ossidazione: trivalente ed esavalente. Il cromo trivalente, un micronutriente essenziale, è praticamente insolubile ai valori di pH dell'acqua marina e tende a precipitare come idrossido insolubile concentrandosi nel sedimento (Richard e Bourg, 1991). Il cromo

esavalente è solubile e potenzialmente molto disponibile. Le informazioni riguardo al bioaccumulo negli organismi marini sono minime.

Nichel - Il nichel in piccole quantità è essenziale per gli organismi poiché è utilizzato nella produzione delle cellule rosse del sangue. In ambiente acquatico si trova soprattutto sotto forma di ione bivalente che dà origine a complessi moderatamente forti con gli acidi umici e può essere adsorbito dal materiale particolato. Il metallo può passare in soluzione in condizioni di buona ossigenazione, mentre in condizioni anossiche tende a precipitare sotto forma di solfuri insolubili e a concentrarsi nel sedimento.

Mercurio - Il mercurio si presenta principalmente in forma di ione bivalente, ma in condizioni di anossia si rinviene in forma metallica. Lo ione può essere soggetto alla metilazione per opera di batteri sia in condizioni aerobiche che anaerobiche, formando $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ e CH_3Hg^+ . Questi composti molto tossici tendono ad essere rilasciati rapidamente dalle particelle di sedimento passando in soluzione dove diventano disponibili per gli organismi che vivono nella colonna di acqua. A causa della sua alta affinità per la sostanza organica disciolta e particolata, il mercurio organico e inorganico forma facilmente complessi con la materia organica presente nell'acqua marina e nei sedimenti (Neff, 2002). L'assorbimento del mercurio disciolto è ridotto in seguito all'esposizione ad altri metalli come Ag, Cd, Cu e Zn.

Rame - Il rame si trova sotto forma di ione bivalente, idrossidi e carbonati e ha la tendenza a formare complessi con la materia organica e il materiale particolato. Quantità elevate di cloruri comportano un aumento della mobilità del rame in seguito alla formazione di ioni complessi e a un minor grado di assorbimento all'interno del sedimento (Bourg, 1988). Poiché questo metallo è un nutriente essenziale, diversi organismi marini hanno sviluppato meccanismi per controllare le concentrazioni degli ioni liberi nei tessuti in presenza di concentrazioni variabili nell'acqua, nel sedimento e nel cibo. Ad esempio, *H. diversicolor* regola la concentrazione di rame nei tessuti con il livello di concentrazione naturale del metallo nell'acqua di mare, ma non a livelli alti, prossimi a quelli letali (Amiard *et al.*, 1987). Tuttavia, alcuni policheti sono capaci di regolare i residui di rame nei tessuti in presenza di concentrazioni molto alte nei sedimenti nei quali vivono (Bryan e Gibbs, 1987). Le concentrazioni del rame nei vari tessuti degli organismi marini variano

stagionalmente, probabilmente in seguito a cambiamenti stagionali nella richiesta di questo micronutriente da parte dei vari tessuti.

Piombo - Il piombo è un componente naturale dell'ecosistema marino. Questo metallo tende a precipitare sotto forma di solfati e carbonati ed è in grado di formare complessi con la materia organica e il materiale particolato. Gli invertebrati e i pesci lo bioaccumulano dall'acqua marina in proporzione alla sua concentrazione in soluzione (Amiard *et al.*,1987). Tuttavia, la quantità di piombo biodisponibile non è molto elevata, poiché una certa quantità del metallo viene assorbita dalle patine di ossido di ferro delle particelle di sedimento.

Vanadio - Questo metallo è largamente distribuito ed è un elemento sempre più tenuto in considerazione dal punto di vista ambientale, anche se non è stata ancora dimostrata la sua essenzialità per gli organismi. La maggior parte del vanadio presente nell'acqua marina si trova in sospensione o viene assorbito sui colloidali, passando meccanicamente attraverso l'acqua senza reagire. Solo una piccola parte si presenta in forma solubile, mentre tutto il resto tende a concentrarsi nei sedimenti. Il vanadio viene rimosso dall'acqua sia per assorbimento sul materiale particolato sia tramite i processi biochimici degli organismi.

Zinco - Lo zinco è un elemento essenziale per molti organismi viventi, essendo il costituente di diversi enzimi ed essendo coinvolto in varie reazioni metaboliche. Per questo motivo, numerose specie di organismi marini sembrano capaci di regolare questo metallo nei tessuti alle concentrazioni in cui si rinviene nell'acqua di mare e nei sedimenti, da livelli ambientali normali fino ai livelli prossimi a quelli letali (Luoma e Bryan, 1982). Gli organismi marini possono accumulare lo zinco dall'acqua, dal cibo e dai sedimenti. La forma tossica dello zinco è lo ione libero che nell'acqua marina rappresenta solo una piccola frazione dello zinco totale.

Procedimento del test - Il test di bioaccumulo è stato eseguito secondo i protocolli ASTM E1688-97a (1998; reapproved 2007) ed EPA/600/R-95/183 (1993).

Gli organismi non maturi di *H. 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 l. In ogni barattolo sono stati inseriti ~300 cm³ di sedimento da testare ai quali sono stati aggiunti circa 600 ml di acqua di mare naturale filtrata (36±2‰). I barattoli sono stati quindi sistemati in camera condizionata, coperti e areati in continuo. Dopo 24 h dall'introduzione dei sedimenti sono stati registrati i parametri d'inizio del test (pH, salinità, NH₄⁺ e ossigeno disciolto) e in ogni barattolo sono stati immessi 5 individui di *H. diversicolor*. Per l'intera durata del test i barattoli sono stati mantenuti alla temperatura di 16±2°C, aerati e illuminati senza alcun fotoperiodo. Come 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 nell'acqua o nel sistema di esposizione. La mortalità degli organismi nel sedimento di controllo non dovrebbe superare il 10%.

Dopo 28 gg sono stati annotati i parametri finali del test e sono stati recuperati gli organismi dai singoli barattoli tramite setacciatura; gli individui vivi sono stati contati e reinserti in barattoli contenenti sabbia quarzifera e acqua di mare filtrata. Dopo 3 gg i policheti spurgati sono stati recuperati e lavati in acqua distillata per 1 h per liberarli dal muco e dai residui della sabbia. Successivamente, sono stati congelati e sottoposti ad analisi chimica.

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

$$D = (C_e - C_b)$$

dove:

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

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

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

Si ritiene che il bioaccumulo sia significativo quando la differenza è $\geq 20\%$.

2.2.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA

Durante le analisi di laboratorio le sei repliche prelevate su 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) e i valori ottenuti sono stati rapportati ad una superficie di $0,095 \text{ m}^2$ che, come già detto, corrisponde all'area di apertura della benna e, quindi, alla superficie di sedimento investigata dallo strumento; sono stati quindi calcolati numero e peso medi tra le repliche effettuate su una stessa stazione.

I valori così ottenuti sono stati utilizzati per calcolare i seguenti indici medi:

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

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

Indice di Dominanza (D; May, 1979): $D = n_i N^{-1}$

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 D., 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; Chryssanthi e Chintiroglou, 2005) sono state ricercate per tutti i taxa determinati a livello di specie. Sui dati di densità delle singole specie campionate nell'inverno 2012 sono state calcolate le curve di dominanza cumulativa utilizzando il pacchetto software PRIMER (Clarke e Warwick, 1994). Sugli stessi dati, previa trasformazione in $\sqrt{2}$, è

stato applicato anche il metodo del Multidimensional Scaling per verificare le affinità tra le varie stazioni di campionamento.

Infine, per valutare lo stato ecologico dell'area e le eventuali variazioni indotte dalla presenza del sea-line nel tempo, su tutti i dati ottenuti dal pre-survey all'inverno 2012 sono stati applicati tre differenti indici (l'indice W di Clarke, l'indice AMBI e l'indice BENTIX; Clarke e Warwick, 1994; Borja *et al.* 2000; Simboura e Zenetos, 2002; Muxika *et al.*, 2007; Borja e Mader, 2008), seguendo quanto suggerito da Teixeira *et al.* (2007). Questi Autori riportano infatti la possibilità di ottenere, attraverso la combinazione dei risultati derivati da più indici, un set di dati utile a determinare lo stato della qualità ecologica di una determinata area. Si tratta di un approccio sperimentale poiché tutti gli indici utilizzati per questo scopo sono stati applicati quasi esclusivamente in aree marine costiere e, anche in questo caso, gli ambienti testati sono ancora troppo pochi per poter definire una corretta e universale classificazione dello stato ecologico ambientale (Teixeira *et al.*, 2007). Tuttavia si ritiene che, essendo lo studio dell'eventuale impatto del sea-line Annamaria B - Annamaria A ancora nelle fasi iniziali e disponendo di un pre-survey (quindi della situazione ambientale "naturale"), l'applicazione di questa metodologia potrebbe rappresentare un utile strumento per il proseguo delle indagini.

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

L'indice si basa sulla seguente formula:

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

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

Questo indice oscilla da -1 a +1 e indica, nel primo caso la presenza di una comunità

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

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

Classificazione dell'ambiente	W
Non disturbato	$1,0 \geq W \geq 0,7$
Leggermente disturbato	$0,6 \geq W \geq 0,3$
Moderatamente disturbato	$0,2 \geq W \geq -0,1$
Povero	$-0,2 \geq W \geq -0,5$
Pessimo	$-0,6 \geq W \geq -1,0$

L'indice AMBI è stato applicato da Muxica *et al.* (2005), oltre che in ambienti marino-costieri, anche in aree più profonde (costa occidentale svedese) o interessate dalla presenza di piattaforme petrolifere (Mare del Nord). Ha 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 4.1 è aggiornato a febbraio 2010) 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-IX.

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

Classificazione dell'ambiente	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

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. E' stato utilizzato con successo, tra l'altro, in aree soggette ad inquinamento organico (Simboura *et al.*, 2005) e a sversamenti accidentali di petrolio (Zenetos *et al.*, 2004a) ed è attualmente utilizzato in diverse aree del Mediterraneo nell'ambito del framework del *WFD intercalibration exercise* (EC, 2003).

Questo indice si basa sulla suddivisione dei taxa di fondo mobile (per i quali è fornita una lista) in 3 principali gruppi ecologici:

1. gruppo 1 (GI): include specie sensibili a un disturbo in generale;
2. gruppo 2 (GII): include specie tolleranti a un disturbo o a uno stress. Le popolazioni possono rispondere a un arricchimento organico o a un'altra fonte di

inquinamento attraverso un incremento delle densità;

3. gruppo 3 (GIII): include le specie opportuniste di primo ordine, quelle pioniere e le specie tolleranti a situazioni di ipossia.

Una volta individuati i tre gruppi sopra citati viene applicato il seguente algoritmo:

$$\text{BENTIX} = [(6 \times \% \text{GI}) + 2 \times (\% \text{GII} + \% \text{GIII})] / 100$$

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

Sulla base dei risultati ottenuti, per ogni stazione di campionamento è possibile stilare una classifica della qualità dell'ambiente secondo i criteri riportati in Tab. 2-X.

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

Classificazione dell'ambiente	BENTIX
Ambiente non inquinato	$4,5 \leq \text{BENTIX} < 6$
Ambiente leggermente inquinato, di transizione	$3,5 < \text{BENTIX} < 4,5$
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-XI - Classificazione dello stato ecologico derivata dalla combinazione di tre differenti indici (Bettencourt *et al.*, 2004).

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

3. RISULTATI

3.1. INDAGINI FISICHE E CHIMICHE DEI SEDIMENTI

3.1.1. GRANULOMETRIA

All'analisi visiva i sedimenti prelevati nell'inverno 2012 presso la condotta sottomarina Annamaria B - Annamaria A sono risultati molto simili tra loro, essendo costituiti in prevalenza dalla frazione sabbiosa e in minor misura da quelle siltosa e argillosa. I sedimenti avevano un colore grigio con un sottile strato superficiale ossidato di colore marrone chiaro. Nel profilo sedimentario la componente a biodetrito conchifero è risultata sempre presente. I valori minimi per tale componente sono stati rinvenuti nei sedimenti della stazione C6 (5,21 g/campione; All. B), mentre il massimo è stato rinvenuto in corrispondenza della stazione situata a 100 m a NE rispetto alla condotta (C1; 8,32 g/campione). Tali valori sono apparsi decisamente maggiori rispetto a quelli rilevati presso i controlli (~2 g/campione).

Tutti i sedimenti sono risultati ascrivibili a "sabbia" secondo la classificazione di Shepard. Lungo il transetto la più bassa percentuale di questa frazione (82,34%) è stata rilevata in C3 e la maggiore in C6 (83,51%; Tab. 3-I; fig. 3.1). Tutti i valori sono apparsi in linea con quelli dei controlli dove la sabbia è oscillata tra l'83,32% (K7) e l'85,00% (K5).

Per il silt il massimo lungo C è stato rilevato in C3 (11,73%) e il minimo in C1 (9,69%). Solo quest'ultimo valore è risultato compreso nell'intervallo di percentuali di silt dei controlli; tutti gli altri del transetto sono infatti apparsi leggermente maggiori.

Infine, la percentuale di argilla minima è stata rilevata nella stazione C6 (5,24%) e quella massima in C1 (7,75%). Eccetto quest'ultimo, i valori misurati per tale componente lungo il transetto sono risultati lievemente inferiori rispetto a quelli dei controlli dove l'argilla è oscillata tra 6,07% (K5) e 6,52% (K7).

Comunque, in tutti i casi tali differenze minime sono collegabili alla naturale variabilità spaziale dei sedimenti.

I campioni relativi all'inverno 2012 hanno mostrato caratteristiche granulometriche del tutto confrontabili con quelli analizzati nelle campagne precedenti (Fabi *et al.*, 2015). Per tutto il periodo indagato la tessitura dei sedimenti è infatti rimasta

pressoché costante e i sedimenti sono sempre risultati classificabili come sabbie secondo la classificazione di Shepard. L'unico cambiamento da sottolineare è la comparsa della frazione ghiaiosa nel primo monitoraggio condotto dopo la posa della condotta (inverno 2010). Tale frazione, tuttavia, era apparsa presente in maniera molto modesta (<1%) in tutti i siti e addirittura assente nei controlli K6 e K7. Unica eccezione era la stazione di controllo K5, dove la ghiaia aveva mostrato un picco pari al 7,81%. Successivamente la suddetta componente non è più stata rilevata.

Tab. 3-1 - Percentuali delle principali frazioni granulometriche nei sedimenti campionati nell'inverno 2012. In rosso il sito posto in corrispondenza del sea-line.

	Sabbia	Silt	Argilla
C1	82,56	9,69	7,75
C2	82,58	11,57	5,85
C3	82,34	11,73	5,93
C4	82,44	11,66	5,90
C5	82,99	11,07	5,94
C6	83,51	11,25	5,24
C7	83,07	11,35	5,58
K5	85,00	8,93	6,07
K6	84,34	9,43	6,23
K7	83,32	10,16	6,52

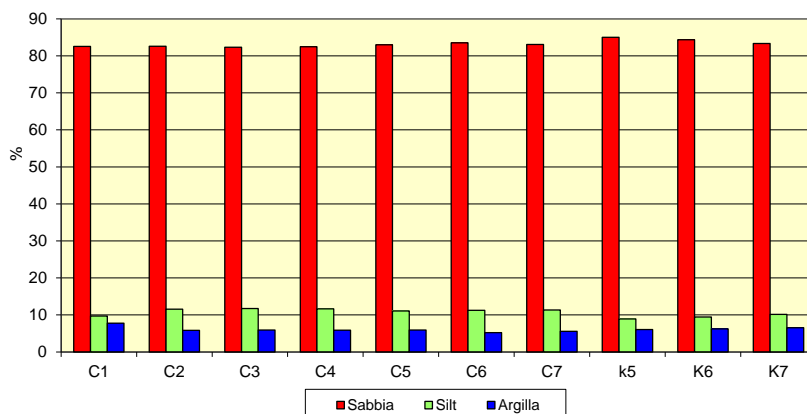


Fig. 3.1 - Ripartizione delle classi granulometriche, espresse in percentuale, nei sedimenti analizzati durante nell'inverno 2012 presso la condotta sottomarina Annamaria A - Annamaria B. C4 = stazione posta in corrispondenza della condotta.

3.1.2. IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI (IPA)

Analogamente a quanto rilevato sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2015), anche nell'inverno 2012 le concentrazioni di questi contaminanti sono risultate modeste

ovunque e mediamente confrontabili tra transetto ($0,025 \pm 0,012 \text{ mg kg}^{-1}$) e controlli ($0,026 \pm 0,008 \text{ mg kg}^{-1}$; Tab. 3-II; fig. 3.2).

Tab. 3-II - Concentrazione degli Idrocarburi Policiclici Aromatici (mg kg^{-1}) nei sedimenti prelevati nell'inverno 2012. In rosso la stazione posta sulla condotta Annamaria A Annamaria B.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Acenaftene										
Acenaftilene										
Antracene			0,0026					0,001		
Benzo (a) antracene			0,0010	0,0012	0,0013		0,0014	0,0011		0,0021
Benzo (a) pirene				0,0012		0,0012		0,0010		0,0018
Benzo (b) fluorantene	0,0029	0,0021	0,0031	0,0043	0,0026	0,0021	0,0025	0,0034	0,0023	0,0043
Benzo (g, h,i) perilene	0,0028	0,0019	0,0029	0,0043	0,0027	0,0046	0,003	0,0032	0,0037	0,0039
Benzo (k) fluorantene	0,0012		0,0013	0,0021	0,0011		0,0012	0,0013		0,0018
Crisene	0,0012	0,0011	0,0015	0,0019	0,0014	0,001	0,0017	0,0016		0,0022
Dibenzo (a, h) antracene										
Fenantrene	0,0059	0,0014	0,021	0,0031	0,0023	0,0018	0,0018	0,005	0,0019	0,0027
Fluorantene	0,0026	0,0018	0,0081	0,0038	0,0027	0,003	0,0028	0,0036	0,0025	0,0051
Fluorene								0,0016		
Indeno (1,2,3 - c, d) pirene	0,0034	0,0025	0,0035	0,0048	0,0034	0,003	0,0036	0,0039	0,0051	0,0050
Naftalene				0,0011						
Pirene	0,0014	0,0011	0,0047	0,0029	0,0028	0,0031	0,0029	0,0023	0,0017	0,0032
Totale	0,021	0,012	0,050	0,031	0,020	0,020	0,021	0,029	0,017	0,032

I vari composti ricercati hanno mostrato un comportamento diverso tra loro: alcuni, infatti, sono stati rilevati in tutte le stazioni (Benzo(b)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Fenantrene, Fluorantene, Indeno(1,2,3-c,d)pirene, Pirene) o quasi tutte (Crisene), altri sono apparsi abbastanza diffusi (Benzo(k)fluorantene, Benzo(a)antracene), altri sono invece risultati assenti (Acenaftene, Acenaftilene, Dibenzo(a, h)antracene) o presenti in un numero limitato di stazioni.

Anche gli IPA totali hanno esibito tenori molto bassi, ben al di sotto dell'LCB ($0,900 \text{ mg kg}^{-1}$) indicato da ICRAM-APAT (2007), compreso il picco in C3 ($0,050 \text{ mg kg}^{-1}$).

Concordemente a quanto osservato nell'inverno 2012, anche i dati dei survey precedenti avevano dimostrato una scarsa presenza di questi contaminanti (Fabi *et al.*, 2015). Complessivamente, inoltre, anche i tenori degli IPA totali sono rimasti nella maggior parte dei casi confrontabili a quelli registrati nel pre-survey. Solo nell'estate 2010 (II survey post lavori), in corrispondenza della sea-line (C4), era stato registrato un valore maggiore dell'LCB ($1,410 \text{ mg kg}^{-1}$) che, tuttavia, non è

stato più confermato successivamente. Nella medesima stagione anche in corrispondenza di C6 era stata rilevata una concentrazione ($0,312 \text{ mg kg}^{-1}$) elevata, sebbene notevolmente inferiore all'LCB. Nell'inverno successivo (2011) tutti i valori erano rientrati, tornando in linea con quelli del pre-survey. Nell'estate 2011 era stato registrato un incremento di questi contaminanti in C5 ($0,239 \text{ mg kg}^{-1}$) ma, anche in questo caso, non vi sono state conferme nel monitoraggio successivo. Nell'ultimo survey i dati non hanno mostrato anomalie positive; anche il picco registrato in C3 è troppo modesto per indicare uno stato di contaminazione dell'area.

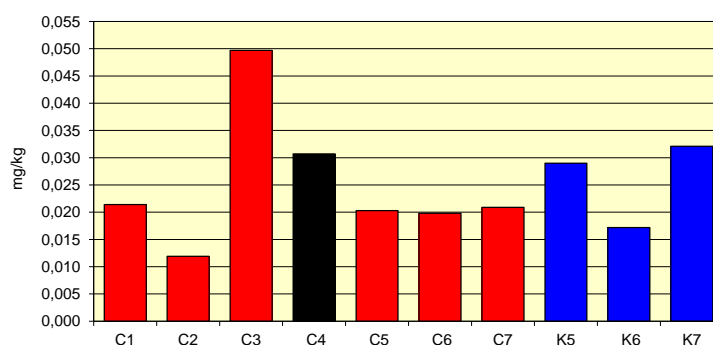


Fig. 3.2 - Concentrazioni degli Idrocarburi Policiclici Aromatici totali determinati nei sedimenti prelevati nell'inverno 2012. In nero la stazione posta sulla condotta Annamaria A Annamaria B. K5-K7 = controlli.

3.1.3. METALLI PESANTI

In Tab. 3-III e in fig. 3.3 sono riportate le concentrazioni dei metalli pesanti rilevate nell'inverno 2012. Si precisa che nel calcolo del valore medio (\pm d.s.) del transetto è stato incluso il sito campionato in corrispondenza della condotta (C4).

Alluminio – Le concentrazioni di alluminio determinate nei sedimenti del transetto C nell'inverno 2012 (media: $0,64 \pm 0,05\%$) sono oscillate tra $0,53\%$ (C5, C6) e $0,86\%$, picco stagionale osservato in corrispondenza della condotta (C4) pari a 1,4 volte la media dei controlli ($0,61 \pm 0,02\%$). Inoltre, sono stati evidenziati tenori tendenzialmente superiori nel settore NE rispetto a quello a SW. I valori ottenuti sono risultati comunque tutti complessivamente bassi e, pertanto, anche le differenze tra siti devono essere valutate con cautela.

Fin dall'inizio del monitoraggio (Fabi *et al.*, 2015), le percentuali di alluminio sono sempre state modeste e non hanno subito variazioni degne di nota a seguito delle

attività di installazione del sea-line. Inoltre, per tutta la durata delle indagini le concentrazioni rilevate lungo il transetto sono sempre risultate minori o del tutto confrontabili con quelle dei riferimenti.

Anche rispetto ai tenori osservati nel pre-survey l'alluminio ha mostrato variazioni modeste inquadabili nella normale dinamica ambientale.

I valori maggiori, ma sempre molto modesti in valore assoluto, sono stati rilevati nell'inverno 2012. Il picco registrato in C4, seppure basso, potrebbe indicare un processo di accumulo di alluminio nei sedimenti. I risultati del monitoraggio dell'estate 2012 consentiranno di avvalorare o scartare questa ipotesi.

Arsenico – Le concentrazioni di arsenico osservate lungo il transetto nell'inverno 2012 sono risultate modeste e mediamente paragonabili ai controlli (C: $6,07 \pm 3,29$; K: $5,55 \pm 0,99$ mg kg⁻¹). Solo nel sito C7 è stato registrato un picco ($13,27$ mg kg⁻¹) pari a 2,4 volte la media dei riferimenti.

Nell'intero periodo di monitoraggio (Fabi *et al.*, 2015) questo metallo ha mostrato comportamenti diversi da sito a sito essendo in ogni survey incrementato in alcuni e diminuito in altri. Comunque, le concentrazioni medie del transetto sono sempre state inferiori o in linea con quelle dei controlli. Per quanto concerne le stazioni C4 e K6, monitorate sin dal pre-survey, è stato evidenziato un incremento graduale di arsenico nel tempo, che nell'inverno 2012 ha portato a una concentrazione doppia rispetto a quella antecedente l'installazione della condotta in entrambi i siti. Tale comportamento, come messo in risalto nel precedente rapporto tecnico (Fabi *et al.*, 2015), porterebbe ad escludere una diretta influenza del sea-line.

