



Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione Generale Valutazioni Ambientali

E.prof DVA-2010-0012021 del 10/05/2010

raffineria di ancona

Falconara Marittima 30/04/2010

Prot. 701/10

A : Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Commissione istruttoria per l'Autorizzazione Integrata Ambientale - IPPC
Att. Sig.ra Roberta Nigro
Via Curtatone, 3
00100 ROMA

e.p.c. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare
Ex Direzione generale per la Salvaguardia Ambientale
Div. VI "RISP/IPPC" Sez. AIA
Via Cristoforo Colombo, 44
00147 Roma

Al presidente della Commissione Istruttoria AIA-IPPC
c/o ISPRA
Via V. Brancati, 48
00144 ROMA

ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Via V. Brancati, 48
00144 ROMA
Fax 06 50072450

Regione Marche
Direzione P.F. Valutazione ed Autorizzazioni Ambientali
Att. Geol. David Piccinini
Via Tiziano, 44
60125 Ancona



Provincia di Ancona
Settore Tutela e Valutazione
dell'Ambiente
Att. Ing. Massimo Sbriscia
Via Menicucci, 1
60121 Ancona

Arpa Marche
Direzione Generale
Via Caduti del Lavoro, 40
60100 Ancona

Comune di Falconara Marittima
Att. III. Sindaco
Piazza Carducci, 4
60015 Falconara Marittima (AN)

Oggetto: Nuovo ciclo combinato da 580MWe da realizzarsi all'interno del sito industriale di "api Raffineria di Ancona" – **Integrazione procedimento AIA.**

A seguito degli accordi intercorsi con il referente del Gruppo Istruttore incaricato di valutare l'iniziativa in oggetto, si trasmette in allegato copia dello:

"Studio sulle possibili interazioni esistenti tra refluo termico della centrale IGCC di proprietà della'api Energia e la comparsa, crescita e tossicità della microalga *Fibrocapsa Japonica* lungo le coste marchigiane con particolare riferimento all'area AERCA".

quale contributo tecnico scientifico alla conoscenza del fenomeno di fioritura algale che ha interessato le coste marchigiane.

Restiamo a disposizione per qualsiasi ulteriore contributo ritenuto necessario

Distinti saluti


"api raffineria di ancona" S.p.A.
L'Amministratore Delegato
Ing. Giancarlo Cogliati

UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DEL MARE

Studio sulle possibili interazioni esistenti tra refluo termico della centrale IGCC di proprietà della API-Energia e la comparsa, crescita e tossicità della microalga *Fibrocapsa japonica* lungo le coste marchigiane con particolare riferimento all'area AERCA"

Relazione Tecnico-Scientifica

A cura del DiSMar

Dipartimento Scienze del Mare
Università Politecnica delle Marche

30 Aprile 2008

INDICE

1. Premessa	5
2. L'area di studio	7
3. Campionamento	9
3.1 Strategia di campionamento	09
3.2 Misure oceanografiche	12
3.3 Campionamento di acqua e sedimenti	12
4. Caratteristiche oceanografiche e fisico-chimiche sedimentarie dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA	14
4.1 Misure oceanografiche	14
4.2 Misure fisiche nel sedimento	23
4.3 Nutrienti interstiziali nel sedimento	29
4.3.1 Arco costiero marchigiano	29
4.3.2 Area AERCA	30
5. Stato trofico delle acque e dei sedimenti dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA	33
5.1 Introduzione	33
5.2 Materiali e Metodi	35
5.2.1 Strategia di Campionamento	35
5.2.2 Analisi dei pigmenti in acqua e nel sedimento e del tenore organico sedimentario	36
5.2.3 Analisi statistiche	36
5.2.3.1 Arco costiero marchigiano	36
5.2.3.2 Area AERCA	36
5.2.3.3 Confronto area AERCA e arco costiero marchigiano	37
5.3. Risultati	37
5.3.1 Analisi dello stato trofico dell'intero arco costiero marchigiano	37
5.3.1.1 Pigmenti clorofilliani in acqua	37
5.3.1.2 Tenore organico sedimentario lungo l'arco costiero marchigiano	39
5.3.1.3 Pigmenti clorofilliani nei sedimenti	40
5.3.2 Analisi dello stato trofico nell'area AERCA	44
5.3.2.1 Pigmenti clorofilliani in acqua	44
5.3.2.2 Carico organico nei sedimenti	46
5.3.2.3 Pigmenti clorofilliani nei sedimenti	47
5.4 Analisi comparativa della distribuzione e variabilità dello stato trofico tra area AERCA e arco costiero marchigiano mediante tecniche univariate (ANOVA) e multivariate (<i>Multidimensional Scaling</i>)	49
5.5. Relazioni tra stato trofico e distribuzione di <i>F. japonica</i>	53
6. Distribuzione di <i>F. japonica</i> e delle sue cisti di resistenza lungo l'arco costiero marchigiano e nell'area AERCA	55

6.1 Introduzione	55
6.1.1 <i>Fibrocapsa japonica</i> : caratteristiche morfologiche e ciclo vitale	55
6.1.2 Tossicità delle Raphidophyceae	58
6.1.3 Tossicità in <i>Fibrocapsa japonica</i>	58
6.1.4 Distribuzione delle Raphidophyceae tossiche	60
6.1.5 Biogeografia e distribuzione di <i>Fibrocapsa japonica</i>	62
6.1.6 Fioriture di <i>F. japonica</i> lungo la coste italiane	63
6.2 Metodi di analisi	64
6.2.1 Estrazione delle cisti di resistenza	64
6.2.2 Analisi ed identificazione al microscopio	65
6.2.3 Prove di germinazione delle cisti di incerta determinazione osservate in sedimenti	65
6.2.4 Metodi molecolari per l'identificazione delle cisti	65
6.2.4.1 Estrazione di DNA genomico totale da cisti mediante l'uso del kit UltraClean Soil DNA Kit	65
6.2.4.2 Analisi di elettroforesi su gel d'agaroso	66
6.2.4.3 Analisi molecolare di PCR	66
6.2.5 Prove di tossicità	67
6.3 Risultati	68
6.3.1 Le cisti di resistenza lungo la costa marchigiana	68
6.3.2 Analisi delle cisti nei sedimenti della Area AERCA	71
6.3.3 Prove di germinazione	73
6.3.4 Analisi molecolare sulle cisti estratte dai sedimenti	73
6.3.5 Test di tossicità su <i>Artemia</i> sp.	74
6.3.6 Test di emolisi con eritrociti di carpa	77
6.3.7 Test di tossicità sul batterio <i>Vibrio fischeri</i>	79
6.3.8 Test di tossicità su branzino	80
6.3.9 Analisi delle neurotossine	83
6.3.10 Analisi qualitativa di acidi grassi poliinsaturi in estratti algali	83
6.3.11 Analisi quantitativa delle specie reattive dell'ossigeno	85
6.3.12 Test di crescita delle alghe in acqua di uscita dall'impianto	87
6.4 Considerazioni conclusive	88
6.4.1 Presenza di cisti di resistenza nei sedimenti della costa marchigiana	88
6.4.2 Effetto dell'acqua di uscita dall'impianto sulla crescita di <i>F. japonica</i>	88
6.4.3 Effetti sugli organismi	88
6.4.4 Meccanismo di tossicità	89
6.4.5 Effetto dell'aumento di temperatura sulla tossicità	89
7. Analisi degli effetti del refluo termico sulla tossicità e sull'accrescimento di <i>F. japonica</i>	90
7.1 Sviluppo di <i>Fibrocapsa japonica</i> in relazione a differenti variabili ambientali	90