Bario – Le concentrazioni di bario rilevate lungo il transetto nell'inverno 2012 sono apparse mediamente superiori rispetto ai controlli ($33,78 \pm 1,77$ e $25,31 \pm 2,87$ mg kg⁻¹ rispettivamente), essendo oscillate tra $28,82$ mg kg⁻¹ (C7) e $43,58$ mg kg⁻¹ (C4); questo picco è risultato 1,7 volte la media dei controlli. Comunque, i valori sono apparsi complessivamente bassi e pertanto anche le differenze osservate tra siti possono considerarsi pressoché trascurabili.

Durante l'intera indagine questo metallo ha esibito comportamenti differenti tra siti (Fabi *et al.*, 2015). Durante le prime quattro campagne dopo la posa della condotta in alcune stazioni del transetto erano stati rilevati tenori maggiori dei controlli, anche se mediamente le differenze erano da considerare modeste e le concentrazioni basse in

valore assoluto. Sino all'estate 2011 rispetto al pre-survey l'incremento registrato in K6 era risultato decisamente superiore a quello riscontrato in C4, facendo escludere una possibile influenza della condotta sulla dinamica di questo metallo. I dati dell'ultimo survey indicano un ulteriore aumento in C4 e un decremento in K6. Negli altri siti, invece, le concentrazioni sono rimaste pressoché simili a quelle estive del 2011. Questi risultati potrebbero indicare un fenomeno di accumulo di bario nei sedimenti adiacenti al sea-line avvenuto nell'ultimo periodo. I prossimi dati potranno chiarire se tale fenomeno sia stato limitato nel tempo oltre che nello spazio.

Cromo – Le concentrazioni di cromo rilevate nell'ultimo monitoraggio lungo il transetto C (media: $26,16 \pm 1,79$ mg kg⁻¹) sono risultate comprese tra $20,85$ mg kg⁻¹ (C7) e $34,76$ mg kg⁻¹, massimo registrato in corrispondenza della condotta pari a 1,4 volte la media dei controlli ($24,70 \pm 1,17$ mg kg⁻¹). Se si fa eccezione per C4, gli altri siti del transetto hanno mostrato tenori confrontabili con quelli registrati nei controlli, con valori tendenzialmente superiori verso NE come per l'alluminio.

Nell'intero periodo (Fabi *et al.*, 2015) il cromo non ha mostrato anomalie positive e ha conservato valori complessivamente bassi. Come già osservato in precedenza, a seguito della posa in opera del sea-line era avvenuto un leggero incremento. Tuttavia, gli aumenti sono stati sempre considerati trascurabili e indipendenti dalla presenza della condotta in quanto osservati anche nei controlli. Il comportamento della stazione C4 nell'inverno 2012, tuttavia, potrebbe rappresentare un processo di accumulo di cromo nei sedimenti, fatto che richiede ulteriori verifiche per essere corroborato o smentito.

Tab. 3-III - Concentrazioni (mg kg⁻¹ s.s.; Al espresso in %) dei metalli in tracce rinvenuti nei sedimenti prelevati nell'inverno 2012. In rosso la stazione posta sulla condotta Annamaria A - Annamaria B.

	Alluminio	Arsenico	Bario	Cromo	Rame	Cadmio	Mercurio	Nichel	Piombo	Vanadio	Zinco
C1	0,73	4,68	33,49	28,10	5,03	0,0261	0,0135	11,17	4,41	20,01	30,39
C2	0,62	3,78	31,94	27,14	4,37	0,0219	0,0136	12,74	4,86	17,82	26,10
C3	0,68	4,41	33,46	27,08	4,83	0,0254	0,0120	12,11	4,64	19,66	29,81
C4	0,86	5,02	43,58	34,76	6,61	0,0247	0,0153	17,09	5,81	24,79	36,97
C5	0,53	6,57	31,20	22,10	6,73	0,0212	0,0150	10,26	4,42	15,72	23,57
C6	0,53	4,74	33,97	23,05	4,10	0,0209	0,0119	10,17	4,51	15,71	25,79
C7	0,56	13,27	28,82	20,85	4,44	0,0221	0,0139	18,43	4,59	17,27	26,27
K5	0,61	4,75	27,86	26,03	4,86	0,0237	0,0137	12,74	4,53	18,75	25,81
K6	0,59	6,66	22,20	23,81	5,01	0,0250	0,0175	14,82	4,74	18,52	24,82
K7	0,62	5,23	25,87	24,28	4,24	0,0254	0,0151	11,87	5,08	18,11	24,60

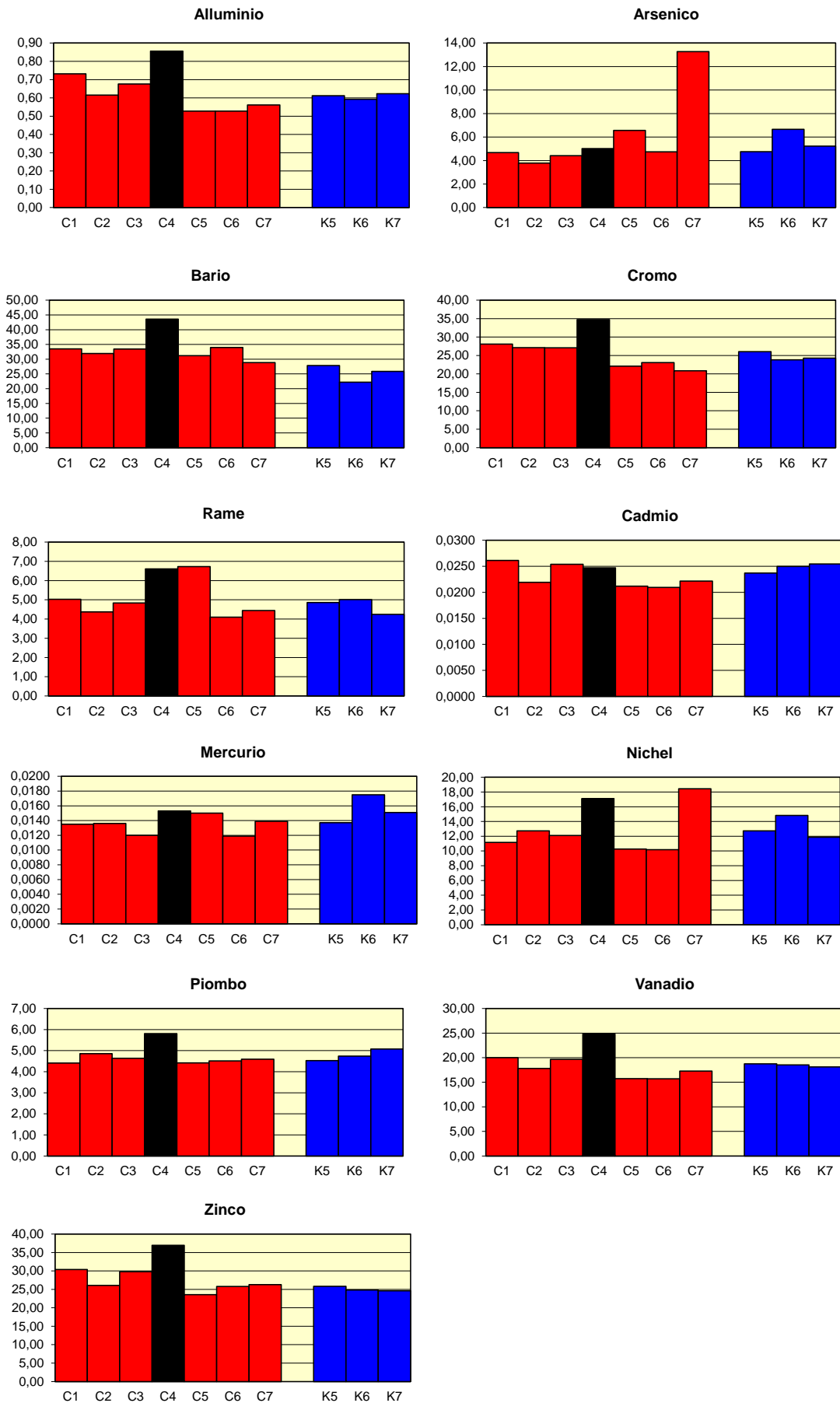


Fig. 3.3 - Concentrazioni dei metalli in tracce (mg/kg s.s. ad eccezione di Al espresso in %) nei sedimenti campionati nell'inverno 2012. K5-K7 = controlli; C4 = sea-line.

Rame – Nell'inverno 2012 la concentrazione media di rame calcolata per il transetto ($5,16 \pm 1,08$ mg/kg) è risultata del tutto confrontabile con quella dei controlli ($4,70 \pm 0,41$ mg kg⁻¹). Tuttavia, lungo C in corrispondenza di C4 e C5 sono state registrate concentrazioni che, pur rimanendo modeste in termini assoluti, erano pari a quasi 1,5 volte la media dei riferimenti.

Fino all'estate 2011 il rame aveva conservato tenori bassi in tutti i siti campionati e lungo il transetto C non erano mai state rilevate concentrazioni maggiori di quella osservata durante il pre-survey in C4 ($4,23$ mg kg⁻¹; Fabi *et al.*, 2015).

L'incremento osservato in C4 e C5 nell'ultimo survey rappresenta l'unico fenomeno che potrebbe indicare l'esistenza di un processo di accumulo di rame nei sedimenti, fatto che richiede ulteriori verifiche.

Cadmio – Le concentrazioni di cadmio rilevate nei sedimenti campionati nell'inverno 2012 lungo il transetto C sono risultate omogenee tra loro e con i controlli, come indicato dai valori medi (C: $0,023 \pm 0,002$; K: $0,025 \pm 0,001$ mg kg⁻¹).

Nel corso dell'intera indagine (Fabi *et al.*, 2015) questo metallo ha sempre esibito valori modesti e comunque inferiori o del tutto confrontabili con quelli del pre-survey. In quasi tutti i casi, inoltre, i tenori registrati lungo il transetto sono sempre stati confrontabili con quelli dei riferimenti.

Complessivamente i dati testimoniano che la presenza della condotta non influenza la dinamica di questo metallo.

Mercurio – Le concentrazioni di mercurio rilevate nei sedimenti campionati nell'ultimo survey sono apparse modeste ovunque e del tutto confrontabili tra transetto ($0,014 \pm 0,001$ mg kg⁻¹) e controlli ($0,015 \pm 0,002$ mg kg⁻¹). Lungo il transetto le concentrazioni maggiori sono state registrate in C4 e C5, comunque inferiori al controllo K6 e simili a K7.

Questo metallo ha esibito nell'intero periodo di studio valori sempre modesti e in alcuni casi al di sotto del limite di quantificazione della metodica (Fabi *et al.*, 2015). Pertanto, anche il confronto tra siti e le variazioni temporali non hanno significato. I dati suggeriscono, quindi, che la condotta non influenza la dinamica di questo metallo.

Nichel – Le concentrazioni medie di nichel rilevate nell'inverno 2012 sono risultate

praticamente identiche tra transetto e controlli ($13,14 \pm 3,31$ e $13,14 \pm 1,51$ mg kg⁻¹ rispettivamente). In tutti i siti del transetto sono risultate inferiori a quelle dei controlli eccetto in C4 e C7 dove, invece, sono stati registrati valori modestamente più elevati, pari a circa 1,3 volte la media dei riferimenti.

Nell'intero periodo di indagine il nichel ha conservato tenori bassi con variazioni temporali abbastanza concordi tra i siti e consistenti in riduzioni nelle stagioni invernali e incrementi in quelle estive (Fabi *et al.*, 2015). Nell'ultimo survey (inverno 2012) i siti hanno esibito comportamenti diversi tra loro, poiché il nichel è aumentato rispetto all'estate 2011 in C2, C3, C4, C7 e si è ridotto altrove ad eccezione di K6 dove è rimasto stabile. In tutti i casi si tratta comunque di differenze modeste interpretabili alla luce della naturale dinamica ambientale.

Piombo – Le concentrazioni di piombo rilevate nell'ultimo survey sono risultate molto modeste in tutti i siti C e mediamente confrontabili con i riferimenti (C: $4,78 \pm 0,19$; K5-K6: $4,78 \pm 0,28$ mg kg⁻¹). Il picco registrato in corrispondenza della condotta, pari a 1,2 volte la media dei controlli, è anch'esso molto basso in termini assoluti.

Nel tempo il piombo ha esibito variazioni stagionali abbastanza concordi tra i siti (Fabi *et al.*, 2015), con incrementi nei periodi invernali: è infatti avvenuto un modesto aumento tra il pre-survey e l'inverno 2010 sia in C4 che nel controllo K6, un decremento nell'estate 2010 in tutti i siti eccetto K6 e un nuovo aumento nell'inverno successivo. Nell'estate 2011, il metallo è nuovamente diminuito, sempre con l'eccezione di K6, mentre nell'ultimo survey è leggermente incrementato praticamente ovunque.

Complessivamente, va sottolineato che tutte le variazioni temporali sono avvenute in un intervallo di concentrazioni molto ristretto e, essendosi verificate anche ai controlli, appaiono del tutto naturali e non imputabili alla presenza della condotta.

Vanadio – Le concentrazioni di vanadio rilevate nell'ultimo survey sono apparse molto modeste in tutti i siti C e inferiori o del tutto confrontabili con quelle dei riferimenti (C: $18,71 \pm 3,17$; K: $18,46 \pm 0,33$ mg kg⁻¹). Un picco, anch'esso basso e pari a 1,3 volte la media dei riferimenti, è stato registrato anche per questo metallo in corrispondenza della condotta.

Nell'intero periodo il vanadio ha esibito sempre tenori bassi (Fabi *et al.*, 2015).

Lungo C (inclusa la stazione C4 posta sopra la condotta) è rimasto pressoché stabile tra il pre-survey e l'inverno 2010 (I post lavori), è diminuito (tranne poche eccezioni) nell'estate successiva e incrementato nell'inverno 2011; nell'estate seguente si è nuovamente ridotto per poi subire un modesto aumento nell'inverno 2012. Nei controlli, il vanadio ha subito variazioni interstagionali di minore entità e non concordi tra siti. In tutti i casi, però, le variazioni sono avvenute in un intervallo di concentrazioni molto modesto. E' tuttavia da rilevare che le differenze maggiori sono state registrate in corrispondenza del sea-line, dove la concentrazione di vanadio registrata nell'inverno 2012 è risultata circa doppia rispetto a quella del pre-survey ($13,62 \text{ mg kg}^{-1}$); anche al controllo K6 il vanadio è aumentato rispetto al pre-survey ($14,55 \text{ mg kg}^{-1}$), ma in modo meno evidente. Il tenore raggiunto in C4 è, tuttavia, troppo modesto per indicare uno stato di contaminazione dell'area; potrebbe piuttosto indicare un effetto estremamente limitato dal punto di vista spaziale.

Zinco – Le concentrazioni di zinco rilevate nell'inverno 2012 sono risultate molto modeste in tutti i siti C, anche se mediamente leggermente superiori rispetto ai riferimenti (C: $28,41 \pm 1,69$; K: $25,08 \pm 0,65 \text{ mg kg}^{-1}$). Il picco registrato in corrispondenza della condotta, anch'esso basso, è risultato pari a 1,4 volte la media dei riferimenti.

Nel periodo di indagine compreso tra il pre-survey e l'inverno 2011, lo zinco aveva mostrato scarse variazioni, conservando nel tempo concentrazioni sempre in linea con quelle del pre-survey (Fabi *et al.*, 2015). Nell'estate 2011, invece, si è assistito a un incremento generalizzato che ha coinvolto anche i controlli e che ha portato alle concentrazioni maggiori mai registrate sino a quel momento. Nell'inverno 2012 lo zinco si è ridotto diffusamente, raggiungendo tenori appena superiori a quelli registrati sino all'inverno 2011.

Comunque, ovunque questo metallo ha conservato nel tempo valori modesti e le variazioni spaziali e temporali osservate sono inquadrabili nella naturale dinamica dei sedimenti.

3.1.4. SOSTANZA ORGANICA

Le percentuali di sostanza organica determinate nell'inverno 2012 lungo il transetto

C sono oscillate in un intervallo ristretto compreso tra 1,4% (C1) e 1,0% (C5), valori del tutto confrontabili con la media (\pm d.s.) dei controlli (1,3 \pm 0,2%).

Per tutta il periodo di indagine la percentuale di sostanza organica ha esibito variazioni modeste e i valori registrati lungo il transetto sono sempre stati inferiori o del tutto simili a quelli dei riferimenti (Fabi *et al.*, 2015). Le eccezioni riguardano unicamente il primo survey dopo la posa della condotta (inverno 2010), quando tutti i siti del transetto avevano presentato concentrazioni maggiori rispetto ai controlli e, per quanto riguarda C4 e K6, rispetto al pre-survey. Anche in questo caso, si trattava però di variazioni molto modeste. Per quanto concerne il sito C4, i dati mostrano che, al di là delle variazioni stagionali, la sostanza organica ha subito nel tempo un leggerissimo incremento passando da 1,1% (pre-survey) a 1,3% (inverno 2012). Il valore raggiunto è tuttavia del tutto confrontabile con la media dei controlli, anch'essa leggermente aumentata nel medesimo arco di tempo. Si tratta di variazioni estremamente modeste che non implicano effetti dovuti alla presenza della condotta.

Tab. 3-IV – Sostanza organica (% s.s.) rilevata nei sedimenti campionati nell'inverno 2012. In rosso il sito sul sea-line Annamaria A - Annamaria B

Sito	Sostanza organica (%)
C1	1,4
C2	1,2
C3	1,1
C4	1,3
C5	1,0
C6	1,1
C7	1,1
K5	1,3
K6	1,5
K7	1,2

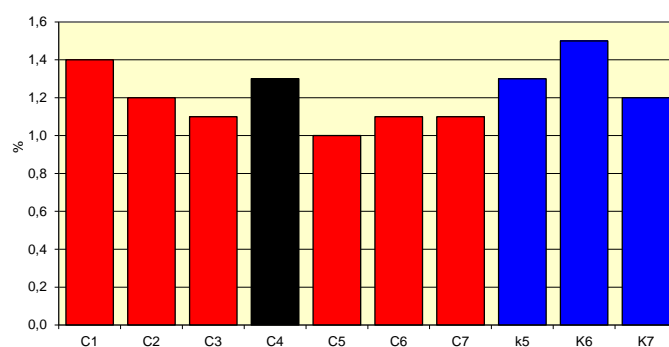


Fig. 3.5 – Sostanza organica (% s.s.) rilevata nei sedimenti campionati nell'inverno 2012. K5-K7 = controlli; C4 = sea-line.

3.2. ECOTOSSICOLOGIA DEI SEDIMENTI

3.2.1. *DUNALIELLA TERTIOLECTA*

QA-QC – Il test eseguito come controllo positivo con $K_2Cr_2O_7$ (8,61 mg l⁻¹ come cromo) è rientrato nei limiti della carta di controllo intralaboratorio (6,2 – 8,8 mg l⁻¹); 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 ai campioni sono riportati in Tab. 3-V, contestualmente ai principali parametri di contorno misurati. In tutti i campioni è stata evidenziata assenza di effetto o un leggero effetto biostimolante ($p < 0,05$) rispetto alla crescita misurata nei rispettivi controlli eseguiti con acqua marina artificiale. In nessun campione è stato evidenziato un effetto tossico. Nel complesso i sedimenti sono quindi risultati privi di effetti tossici e caratterizzati da condizioni chimico-fisiche favorevoli alla proliferazione algale.

Tab 3-V - Parametri di contorno e risultati relativi al saggio di tossicità condotto nell'inverno 2012 con *D. tertiolecta*. In rosso è indicata la stazione corrispondente al sea-line. Valori negativi della percentuale di effetto indicano effetto stimolante.

Campione	pH	S	% effetto/biostimolazione	EC ₅₀	Giudizio
C4	7,77	33,6	-0%	n.c.	Assenza di effetto
C6	7,79	33,8	-1%	n.c.	Assenza di effetto
K6	7,74	33,8	-22%	n.c.	Effetto eutrofizzante significativo

Confronto con i survey precedenti - Rispetto ai monitoraggi precedenti (Fabi *et al.*, 2015) si conferma l'assenza di effetti tossici, mai riscontrati né prima né dopo i lavori di posa in opera del sea-line.

3.2.2. *VIBRIO FISCHERI*

QA-QC – I valori EC₅₀ a 5' e a 15' (0,82 mg l⁻¹ e 0,24 mg l⁻¹ rispettivamente) con la sostanza di riferimento (Cu^{2+}) sono rientrati nel range di riferimento relativo al test Microtox® (0,42 – 1,16 mg l⁻¹ e 0,03 – 0,75 mg l⁻¹ rispettivamente per il test a 5' e 15'; Onorati *et al.*, 2007).

Risultati del saggio: In tutti i sedimenti testati non è stata rilevata tossicità (Tab. 3-VI).

Tab. 3-VI - Risultati relativi al saggio di tossicità con *Vibrio fischeri* nei campioni del survey condotto nell'inverno 2012. In rosso è indicata la stazione corrispondente al sea-line. Valori negativi della percentuale di effetto indicano effetto stimolante.

campione	Sabbia <1mm (%)	Pelite(%)	Soglia Tox Naturale (TU)	Tox Misurata (TU)	Range al 95% di confidenza (TU)		R ² (%)	S.T.I.	TOX
C4	83,90	82,44	17,56	61,56	10,3	5,8	39,4	90	Assente
C6	84,03	83,51	16,49	57,84	3,1	2,0	6,9	89	Assente
K6	82,64	84,34	15,66	54,92	3,8	1,9	9,3	88	Assente

Confronto con i survey precedenti - Non si sono riscontrate variazioni rispetto a quanto già evidenziato nei survey precedenti (Fabi *et al.*, 2015). Ciò comprova che le proprietà ecotossicologiche dei sedimenti non sono state modificate dai lavori di installazione della condotta o dalla sua presenza.

3.2.3. COROPHIUM ORIENTALE

QA-QC – La sensibilità rilevata sugli organismi nei confronti del tossico di riferimento (CdCl₂) LC 50 = 3,53 mg l⁻¹ (LC = 2,90 mg l⁻¹ e UC = 4,29 mg l⁻¹) è rientrata nella carta di controllo di laboratorio. In Tab. 3-VII sono indicati i principali parametri chimici e fisici misurati all'inizio e alla fine del saggio biologico.

Tab. 3-VII – Parametri chimici e fisici dell'acqua sovrastante il sedimento testato osservati all'inizio e alla fine del test effettuato nell'inverno 2012. In rosso il sito posto in corrispondenza del sea-line.

campione	Inizio del test					Fine del test				
	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg l ⁻¹)	O ₂ (%)	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg l ⁻¹)	O ₂ (%)
Controllo	15 ± 1	35	8,16	0,5	95 ± 5	15 ± 1	34	8,19	0,5	90 ± 5
C4		38	8,21	1			37	8,23	0,5	
C6		38	8,21	1			37	8,24	0	
K6		38	8,20	1			38	8,23	0,5	

Risultati del saggio - Le percentuali di mortalità degli organismi osservate in tutti i sedimenti testati hanno dimostrato l'assenza di tossicità acuta (Tab. 3-VIII).

Tab. 3-VIII - Percentuali di mortalità degli organismi *C. orientale* osservati nel test di tossicità acuta relativo all'inverno 2012. In rosso è indicata la stazione posta in corrispondenza del sea-line.

campione	N. organismi esposti	% organismi morti (\pm dev. st. %)	% (corretta) organismi morti	TOX
Controllo	100	0 \pm 0	0	Assente
C4	100	5 \pm 2,00	5	Assente
C6	100	11 \pm 2,00	11	Assente
K6	100	4 \pm 3,27	4	Assente

Confronto con i survey precedenti - I risultati del test con *C. orientale* condotto nell'inverno 2012 hanno confermato quanto già evidenziato sino all'estate 2011 (Fabi *et al.*, 2015), ovvero che i lavori legati alla posa in opera della condotta non hanno modificato le proprietà ecotossicologiche dei sedimenti osservate nel pre-survey.

3.2.4. ACARTIA TONSA

QA-QC - Il test eseguito come controllo positivo con 3,5-DCP ($59 \mu\text{g l}^{-1}$) è risultato nei limiti della carta di controllo intralaboratorio ($33\text{--}388 \mu\text{g l}^{-1}$); la percentuale di copepoditi nel campione di controllo ($71 \pm 7\%$) è risultata superiore al limite del 30%. Risultati del saggio - Non è stata rilevata presenza di tossicità in alcuno dei siti analizzati (Tab. 3-IX).