7.2. Influenza della temperatura e salinità su ceppi di <i>Fibrocapsa japonica</i> isolati in Adriatico	91
7.2.1 Attività sperimentali	91
7.2.2 Analisi statistiche	93
7.2.3 Curve e tassi di crescita di <i>F. japonica</i>	93
7.3 Confronto dei tassi di crescita dei ceppi di <i>F. japonica</i> adriatici con quelli in letteratura	95
7.4 Effetti potenziali del refluo termico sulla fioritura di <i>F. japonica</i>	97
7.5 Conclusioni	98
8. Effetti del refluo termico sullo sviluppo di <i>Fibrocapsa japonica</i>. Esperimenti numerici.	99
8.1 Il modello numerico	99
8.2 Formulazione del modello fisico	102
8.3 Il modello biogeochimico	107
8.4 Accoppiamento fisico-biologico	108
9. Applicazione per lo studio dell'influenza del refluo termico sullo sviluppo di <i>Fibrocapsa J.</i>	117
9.1 Implementazione dell'esperimento numerico	117
9.2 Risultati	120
9.3 Conclusioni	126
10. Considerazioni conclusive	127
11. Riferimenti bibliografici	132
Allegati	149

I dati relativi alla presente relazione:

- 173 Pagine
- 71 Figure
- 17 Tabelle
- 197 Riferimenti bibliografici
- 10 Allegati

1. Premessa

La presente relazione tecnico-scientifica riporta i risultati dello "*Studio sulle possibili interazioni esistenti tra refluo termico della centrale IGCC di proprietà della API-Energia e la comparsa, crescita e tossicità della microalga Fibrocapsa japonica lungo le coste marchigiane con particolare riferimento all'area AERCA*", commissionato da API Energia al Dipartimento di Scienze del Mare, dell'Università Politecnica delle Marche.

Fibrocapsa japonica è una microalga unicellulare appartenente alla classe Raphidophyceae che produce intense fioriture in aree marine costiere. La sua presenza era stata segnalata in origine nelle acque giapponesi, ove le fioriture di *F. japonica* sono state spesso associate a morie di pesce.

Nell'ultima decade la presenza di questa specie è stata osservata nelle acque costiere di tutto il mondo, comprese quelle europee e alcuni tratti dell'arco costiero marchigiano. Probabilmente, la diffusione di *F. japonica* è stata mediata dalle acque di zavorra delle navi (*ballast waters*), il cui indiscriminato ed incontrollato carico/scarico ha favorito l'ampliamento del suo areale di distribuzione nelle acque temperate dei due emisferi.

Questa microalga, come altre specie appartenenti allo stesso gruppo (e.g. *Chattonella* sp. e *Heterosigma* sp.), è stata riconosciuta responsabile della produzione di diversi composti ittiotossici quali specie reattive dell'ossigeno (ROS), di composti emolitici (PUFAs), e della eiezione di mucocisti. Inoltre, è stata riportata la produzione di neurotossine che avrebbero effetti tossici verso i mammiferi.

Sebbene le fioriture verificatesi nelle acque italiane non siano mai state associate a morie di pesci, non è escluso che tali microalghe siano in grado di produrre sostanze potenzialmente dannose.

Questo studio si proponeva di:

- a) Analizzare le caratteristiche oceanografiche e fisico-chimiche principali dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA al fine di individuare eventuali peculiarità locali alle quali attribuire un potenziale di facilitazione della diffusione dell'alga *F. japonica* lungo il litorale potenzialmente interessato dal refluo termico;
- b) Analizzare lo stato trofico sedimentario dell'intero arco costiero marchigiano per valutare l'eventuale relazione tra distribuzione dei propaguli dell'alga e condizioni di trofia del sistema;