Tab 3-IX - Parametri di contorno e risultati relativi al saggio di tossicità con *A. tonsa* nei campioni prelevati nell'inverno 2012. In rosso è indicata la stazione posta in corrispondenza del sea-line.

campione	LDR	In(%)	TOX
controllo	0,71 \pm 0,07	-	-
C4	0,54 \pm 0,08	24%	Assente
C6	0,54 \pm 0,09	23%	Assente
K6	0,72 \pm 0,06	-2%	Assente

Confronto con i survey precedenti – I risultati ottenuti nell'inverno 2012 confermano l'assenza di tossicità rilevata nel periodo di indagine precedente (Fabi *et al.*, 2015).

3.2.5. *CRASSOSTREA GIGAS*

QA-QC - Il test eseguito con la sostanza di riferimento ha prodotto una EC₅₀ di 15,1 µg l⁻¹ di Cu, che rientra nei limiti della carta di controllo intralaboratorio (5-33 µg l⁻¹); la percentuale di larve D-shape normalmente sviluppate nel campione di controllo (93±1%) è risultata superiore al limite del 70%.

Risultati del saggio - Il saggio di embriotossicità applicato agli elutriati ha evidenziato l'assenza di tossicità nei due campioni esaminati nei pressi del sea-line, caratterizzati da una percentuale di larve normalmente formate (percentuale di successo del test normalizzata S%) non marcatamente differente dal controllo (Tab. 3-X). Solo nel sito di riferimento K6 è stato evidenziato un segnale di relativa tossicità, non apparentemente legato alla presenza della condotta.

Tab. 3-X - Parametri di contorno e risultati relativi al saggio di tossicità con *C. gigas* nei campioni prelevati nell'inverno 2012. In rosso è indicata la stazione posta in corrispondenza del sea-line.

campione	% effetto grezzo	S(%)	EC ₅₀	TOX
Controllo	7±1	-	-	-
C4	12±7	94	-	Assente
C6	15±9	91	-	Assente
K6	56±4	47	96-	Media

Confronto con i survey precedenti - I valori ottenuti nell'ultimo survey sono risultati simili a quelli rilevati durante le campagne precedenti salvo nel controllo K6, per il quale è stato osservato un peggioramento rispetto alle due stagioni del 2011, con un ritorno alla stessa situazione rilevata nell'estate 2010 (II survey post lavori; Fabi *et al.*, 2015).

3.2.6. *HEDISTE DIVERSICOLOR*

I parametri chimici e fisici dell'acqua sovrastante il sedimento, registrati all'inizio e al termine del test effettuato nell'inverno 2012, sono riportati in Tab. 3-XI, mentre in Tab. 3-XII sono indicate le mortalità degli organismi osservate nel test di bioaccumulo.

La mortalità degli organismi osservata nel sedimento di controllo è risultata assente;

quindi, le mortalità degli organismi esposti ai sedimenti testati, indicano che essi possono causare per i policheti uno stress supplementare prodotto probabilmente dalle loro proprietà chimiche e/o granulometriche.

Tab. 3-XI – Parametri chimici e fisici dell’acqua sovrastante il sedimento testato osservati all’inizio e alla fine del test effettuato nell’inverno 2012. In rosso il sito posto in corrispondenza del sea-line.

campione	Inizio del test					Fine del test				
	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg l ⁻¹)	O ₂ (%)	Temp. (°C)	Salinità (%)	pH	NH ₄ ⁺ (mg l ⁻¹)	O ₂ (%)
Controllo	16 ± 1	35	8,18	1	95 ± 5	16 ± 1	34	8,18	0,5	90 ± 5
C4		35	8,18	1			34	8,18	0,5	
C6		35	8,18	1			34	8,18	0	
K6		35	8,18	0,5			35	8,17	0	

Tab. 3-XII - Percentuali di mortalità degli organismi *H. diversicolor* osservate nel test di bioaccumulo condotto nell’inverno 2012. In rosso il sito corrispondente al sea-line.

campione	Numero degli organismi esposti	% degli organismi morti (± dev.st %)
controllo	18	0 ± 0,0
C4	18	17 ± 0,00
C6	18	22 ± 10,00
K6	18	11 ± 10,00

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

Tab. 3-XIII - Concentrazioni dei metalli pesanti rilevate nei tessuti di *H. diversicolor* nel survey condotto nell’inverno 2012. (bianco = tempo zero 0’ - organismi spurgati/non esposti ai sedimenti). n.r. = non rilevabile. In rosso è evidenziata la stazione posta sul sea-line.

campione	Al %	Ba mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg
bianco	n.r.	4,48	n.r.	14,96	1,72	n.r.	91,16	1,94	0,24	0,39	0,16
controllo	n.r.	3,99	n.r.	20,25	1,91	n.r.	95,79	2,07	0,24	0,34	0,27
C4	n.r.	4,14	n.r.	16,54	2,88	n.r.	114,31	2,74	0,23	0,42	0,23
C6	n.r.	4,00	n.r.	15,16	2,36	n.r.	108,70	2,14	0,20	0,31	0,19
K6	n.r.	4,33	n.r.	16,35	2,83	n.r.	89,15	2,29	0,24	0,43	0,19

Tab. 3-XIV - Differenze tra le concentrazioni dei metalli pesanti rilevate nei tessuti di *H. diversicolor* esposti ai sedimenti da testare e il bianco (0'). In rosso è evidenziata la stazione corrispondente al sea-line. n.c. = non calcolabile. In neretto sono indicati i valori che si discostano per più del 20% dal valore del bianco.

campione	Al %	Ba mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	V mg/kg	Zn mg/kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Pb g/kg	Hg mg/kg
controllo	n.c.	-0,49	n.c.	5,29	0,19	n.c.	4,63	0,13	0,00	-0,05	0,11
C4	n.c.	-0,34	n.c.	1,58	1,16	n.c.	23,15	0,80	-0,01	0,03	0,07
C6	n.c.	-0,48	n.c.	0,20	0,64	n.c.	17,54	0,20	-0,04	-0,08	0,03
K6	n.c.	-0,15	n.c.	1,39	1,11	n.c.	-2,01	0,35	0,00	0,04	0,02

Risultati del test - Le concentrazioni di **Alluminio**, **Cromo**, e **Vanadio** osservate nei tessuti degli organismi, sotto i limiti di rilevabilità, hanno dimostrato l'assenza di biodisponibilità di questi metalli.

Bario, **Rame**, **Cadmio** e **Piombo** nei policheti sottoposti ai sedimenti delle stazioni C4, C6 e K6 sono risultati presenti in concentrazioni inferiori o confrontabili con il bianco.

Le concentrazioni di **Nichel** si sono mostrate leggermente superiori della concentrazione nel bianco ovunque. La biodisponibilità maggiore è stata osservata in C4 e K6, mentre in C6 è risultata meno importante.

Lo **Zinco** è risultato bioaccumulato solo in corrispondenza della stazione C4, analogamente all'**Arsenico** e al **Mercurio**. Quest'ultimo però pare poco importante essendo la concentrazione rilevata in C4 inferiore rispetto a quella misurata nel controllo, che è un sedimento nativo proveniente da un sito non contaminato.

Confronto con i survey precedenti - Rispetto alle campagne precedenti (Fabi *et al.*, 2015) i risultati dell'inverno 2012 confermano l'assenza di bioaccumulo per la maggior parte dei metalli indagati. Tuttavia è stata evidenziata una relativa modifica della mobilità di Ni, Zn e As. La variazione del comportamento del nichel è stata riscontrata anche in K6, per cui è probabilmente indipendente dalla presenza della condotta; Zn e As, invece, hanno riguardato solo il sito sul sea-line.

3.3. INDAGINI SULLA COMUNITÀ BENTONICA

3.3.1. DENSITÀ E BIOMASSA

Analogamente a quanto osservato sin dal pre-survey (Fabi *et al.*, 2015) nel quinto survey condotto dopo la fine dei lavori (inverno 2012) il transetto C è risultato abbastanza ricco in termini di numero d'individui. E' da rilevare che tutti i siti del transetto sono apparsi confrontabili tra loro, eccetto C7 paragonabile solo con C5 e C6, mentre nei controlli è stata rilevata una maggiore variabilità (fig. 3.6). Escludendo C7 ($332,32 \pm 14,44$ ind $0,095 \text{ m}^{-2}$), nel resto del transetto le densità sono oscillate tra $389,39 \pm 46,87$ ind $0,095 \text{ m}^{-2}$ (C6) e $435,51 \pm 59,67$ ind $0,095 \text{ m}^{-2}$ (C3). I controlli hanno presentato densità inferiori e comprese tra $113,00 \pm 17,45$ ind $0,095 \text{ m}^{-2}$ (K7) e $275,06 \pm 29,25$ ind $0,095 \text{ m}^{-2}$ (K5). Quest'ultimo valore è l'unico leggermente confrontabile con C5.

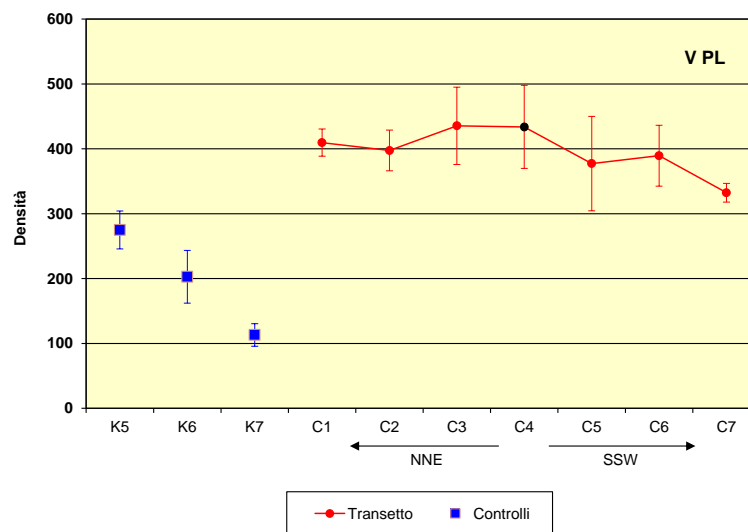


Fig. 3.6 – Densità (\pm e.s.) registrate nel V survey effettuato dopo la fine dei lavori (inverno 2012).

Rispetto all'estate 2011 (Fabi *et al.*, 2015), eccetto in C1 e C2 le densità sono diminuite ovunque, in particolare in corrispondenza della condotta (estate 2011: $895,03 \pm 167,13$; inverno 2012: $433,84 \pm 64,03$ ind $0,095 \text{ m}^{-2}$).

Le specie presenti con il maggior numero di individui lungo il transetto sono state principalmente due, i policheti *Ditrupa arietina* da C4 a C7 e Sabellidae nd, da C1 al

C3, quest'ultima più abbondante anche ai controlli (Tab. 3-XV). Anche nell'estate 2011 le specie presenti con il maggior numero di individui erano state *D. arietina* in tutto il transetto tranne in C2 e i sabellidi in C2 e ai controlli. Nell'inverno 2012 in alcune stazioni del transetto (C1-C3) e nei controlli sono aumentati rispetto al survey precedente i Sipuncula nd, così come *Aspidosiphon muelleri* in C3, mentre il polichete *Minupio cirrifera* è diminuito nei riferimenti.

In termini di biomassa (fig. 3.7) sono stati registrati alcuni picchi determinati dalla presenza di uno o pochi esemplari di specie importanti dal punto di vista ponderale, caratterizzati da errori standard molto elevati in quanto gli organismi sono stati rinvenuti in una sola replica.

Questi picchi sono stati registrati in corrispondenza di C2, C3 e C7 per quanto riguarda il transetto e in K6 per quanto concerne i controlli. In C2 e C7 è stata rilevata la presenza dell'antozoo *Alcyonium palmatum* che ha determinato valori di biomassa simili in questi due siti ($28,52 \pm 23,47$ e $22,51 \pm 19,20$ gr $0,095$ m⁻² rispettivamente). In C3 e K6, invece, ha inciso quasi esclusivamente l'oloturoideo *Holoturia forskali* (Tab. 3-XVI).

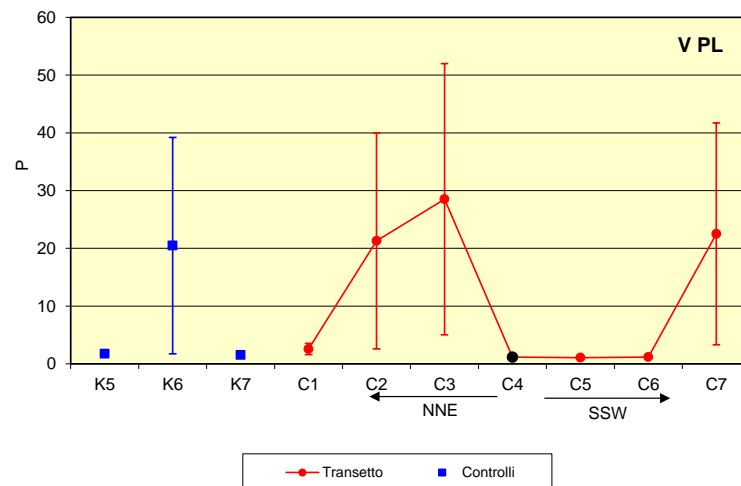


Fig. 3.7 – Biomassa (\pm e.s.) registrate nel V survey effettuato dopo la fine dei lavori (inverno 2012).

Tab. 3-XV – Lista e densità (n. ind. 0,095 m⁻²) delle specie rinvenute nelle due stazioni campionate nell’inverno 2012. Per ogni sito è anche riportato il numero totale di taxa osservati. AP = Biocenosi delle alghe fotofile; C = Bioc. del coralligeno; DC = Bioc. dei fondi detritici costieri; DE = Bioc. dei fondi detritici infangati; DL = Bioc. del detritico del largo; Glar = glareicolo; Lim = limicolo; Lre = larga ripartizione ecologica; MI = Bioc. dei fondi mobili instabili; Mixt = misticolo; MO = indicatore di materia organica; Sab = sabulicolo; Sd = substrato duro; Sm = substrato mobile; SFBC = Bioc. delle sabbie fini ben calibrate; SGCF = Bioc. delle ghiaie fini sotto l’influsso delle correnti di fondo; SVMC = Bioc. delle sabbie infangate di moda calma; VB = Bioc. dei fanghi batiali; VTC = Bioc. dei fanghi terrigeni costieri.

Stazioni		Biocenosi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)			100	60	30	0	30	60	100	926	926	926
Briozoi												
	<i>Amathia semiconvoluta</i>	Sd	1,01	2,53	2,85	2,02	2,02	2,53	2,02	1,85	1,51	1,00
Cnidari												
Antozoi	Actiniaria nd			0,51	2,17		1,01	0,51	1,01	3,54	2,69	
	<i>Alcyonium palmatum</i>	DE	0,51	1,01	1,01		1,01		0,51			
	<i>Epizoanthus</i> sp				0,83							
	Madreporaria nd				1,52						0,33	0,33
	Stolonifera nd									0,51		2,33
Idrozoi	Hydroidea nd			0,51		0,51	0,51	1,01	0,51	1,01	0,33	0,17
Crostacei												
Anfipodi	<i>Ampelisca diadema</i>	DE	1,01	5,56	5,56		1,52	4,04	2,53	3,53	4,03	1,50
	<i>Ampelisca intermedia</i>	SFBC						0,51				
	<i>Apherusa</i> sp			0,51								
	<i>Caprella</i> sp				0,51							0,67
	<i>Corophium</i> sp			0,51	0,51			1,01	1,01		0,33	0,33
	<i>Eusirus longipes</i>	VTC								0,33		
	<i>Harpinia dellavallei</i>	VTC	0,51	1,01	1,01		0,51	1,01		0,51		
	<i>Hippomedon massiliensis</i>	Sab					0,51			0,51		
	<i>Iphimedia</i> sp	-		0,51	0,51	0,51						
	<i>Lysianassa</i> sp		0,51	0,51								
	<i>Metaphoxus simplex</i>	SFBC		0,51	0,51				0,51			
	<i>Microprotopus maculatus</i>	SFBC		0,51								
	<i>Monocolodes carinatus</i>	DE			0,51						0,51	0,17
	<i>Orchomene grimaldii</i>	VTC			0,51		1,01	1,01				
	<i>Peltocoxa</i> sp		0,51									
	<i>Pericolodes longimanus</i>	SFBC	0,51	0,51	0,51	0,51		0,51	1,01			
	<i>Perrierella audouiniana</i>	C		0,51								
	<i>Photis longicaudata</i>	VTC	0,51	3,03	1,34	0,51	1,52	0,51	1,01			
	<i>Phtisica marina</i>	Lre		1,01		0,51	0,51	0,51		2,69		0,17
	<i>Pseudolyrius kroyeri</i>	SFBC	0,51		0,51							
	<i>Pseudoprotella phasma</i>	Lre						1,01		5,56		
	<i>Stenothoe</i> sp			0,51			0,51			0,33		
	<i>Urothoe</i> sp		0,51		0,51	1,01		1,01	1,01	0,51	0,33	
	<i>Westwoodilla rectirostris</i>	Sab	0,51	1,52				0,51	1,01	1,01		0,33
Copepodi	Copepoda nd		2,02	2,02	1,52	3,54	2,02	0,51	1,01	2,02	0,33	0,50
Cumacei	<i>Bodotria scorpoides</i>	SGCF	0,51	1,52	1,52	1,01	0,51	0,51	0,51		0,67	
	Cumacea nd		2,53	3,03	2,02	2,02	0,51	2,02	0,51	2,53	0,84	0,33
	<i>Diastylis</i> sp								0,51			
	<i>Eudorella truncatula</i>	Mixt	1,52	4,04	3,54	1,01	4,04	2,53	1,01	1,34	1,85	0,67
	<i>Iphinoe serrata</i>	DE		0,51	1,52		0,51	0,51	0,51		0,51	
	<i>Leucon mediterraneus</i>	C				0,51	1,01	0,51		0,51		
Decapodi	<i>Alpheus glaber</i>	VTC	0,51	0,51					0,51	0,51		
	<i>nucula nitidosa</i>		1,01	0,51				0,51	0,51	1,01		0,33
	<i>Atelecyclus rotundatus</i>	Sab	0,51									
	<i>Eballia deshayesi</i>	DC		0,51	1,52			1,01				0,33
	<i>Eballia edwardsii</i>	DC										0,33
	<i>Galathea</i> sp								0,51			
	<i>Liocarcinus maculatus</i>	Sab	0,51							0,51		
	Paguridae nd		0,51					0,51				
	<i>Solenocera membranacea</i>	VB							1,01			
Isopodi	<i>Anthura gracilis</i>	Lim								0,51		
	<i>Cirolana</i> sp								0,51			
	<i>Eurydice</i> sp		1,52	1,52	1,34	4,04	1,52	1,52	1,52	1,68	1,01	0,67
	<i>Gnathia</i> sp		0,51	1,52	0,51		0,51	1,01		0,51		
Misidacea	Misidacea nd			1,01	0,83				0,51			
Ostracodi	Ostracoda nd		1,52	1,01		1,01		0,51				
Tanaidacei	<i>Apseudes latreillii</i>	Minut	0,51	2,02	2,53		1,52	12,12				0,83
	<i>Leptochelia savignyi</i>	C	0,51	0,51	0,51	1,52	2,53	0,51		0,33	0,33	0,33
Echinodermi												
Asteroidi	<i>Astropecten irregularis</i>	DC	0,51									

Tab. 3-XV – Continuo.

Stazioni		Biocenosi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)			100	60	30	0	30	60	100	926	926	926
Echinodermi												
Ofiuroidei	<i>Astropecten spinulosus</i>	HP	0,51									
	<i>Amphiura chiajei</i>	VTC	0,51	2,53	0,51	1,01	0,51	0,51			2,02	
Oloturoidei	<i>Ophiotrix fragilis</i>	Lre					1,52			0,33		
	<i>Ophiura albida</i>	DC	4,04	1,01	1,52	0,51	0,51		3,54	2,53	1,34	
	<i>Holothuria forskali</i>	Lre			0,51						0,33	
	Holothuriodea nd					0,51						
	<i>Thyone fusus</i>	DE	0,51		2,53				1,01			0,17
	<i>Trachythone tergestina</i>	VTC	1,01		0,51				0,51		0,84	
Molluschi												
Bivalvi	<i>Abra prismatica</i>	DC	0,51	1,52	1,01		0,51	0,51	0,51		0,51	
	<i>Anomia ephippium</i>	Lre			2,17	1,01	1,01	2,02	1,52			
	<i>Azorinus chamasolen</i>	Mixt							0,51			
	<i>Cardiomya costellata</i>	DL	0,51	0,51	1,01			1,01	0,51	1,52		
	<i>Chamelea gallina</i>	SFS						0,51	0,51			
	<i>Chlamys varia</i>	DC									0,33	
	<i>Clausinella brogniartii</i>	SGCF		0,51						0,51	0,33	
	<i>Corbula gibba</i>	MI	1,52	1,52	0,51	1,01	2,02	0,51	0,51	2,02	0,33	0,50
	<i>Ctena decussata</i>	Mixt									0,51	
	<i>Cuspidaria cuspidata</i>	Mixt							0,51			
	<i>Hiatella arctica</i>	Sd					1,01		0,51	1,01		
	<i>Hiatella rugosa</i>	Sd	1,52	2,53	1,34	0,51		1,52	1,52	1,01	2,51	0,33
	<i>Kellia suborbicularis</i>	DC			0,51							
	<i>Kurtiella bidentata</i>	VTC							0,51	0,51		
	<i>Limaria hians</i>	DC							0,51			
	<i>Modiolarca subpicta</i>	AP		1,01	1,67		1,52	0,51	0,51	1,34	1,00	0,67
	<i>Modiolula phaseolina</i>	DC					0,51	0,51	0,51		0,51	
	<i>Myrtea spinifera</i>	MO	13,64	12,12	10,43	10,61	7,58	12,12	13,13	11,93	7,54	4,50
	<i>Mysia undata</i>	Mixt							0,51			
	<i>Nucula nitidosa</i>	Lim		0,51	1,01		1,52	1,01	1,01	0,51	0,84	
	<i>Pandora pinna</i>	Lim					0,51				0,33	
	<i>Parvicardium minimum</i>	Mixt		2,53	1,01	1,01		3,03	4,55	7,74	2,17	3,17
	<i>Phaxas adriaticus</i>	Sab	1,01	2,02	2,02		0,51		1,52	0,33		
	<i>Pitar rudis</i>	DC	2,53	2,53	3,03	1,01	1,01		1,01	1,34	1,34	
	<i>Plagiocardium papillosum</i>	DC							0,51			
	<i>Poromya granulata</i>	Mixt								0,33		
	<i>Saccella commutata</i>	Mixt			0,51							
	<i>Saccella illirica</i>	Lre			0,51		0,51				0,33	
	<i>Similpecten similis</i>	Sm										0,33
	<i>Tellina serrata</i>	DE	0,51						1,01	1,01	1,00	0,67
	<i>Thyasira flexuosa</i>	Lim	0,51				0,51					0,17
	<i>Thyasira succisa</i>	Lim	1,52	0,51	0,51	1,01	0,51	1,52	1,52	0,84		0,83
	<i>Timoclea ovata</i>	Lre	4,04	4,55	3,03	1,01	2,53	1,52	4,04	13,46	9,35	3,67
Caudofoveati	<i>Falcidens guttuosus</i>	Lim	12,63	13,64	10,40	11,62	5,05	6,57	13,64	11,43	8,05	3,83
Gasteropodi	<i>Alvania sp</i>								1,01			
	<i>Calyptrea chinensis</i>	Lre			1,01	0,51		0,51	0,51			
	<i>Cylichna cylindracea</i>	SFBC	1,52	1,52	1,52	1,52	1,01		2,02	1,01	0,33	0,83
	<i>Mangelia coarctata</i>	Sm	0,51					1,01		0,51	0,33	
	<i>Melanella polita</i>	DC	0,51		0,51		0,51					
	<i>Odostomia sp</i>					0,51				0,51		
	<i>Philine aperta</i>	VTC	0,51									
	<i>Polinices nitida (ex Euspira nitida)</i>	Sab	0,51		0,51	0,51					0,51	
	<i>Raphitoma sp</i>		0,51									
	<i>Trophonopsis muricatus</i>	Sd							0,51			
	<i>Turritella communis</i>	VTC	6,06	2,02	29,12	5,05	3,03	2,02	1,01	1,17	1,33	0,50
Scafoodi	<i>Antalis inaequicostata</i>	VTC		1,01	1,67	0,51	0,51		0,51	0,33	0,17	
Nemertini												
	Nemertea nd		2,02	4,04	4,70	0,51	1,52	3,03	1,52	1,52		0,83
Pantopodi												
Pycnogonidi	Pycnogonida nd			2,02	0,83	2,02		1,52	0,51	0,51		0,67
Policheti												
	<i>Ampharete acutifrons</i>	VTC	13,64	3,54	5,35	6,06	2,53	6,06	6,57	5,05	7,03	4,33
	Ampharetidae nd		7,58	6,57	9,09	5,56	5,56	4,04	6,06	8,24	5,35	4,33
	<i>Amphicteis gunneri</i>	Lim		0,51	0,51							
	<i>Aphelochaeta filiformis</i>	MO	8,08	17,17	10,23	7,07	4,55	7,07	4,55	10,43	9,56	4,83

Tab. 3-XV – Continuo.

Stazioni	Biocenosi	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
		100	60	30	0	30	60	100	926	926	926
Distanza dal sea-line (m)											
Policheti											
<i>Aphelochaeta marioni</i>	MO	2,02	2,53	1,52	0,51		3,54		0,84	0,51	0,67
<i>Aponuphis brementi</i>	Lim	10,61	12,63	10,10	26,26	5,56	10,61	7,07	2,18	5,69	3,67
<i>Arabella geniculata</i>	Glar	0,51						0,51			
<i>Chaetozone caputesocis</i>	Lim	0,51				0,51	1,01	1,01	0,51	1,17	0,17
<i>Chirimia biceps</i>	MO								0,33		
<i>Cossura soyeri</i>					0,51						
<i>Ditrupea arietina</i>	MI	28,79	16,67	32,40	168,18	145,45	85,86	50,51	3,54	4,04	0,67
<i>Dilonereis filum</i>	Lim				0,51		1,01	0,51	0,33	1,01	0,50
<i>Eunice vittata</i>	Lre		1,01	0,51				0,51	0,51		
<i>Filograna sp</i>			0,51		0,51						
Flabelligeridae nd		4,55	1,52	2,02	1,01	1,52	2,53	0,51	1,52	0,84	
<i>Glycera rouxii</i>	MO	7,58	10,61	9,90	5,56	3,03	9,09	8,08	11,61	8,87	3,00
<i>Goniada maculata</i>	VTC	10,61	7,58	6,04	9,09	5,56	4,04	7,07	5,04	3,35	3,17
<i>Harmothoe sp</i>		1,52	0,51			1,52	1,01		0,33		
<i>Hyalinoecia tubicola</i>	DC					0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,67
<i>Hydroides norvegicus</i>	Sd	1,52				0,51			0,84		
<i>Labidoleanira yhleni</i>	VTC	0,51	0,51	0,51	0,51		0,51	0,51	0,51		
<i>Laetmonice hystrix</i>	DC					0,51					
<i>Lumbrineris gracilis</i>	Sab	6,57	7,07	13,08	2,53	4,55	6,57	4,55	4,37	6,02	2,00
<i>Macroclymene santanderensis</i>	Sab		1,01		0,51			1,01			0,50
<i>Magelona alleni</i>	VTC	7,58	4,55	4,87	2,02	2,02	2,02	4,55	3,53	2,34	0,67
Maldanidae nd		6,57	3,03	1,52	1,52	2,53	3,54	4,04	4,71	3,52	1,67
<i>Marphysa bellii</i>	Lim	0,51		0,83							
<i>Melinna palmata</i>	Minut		0,51		0,51				1,01		
<i>Micronephthys sphaerocirrata</i>	Sab	0,51	1,01	2,68	0,51	1,01	1,01	1,01	0,51	0,51	0,50
<i>Minuspio cirrifera</i>	MO	15,15	14,14	15,61	13,13	11,11	11,62	11,62	12,09	5,71	3,17
<i>Nematonereis unicornis</i>	Mixt										1,00
<i>Nephtys hombergi</i>	SFBC		1,01	1,01							0,17
<i>Nephtys hystricis</i>	VTC	2,53	1,52	1,84	1,01	1,01	0,51	0,51	2,02	1,85	
<i>Nothria conchylega</i>	Sab	18,69	14,65	13,59	6,57	4,55	10,61	5,56	3,19	5,70	2,50
<i>Notomastus aberans</i>	MO			0,51		0,51		0,51	0,51	0,33	0,33
<i>Ophelina cilindricaudata</i>	Lim	3,03	2,02	2,02	3,03	1,01	1,01	2,53	1,01	0,84	
<i>Ophiudromus flexuosus</i>	Sab	0,51	0,51				0,51				
<i>Owenia fusiformis</i>	SFBC	10,10	4,55	5,56	1,52	1,52	6,06	4,04	5,56	3,02	1,33
<i>Paralacydonia paradoxa</i>	MO	4,04	4,55	4,37	1,52	2,53	2,02	3,54	4,54	1,68	1,17
Paraonidae nd		21,21	15,66	14,77	8,59	9,60	15,15	10,10	8,73	8,01	3,33
<i>Pectinaria koreni</i>	Sab		1,52				0,51	2,53			0,33
<i>Pholoe sp</i>			0,51								
<i>Phyllochaetopterus sp</i>		1,52	1,01				0,51			0,51	
<i>Phyllodoce lineata</i>	Sab		0,51								
<i>Phyllodoce sp</i>			2,02			0,51	1,52	1,52	1,01		0,17
Phyllococidae nd		0,51	0,51	2,02		1,01	1,01	1,52		0,33	
<i>Phylo foetida</i>	SVMC							0,51			
<i>Phylo norvegica</i>	Lim		1,01								
<i>Pista brevibranchia</i>	Lim				0,51					0,51	
<i>Pista cristata</i>	Lim	0,51	0,51				0,51	0,51		0,51	
<i>Poecilochetus serpens</i>	VTC	0,51	0,51		1,01						0,17
<i>Prionospio sp</i>		4,04	4,04	6,21	1,01	3,54	2,53	3,03	2,53	2,18	0,83
<i>Prionospio steenstrupi</i>	Lre		0,51					0,51			
Sabellidae nd		66,67	59,09	46,16	35,86	63,13	40,91	37,37	22,71	20,64	10,50
<i>Scoletoma impatiens</i>	Mixt	4,55	5,56	3,36	1,52	1,52	6,57	6,06	5,56	0,33	1,83
<i>Serpula vermicularis</i>	AP	1,01									
<i>Spiophanes bombyx</i>	SFBC								1,01	0,33	0,17
<i>Sthenelais boa</i>	Lim		0,51	1,34	2,02		0,51				
Syllidae juv		1,52	1,52	0,51	0,51	1,01	1,01	0,51	0,51	1,34	
<i>Syllis parapar</i>	SFBC	3,03	1,01	1,52	0,51	0,51	1,01	1,52	1,01	1,01	0,83
<i>Syllis sp</i>			3,03	2,35	2,02	0,51	0,51	0,51	1,17	2,68	0,67
Terebellidae nd		2,53	2,53	3,51	0,51	2,02	2,53	1,52	2,35	1,17	2,17
<i>Terebellides stroemi</i>	MO	1,01	1,01	0,51	0,51		0,51	2,53	1,68	0,67	2,33
Sipunculidi											
<i>Aspidosiphon muelleri</i>	MO	14,14	17,68	33,61	22,22	13,13	15,66	18,18	4,19	6,86	5,33
<i>Phascolion strombus</i>	Lre	0,51		5,86	6,57		1,01	0,51			
<i>Sipuncula nd</i>		32,32	33,84	34,44	22,22	10,10	34,34	22,22	29,25	16,56	10,17
DENSITA' TOTALE		409,60	397,47	435,51	433,84	377,27	389,39	332,32	275,06	202,67	113,00
RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE		93	103	96	76	81	90	101	92	79	73

Tab. 3-XVI – Lista e biomassa (gr 0,095 m⁻²) delle specie rinvenute nelle due stazioni campionate nell'inverno 2012. Per ogni sito è anche riportato il numero totale di taxa osservati. * = < 0,001 gr 0,095 m⁻².

Stazioni		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)		100	60	30	0	30	60	100	926	926	926
Briozoi											
	<i>Amathia semiconvoluta</i>	0,107	0,137	0,130	0,073	0,106	0,107	0,135	0,103	0,093	0,499
Cnidari											
Antozoi	<i>Actiniaria</i> nd		0,061	0,052		0,019	0,097	0,191	0,436	0,170	
	<i>Alcyonium palmatum</i>	0,002	18,866	0,010		0,005		19,606			
	<i>Epizoanthus</i> sp			0,009							
	<i>Madreporaria</i> nd			1,059						0,040	0,345
	<i>Stolonifera</i> nd								0,005		0,007
Idrozoi	<i>Hydroidea</i> nd		*		*	0,007	0,009	0,013	0,061	0,039	0,007
Crostacei											
Anfipodi	<i>Ampelisca diadema</i>	0,003	0,005	0,006		*	0,003	0,008	0,004	0,007	0,001
	<i>Ampelisca intermedia</i>						*				
	<i>Apherusa</i> sp		*								
	<i>Caprella</i> sp				*						*
	<i>Corophium</i> sp		*	*			0,001	0,001		*	*
	<i>Eusirus longipes</i>								*		
	<i>Harpinia dellavallei</i>	*	*	*		0,001	*		*		
	<i>Hippomedon massiliensis</i>					0,002			0,004		
	<i>Iphimedia</i> sp			*	*						
	<i>Lysianassa</i> sp	*	0,002								
	<i>Metaphoxus simplex</i>		*	*				*			
	<i>Microtopopus maculatus</i>		*								
	<i>Monoculodes carinatus</i>			*						*	*
	<i>Orchomene grimaldii</i>			*		0,001	*				
	<i>Peltocoxa</i> sp	*									
	<i>Periculodes longimanus</i>	*	*	*	*		*	*			
	<i>Perrierella audouiniana</i>	*	*								
	<i>Photis longicaudata</i>	*	*	*	*	*	*	*			
	<i>Phtisica marina</i>		*		*	*	*		*		*
	<i>Pseudolymus kroyerii</i>	*		*							
	<i>Pseudoprotella phasma</i>						*		0,006		
	<i>Stenothoe</i> sp		*			*		*	*		
	<i>Urothoe</i> sp	*		*	*	*	*	0,001	*	*	
	<i>Westwoodilla rectirostris</i>	0,002	0,002			*	*	0,003	0,001	*	*
Copepodi	<i>Copepoda</i> nd	*	0,001	*	*	0,001	*	*	*	*	*
Cumacei	<i>Bodotria scorpioides</i>	*	*	0,001	0,003	*	*	*	*	*	*
	<i>Cumacea</i> nd	*	0,001	*	0,001	*	*	*	0,002	*	*
	<i>Diastylis</i> sp							0,001			
	<i>Eudorella truncatula</i>	*	0,001	*	*	0,001	*	*	*	*	*
	<i>Iphinoe serrata</i>		*	0,002		*	*	*	*	*	
	<i>Leucon mediterraneus</i>				*	*	*		*		
Decapodi	<i>Alpheus glaber</i>	0,150						0,082	0,024		
	<i>nucula nitidosa</i>	0,012	0,017				0,006	0,002	0,004		0,003
	<i>Atelecyclus rotundatus</i>	0,003	0,003								
	<i>Ebalia deshayesi</i>			0,019			0,007				0,001
	<i>Ebalia edwardsii</i>		0,003								0,003
	<i>Galathea</i> sp							0,001			
	<i>Liocarcinus maculatus</i>	0,007							0,001		
	<i>Paguridae</i> nd	*					0,005				
	<i>Solenocera membranacea</i>							0,679			
Isopodi	<i>Anthurus gracilis</i>								*		
	<i>Cirolana</i> sp							0,032			
	<i>Eurydice</i> sp	0,001	0,001	*	0,001	0,001	0,002	0,012	0,001	0,001	*
	<i>Gnathia</i> sp	*	0,001	*		*	*		*		
Misidacea	<i>Misidacea</i> nd		0,003	0,001				0,002			
Ostracodi	<i>Ostracoda</i> nd	*	0,002		0,002		*				
Tanaidacei	<i>Apseudes latreillii</i>	*	0,002	0,001		0,002	0,003				0,002
	<i>Leptocheilia savignyi</i>	*	*	*	*	*	*		*	*	*
Echinodermi											
Asteroidi	<i>Astropecten irregularis</i>	0,137									
	<i>Astropecten spinulosus</i>	0,153									

Tab. 3-XVI – Continuo.

Stazioni	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)	100	60	30	0	30	60	100	926	926	926
Echinodermi										
Ofiuroidei										
<i>Amphiura chiajei</i>	*	*	*	*	*	*			0,013	
<i>Ophiotrix fragilis</i>					0,001	*		*		
<i>Ophiura albida</i>	0,005	0,002	*	0,001	*		0,006	0,002	0,004	
Oloturoidei										
<i>Holothuria forskali</i>			23,304						18,142	
Holothurioidea nd				0,003						
<i>Thyone fusus</i>	0,029		0,949				0,201			0,065
<i>Trachythone tergestina</i>	0,004		0,001				0,004		0,016	
Molluschi										
Bivalvi										
<i>Abra prismatica</i>	*	0,006	0,001		*	*	*		*	
<i>Anomia ephippium</i>			0,001	0,003	0,001	0,003	0,001			
<i>Azorinus chamasolen</i>							0,022			
<i>Cardiomya costellata</i>	0,004	0,006	0,003			0,010	0,001	0,009		
<i>Chamelea gallina</i>						*	0,004			
<i>Chlamys varia</i>									*	
<i>Clausinella brogniartii</i>		0,759						0,016	0,296	
<i>Corbula gibba</i>	0,003	*	*	0,015	0,006	*	*	0,014	*	0,001
<i>Ctena decussata</i>									0,005	
<i>Cuspidaria cuspidata</i>							0,034			
<i>Hiatella arctica</i>					0,001		0,001	0,003		
<i>Hiatella rugosa</i>	0,002	0,018	0,001	0,000		0,001	0,029	0,002	0,004	0,000
<i>Kellia suborbicularis</i>			0,002							
<i>Kurtiella bidentata</i>							*	*		
<i>Limaria hians</i>							0,001			
<i>Modiolarca subpicta</i>		0,002	*		0,004	*		0,003	0,001	*
<i>Modiolula phaseolina</i>					0,001	*	*		0,001	
<i>Myrtea spinifera</i>	0,226	0,216	0,110	0,068	0,137	0,244	0,357	0,075	0,258	0,122
<i>Mysia undata</i>							0,087			
<i>Nucula nitidosa</i>		*	0,048		0,080	0,006	0,039	*	*	
<i>Pandora pinna</i>					0,001			0,010		
<i>Parvicardium minimum</i>		0,001	0,001	*		0,002	0,007	0,033	0,002	0,004
<i>Phaxas adriaticus</i>	*	0,039	0,108		0,016		0,048	0,013		
<i>Pitar rudis</i>	0,133	0,094	0,016	0,010	0,001		0,102	0,008	0,114	
<i>Plagiocardium papillosum</i>							0,004			
<i>Poromya granulata</i>								0,045		
<i>Saccella commutata</i>			0,079							
<i>Saccella illirica</i>			0,004		0,008				0,012	
<i>Similipecten similis</i>										0,001
<i>Tellina serrata</i>	0,013						0,054	0,037	0,573	0,016
<i>Thyasira flexuosa</i>	0,003				0,001					*
<i>Thyasira succisa</i>	0,001	*	*	0,001	0,001	0,001	0,001	*		*
<i>Timoclea ovata</i>	0,438	0,155	0,013	0,001	0,010	0,004	0,056	0,374	0,103	0,196
Caudofoveati										
<i>Falcidens gutturosus</i>	0,011	0,017	0,012	0,010	0,005	0,009	0,022	0,012	0,007	0,003
Gasteropodi										
<i>Alvania sp</i>							*			
<i>Calyptrea chinensis</i>			0,015	0,001		0,009	*			
<i>Cylichna cylindracea</i>	0,004	0,017	0,003	0,012	0,011		0,011	0,010	*	0,004
<i>Mangelia coarctata</i>	0,004					0,005		0,004	0,001	
<i>Melanella polita</i>	0,005		*		*					
<i>Odostomia sp</i>				0,001				*		
<i>Philine aperta</i>	0,002									
<i>Polinices nitida (ex Euspira nitida)</i>	0,008		0,010	0,001					0,002	
<i>Raphitoma sp</i>	0,001									
<i>Trophonopsis muricatus</i>							0,054			
<i>Turritella communis</i>	0,331	0,106	1,749	0,096	0,054	0,082	0,084	0,024	0,030	0,024
Scafopodi										
<i>Antalis inaequicostata</i>		0,166	0,274	0,004	0,003			0,001	0,096	0,014
Nemertini										
Nemertea nd	0,002	0,166	0,008	0,001	0,006	0,006	0,026	*		0,004
Pantopodi										
Pycnogonidi										
<i>Pycnogonida nd</i>		*	*	0,001		*	0,001	*		*
Policheti										
<i>Ampharete acutifrons</i>	0,017	0,007	0,002	0,008	0,005	0,004	0,008	0,012	0,009	0,007
Ampharetidae nd	0,016	0,007	0,016	0,007	0,005	0,012	0,018	0,010	0,007	0,005
<i>Amphicteis gunneri</i>		0,005	0,002							
<i>Aphelochaeta filiformis</i>	0,002	0,004	0,003	0,001	0,005	0,002	0,002	0,004	0,002	0,004
<i>Aphelochaeta marioni</i>	0,001	0,002	0,001	*		0,002		*	*	*

Tab. 3-XVI – Continuo.

Stazioni	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Distanza dal sea-line (m)	100	60	30	0	30	60	100	926	926	926
Policheti										
<i>Aponuphis brementi</i>	0,020	0,034	0,023	0,062	0,025	0,042	0,027	0,010	0,028	0,007
<i>Arabella geniculata</i>	0,001						0,012			
<i>Chaetozone caputesocis</i>	0,001				0,001	0,004	0,007	0,002	*	*
<i>Chirimia biceps</i>								0,001		
<i>Cossura soyeri</i>				*						
<i>Ditrupa arietina</i>	0,039	0,011	0,077	0,577	0,398	0,205	0,094	0,006	0,006	0,001
<i>Dilonereis filum</i>				0,001		0,015	0,001	0,001	0,017	0,001
<i>Eunice vittata</i>		0,004	0,001				*	0,002		
<i>Filograna sp</i>		*		*						
Flabelligeridae nd	0,011	0,003	0,004	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	
<i>Glycera rouxii</i>	0,043	0,028	0,043	0,014	0,014	0,075	0,055	0,196	0,140	0,068
<i>Goniada maculata</i>	0,011	0,009	0,004	0,014	0,006	0,019	0,009	0,006	0,004	0,006
<i>Harmothoe sp</i>	0,009	*				*	*	0,001		
<i>Hyalinoecia tubicola</i>					*	0,007	0,001	0,018	*	0,001
<i>Hydroides norvegicus</i>	*				*			0,001		
<i>Labioleanira yhleni</i>	0,001	*	0,001	0,008		0,001	0,005	0,006		
<i>Laetmonice hystrix</i>					0,002					
<i>Lumbrineris gracilis</i>	0,008	0,004	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001
<i>Macroclymene santanderensis</i>		*	*	*	*	*	0,001	*	*	*
<i>Magelona alleni</i>	0,001	*	*	*	*	*	*	*	0,003	*
Maldanidae nd	0,028	0,003	0,002	0,004	0,018	0,057	0,016	0,017	0,006	0,006
<i>Marphysa bellii</i>	*		0,001							
<i>Melinna palmata</i>		0,001		*	*	*	*	0,011	*	*
<i>Micronephtys sphaerocirrata</i>	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,001
<i>Minuspio cirrifera</i>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	*
<i>Nematonereis unicomis</i>										0,004
<i>Nephtys hombergi</i>		0,052	0,030							0,056
<i>Nephtys hystrix</i>	0,366	0,097	0,073	0,065	0,041	0,007	0,001	0,030	0,055	
<i>Nothria conchylega</i>	0,056	0,032	0,009	0,004	0,003	0,007	0,010	0,005	0,008	0,004
<i>Notomastus aberans</i>			0,011		0,001		0,001	0,001	0,001	0,001
<i>Ophelina cilindricaudata</i>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	*	
<i>Ophiodromus flexuosus</i>	*	0,001				*				
<i>Owenia fusiformis</i>	0,016	0,008	0,006	0,001	0,002	0,006	0,007	0,013	0,002	0,002
<i>Paralacydonia paradoxa</i>	0,005	0,006	0,003	0,001	0,001	0,001	0,004	0,003	0,002	0,001
Paraonidae nd	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	*
<i>Pectinaria koreni</i>		0,004				0,001	0,080			0,001
<i>Pholoe sp</i>		0,005								
<i>Phyllochaetopterus sp</i>	0,004	0,002				0,000			*	
<i>Phyllodoce lineata</i>		0,008								
<i>Phyllodoce sp</i>		*			*	0,001	0,004	*		0,001
Phyllodocidae nd	*	*	0,001		*	*	0,001	*	*	
<i>Phylo foetida</i>							0,004			
<i>Phylo norvegica</i>		0,023								
<i>Pista brevibranchia</i>				*					0,007	
<i>Pista cristata</i>	*	0,023				*	0,002		0,002	
<i>Poecilochetus serpens</i>	*	*	*	*						*
<i>Prionospio sp</i>	0,003	0,004	0,007	0,002	0,001	0,001	0,005	0,003	0,001	0,001
<i>Prionospio steenstrupi</i>		0,003					0,002			
Sabellidae nd	0,023	0,040	0,028	0,013	0,016	0,008	0,010	0,009	0,011	0,009
<i>Scoletoma impatiens</i>	0,005	0,005	0,025	0,001	0,001	0,005	0,007	0,006	*	0,001
<i>Serpula vermicularis</i>	*									
<i>Spiophanes bombyx</i>								0,001	0,001	0,000
<i>Sthenelais boa</i>		0,002	0,012	0,010		0,005				
<i>Syllidae juv</i>	*	0,001	*	*	*	*	*	*	*	
<i>Syllis parapari</i>	0,003	0,001	0,003	*	*	*	0,002		0,004	0,002
<i>Syllis sp</i>		0,001	0,000	0,002	*	*	*	0,001	0,004	*
Terebellidae nd	0,006	0,048	0,007	0,002	0,006	0,002	0,004	0,004	0,001	0,005
<i>Terebellides stroemi</i>	0,001	0,003	0,002	0,010		*	0,002	0,014	*	0,012
Sipunculidi		*								
<i>Aspidosiphon muelleri</i>	0,041	0,042	0,088	0,022	0,022	0,046	0,059	0,005	0,102	0,023
<i>Phascalion strombus</i>	0,008		0,013	0,007		*	*			
Sipuncula nd	0,015	0,018	0,010	0,006	0,003	0,017	0,014	0,017	0,014	0,004
BIOMASSA TOTALE	2,572	21,288	28,519	1,156	1,081	1,186	22,509	1,770	20,475	1,555
RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE	93	103	96	76	81	90	101	92	79	73

3.3.2. AFFINITÀ BIOECENOTICHE DELLE SPECIE RINVENUTE

I popolamenti rinvenuti sino all'estate 2011 erano risultati costituiti quasi esclusivamente da taxa di fondo mobile, rappresentati soprattutto da organismi limicoli (Lim), sabulicoli (Sab) e misticoli (Mixt; Fabi *et al.*, 2015). Tale situazione è stata confermata nell'inverno 2012, quando i limicoli hanno prevalso in tutte le stazioni tranne in C7, in cui sono risultati più numerosi i misticoli (Mixt) e K6 in cui questi due gruppi hanno presentato lo stesso numero di taxa (Tab. 3-XVIIa). Al quarto posto in ordine di importanza si sono collocati ovunque gli indicatori della materia organica nei sedimenti (MO), analogamente a quanto osservato precedentemente (Fabi *et al.*, 2015), mentre le altre categorie ecologiche legate ai fondi mobili sono apparse meno importanti essendo state rilevate, ove presenti, al massimo con due specie. I taxa di fondo duro sono oscillati tra 4 e 6 lungo il transetto e tra 4 e 7 ai controlli, mentre quelli a larga ripartizione ecologica rispettivamente tra 2 e 7 e tra 2 e 5.