- c) Validare, all'interno dell'area AERCA, le differenze in termini di carico organico tra l'area interessata dalla presenza del vecchio oleodotto, quella interessata dalla presenza della condotta dell'impianto IGCC attualmente in funzione e quella eventualmente interessata dalla costruzione di una nuova condotta per il futuro impianto. Tale analisi partiva dall'ipotesi che la presenza della condotta IGCC abbia effetti significativi sullo stato trofico sedimentario e pertanto possa aver determinato condizioni di pre-requisito per l'insediamento e proliferazione dell'alga proprio in prossimità dello scarico.
- d) Analizzare comparativamente le caratteristiche trofiche dell'intero arco marchigiano con quello dell'area AERCA per valutare il potenziale effetto localizzato degli scarichi dell'IGCC sulla trofia dei sedimenti.
- e) Definire la distribuzione di *F. japonica* e in particolare delle sue cisti di resistenza nei sedimenti della fascia costiera marchigiana, con particolare riferimento all'area AERCA, che intercetta il refluo termico della centrale IGCC dell'API di Falconara Marittima. Tale indagine è volta anche a quantificare l'abbondanza e la composizione specifica della intera banca di cisti presente nei sedimenti della costa marchigiana.
- f) Valutare l'effetto del refluo termico sulla tossicità di *F. japonica* e sui suoi tassi di crescita.
- g) Modellizzazione della distribuzione ed accrescimento di *F. japonica* nell'area AERCA e nelle sue prossimità

Questa relazione, realizzata a cura dei ricercatori del Dipartimento di Scienze del Mare dell'Università Politecnica delle Marche, in collaborazione con alcuni ricercatori dell'Università di Urbino, dell'Università di Bologna e della EcoTechSystems srl, spin-off dell'Università Politecnica delle Marche, è articolata in 8 parti:

1. Premessa progettuale
2. Definizione dell'area di studio
3. Definizione dei protocolli di campionamento
4. Analisi delle caratteristiche oceanografiche e sedimentologiche dell'arco costiero marchigiano
5. Analisi dello stato trofico delle acque e dei sedimenti dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA
6. Analisi della distribuzione e tossicità di *F. japonica* e delle sue cisti di resistenza lungo l'arco costiero marchigiano e nell'area AERCA
7. Analisi degli effetti del refluo termico sulla tossicità e sull'accrescimento di *F. japonica*
8. Modellizzazione degli effetti del refluo termico sulla distribuzione ed accrescimento di *F. japonica*.

2. L'area di studio

Il litorale marchigiano si estende per circa 170 Km ed è divisibile in due porzioni: una settentrionale compresa tra Gabicce ed Ancona lunga circa 90 km, ed una meridionale da Ancona alla foce del fiume Tronto lunga circa 80 Km.

La morfologia prevalente è di costa bassa di origine sedimentaria formata da spiagge di ghiaia e sabbia (81%) interrotta da brevi tratti di costa alta a falesia (19%) costituita da rocce calcaree o marnoso arenacee. In prossimità della linea di costa, a pochi metri di profondità, la natura della maggior parte dei fondali marchigiani è di tipo sabbioso. Tale fascia si estende per una lunghezza di alcune centinaia di metri dalla costa ad un massimo di 1 Km. Procedendo verso il largo si incontrano fondi in cui la sabbia è mista al fango con prevalenza di fango sulla sabbia davanti alle foci dei fiumi, e con prevalenza di sabbia sul fango nelle zone interposte.

La costa alta marnoso arenacea compresa tra Gabicce e Pesaro si estende per circa 10 Km con altitudini inferiori ai 200 m, ed è orientata in direzione NO-SE.

Tra Ancona e Numana, la falesia si presenta con aspetti diversi: dal Porto di Ancona a Mezzavalle è marnoso-arenacea, dal promontorio del Conero fino alla località i Sassi Neri è calcarea, mentre da quest'ultima località fino al Porto di Numana torna ad essere marnoso-arenacea. (Biondi *et al.*, 1995). L'unico tratto di costa calcarea del litorale marchigiano è rappresentato dal nucleo centrale del Promontorio del Conero (Biondi *et al.*1995).

Tra Pesaro e la foce del fiume Tronto, ad eccezione del Monte Conero, il litorale marchigiano è bordato da una serie di cuspidi di foce molto simili tra loro. Sottocosta dunque, sono presenti quasi ovunque spiagge costituite da sabbie costiere.

Da un punto di vista delle correnti marine, la costa marchigiana può considerarsi una zona di transizione tra le acque dell'Adriatico Settentrionale e quelle dell'Adriatico Centrale: tuttavia l'influenza della porzione settentrionale è, a causa della circolazione ciclonica, particolarmente rilevante per quanto riguarda gli apporti fluviali, ricchi di nutrienti, provenienti dai fiumi del nord Italia ed in particolare dal Delta del Po. Tuttavia, in generale, tale circolazione permette alle acque provenienti dal settore settentrionale del bacino di lambire l'intero arco costiero marchigiano, il quale, viene investito dalle acque del fiume Po in deriva durante le fasi di piena invernale. Le correnti costiere si sviluppano tutto l'anno sia lungo le coste occidentali che le coste orientali del bacino Adriatico, con cambiamenti in intensità ed estensione. Nel bacino si possono distinguere

tre tipi di masse d'acqua: Acque Superficiali, *Levantine Intermediate Water* (LIW) e *Adriatic Deep Water* (ADW). Le acque superficiali occupano approssimativamente lo strato compreso entro i primi 100 m della colonna d'acqua: tale massa d'acqua entra nell'Adriatico da sud lungo la costa orientale ed esce dall'Adriatico lungo la costa occidentale. Le acque del largo nel centro del bacino sono attraversate da un flusso principale diretto verso nord in autunno-inverno e verso sud in primavera-estate.

Per quanto riguarda la dinamica costiera, la linea di costa marchigiana presenta un trend evolutivo medio negativo già a partire dall'inizio del '900, con forti accelerazioni del fenomeno erosivo a partire dagli anni '60-'70. Le opere marittime poste in opera per la protezione delle strutture, delle infrastrutture e della costa hanno ridotto gli effetti erosivi locali, trattenendo sotto costa i sedimenti, ma hanno altrettanto spesso innescato fenomeni di regressione nei tratti contigui ivi determinando una forte concentrazione di energia, lo spostamento longitudinale di materiale sabbioso e grossolano e la perdita netta di materiale sabbioso per trasporto trasversale verso il largo.

I fiumi marchigiani che sboccano nel bacino Adriatico sono: Arzilla, Aso, Cesano, Chienti, Esino, Ete, Vivo, Foglia, Metauro, Misa, Musone, Potenza, Tavollo, Tenna, Tesino, Tronto. I fiumi delle Marche hanno tutti la foce ad estuario, sono brevi, hanno una corrente abbastanza forte e la portata d'acqua cambia moltissimo nelle varie stagioni a seconda della quantità di precipitazioni.

Sulla fascia costiera delle Marche si affacciano ben 22 tra grandi e piccoli comuni, per una popolazione residente totale pari a oltre 500.000 abitanti (circa il 35% dell'intera popolazione marchigiana; fonte ISTAT, 2003). Lungo l'arco costiero marchigiano esistono numerose realtà industriali e commerciali il cui potenziale impatto sull'ambiente marino costiero è particolarmente rilevante. In tal senso, i porti e tra i più grandi quelli di Ancona, Pesaro, S. Benedetto e Fano, e la raffineria API di Falconara marittima con l'annessa centrale termoelettrica costituiscono certamente i siti di maggior attenzione. A questi si aggiungano le foci di cinque fiumi: Foglia, Metauro, Cesano, Misa, Esino, Musone, Potenza, Tenna, Aso e Tronto, che convogliano in mare scarichi più o meno controllati di buona parte dei bacini imbriferi delle Marche.