Tab. 3-XVII – Affinità bionomica dei taxa determinati a livello di specie rinvenuti nell'inverno 2012 in termini di numero di specie (a) e di individui (b). In giallo sono indicati i due gruppi più importanti. Per la spiegazione degli acronimi delle biocenosi consultare la Tab. 3-XV.

a)

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Substrato mobile	Non riportato in letteratura (Sm)	1					1		1	1	1
	Limicolo (Lim, VTC, VB)	21	21	20	17	19	19	19	20	16	12
	Sabulicolo (Sab, SFBC)	15	16	13	9	8	11	13	10	8	11
	Misticolo (Mixt, DC, DE, DL, SGCF, SVMC)	13	13	17	6	13	10	21	11	16	11
	Glareicolo	1						1			
	Indicatore di fondi mobili instabili (MI)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Minuticolo	1	2	1	1	1	1		1		1
	Indicatore di materia organica (MO)	8	8	9	8	7	8	8	10	9	9
Substrato duro (Sd, AP, C)		5	5	4	4	6	5	4	7	4	4
Larga ripartizione ecologica (Lre)		2	4	7	5	5	6	6	5	3	2

b)

		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K5	K6	K7
Substrato mobile	Non riportato in letteratura (Sm)	0,51					1,01		0,51	0,33	0,33
	Limicolo (Lim, VTC, VB)	74,75	60,10	79,97	71,72	33,33	41,92	51,52	37,31	37,71	18,17
	Sabulicolo (Sab, SFBC)	45,45	39,39	42,98	14,65	14,14	28,28	26,77	18,00	17,42	9,50
	Misticolo (Mixt, DC, DE, DL, SGCF, SVMC)	17,68	27,27	30,13	6,06	13,13	20,20	27,27	25,90	16,43	10,50
	Glareicolo	0,51						0,51			
	Indicatore di fondi mobili instabili (MI)	30,30	18,18	32,90	169,19	147,47	86,36	51,01	5,56	4,37	1,17
	Minuticolo	0,51	2,53	2,53	0,51	1,52	12,12		1,01		0,83
	Indicatore di materia organica (MO)	65,66	79,80	86,67	61,11	42,42	61,62	62,12	58,14	41,71	25,33
Substrato duro (Sd, AP, C)		5,56	7,07	6,36	4,55	8,59	5,56	4,55	6,89	5,34	2,33
Larga ripartizione ecologica (Lre)		4,55	7,07	13,59	9,60	6,06	6,57	7,58	22,55	10,02	3,83

In termini numerici, gli organismi limicoli sono risultati preponderanti solo in C1 (Tab. 3-XVIIb). Infatti, come già rilevato in precedenza (Fabi *et al.*, 2015), nel tratto

C4-C6 hanno assunto una notevole importanza gli organismi appartenenti alla Biocenosi dei Fondi Mobili Instabili (MI), rappresentati principalmente da *D. arietina*, mentre altrove hanno prevalso numericamente gli MO.

3.3.3. DOMINANZA

Per la rappresentazione grafica delle dominanze sono stati evidenziati i 15 taxa principali che complessivamente hanno costituito il 69% circa delle comunità rinvenute nell'inverno 2012, includendo i restanti nella categoria "altro" (fig. 3.8).

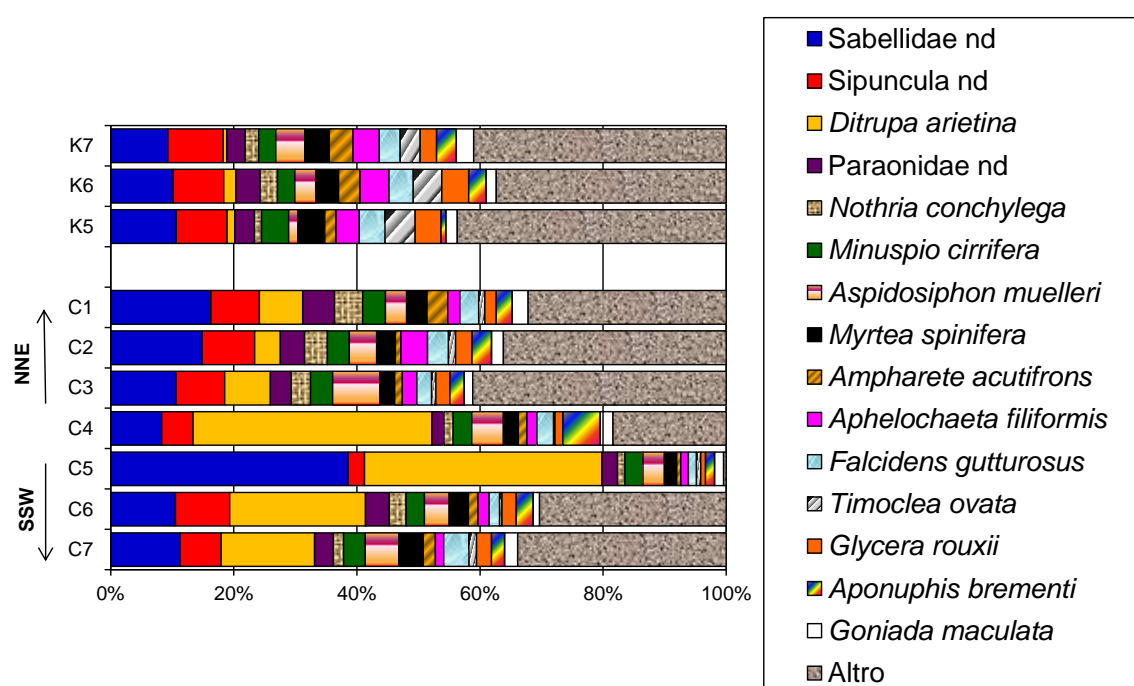


Fig. 3.8 - Valori percentuali di dominanza delle specie principali ottenuti nelle stazioni monitorate nell'inverno 2012 (V survey post lavori). C4 = sito posto sulla condotta sottomarina; K5-K7 = controlli.

D. arietina ha rappresentato la specie dominante in C4, C5 (accanto a Sabellidae nd), C6 e C7, rispettivamente con percentuali di 38,8%, 38,6%, 22,1% e 15,2%. In tutte le restanti stazioni inclusi i controlli hanno prevalso i sabellidi i quali, lungo il transetto, hanno presentato un trend crescente da C4 a C1 passando, in questo tratto del transetto, da 8,3% a 11,3%. Altri taxa da annoverare sono Sipuncula nd, risultati al terzo posto nella maggior parte dei siti eccetto in K7, in cui hanno presentato una percentuale molto simile a quella dei sabellidi (9,0% e 9,3% rispettivamente), sostituiti da *A. muelleri* in C3 e da *Aponuphis brementi* in C4.

Rispetto al survey precedente (Fabi *et al.*, 2015) è avvenuta una riduzione di importanza di *D. arietina* lungo il transetto, dove era risultata dominante quasi ovunque. Nessuna variazione ha riguardato i controlli, dominati dai sabellidi anche nell'estate 2011, sebbene con percentuali leggermente superiori rispetto a quelle del 2012. Al contrario, i sipunculidi hanno presentato percentuali superiori a quelle estive del 2011 praticamente ovunque.

Le curve di dominanza cumulativa (fig. 3.9) hanno confermato l'omogeneità tra i siti già rilevata in precedenza (Fabi *et al.*, 2015), evidenziando però un leggero distacco di C4 e C5 determinato dall'elevata dominanza di *D. arietina* accanto a quella dei sabellidi nella seconda stazione.

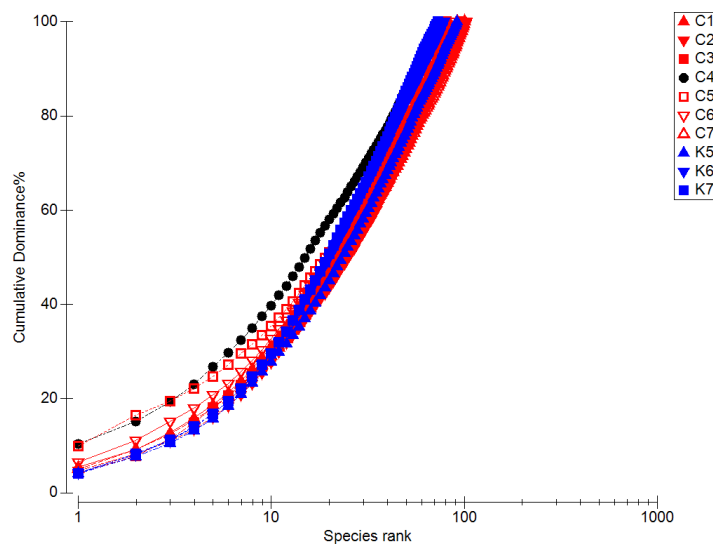


Fig. 3.9 - Curve di dominanza cumulativa ottenute per il V monitoraggio condotto dopo la posa in opera del sea-line (inverno 2012). C4 = sito posto sul sea-line; K5-K7 = controlli.

3.3.4. RICCHEZZA SPECIFICA TOTALE

In tutta l'area indagata nell'inverno 2012 sono stati individuati 174 taxa di cui 59 policheti, 48 crostacei, 46 molluschi, 9 echinodermi, 6 cnidari, 3 sipunculidi, 1 briozoo, 1 nemertino e 1 pantopode (11; Tab. 3-XV). Tale quantità è risultata leggermente inferiore a quella rilevata nell'estate 2011 (185; Fabi *et al.*, 2015), ma superiore a quella dell'inverno precedente (159). Il sito C2 è apparso il più ricco in numero di specie (103), mentre il valore più basso è stato riscontrato nel controllo K7 (73; fig. 3.10).

Il trend lungo il transetto ha presentato un incremento in C2 e una riduzione sino a C4, dove è stato registrato il minimo del transetto; è quindi seguito un aumento sino a C7, dove è stata raggiunta una Ricchezza specifica molto simile a quella di C2. Ai controlli S è oscillata tra 73 e 92, risultando perciò simile ai valori più bassi di C. Analogamente a quanto riscontrato precedentemente (Fabi *et al.*, 2015), i policheti hanno rappresentato il gruppo più abbondante in numero di specie in tutte le stazioni, seguiti da molluschi e/o crostacei. Dal punto di vista qualitativo i popolamenti hanno mostrato una buona omogeneità lungo il transetto e ai controlli, in quanto le specie esclusive hanno rappresentato dall'1% in C5, C6 e K6 al 10% in C7 (Tab. 3-XV). Rispetto al precedente survey, l'omogeneità è aumentata, in quanto le specie esclusive sono diminuite in tutte le stazioni (Fabi *et al.*, 2015).

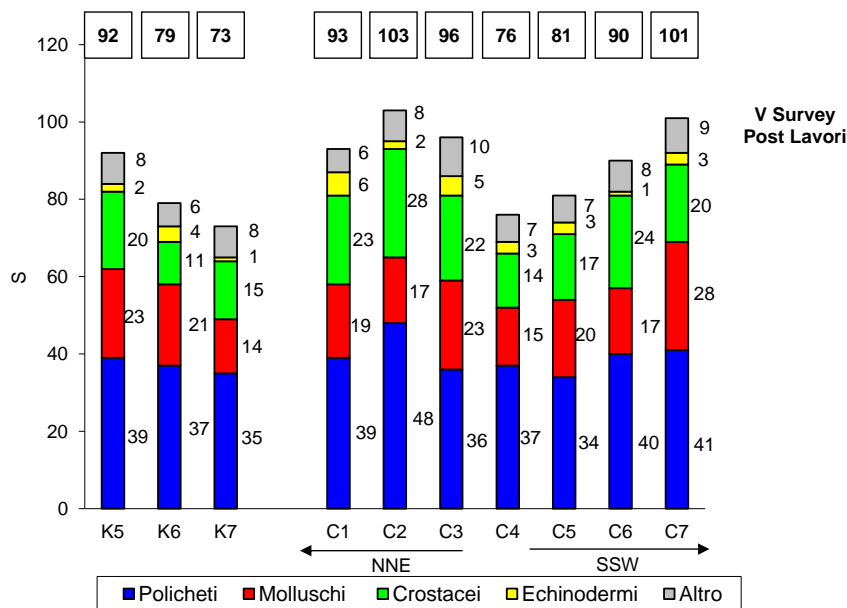


Fig. 3.10 - Ripartizione secondo il phylum di appartenenza delle specie rinvenute nell'inverno 2012. Sono anche riportati i valori della Ricchezza specifica totale ottenuti per i vari siti (riquadri). C4 = sea-line; K5-K7 = controlli.

3.3.5. RICCHEZZA SPECIFICA MEDIA

I valori della Ricchezza specifica media registrati nell'inverno 2012 lungo il transetto sono oscillati tra $31,17 \pm 2,55$ (C4) e $45,17 \pm 1,60$ (C2; fig. 3.11). L'andamento è risultato del tutto simile a quello registrato per S, con un aumento in C2, una

riduzione da C2 a C4 e un nuovo incremento da C5 a C7, dove è stato raggiunto un valore molto simile a quello di C1 ($41,00 \pm 1,13$ e $41,17 \pm 1,14$ rispettivamente). Nei controlli S_m è variata tra $33 \pm 2,66$ (K6) e $39,00 \pm 2,74$ (K5). Pertanto, K5 è risultato comparabile ai siti a NNE (tranne C2) e a quelli posti ad almeno 60 m dal sea-line verso SSW, mentre gli altri due controlli sono apparsi confrontabili con i siti C4-C6.

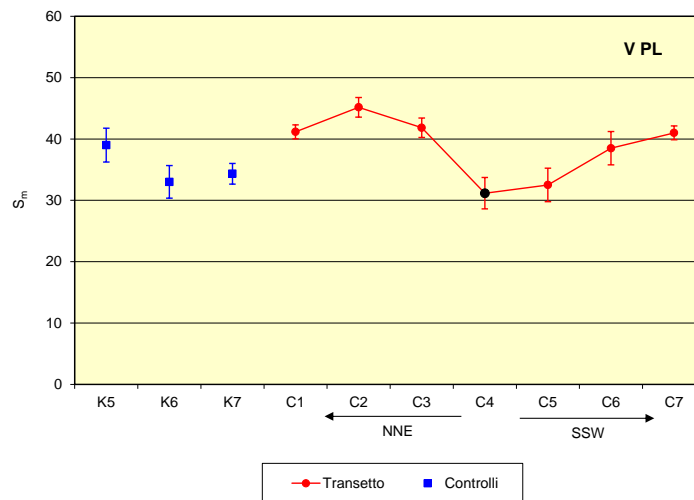


Fig. 3.11 – Ricchezza specifica media (\pm e.s.) registrata nell'inverno 2012. C4 = sito posto sul sea-line.

Rispetto all'estate 2011 i valori di S_m non hanno mostrato variazioni importanti nelle singole stazioni, eccetto in K6, C5 e C6 in cui il valore si è ridotto e in C2 dove invece è aumentato (Fabi *et al.*, 2015).

3.3.6. DIVERSITÀ SPECIFICA

La Diversità specifica lungo il transetto ha presentato un trend del tutto simile a quello di S_m , con un massimo in C2 ($3,35 \pm 0,07$) e un minimo in C4 e C5 ($2,49 \pm 0,20$ e $2,49 \pm 0,12$ rispettivamente; fig. 3.12). I valori minimi sono stati determinati dalla forte dominanza di *D. arietina*, assieme ai sabellidi in C5. I controlli, in cui H' è oscillato tra $3,17 \pm 0,07$ (K6) e $3,29 \pm 0,07$ (K5), sono risultati tutti confrontabili con i valori più alti del transetto.

Rispetto al monitoraggio precedente (Fabi *et al.*, 2015) l'unica variazione degna di nota è la riduzione in C5.

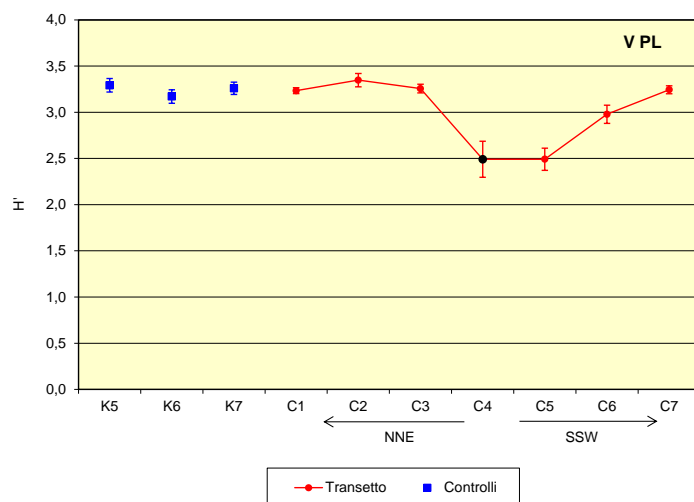


Fig. 3.12 - Diversità specifica (\pm e.s.) registrata nell'inverno 2012. C4 = sito posto sul sea-line.

3.3.7. MULTIDIMENSIONAL SCALING

Il MultiDimensional Scaling applicato ai dati di densità delle singole specie campionate nell'inverno 2012 ha permesso di raggruppare le stazioni in quattro cluster (similarità al 70%; fig. 3.13a), di cui uno comprendente C4 e C5, uno i restanti siti del transetto, uno i controlli K5 e K6 e l'ultimo il riferimento K7. Tale suddivisione è stata una conseguenza principalmente dell'elevata abbondanza di *D. arietina* in corrispondenza del sea-line e a 30 m a SSE di esso, le cui densità sono andate diminuendo nelle altre stazioni (fig. 3.13b). Il controllo K7 è rimasto isolato da tutto il resto per la bassa densità totale (cfr. Cap. 3.3.1.) e, quindi, per i bassi quantitativi dei singoli taxa (es. *M. cirrifera*, *Owenia fusiformis*) meglio rappresentati altrove (figg. 3.13c e 3.13d).

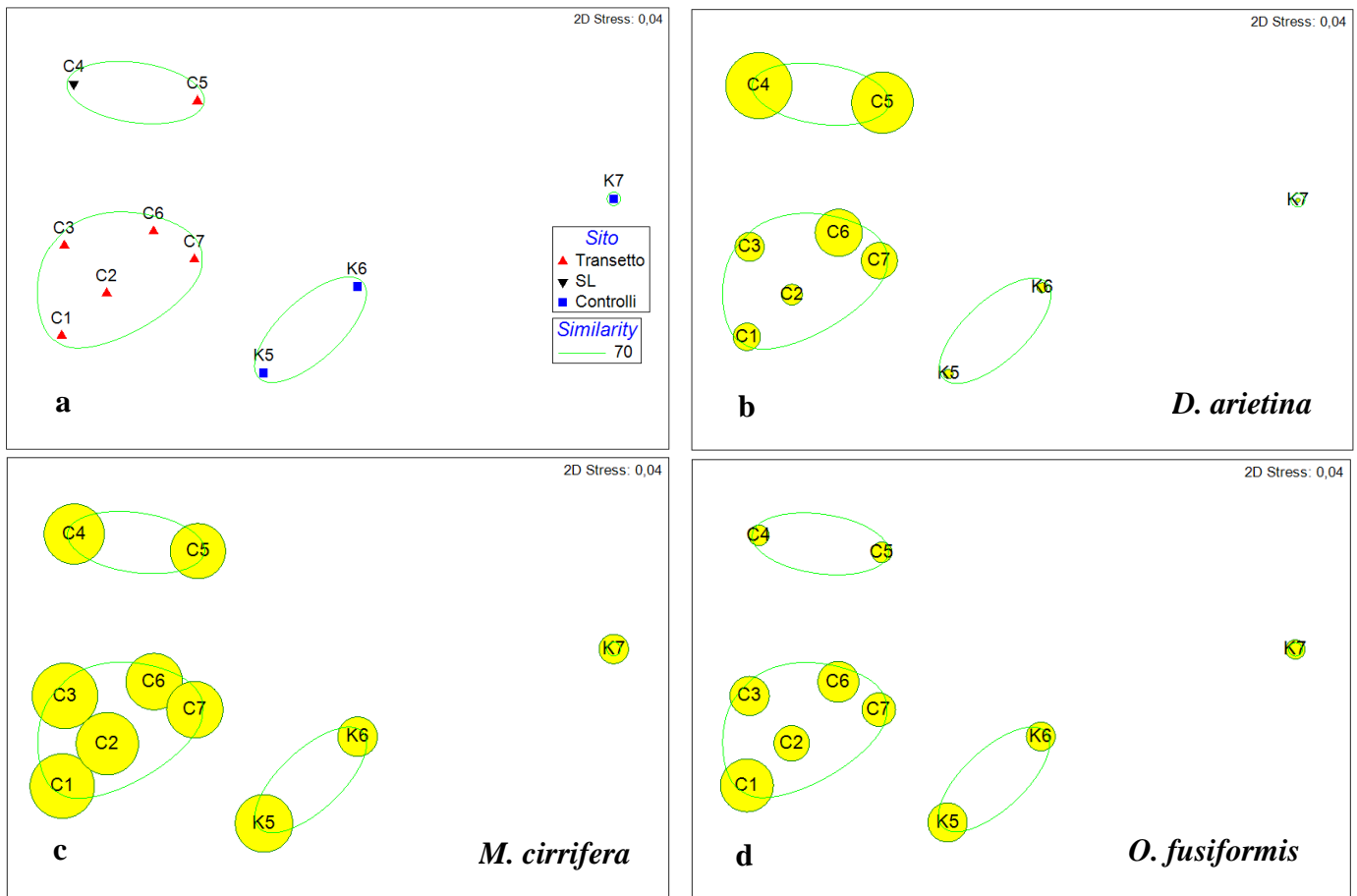


Fig. 3.13 - Rappresentazione bidimensionale dei siti campionati nell'inverno 2012 ottenuta tramite il metodo del MultiDimensional Scaling. I cerchi indicano i quantitativi in termini di densità delle specie più rappresentative.

3.3.8. VALUTAZIONE DELLO STATO DI STRESS DELLE COMUNITÀ

3.3.8.1 Indice W di Clarke

L'indice W di Clarke aveva evidenziato la presenza di una comunità moderatamente disturbata nell'inverno 2010 lungo il transetto eccetto C7 e i controlli K5 e K6, indicando un lieve peggioramento in C4 rispetto al pre-survey (Tab. 3-XXXII). Nell'estate 2010 è stato confermato un disturbo moderato lungo il transetto estesosi anche a C7 e al controllo K6, mentre K7 ha mostrato un lieve miglioramento.

Nell'inverno 2011 si è verificato un miglioramento in tre siti del transetto e nel riferimento K6, dove il disturbo è diventato da moderato a lieve.

In estate, invece, lungo il transetto e in K7 si è confermata la situazione registrata nella stessa stagione del 2010 (ambiente moderatamente disturbato). K5 è risultato

moderatamente disturbato, mentre gli altri due controlli lievemente disturbati.

Nell'inverno 2012 è avvenuto un miglioramento in C4 e C5 (leggermente disturbati), mentre tutti gli altri siti inclusi i controlli si sono rivelati moderatamente disturbati.

Tab. 3-XVIII - Valori dell'indice di W di Clarke ottenuti per il pre-survey (PS) e per i monitoraggi condotti dopo la posa della condotta sottomarina (PL; inverno ed estate 2010 e 2011; inverno 2012). C4 = sito sul sea-line; K5-K7 = controlli.