L'impatto di tali pressioni di origine antropica sugli ecosistemi marini della Regione Marche è stato oggetto di numerosi studi che si protraggono sin dai primi anni '70. Tra questi, l'inquinamento accidentale ed il fenomeno dell'eutrofizzazione hanno certamente ricevuto le attenzioni più mirate (Danovaro, 2003). Tuttavia, negli ultimi 15 anni altre fenomenologie di alterazione ecosistemica si sono affacciate all'attenzione della comunità scientifica così come dell'opinione pubblica, per i potenziali rilevanti effetti/danni su beni e servizi ecosistemici. Tra queste, sempre più rilevanti ed evidenti si annoverano l'intensificazione delle alterazioni biogeochimiche in colonna d'acqua e nei sedimenti (e.g.: mucillagini, Danovaro *et al.*, 2005; crisi anossiche

Fonda Umani *et al.*, 1992, Russo *et al.*, 2002), l'introduzione di specie "aliene" attraverso lo scarico delle acque di zavorra che hanno portato alla comparsa anche nell'Adriatico di diverse specie esotiche (*Anadara inequalvis*, *Anadara demiri*, Solustri *et al.*, 2003; Morello *et al.*, 2004; *Musculista senhousia* Solustri *et al.*, 2003, Mistri, 2003; *Rapana venosa* Savini & Occhipinti Ambrogi, 2006) e di alcune specie algali potenzialmente tossiche, tra le quali *Fibrocapsa japonica* (Penna *et al.*, 2006).

Accanto a tali fenomenologie legate all'introduzione di materia ed energia od allo sfruttamento non regolamentato delle risorse marine, si fanno ormai evidenti i segni di alterazioni ambientali legate ai cambiamenti climatici in atto (Vichi *et al.*, 2003).

3. Campionamento

3.1 Strategia di campionamento

La strategia di campionamento è stata elaborata sulla base delle conoscenze dell'uso e della tipologia del tratto di costa interessata, al fine di permettere di rappresentare adeguatamente, nell'intero tratto di costa marchigiano, le zone maggiormente sottoposte e quelle scarsamente sottoposte a pressioni antropiche. L'area di studio ha abbracciato l'intero arco costiero marchigiano (Fig. 1A).

In una prima fase, i campionamenti di acqua e di sedimento sono stati eseguiti lungo 18 transetti approssimativamente perpendicolari alla linea di costa, compresi fra la foce del fiume Foglia (a Nord) e la foce del fiume Tronto (a Sud) e numerati da 1 a 19 (ad esclusione del transetto 10, non effettuato). Ciascun transetto comprendeva 3 stazioni posizionate rispettivamente a 50, 500 e 1000 m dalla costa (stazioni A, B e C rispettivamente), per un totale di 54 stazioni (Fig. 1B).

In una seconda fase il campionamento di acqua e sedimento è stato anche effettuato in 20 stazioni localizzate entro l'area interessata dalla presenza del refluo termico della centrale IGCC (area AERCA) della raffineria API di Falconara Marittima (Fig. 1C). In tale area sono stati effettuati campionamenti lungo 3 transetti disposti rispettivamente lungo la condotta dell'attuale oleodotto (8 stazioni, nominate da 1 a 8), lungo un tracciato indicato dal committente (6 stazioni, nominate da A a F, stazioni futura nuova condotta) ed in corrispondenza della condotta del refluo termico dell'impianto IGCC della centrale API (6 stazioni, denominate da RF1 a RF-6). Complessivamente sono state eseguite 74 stazioni di campionamento.

Misure di velocità e direzione di corrente sono state effettuate in due siti denominati COR 1 e COR 2, rispettivamente a Sud e a Nord del presente refluo termico. Nell'allegato A è riportato l'elenco delle stazioni di campionamento.