	Stations	W	Disturbance Classification
PS	C4	0,317	Slightly disturbed
	K6	0,339	Slightly disturbed
I PL	C1	0,051	Moderately disturbed
	C2	0,056	Moderately disturbed
	C3	0,161	Moderately disturbed
	C4	0,088	Moderately disturbed
	C5	0,257	Moderately disturbed
	C6	0,284	Moderately disturbed
	C7	0,402	Slightly disturbed
	K5	0,323	Slightly disturbed
	K6	0,324	Slightly disturbed
	K7	0,202	Moderately disturbed
II PL	C1	0,182	Moderately disturbed
	C2	0,167	Moderately disturbed
	C3	0,208	Moderately disturbed
	C4	0,188	Moderately disturbed
	C5	0,280	Moderately disturbed
	C6	0,107	Moderately disturbed
	C7	0,184	Moderately disturbed
	K5	0,372	Slightly disturbed
	K6	0,287	Moderately disturbed
	K7	0,395	Slightly disturbed

	Stations	W	Disturbance Classification
III PL	C1	0,300	Slightly disturbed
	C2	0,189	Moderately disturbed
	C3	0,141	Moderately disturbed
	C4	0,319	Slightly disturbed
	C5	0,395	Slightly disturbed
	C6	0,278	Moderately disturbed
	C7	0,190	Moderately disturbed
	K5	0,365	Slightly disturbed
	K6	0,392	Slightly disturbed
	K7	0,411	Slightly disturbed
IV PL	C1	0,156	Moderately disturbed
	C2	0,155	Moderately disturbed
	C3	0,148	Moderately disturbed
	C4	0,232	Moderately disturbed
	C5	0,294	Moderately disturbed
	C6	0,293	Moderately disturbed
	C7	0,336	Moderately disturbed
	K5	0,244	Moderately disturbed
	K6	0,313	Slightly disturbed
	K7	0,369	Slightly disturbed
V PL	C1	0,254	Moderately disturbed
	C2	0,277	Moderately disturbed
	C3	0,232	Moderately disturbed
	C4	0,300	Slightly disturbed
	C5	0,304	Slightly disturbed
	C6	0,280	Moderately disturbed
	C7	0,295	Moderately disturbed
	K5	0,297	Moderately disturbed
	K6	0,246	Moderately disturbed
	K7	0,274	Moderately disturbed

3.3.8.2 Indice AMBI

L'indice AMBI ha fornito risultati in parte contraddittori rispetto all'indice W (Tab. 3-XIX). Infatti, eccetto nel pre-survey e nel III survey post lavori, lungo il transetto ha sempre evidenziato la presenza di un ambiente non disturbato in tutti o quasi tutti i siti a causa della preponderanza di taxa appartenenti al gruppo ecologico I in cui è inserito *D. arietina*, risultato fortemente dominante in quelle stazioni. Tutti gli altri siti monitorati nei vari periodi di indagine sono invece risultati leggermente

disturbati, a causa dell'importanza dei gruppi ecologici II, III e IV meglio rappresentati rispetto alle altre stazioni.

Tab. 3-XIX - Suddivisione percentuale delle specie rinvenute in ciascun sito di campionamento nei sei periodi di indagine suddivise 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) e classificazione del disturbo ambientale secondo l'indice AMBI. In giallo è riportato il gruppo ecologico più rappresentativo in ciascuna stazione. C4 = sito sul sea-line; K5-K7 = controlli.

	Stations	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI	Disturbance Classification
PS	C4	33,5	48,1	10,8	7,7	0	1,457	Slightly disturbed
	K6	27,0	48,2	14,2	10,7	0	1,539	Slightly disturbed
I PL	C1	69,1	23,7	4,6	2,6	0	0,663	Undisturbed
	C2	73,5	21,4	3,5	1,6	0	0,550	Undisturbed
	C3	69,4	18,3	6,7	5,6	0	0,862	Undisturbed
	C4	68,5	23,7	4,9	2,9	0	0,709	Undisturbed
	C5	54,1	35,3	7,2	3,4	0	1,103	Undisturbed
	C6	40,2	40,8	11,0	8,0	0	1,287	Slightly disturbed
	C7	40,0	39,7	9,4	11,0	0	1,416	Slightly disturbed
	K5	33,4	37,2	15,9	13,5	0	1,670	Slightly disturbed
	K6	45,6	33,8	9,5	11,0	0	1,327	Slightly disturbed
	K7	42,0	29,8	19,1	9,1	0	1,442	Slightly disturbed
II PL	C1	61,0	28,9	7,4	2,7	0	0,778	Undisturbed
	C2	57,7	32,7	7,1	2,5	0	0,817	Undisturbed
	C3	59,0	28,1	7,4	5,5	0	0,893	Undisturbed
	C4	67,2	22,2	7,9	2,7	0	0,691	Undisturbed
	C5	45,2	41,6	10,0	3,3	0	1,072	Undisturbed
	C6	74,8	18,5	4,1	2,2	0,4	0,523	Undisturbed
	C7	60,7	29,1	7,9	2,3	0	0,776	Undisturbed
	K5	26,0	50,1	12,8	11,1	0	1,635	Slightly disturbed
	K6	31,1	49,9	11,8	7,2	0	1,425	Slightly disturbed
	K7	26,3	52,4	11,6	9,8	0	1,572	Slightly disturbed
III PL	C1	26,5	51,5	12,9	9,0	0	1,566	Slightly disturbed
	C2	41,4	40,2	10,9	7,5	0	1,267	Slightly disturbed
	C3	61,5	24,5	9,9	4,1	0	0,851	Undisturbed
	C4	42,3	36,1	16,2	5,3	0	1,270	Slightly disturbed
	C5	36,6	44,3	11,6	7,5	0	1,348	Slightly disturbed
	C6	32,0	48,1	11,0	8,8	0	1,449	Slightly disturbed
	C7	37,7	40,0	16,8	5,5	0	1,350	Slightly disturbed
	K5	32,9	50,0	11,9	5,1	0	1,340	Slightly disturbed
	K6	32,3	45,5	13,7	8,5	0	1,475	Slightly disturbed
	K7	30,8	51,8	11,6	5,8	0	1,385	Slightly disturbed

	Stations	I(%)	II(%)	III(%)	IV(%)	V(%)	Mean AMBI	Disturbance Classification
IV PL	C1	45,9	30,6	10,3	13,2	0	1,360	Slightly disturbed
	C2	51,9	31,1	8,8	8,1	0	1,097	Undisturbed
	C3	61,1	24,2	5,9	8,9	0	0,938	Undisturbed
	C4	69,5	19,1	7,5	3,8	0	0,684	Undisturbed
	C5	49,8	40,4	4,5	5,3	0	0,980	Undisturbed
	C6	50,4	35,7	7,1	6,8	0	1,054	Undisturbed
	C7	52,2	25,3	11,6	10,9	0	1,219	Slightly disturbed
V PL	K5	40,4	33,7	7,8	18,1	0	1,554	Slightly disturbed
	K6	44,6	33,8	10,5	11,2	0	1,324	Slightly disturbed
	K7	42,0	35,8	11,3	10,9	0	1,367	Slightly disturbed
V PL	C1	33,7	52,2	9,2	4,9	0	1,279	Slightly disturbed
	C2	34,6	48,9	11,2	5,3	0	1,307	Slightly disturbed
	C3	39,5	47,9	8,5	4,2	0	1,161	Undisturbed
	C4	60,2	31,7	4,5	3,6	0	0,772	Undisturbed
	C5	55,9	34,4	6,0	3,7	0	0,863	Undisturbed
	C6	47,0	37,5	11,0	4,5	0	1,095	Undisturbed
	C7	47,0	41,9	6,1	5,0	0	1,034	Undisturbed
	K5	38,9	43,6	11,6	5,8	0	1,264	Slightly disturbed
	K6	36,0	50,3	9,8	3,9	0	1,224	Slightly disturbed
	K7	34,2	50,2	11,1	4,5	0	1,287	Slightly disturbed

3.3.8.3 Indice BENTIX

Il BENTIX aveva sottolineato la presenza nell'inverno 2010 (I survey post lavori) di un ambiente moderatamente disturbato nel tratto del transetto compreso tra C1 e C5 e di un ambiente solo leggermente disturbato negli altri siti, analogamente a quelli campionati nel pre-survey (Tab. 3-XX). Nell'estate 2010 ha confermato quanto già evidenziato in inverno eccetto in C6 e C7 dove ha sottolineato un peggioramento,

analogamente all'indice W di Clarke, e in C5 dove è invece avvenuto un miglioramento. Nell'inverno 2011 anche il Bentix, come l'indice W, ha indicato un miglioramento lungo il transetto che non ha interessato solo C3 e C7, miglioramento che nell'estate successiva si è esteso anche a C7. Nell'inverno 2012 tutto l'ambiente investigato è risultato solo leggermente disturbato. Nessun cambiamento ha invece riguardato nel tempo i controlli, sempre risultati leggermente disturbati.

Tab. 3-XX - Risultati dell'indice BENTIX e relativa classificazione del disturbo ambientale per le stazioni campionate nei sei periodi di indagine. C4 = sito sul sea-line; K5-K7 = controlli.

	Stations	BENTIX	Disturbance Classification
PS	C4	4,14	Slightly polluted
	K6	3,87	Slightly polluted
I PL	C1	3,10	Moderately polluted
	C2	2,91	Moderately polluted
	C3	3,14	Moderately polluted
	C4	2,96	Moderately polluted
	C5	3,17	Moderately polluted
	C6	3,81	Slightly polluted
	C7	4,24	Slightly polluted
II PL	K5	4,06	Slightly polluted
	K6	4,35	Slightly polluted
	K7	4,13	Slightly polluted
II PL	C1	3,32	Moderately polluted
	C2	3,34	Moderately polluted
	C3	3,43	Moderately polluted
	C4	3,09	Moderately polluted
	C5	4,20	Slightly polluted
	C6	2,91	Moderately polluted
	C7	3,20	Moderately polluted
II PL	K5	3,97	Slightly polluted
	K6	4,13	Slightly polluted
	K7	3,88	Slightly polluted

	Stations	BENTIX	Disturbance Classification
III PL	C1	3,96	Slightly polluted
	C2	3,72	Slightly polluted
	C3	2,95	Moderately polluted
	C4	4,07	Slightly polluted
	C5	3,61	Slightly polluted
	C6	4,06	Slightly polluted
	C7	3,43	Moderately polluted
III PL	K5	4,06	Slightly polluted
	K6	3,89	Slightly polluted
	K7	4,23	Slightly polluted
IV PL	C1	3,69	Slightly polluted
	C2	3,82	Slightly polluted
	C3	3,46	Moderately polluted
	C4	4,05	Slightly polluted
	C5	4,16	Slightly polluted
	C6	4,17	Slightly polluted
	C7	4,03	Slightly polluted
IV PL	K5	4,04	Slightly polluted
	K6	4,02	Slightly polluted
	K7	4,16	Slightly polluted
V PL	C1	4,36	Slightly polluted
	C2	4,48	Slightly polluted
	C3	4,43	Slightly polluted
	C4	3,74	Slightly polluted
	C5	3,61	Slightly polluted
	C6	3,80	Slightly polluted
	C7	4,07	Slightly polluted
V PL	K5	4,20	Slightly polluted
	K6	4,20	Slightly polluted
	K7	4,11	Slightly polluted

3.3.8.4 Stato ecologico

In fig. 3.14 e in Tab. 3-XXI è riportato lo stato ecologico relativo alle diverse stazioni derivato dalla combinazione dei tre indici.

Il risultato indica il passaggio da uno stato ecologico buono a uno buono/moderato nel primo survey post lavori sia in corrispondenza della condotta che del controllo K6, suggerendo che la variazione osservata non fosse direttamente imputabile ai

lavori di posa quanto, presumibilmente, a fattori naturali. Infatti, in quella stagione anche il sito di riferimento K7 aveva presentato uno stato buono/moderato. Tutte le stazioni del transetto erano apparse tra il buono e il moderato eccetto C7 in cui lo stato ecologico era risultato buono analogamente a K5.

Nell'estate 2010 non si sono avute variazioni tranne in C5 e K7 (miglioramento da buono/moderato a buono) e in C7 (peggioramento da buono a buono/moderato). Nell'inverno successivo la situazione ha continuato a peggiorare in C7, dove è stato raggiunto uno stato ecologico moderato determinato dai risultati concordanti degli indici W e BENTIX, conseguenti alla prevalenza di specie tolleranti (64,22%) su quelle sensibili (35,78%). Un miglioramento (da buono/moderato a buono) è stato invece riscontrato in C1, C4, C6 e K6.

Nell'estate 2011 non sono state osservate variazioni in C3, sul sea-line, in C6 e nei controlli K6 e K7 dove, eccetto C3, è stato confermato uno stato ecologico buono. Un lieve peggioramento (da buono a buono/moderato) è stato registrato in C1 e K5, mentre in tutte le altre stazioni lo stato ecologico è apparso leggermente migliorato. Infine, nell'ultimo survey, è stato rilevato uno stato ecologico buono lungo tutto il transetto, tranne in C1. Nei siti di controllo in K6 e K7, lo stato ecologico è peggiorato, raggiungendo lo stesso livello riscontrato in K5 rimasto invariato dall'estate (buono/moderato).

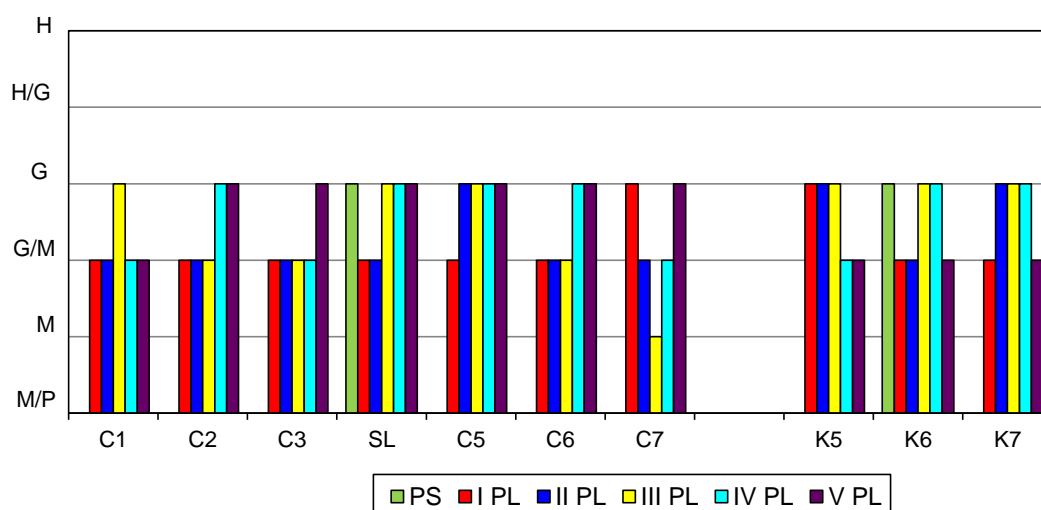


Fig. 3.14 – Variazioni temporali dello stato ecologico derivato dalla combinazione dei tre differenti indici W, Ambi e Bentix. PS = pre-survey; PL: survey effettuati dopo la fine dei lavori di posa in opera del sea-line. M/P = moderato/povero; M = moderato; G/M = buono/moderato; G = buono; H/G = alto/buono; H = alto.

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

	Stations	W	AMBI	BENTIX	Ecological status
		Disturbance Classification	Disturbance Classification	Disturbance Classification	
PS	C4	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	K6	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
I PL	C1	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C2	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C3	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C4	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C5	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C6	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	C7	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	K5	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	K6	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	K7	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
II PL	C1	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C2	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C3	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C4	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C5	Moderately disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C6	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C7	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	K5	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	K6	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	K7	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
III PL	C1	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	C2	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	C3	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C4	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	C5	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	C6	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	C7	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Moderately polluted	Moderate
	K5	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	K6	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	K7	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
IV PL	C1	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	C2	Moderately disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C3	Moderately disturbed	Undisturbed	Moderately polluted	Good/Moderate
	C4	Moderately disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C5	Moderately disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C6	Moderately disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C7	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	K5	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	K6	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	K7	Slightly disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
V PL	C1	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	C2	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good
	C3	Moderately disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C4	Slightly disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C5	Slightly disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C6	Moderately disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	C7	Moderately disturbed	Undisturbed	Slightly polluted	Good
	K5	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	K6	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate
	K7	Moderately disturbed	Slightly disturbed	Slightly polluted	Good/Moderate

3.4. AVVISTAMENTI DI CETACEI

Nel semestre gennaio – giugno 2012 nell'area interessata dalla presenza del sea-line non è avvenuto alcun avvistamento.

4. CONCLUSIONI

In riferimento al GAB-DEC-2008-0000271 del 12/12/2008 emesso dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare il CNR-ISMAR Sede di Ancona è stato incaricato da ENI S.p.A. – Divisione E&P di effettuare un monitoraggio volto a valutare il potenziale impatto ambientale conseguente l'installazione della piattaforma Annamaria B e delle condotte sottomarine colleganti le piattaforme Annamaria B – Annamaria A e Annamaria B - Brenda.

Per quanto concerne i due sea-line, in base alle caratteristiche dell'area in cui essi sono stati installati e a quanto richiesto nella Specifica Tecnica SAOP 09/02 Rev. 1, si è ritenuto opportuno proporre un programma di monitoraggio volto a valutare gli impatti indotti dalle operazioni di posa in opera delle strutture comprendente lo studio delle caratteristiche sedimentologiche (fisiche, chimiche ed ecotossicologiche) e della comunità bentonica.

Al fine di ottenere un quadro esaustivo degli effetti indotti dall'installazione delle condotte sottomarine, sulla base della tempistica delle operazioni di posa in opera fornite da ENI Divisione E&P, nel programma di monitoraggio erano stati previsti due survey precedenti la posa in opera (pre-survey) e sei survey da svolgersi durante le stagioni invernali ed estive nei tre anni di indagini successivi alla loro installazione. Non è stato possibile condurre il secondo pre-survey sulle aree destinate ad accogliere i sea-line previsto nell'estate 2009, poiché in quella stagione è avvenuta la posa delle condotte. Di conseguenza, i monitoraggi da effettuare dopo la fine dei lavori di posa in opera delle due condotte sottomarine sono iniziati nell'inverno 2010 (e non nell'estate 2010 come previsto inizialmente) e sono terminati nell'estate 2012 anziché nell'inverno 2013. Il piano di monitoraggio adottato nel pre-survey aveva previsto il campionamento di due siti, uno posto sul tracciato della futura condotta e uno di controllo. Nella fase post installazione del sea-line collegante le piattaforme Annamaria B - Annamaria A sono state previste 7 stazioni di campionamento poste a distanze crescenti lungo un transetto (transetto C) perpendicolare alla condotta stessa (di cui una corrispondente a quella già monitorata nel pre-survey) e di tre siti di controllo (di cui uno già monitorato nel pre-survey) posizionati a una distanza tale dal sea-line da non esserne influenzati. Su tutti i siti sono state rilevate le caratteristiche fisiche e chimiche dei sedimenti ed è stata

investigata la comunità bentonica. I saggi ecotossicologici sono stati invece effettuati su due stazioni del transetto, di cui una corrispondente alla condotta, e presso un controllo.

Nel presente rapporto sono descritti i risultati relativi alle indagini sedimentologiche, ecotossicologiche e sulla comunità bentonica conseguiti nel primo semestre 2012 (IV survey dopo l'installazione del sea-line Annamaria B – Annamaria A).

Caratteristiche sedimentologiche – La condotta Annamaria B - Annamaria A è situata su un fondale caratterizzato dalla presenza di sedimenti costituiti in prevalenza dalla frazione sabbiosa che ha conservato nel tempo percentuali pressoché costanti (Fabi *et al.*, 2015). La variazione maggiore è stata osservata in corrispondenza della stazione C4 posta sul sea-line, dove questa componente ha subito un leggero aumento a seguito delle operazioni di posa in opera della struttura. Tra l'inverno 2009 (pre-survey) e quello del 2010 (I survey post lavori), infatti, la sabbia è aumentata di 9 punti percentuale, variazione avvenuta a scapito della componente siltosa. Nel medesimo intervallo di tempo anche nel controllo K6 era stato osservato un cambiamento simile, sebbene di minore entità. Nel sito di riferimento K5, inoltre, era stata osservata la comparsa di una percentuale non trascurabile di ghiaia che nei siti C, al contrario, era quasi assente. Nel monitoraggio successivo (estate 2010) la situazione in questo controllo era andata normalizzandosi con la completa scomparsa della ghiaia a vantaggio della sabbia. Questa è stata l'ultima variazione nella tessitura dei sedimenti degna di nota. Nel complesso, pertanto, i dati suggeriscono che l'area non è stata modificata dal punto di vista tessiturale dalla posa della condotta.

Per quanto riguarda gli IPA, i dati mostrano che questi composti hanno assunto comportamenti variabili nel tempo, ma che complessivamente hanno conservato tenori molto bassi; anche i picchi sporadicamente registrati sono troppo modesti per indicare uno stato di contaminazione dell'area (Fabi *et al.*, 2015). L'unica eccezione degna di nota è rappresentata dal picco registrato in C4 nell'estate 2010, anomalia che tuttavia è rimasta un caso isolato.

Anche i metalli pesanti ricercati, presenti in concentrazioni basse prima della realizzazione del sea-line, hanno conservato tenori modesti per tutta la durata del monitoraggio (Fabi *et al.*, 2015). Nell'ultimo survey la stazione C4, posta sulla

condotta, ha esibito concentrazioni maggiori rispetto all'inverno 2009 di tutti i metalli ad eccezione del cadmio, ma lo stesso andamento ha riguardato anche il controllo K6, altro sito monitorato assieme a C4 prima della realizzazione del sea-line. E' anche da rilevare che nell'ultimo monitoraggio in corrispondenza di C4 sono stati registrati dei picchi, sebbene modesti, per tutti i metalli ad eccezione di Hg, Cd e As. I tenori sono risultati ancora bassi, ma è necessario attendere l'ultimo survey per capire se quanto osservato stia ad indicare un accumulo dei metalli sedimenti o se, al contrario, si tratti di una variazione inquadrabile nella loro naturale dinamica.

Infine, i dati acquisti indicano che la condotta non ha effetti sulla sostanza organica.

Ecotossicologia dei sedimenti – Nel quinto monitoraggio condotto dopo l'installazione del sea-line tutti i saggi hanno confermato l'assenza di tossicità nei sedimenti prelevati, già evidenziata nelle campagne precedenti (Fabi *et al.*, 2015).

Sono nel controllo K6 *C. gigas* ha evidenziato un segnale di tossicità, come peraltro era già avvenuto nel secondo survey effettuato dopo la posa della condotta. Il fatto che tale segnale si sia registrato nella stazione di controllo non preoccupa in quanto non associabile alla presenza della condotta.

Il test di bioaccumulo con *H. diversicolor* ha dimostrato anche nell'inverno 2012 che la maggior parte dei metalli pesanti trattenuti nei sedimenti testati si trova nella forma non biodisponibile per gli organismi test. Uniche eccezioni sono state Nichel, Zinco e Arsenico, che si sono presentati in forme parzialmente disponibili in corrispondenza del sea-line (tutti i tre metalli) o ovunque (Nichel).

Comunità bentonica – La comunità bentonica rinvenuta nell'inverno 2012, sia lungo il transetto C intersecante la condotta sottomarina, sia nei siti di controllo è apparsa ricca in termini di numero di individui e di specie, analogamente a quanto riscontrato sin dal pre-survey quando i popolamenti erano già rappresentati da elevati quantitativi di individui e di specie (Fabi *et al.*, 2015). Per quasi tutti gli indici biotici è stata riscontrata una discreta omogeneità tra le stazioni posizionate lungo il transetto e i controlli, confermando quanto già osservato durante il monitoraggio precedente effettuato nell'estate 2011. Anche nell'inverno 2012 è stata confermata la presenza del briozoo coloniale *Amathia semiconvoluta*, rilevato a partire dall'inverno 2011 ed estremamente difficile da quantificare in termini di densità. E' da notare che,

in questo V survey, non si è verificata la presenza di un altro briozoo (*Cellaria salicornioides*), apparso invece sia nel III che nel IV survey.

Analogamente a quanto osservato precedentemente, anche nell'inverno 2012 in generale tutte le specie sono risultate tipiche di fondali limicoli, sabulicole, a granulometria mista o indicatrici della presenza di materia organica, nonostante questa componente nei sedimenti sia risultata modesta.

Subito dopo la posa della condotta (inverno 2010; Fabi *et al.*, 2015) si era verificato un cambiamento molto importante nell'area circostante il sea-line sino a 100 m di distanza dalla condotta stessa in direzione NNE e, in modo meno evidente, sino a 30 m di distanza in direzione SSW, consistente nella forte predominanza del polichete serpulideo *Ditrupa arietina*. Questa specie appartiene alla Biocenosi dei fondi mobili instabili (Pèrés e Picard, 1964) e incrementa numericamente durante lo sviluppo di comunità di transizione che avviene a seguito di cambiamenti ambientali. Ad esempio, Sardà *et al.* (2000) hanno descritto un aumento di *D. arietina* dopo delle operazioni di dragaggio effettuate lungo la costa Catalana occidentale. Questa specie era aumentata numericamente anche nell'estate 2011, facendo ipotizzare che la comunità presente nell'area interessata dalla condotta non avesse ancora raggiunto una situazione ambientale di equilibrio confermando quanto indicato da Pèrés e Picard (1975), secondo cui la presenza di specie associate ai sedimenti instabili è limitata sia spazialmente che temporalmente. Nell'inverno 2012 questo polichete si è ridotto in modo cospicuo da 100 m a NNE della condotta sino al sito posto sullo stesso sea-line, pur rimanendo dominante, ed è aumentato a SSW. Ai controlli, posti a NNE della condotta, *D. arietina* non ha mai raggiunto l'importanza registrata lungo C. Quanto osservato potrebbe indicare un avvio verso la stabilità verso NNE e la presenza di una situazione ancora instabile verso l'altra direzione.