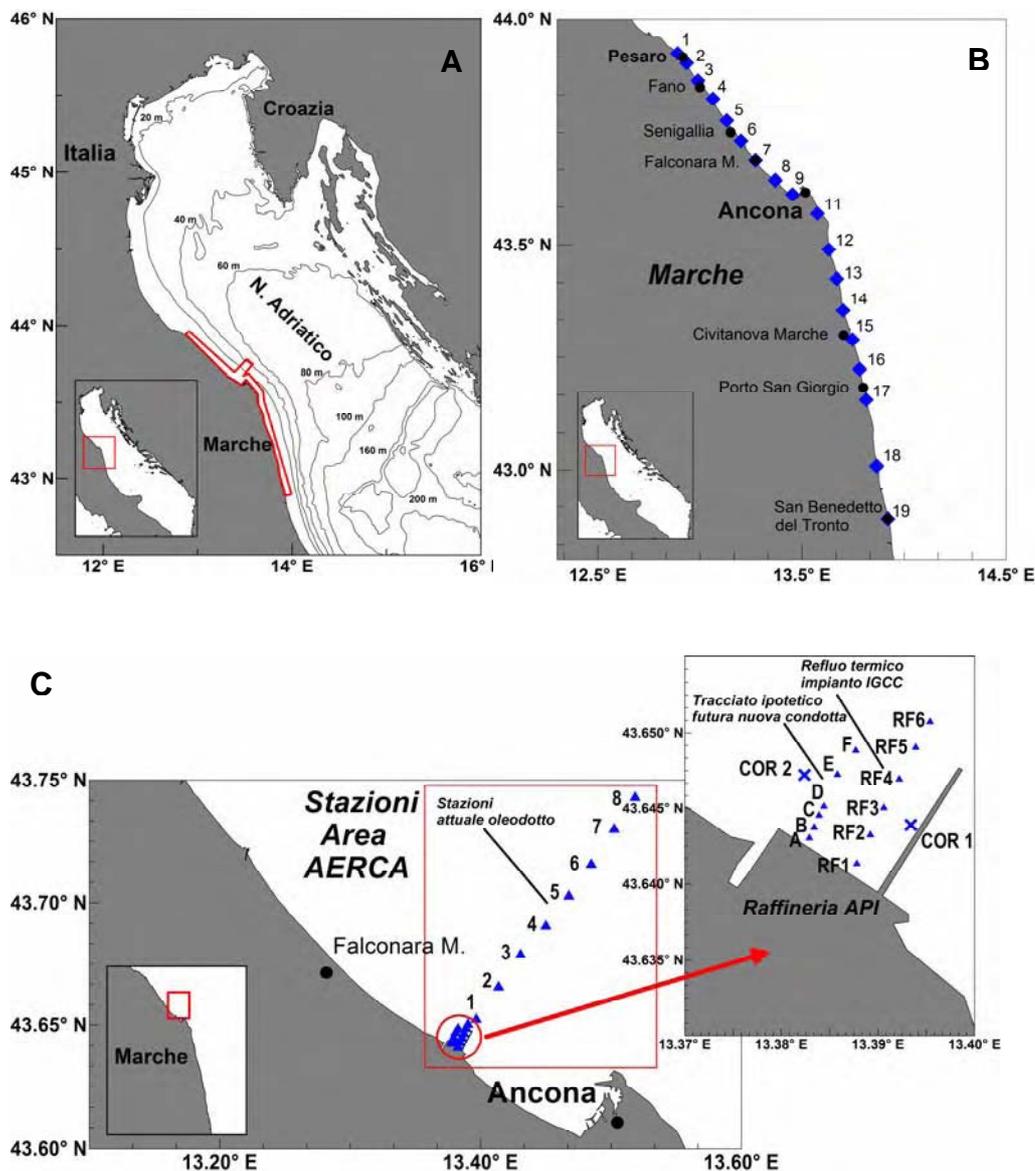


Figura 1 – Localizzazione dell’area di studio nel Mare Adriatico (A), localizzazione dei transetti lungo l’arco costiero marchigiano (B) e nell’area AERCA (C). Si noti che ciascun transetto lungo l’arco costiero marchigiano (numerati da 1 a 19) comprendeva 3 stazioni localizzate rispettivamente a 50, 500 e 1000 m dalla linea di costa (stazioni A, B e C nell’ordine). –▲ stazioni di campionamento in area AERCA: stazioni da 1 a 8 (transetto attuale oleodotto), stazioni A – F (transetto futura nuova condotta) e stazioni RF 1 – 6 (transetto refluo termico impianto IGCC); X stazioni correntometriche COR 1 e COR 2 (rispettivamente a Sud e a Nord del tracciato del refluo termico dell’impianto IGCC).