La valutazione dello stato ambientale è stata effettuata mediante la combinazione di tre indici biotici (W di Clarke, AMBI e BENTIX). Tale procedura è consigliata in quanto per determinate specie questi indici forniscono risultati differenti perché basati sulla classificazione ecologica delle specie che utilizzano. Ad esempio, *D. arietina*, classificata come specie tollerante (GII) e a strategia r dal BENTIX e come appartenente al gruppo ecologico I (specie sensibili) dall'AMBI.

Dall'integrazione dei risultati dei 3 indici, i lavori di posa della condotta Annamaria

A - Annamaria B non sembrano aver peggiorato la situazione riscontrata nel pre-survey; infatti, nel primo campionamento post installazione la variazione da buono a buono/moderato era stata registrata sia in corrispondenza del sea-line che del controllo. Nei periodi successivi lo stato ecologico è oscillato ovunque tra il buono e il buono/moderato. Nell'ultimo survey è stato rilevato uno stato ecologico buono lungo tutto il transetto, tranne a 100 m di distanza dal sea-line verso NNE che ha presentato uno stato (buono/moderato) identico a quello dei controlli.

Avvistamenti di cetacei e tartarughe marine – Analogamente a quanto riscontrato nella fase di pre-survey e nel corso dei monitoraggi successivi alla posa della condotta (Fabi *et al.*, 2015), anche nel I semestre 2012 non si sono verificati avvistamenti di cetacei o tartarughe marine nell'area interessata dalla presenza della condotta. Anche presso i controlli la presenza di tali animali è risultata piuttosto scarsa, essendo stati avvistati solo due esemplari di *Caretta caretta* nel mese di aprile 2011.

5. BIBLIOGRAFIA

- Amiard J.C., C. Amiard-Triquet, B. Berthet, and C. Mètaer. 1987. Comparative study of the patterns of bioaccumulation of essential (Cu, Zn) and non-essential (Cd, Pb) trace metals in various estuarine and costal organisms. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 106: 73-89.
- 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. 57 pp.
- ASTM. 2004a. *Standard guide for conducting static toxicity tests with microalghe*. ASTM E1218-04-E1. 14 pp.
- ASTM. 2004b. *Standard Guide for Conducting Static Acute Toxicity Tests Starting with Embryos of Four Species of Saltwater Bivalve Molluscs*. ASTM E724 - 98. 21 pp.
- Augier H. 1992. *Inventaire et classification des biocénoses marines benthique de la Méditerranée*. Conseil de l'Europe. U.E.R. Des Sciences de la Mer et de l'Environnement de Luminy Marseille. 59 pp.
- Azur Environmental. 1994. *Microtox® M500 manual (A toxicity testing handbook)*.
- Bellan Santini D., Ledoyer M. 1972. Inventaire des amphipodes gammariens récoltés dans la Région de Marseille. *Tethys*, 4 (4): 899-934.
- Bellan G., Bellan Santini D., Picard J. 1980. Mise en évidence de modèles eco-biologiques dans des zones soumises à perturbations par matières organiques. *Oceanol. Acta*, 3: 383-390.
- Bettencourt A., Bricker S.B., Ferriera J.G., Franco A., Marques J.C., Melo J.J., Nobre A., Ramos L., Reis C.S., Salas F., Silva M.C., Simas T., Wolff W. 2004. *Typology and reference conditions for Portuguese transitional and coastal waters*. Instituto da Agua. Instituto do Mar, Lisbon. 98 pp.
- Bianchi C.N., Ceppodomo I., Galli C., Sgorbini S., Dell'Amico F., Morri C. 1993. Benthos dei mari toscani. I: Livorno – Isola d'Elba (Crociera ENEA 1985). *ENEA Arcipelago Toscano – Serie Studi Ambientali*: 263-291.
- Borja A., Mader J. 2008. *Instructions for the use of the AMBI index software (version 4.1)*. AZTI-Tecnalia. 13 pp.
- Borja A., Franco J., Pérez V. 2000. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environment. *Mar. Poll. Bull.*, 40 (12): 1100-1114.
- Bourcier M., Nodot C., Jeudy De Grissac A., Tine J. 1979. Répartition des biocénoses benthiques en fonction des substrats sédimentaires de la rade de Toulon (France). *Tethys*, 9: 103-112.
- Bourg A.C.M., 1988. Metal in aquatic and terrestrial systems: Sorption, speciation, and mobilization. Pagg. 3-32, *in*: Salomons W., Forstner U. (Eds.), *Chemistry and biology of solid waste*. Berlin, Springer-Verlag.
- Bryan G.W., Gibbs P.E. 1987. Polychaetes as indicators of heavymetal availability in marine deposits. Pagg. 37-49, *in*: Capuzzo J.M. Kester D.R. (Eds.), *Oceanic Processes in Marine Pollution*, Krieger Publishing Company, Malabar, FL.

- Bryan G.W., Langston W.J. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special references to UK estuaries: a review. *Environ. Pollut.*, 76: 89-131.
- 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.
- Chryssanthi A., Chintiroglou C. 2005. Biodiveristy of zoobenthic hard-substrate sublittoral communities in the Eastern Mediterranean (North Aegean Sea). *Est. Cost. Shelf Sci.*, 62: 637-653.
- Clarke K.R., Warwick R.M. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. *Natural Environment Research Council*, 140 (2). 144 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.
- Dunnett C.W. 1955. Multiple comparison procedure for comparing several treatments with a control. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 50: 1096-1121.
- EC. 2003. *Towards a guidance on establishment of the intercalibration network and the processes on the intercalibration exercise*. Produced by: CIS Working Group 2.5 (Intercalibration), Common Implementation Strategy of the Water Framework Directive, European Commission. 54 pp.
- EPA. 1993. *Guidance manual, Bedded sediment Bioaccumulation Tests*. EPA/600/R-93/183. 246 pp.
- EPA. 1995. *Short term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to west coast marine and estuarine organisms*. EPA/600/R-95-136. 15 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. 2001. *Servizi di monitoraggio ambientale campo Regina. III Anno di indagine. Rapporto finale*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione AGIP, Distretto di Ravenna. 185 + XXVII pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Manoukian S., Marini M., Scarcella G., Spagnolo A. 2004. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Barbara NW. Rapporto conclusivo di tre anni di indagine (2000 – 2002)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 228 + XLIX pp.
- Fabi G., Boldrin A., De Ranieri S., Manoukian S., Nasci C., Scarcella G., Spagnolo A. 2005. *Servizi di monitoraggio ambientale Piattaforma di estrazione di idrocarburi gassosi "Naomi-Pandora". Rapporto conclusivo di due anni di indagine (2002-2003)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 201 + XXVIII pp.
- Fabi G. De Ranieri S., 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., De Ranieri S., Nasci C., Spagnolo A. 2010b. *Monitoraggio ambientale Pozzi sottomarini “Bonaccia EST 2 e Bonaccia EST 3” Monitoraggio delle aree interessate dall’installazione dei pozzi sottomarini e del sea-line collegante i pozzi con la piattaforma Bonaccia. II Pre-survey (inverno 2010). Indagini fisiche e chimiche dei sedimenti, ecotossicologia e indagini sulla comunità bentonica*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 113 + XXV pp.
- Fabi G., De Ranieri S., Domenichetti F., Penna P., Spagnolo A. 2011. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Tea. III anno di monitoraggio - Rapporto finale 2008*. Rapporto per ENI S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 285 + XLV pp.
- Fabi G., Campanelli A., De Ranieri S., Nasci C., Polidori P., Punzo E. 2010c. *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., Nasci C., Spagnolo A. 2015. *Servizi di monitoraggio ambientale Campo Annamaria B. Monitoraggio dell’area interessata dall’installazione del sea-line Annamaria B - Annamaria A - IV survey dopo i lavori di installazione (II semestre 2011)*. Rapporto per Eni S.p.A. – Divisione E&P, Distretto di Ravenna. 118 + XX pp.
- ICRAM, 2001. *Metodologie analitiche di riferimento. Programma di monitoraggio per il controllo dell’ambiente marino-costiero (triennio 2001-2003)*.
- ICRAM-APAT. 2007. *Manuale per la movimentazione dei sedimenti marini*. 72 pp.
- ISO. 2005. *Water quality - determination of acute toxicity of marine or estuarine sediment to amphipods*. ISO 16712:2005(E). 15 pp.
- Jenkins K.D., Howe S., Sanders B.M., Norwood C. 1989. Sediment deposition, biological accumulation and subcellular distribution of barium following drilling of an exploratory well. Pagg. 587-608, *in*: Engelhardt F.R., Ray J.P., Gillam A.H. (Eds.), *Drilling Wastes*. Elsevier Applied Sciences, London.
- Kusk K.O., Wollenberger, L. 1999. Fully defined saltwater medium for cultivation of and toxicity testing with the marine copepod *Acartia tonsa*. *Environ. Toxicol. Chem.*, 18: 1564-1567.
- Kusk K.O., Wollenberger, L. 2007. Towards an internationally harmonized test method for reproductive and developmental effects of endocrine disrupters in marine copepods. *Ecotoxicology*, 16: 183-195.
- Labruno C., Amouroux J.M., Sarda R., Dutrieux E., Thorin S., Rosemberg R., Grémare A. 2006. Characterization of the ecological quality of the coastal Gulf of Lions (NW Mediterranean). A comparative approach based on three biotic indices. *Mar. Poll. Bull.*, 52: 34-47.
- Langston W.J. 1980. Arsenic in U.K. estuarine sediments and its availability to benthonic organisms. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 60: 869-881.

- Langston W.J. 1984. Availability of arsenic to estuarine and marine organisms: A field and laboratory evaluation. *Mar Biol.*, 80:143-154
- Lee H. 1998. *Methods for Assessing Sediment Bioaccumulation in Marine/Estuarine Benthic Organisms*. Proceedings of National Sediment Bioaccumulation Conference. U.S. EPA. 10 pp.
- 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.
- Luoma S.N., Bryan G.W. 1982. A statistical study of environmental factors controlling concentrations of heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* and the polychaete *Nereis diversicolor*. *Est. Cstl. Shelf Sci.*, 15: 95-108.
- May R.M. 1979. Patterns of Species Abundance and Diversity. In Cody M.L. and Diamond J.M. (Eds). *Ecology and Evolution of Communities*, 4: 81-120.
- McKinney F., Jaklin A. 2001. Sediment accumulation in a shallow-water meadow carpeted by a small erect bryozoan. *Sedim. Geol.*, 145: 397-410.
- Muxica I., Borja A., Bonne W. 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts. *Ecological Indicators*, 5: 19-31.
- 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.
- Neff J.M. 2002. *Bioaccumulation In Marine Organisms: Effect Of Contaminants From Oil Well Produced Water*. Elsevier Ltd.Oxford UK. 468 pp.
- 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.
- Onorati F. 1999. Valutazione della tossicità naturale nel saggio Microtox in fase solida. La normalizzazione pelitica. *Acqua&Aria*: 83-89.
- Onorati F, Bandini F., Brillì L., Bellaria V., Castiglioni S., Celetti A.M., Comin S., Di Gioia E., Fabbri S., Facchini L., Ferrara M., Guerra R., Leoni T., Lo Re R., Manzo S., Martini P., Mascilongo G., Meloni P., Meineri V., Milani S., Molina M., Rossi E., Ruggiero G., Sanguinetti M.S., Tamberlich F., Traldi D., Trichilo S. 2007. Interconfronto nazionale sul test di inibizione della bioluminescenza mediante *Vibrio fischeri*. *Biol. Mar. Medit.*, 14 (1): 87-91.
- Pérès J.M., Picard J. 1964. Nouveau Manuel de Bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Recl. Trav. St. Mar. Endoume*, 31 (47). 137 pp.
- Pérès J.M., Picard J. 1975. Note préliminaire sur une communauté benthique récemment mise en évidence : la biocénose à *Dentalium rubescens* Desh. et *Lucina (Miltha) borealis* Lin. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 52 : 1-160.
- Pianka E.R. 1970. On r- and k-selection. *Amer. Nat.*, 104: 592-597.
- Picone M. 2006. Using a set of bioassays for monitoring sediment quality in the Lagoon of Venice. Ph.D. thesis, Ca' Foscari University of Venice. 197 pp.
- 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,*

- Solenogaster, 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.
- Reimer K.J., Thompson J.A. 1988. Arsenic speciation in marine interstitial water. The occurrence of organoarsenicals. *Biochem.*, 6: 211-237.
- Richard F.C., Bourg A.C.M. 1991. Aqueous geochemistry of chromium: a review. *Water res.*, 25: 807-816.
- Rinelli P., Spanò N. 1997. Distribuzione di crostacei decapodi ed echinodermi di ambienti detritici insulari. *Biol. Mar. Medit.*, 4: 440-442.
- Salen-Picard C. 1985. Indicateurs biologiques et sédimentation en milieu circalitoral Méditerranéen. *Rapp. p. v. Réu. Comm. Int. pour l'Explor. Sci. Mer Médit.*, 29: 5.
- Sardà R., Pinedo S., Grémare A., Taboada S. 2000. Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea. *ICES J. Mar. Sci.*, 57: 1446-1453.
- 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.
- Simboura N., Panayitodus P., Papathanassiou E. 2005. A synthesis of the biological quality elements for the implementation of the European Water Framework Directive in the Mediterranean Ecoregion: the case of Saronikos Gulf. *Ecol. Ind.*, 5: 253-266.
- 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 tricornerum*. UNI EN ISO 10253:2000. 14 pp.
- USEPA. 1991. *Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms -Section 14- Green alga Selenastrum capricornutum growth test - Method 1003.0.*. EPA/600/4-91/002. 370 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.
- Wood A.C., Probert P.K., Rowden A.A., Smith A.M. 2012. Complex habitat generated by marine bryozoans: a review of its distribution, structure, diversity, threats and conservation. *Aquatic Conserv.: Mar. Freshw. Ecosyst.* DOI: 10.1002/aqc. 2236
- Zenetos A., Chadjianestis I., Lantzoumi M., Simboura M., Sklivagou E., Arvanitakis G. 2004a. The Eurobulker oil spill: mid-term changes of some ecosystem indicators. *Mar. Poll. Bull.*, 48: 12-131.
- Zenetos A., Bellou N., Abousamra F. 2004b. 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



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

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.

A1-III STUFA TERMOSTATA “HIGH PERFORMANCE”



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

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

A1-IV SETACCI



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

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

A1-V DENSIMETRO



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

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

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



Il controllo interno della taratura dello strumento viene effettuato preliminarmente all'avvio di ogni indagine commissionata. Il controllo esterno e l'eventuale taratura ordinaria sono condotti annualmente da un Tecnico incaricato dalla Ditta costruttrice, quando il controllo interno risulta sfavorevole. L'ultimo controllo ordinario da parte di un Tecnico Perkin Elmer è avvenuto nel giugno 2004.

QUANTIFICAZIONE DEI METALLI PESANTI NEI SEDIMENTI

Prima dell'analisi di ogni metallo viene eseguita una retta di calibrazione (ottenuta per diluizioni successive), idonea alle concentrazioni dei campioni da determinare, mediante l'impiego di soluzioni standard mono o multielemento a concentrazione nota.

Tutti i parametri strumentali sono inoltre ottimizzati tramite una risposta tipica strumentale conforme a quella fornita dalla casa costruttrice.

A1-VII DMA 80 per la misurazione del MERCURIO



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

A1-VIII VARIAN SPECTRA AA-240 Z per la misurazione di CADMIO e PIOMBO E ARSENICO

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



A1-IX VARIAN ICP-720ES per la misurazione di ALLUMINIO, BARIO, CROMO, NICHEL, RAME, VANADIO e ZINCO



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

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	Sensibilità	Capacità
Bilancia elettronica	Mettler	AE 100	$\pm 0,1$ mg	162 g

ALLEGATO B

SCHEDE GRANULOMETRICHE

Transetto C e controlli

V survey post lavori

(inverno 2012)



Stazione C1 (100 m NNE)

Parametri Fisici		
Peso secco (g)	P _s	176,91
Peso umido (g)	P _u	227,34
Peso specifico	G	n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ	n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ _d	n.d.
Umidità (%)	W	n.d.

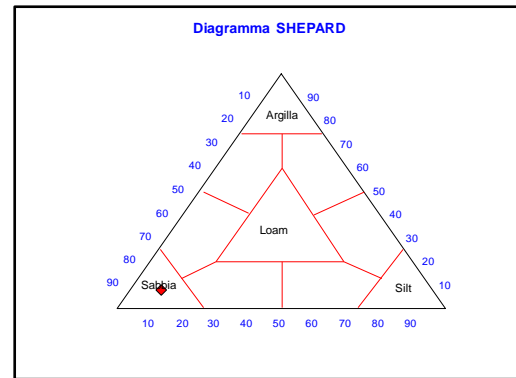
Parametri Statistici		
Media	M _p	3,60
Classazione	σ _p	0,97
Asimmetria	S _p	0,09
Appuntimento	K _G	3,74
Mediana	Md	3,48

Percentile	φ
5°	1,54
16°	2,68
25°	3,08
50°	3,48
75°	3,88
84°	4,62
95°	8,84

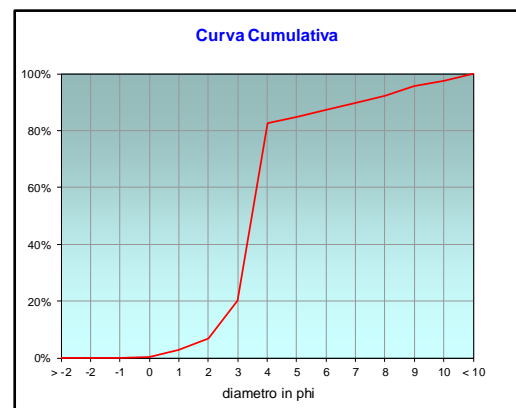
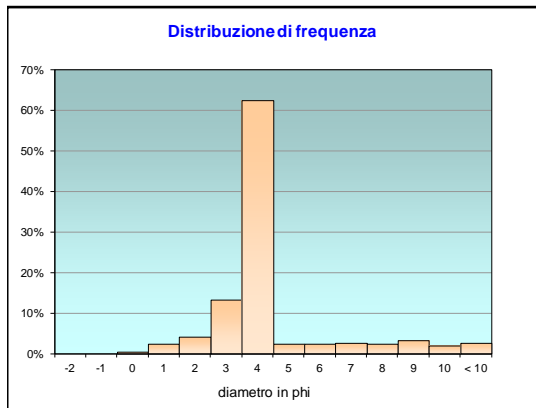
	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,81	0	1000	0,46%	0,46%
	4,12	1	500	2,33%	2,79%
	7,28	2	250	4,12%	6,90%
	23,51	3	125	13,29%	20,19%
	110,33	4	62,5	62,37%	82,56%
Limo	4,07	5	31	2,30%	84,86%
	4,33	6	15,6	2,45%	87,31%
	4,48	7	7,8	2,53%	89,85%
	4,25	8	3,9	2,40%	92,25%
Argilla	5,76	9	2,0	3,26%	95,51%
	3,45	10	0,98	1,95%	97,46%
	4,50	< 10	< 0,98	2,54%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	82,56%	9,69%	7,75%

Note
8,32 g di materiale organogeno (conchiglie)



Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	moderatamente classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



Stazione C2 (60 m NNE)

Parametri Fisici		
Peso secco (g)	P _s	181,07
Peso umido (g)	P _u	232,40
Peso specifico	G	n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ	n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ _d	n.d.
Umidità (%)	W	n.d.

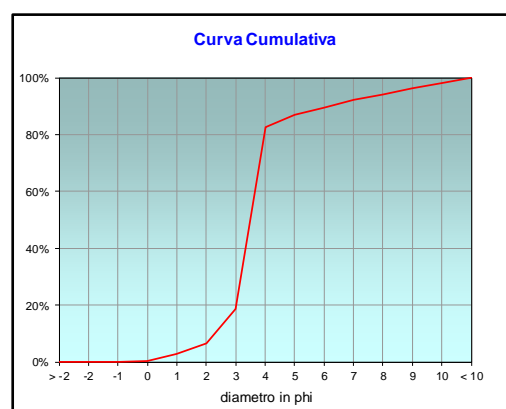
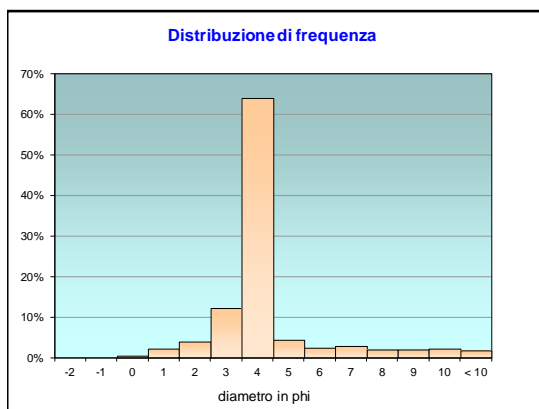
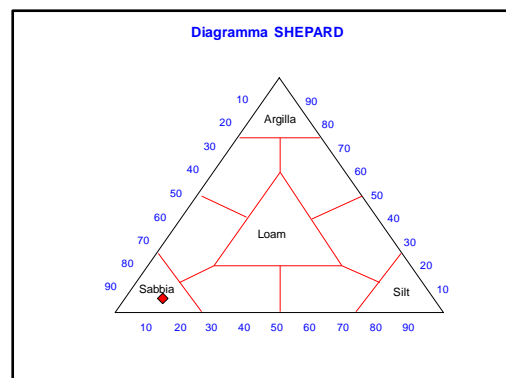
Parametri Statistici			Percentile	
Media	M _p	3,53	5°	1,59
Classazione	σ _p	0,78	16°	2,77
Asimmetria	S _p	0,04	25°	3,10
Appuntimento	K _G	3,58	50°	3,49
Mediana	M _d	3,49	75°	3,88
			84°	4,33
			95°	8,42

	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,77	0	1000	0,43%	0,43%
	4,06	1	500	2,24%	2,67%
	7,21	2	250	3,98%	6,65%
	21,88	3	125	12,08%	18,73%
	115,61	4	62,5	63,85%	82,58%
Limo	7,72	5	31	4,26%	86,84%
	4,49	6	15,6	2,48%	89,32%
	5,22	7	7,8	2,88%	92,21%
	3,51	8	3,9	1,94%	94,15%
Argilla	3,64	9	2,0	2,01%	96,16%
	3,79	10	0,98	2,09%	98,25%
	3,17	< 10	< 0,98	1,75%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	82,58%	11,57%	5,85%

Note
6,59 g di materiale organogeno (conchiglie)

Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	moderatamente classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



Stazione C3 (30 m NNE)

Parametri Fisici			
Peso secco (g)	Ps		179,68
Peso umido (g)	Pu		228,89
Peso specifico	G		n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ		n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ_d		n.d.
Umidità (%)	W		n.d.

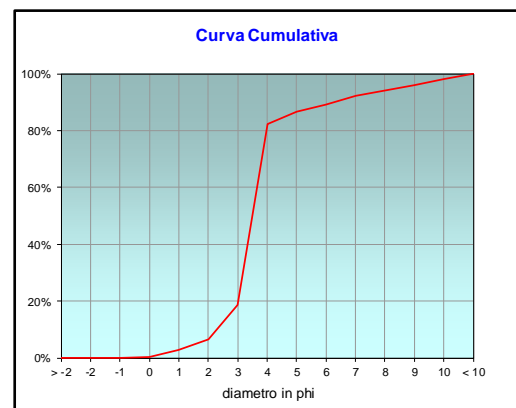
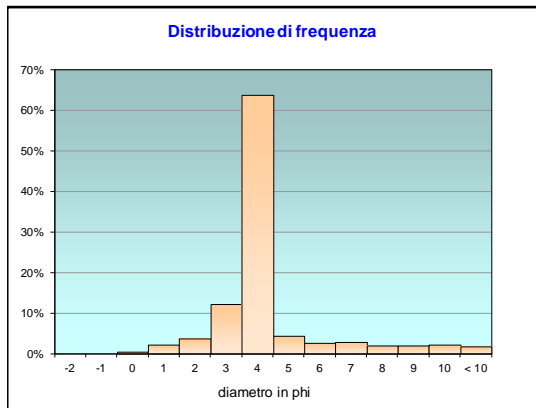
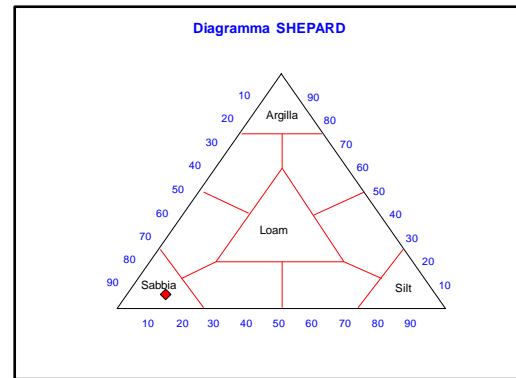
Parametri Statistici			Percentile		ϕ
Media	M_p	3,55	5°		1,60
Classazione	σ_p	0,80	16°		2,78
Asimmetria	S_{kp}	0,06	25°		3,10
Appuntimento	K_G	3,58	50°		3,49
Mediana	Md	3,49	75°		3,88
			84°		4,38
			95°		8,46

	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,82	0	1000	0,46%	0,46%
	4,09	1	500	2,27%	2,73%
	6,83	2	250	3,80%	6,53%
	21,88	3	125	12,18%	18,71%
	114,33	4	62,5	63,63%	82,34%
Limo	7,76	5	31	4,32%	86,66%
	4,52	6	15,6	2,51%	89,18%
	5,25	7	7,8	2,92%	92,10%
	3,54	8	3,9	1,97%	94,07%
Argilla	3,66	9	2,0	2,04%	96,11%
	3,81	10	0,98	2,12%	98,23%
	3,19	< 10	< 0,98	1,77%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	82,34%	11,73%	5,93%

Note
6,77 g di materiale organogeno (conchiglie)

Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	moderatamente classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



Stazione C4 (SEA-LINE)

Parametri Fisici		
Peso secco (g)	P _s	182,09
Peso umido (g)	P _u	234,98
Peso specifico	G	n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ	n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ _d	n.d.
Umidità (%)	W	n.d.

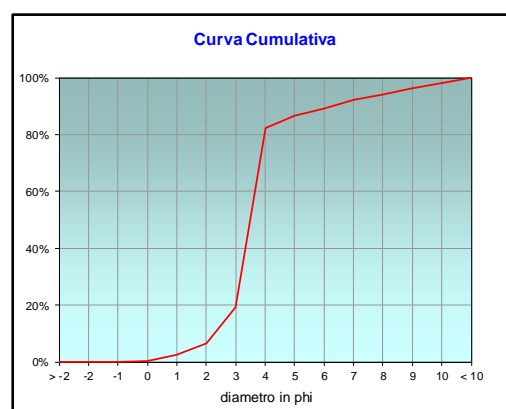
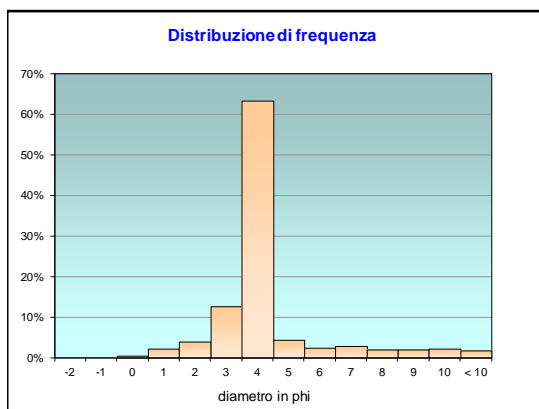
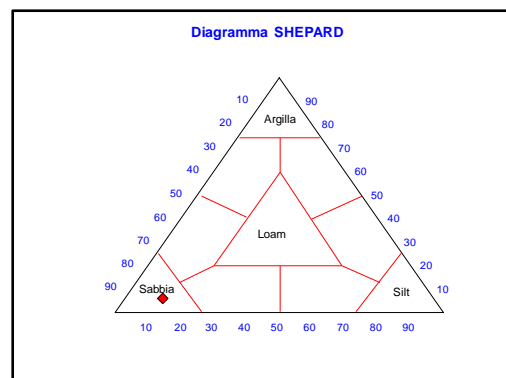
Parametri Statistici			Percentile	
Media	M _p	3,53	5°	1,61
Classazione	σ _p	0,80	16°	2,75
Asimmetria	S _p	0,04	25°	3,09
Appuntimento	K _G	3,55	50°	3,49
Mediana	M _d	3,49	75°	3,88
			84°	4,36
			95°	8,44

	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,68	0	1000	0,37%	0,37%
	4,09	1	500	2,24%	2,62%
	7,10	2	250	3,90%	6,52%
	22,92	3	125	12,59%	19,11%
	115,33	4	62,5	63,34%	82,44%
Limo	7,82	5	31	4,30%	86,74%
	4,55	6	15,6	2,50%	89,24%
	5,29	7	7,8	2,91%	92,14%
	3,56	8	3,9	1,96%	94,10%
Argilla	3,69	9	2,0	2,03%	96,13%
	3,84	10	0,98	2,11%	98,24%
	3,21	< 10	< 0,98	1,76%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	82,44%	11,66%	5,90%

Note
6,24 g di materiale organogeno (conchiglie)

Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	moderatamente classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



Stazione C5 (30 m SSW)

Parametri Fisici		
Peso secco (g)	Ps	178,46
Peso umido (g)	Pu	230,06
Peso specifico	G	n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ	n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ_d	n.d.
Umidità (%)	W	n.d.

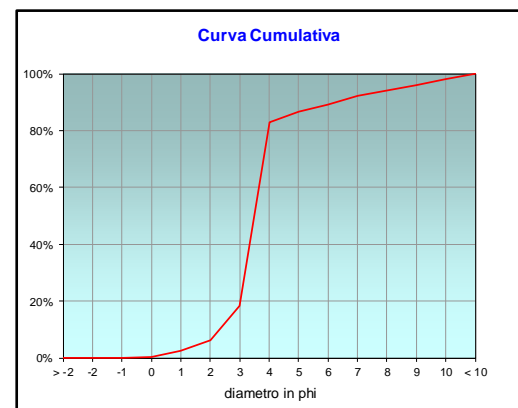
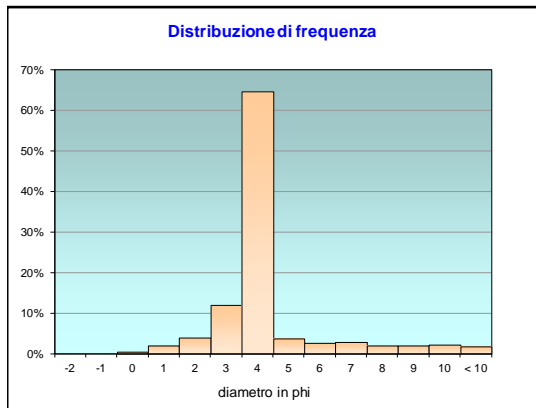
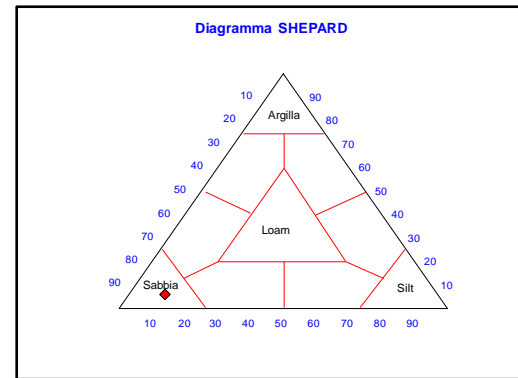
Parametri Statistici			Percentile	
Media	M_p	3,52	5°	1,67
Classazione	σ_{sp}	0,74	16°	2,80
Asimmetria	S_{sp}	0,03	25°	3,10
Appuntimento	K_G	3,60	50°	3,49
Mediana	Md	3,49	75°	3,88
			84°	4,28
			95°	8,46

	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,68	0	1000	0,38%	0,38%
	3,49	1	500	1,95%	2,34%
	7,10	2	250	3,98%	6,31%
	21,50	3	125	12,05%	18,36%
	115,33	4	62,5	64,63%	82,99%
Limo	6,51	5	31	3,65%	86,64%
	4,49	6	15,6	2,52%	89,15%
	5,23	7	7,8	2,93%	92,08%
	3,52	8	3,9	1,97%	94,06%
Argilla	3,65	9	2,0	2,04%	96,10%
	3,79	10	0,98	2,12%	98,22%
	3,17	< 10	< 0,98	1,78%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	82,99%	11,07%	5,94%

Note
5,84 g di materiale organogeno (conchiglie)

Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	moderatamente classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



Stazione C6 (60 m SSW)

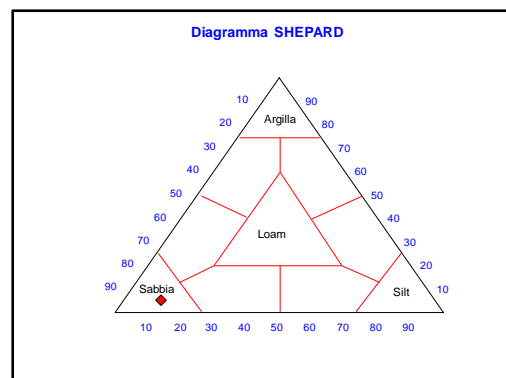
Parametri Fisici			
Peso secco (g)	P _s		177,12
Peso umido (g)	P _u		225,23
Peso specifico	G		n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ		n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ _d		n.d.
Umidità (%)	W		n.d.

Parametri Statistici			Percentile		φ
Media	M _p	3,50	5°		1,96
Classazione	σ _p	0,60	16°		2,90
Asimmetria	S _{kp}	0,00	25°		3,12
Appuntimento	K _G	3,35	50°		3,49
Mediana	Md	3,49	75°		3,87
			84°		4,10
			95°		8,13

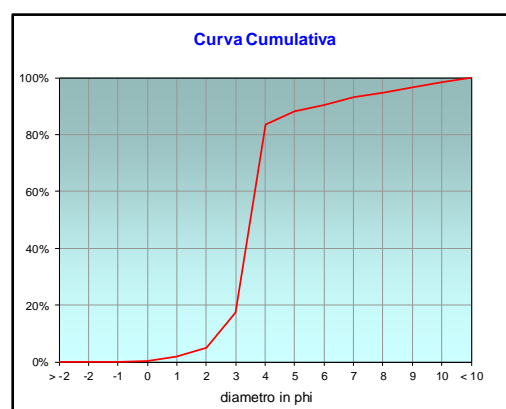
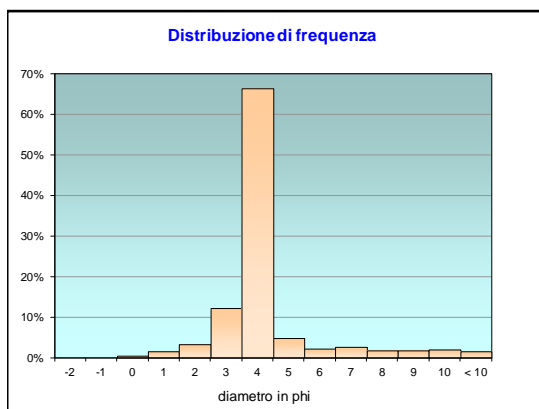
	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,68	0	1000	0,39%	0,39%
	2,80	1	500	1,58%	1,96%
	5,60	2	250	3,16%	5,12%
	21,50	3	125	12,14%	17,26%
	117,33	4	62,5	66,24%	83,51%
Limo	8,35	5	31	4,71%	88,22%
	3,93	6	15,6	2,22%	90,44%
	4,57	7	7,8	2,58%	93,02%
	3,08	8	3,9	1,74%	94,76%
Argilla	3,19	9	2,0	1,80%	96,56%
	3,32	10	0,98	1,87%	98,43%
	2,77	< 10	< 0,98	1,57%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	83,51%	11,25%	5,24%

Note
5,21 g di materiale organogeno (conchiglie)



Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	moderatamente classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



Stazione C7 (100 m SSW)

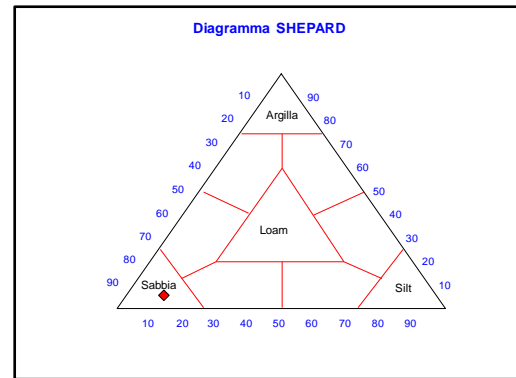
Parametri Fisici		
Peso secco (g)	P _s	179,23
Peso umido (g)	P _u	230,86
Peso specifico	G	n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ	n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ _d	n.d.
Umidità (%)	W	n.d.

Parametri Statistici			Percentile	
Media	M _p	3,54	5°	1,70
Classazione	σ _p	0,65	16°	2,92
Asimmetria	S _p	0,05	25°	3,12
Appuntimento	K _G	3,59	50°	3,50
Mediana	M _d	3,50	75°	3,88
			84°	4,21
			95°	8,30

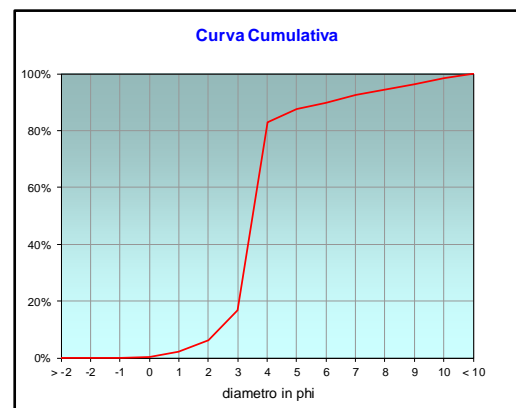
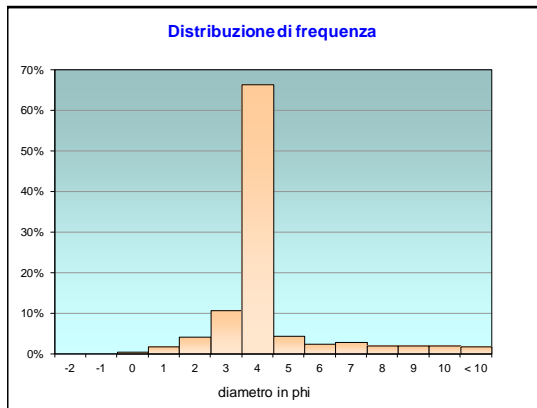
	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,60	0	1000	0,33%	0,33%
	3,22	1	500	1,79%	2,13%
	7,40	2	250	4,13%	6,26%
	18,99	3	125	10,60%	16,85%
	118,69	4	62,5	66,22%	83,07%
Limo	7,86	5	31	4,38%	87,46%
	4,24	6	15,6	2,36%	89,82%
	4,93	7	7,8	2,75%	92,57%
	3,32	8	3,9	1,85%	94,42%
Argilla	3,44	9	2,0	1,92%	96,34%
	3,57	10	0,98	1,99%	98,33%
	2,99	< 10	< 0,98	1,67%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	83,07%	11,35%	5,58%

Note
5,36 g di materiale organogeno (conchiglie)



Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	moderatamente classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



CONTROLLO K5

Parametri Fisici			
Peso secco (g)	Ps		177,62
Peso umido (g)	Pu		236,06
Peso specifico	G		n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ		n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ_d		n.d.
Umidità (%)	W		n.d.

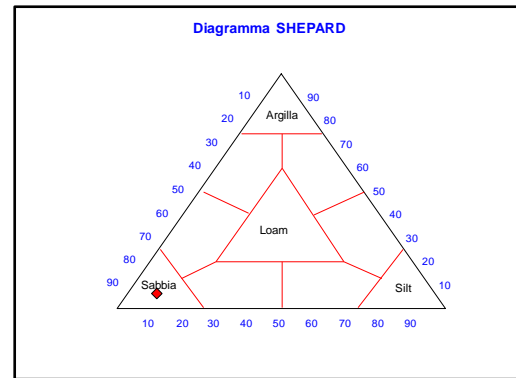
Parametri Statistici		
Media	M_p	3,51
Classazione	σ_{sp}	0,48
Asimmetria	S_{sp}	0,00
Appuntimento	K_G	3,64
Mediana	Md	3,51

Percentile	ϕ
5°	2,15
16°	3,03
25°	3,16
50°	3,51
75°	3,86
84°	3,99
95°	8,39

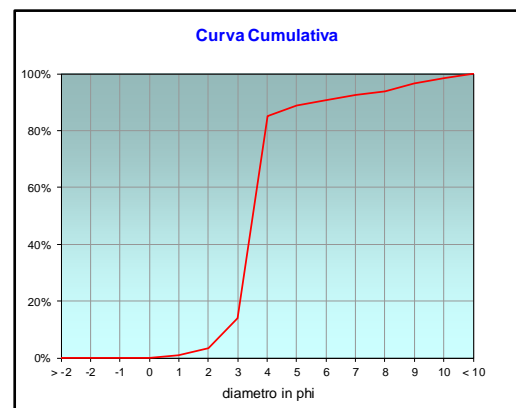
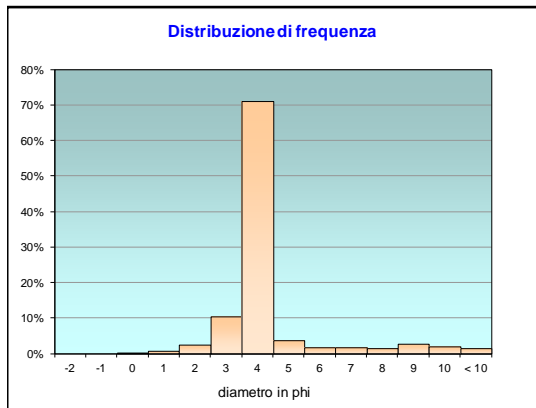
	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,20	0	1000	0,11%	0,11%
	1,39	1	500	0,78%	0,90%
	4,58	2	250	2,58%	3,47%
	18,59	3	125	10,47%	13,94%
	126,22	4	62,5	71,06%	85,00%
Limo	6,69	5	31	3,77%	88,77%
	3,24	6	15,6	1,82%	90,59%
	3,26	7	7,8	1,84%	92,43%
	2,67	8	3,9	1,50%	93,93%
Argilla	4,82	9	2,0	2,72%	96,64%
	3,47	10	0,98	1,96%	98,60%
	2,48	< 10	< 0,98	1,40%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	85,00%	8,93%	6,07%

Note
2,23 g di materiale organogeno (conchiglie)



Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	ben classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



CONTROLLO K6

Parametri Fisici		
Peso secco (g)	Ps	178,97
Peso umido (g)	Pu	239,23
Peso specifico	G	n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ	n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ_d	n.d.
Umidità (%)	W	n.d.

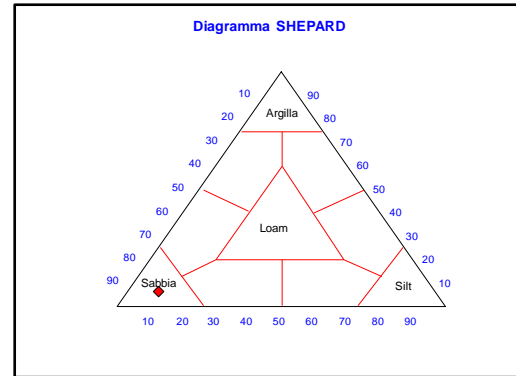
Parametri Statistici		
Media	M_p	3,51
Classazione	σ_{sp}	0,49
Asimmetria	S_{sp}	0,00
Appuntimento	K_G	3,61
Mediana	Md	3,51

Percentile	ϕ
5°	2,15
16°	3,02
25°	3,15
50°	3,51
75°	3,87
84°	4,00
95°	8,44

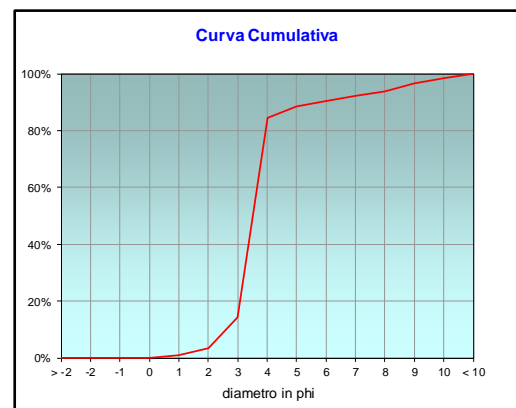
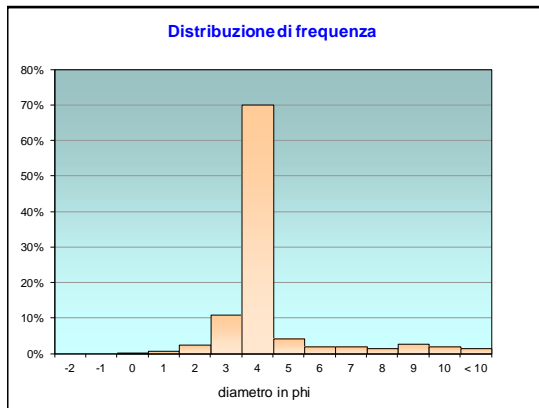
	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,21	0	1000	0,12%	0,12%
	1,45	1	500	0,81%	0,93%
	4,39	2	250	2,45%	3,38%
	19,57	3	125	10,93%	14,32%
	125,33	4	62,5	70,03%	84,34%
Limo	7,40	5	31	4,14%	88,48%
	3,35	6	15,6	1,87%	90,35%
	3,37	7	7,8	1,88%	92,24%
	2,76	8	3,9	1,54%	93,77%
Argilla	4,98	9	2,0	2,78%	96,56%
	3,59	10	0,98	2,01%	98,57%
	2,57	< 10	< 0,98	1,43%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	84,34%	9,43%	6,23%

Note
2,3 g di materiale organogeno (conchiglie)



Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	ben classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica



CONTROLLO K7

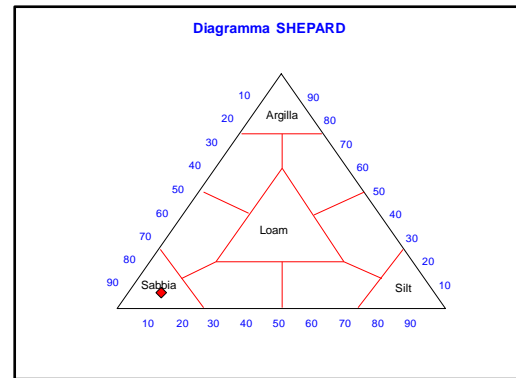
Parametri Fisici		
Peso secco (g)	Ps	176,89
Peso umido (g)	Pu	234,21
Peso specifico	G	n.d.
Peso di volume (g/cm ³)	γ	n.d.
Peso di vol. secco (g/cm ³)	γ_d	n.d.
Umidità (%)	W	n.d.

Parametri Statistici			Percentile	
Media	M_p	3,54	5°	2,09
Classazione	σ_p	0,59	16°	2,97
Asimmetria	S_{kp}	0,05	25°	3,13
Appuntimento	K_G	3,52	50°	3,50
Mediana	Md	3,50	75°	3,88
			84°	4,15
			95°	8,52

	g	phi	micron	%	Freq. Cumul.
Ghiaia	0,00	> -2	> 4000	0,00%	0,00%
	0,00	-2	4000	0,00%	0,00%
	0,00	-1	2000	0,00%	0,00%
Sabbia	0,24	0	1000	0,14%	0,14%
	1,79	1	500	1,01%	1,15%
	4,71	2	250	2,66%	3,81%
	22,30	3	125	12,61%	16,42%
	118,33	4	62,5	66,90%	83,32%
Limo	8,17	5	31	4,62%	87,94%
	3,47	6	15,6	1,96%	89,90%
	3,49	7	7,8	1,97%	91,87%
	2,85	8	3,9	1,61%	93,48%
Argilla	5,16	9	2,0	2,92%	96,40%
	3,72	10	0,98	2,10%	98,50%
	2,66	< 10	< 0,98	1,50%	#####

Classe granulometrica			
Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
0,00%	83,32%	10,16%	6,52%

Note
2,7 g di materiale organogeno (conchiglie)



Classificazione	
Shepard	SABBIA
Wentworth	SA - FI - MA
Classazione	moderatamente classato
Asimmetria	simmetrica
Appuntimento	estremamente leptocurtica