La prima fase del survey è stata realizzata durante il mese di giugno 2007, lungo l’arco costiero marchigiano in 18 stazioni poste a circa 50 m dalla costa (stazioni A) e situate all’interno delle barriere frangiflutti, quando presenti. La seconda fase (tra giugno e luglio 2007) ha riguardato il campionamento nelle stazioni B e C (posizionate rispettivamente a circa 500 e 1000 m dalla costa) dei transetti da 1 a 19 ed il campionamento nelle stazioni localizzate entro l’area AERCA (incluse le misure di corrente).

Il campionamento è stato effettuato con la motonave *Actea* del DiSMar (Fig. 2). La georeferenziazione delle stazioni è stata effettuata mediante sistema GPS Garmin 72 (GPS Accuracy < 15 metri), con coordinate acquisite in UTM ED50. Le operazioni in mare hanno previsto campionamenti e rilevamenti per lo studio di differenti variabili:



Figura 2A – Il natante da ricerca *Actea* di proprietà del DiSMar



Figura 2B – Fase di campionamento in immersione del sedimento presso l'area di indagine

Arco costiero marchigiano e area AERCA:

- misure correntometriche (in colonna d'acqua)
- dati idrologici mediante sonda multiparametrica CTD in colonna d'acqua
- clorofilla-a e feopigmenti in acqua
- nutrienti inorganici nell'acqua interstiziale di sedimenti
- carico organico totale (TOM) nel sedimento
- pigmenti nel sedimento
- granulometria del sedimento
- potenziale *redox* (Eh) nel sedimento
- profondità dello strato di discontinuità *redox* (RPD) nel sedimento
- conta cisti di *Fibrocapsa japonica* nel sedimento

3.2 Misure oceanografiche

Le misure correntometriche sono state eseguite per mezzo di un correntometro modello RCM 9 LW della AANDERAA Data Instruments equipaggiato con sensori di velocità e direzione di corrente, e di temperatura. Lo strumento è stato lasciato ancorato al fondo (*in-line mooring*) in due siti differenti dell'area di studio per un periodo rispettivamente di circa 24 e 48 ore. Il *software* Data Reading Program (DRP) 5059 è stato impiegato per il processamento dei dati in formato "dsu", per produrre diagrammi a stick (*stick diagrams*) e diagrammi a vettore progressivo (*progressive vector diagrams*).

Per la determinazione dei parametri fisici in colonna d'acqua è stata utilizzata una sonda multiparametrica *SEACAT Profiler* modello SBE 19*plus* auto-acquisente e dotata di sensori di conducibilità, temperatura, pressione, ossigeno (SBE), torbidità [Seapoint Instruments inc]. I dati sono stati acquisiti tramite software SEATERM V1.53. Il software SBE Data Processing V5.37e [Sea-bird Electronics inc.] è stato utilizzato per processare i dati e produrre medie a 10 s nel formato ".cnv" delle misure effettuate a profondità fissa nelle stazioni (stazioni A) caratterizzate da una scarsa profondità (max 1.5 m). Medie a 0.5 dbar sono invece state prodotte in tutte le altre stazioni. Ulteriori elaborazioni sono state fatte con i programmi Ocean Data View (ODV) [Schlitzer, R., Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2006] e Surfer 8 della Golden Software inc.

3.3 Campionamento di acqua e sedimenti

Per la determinazione delle concentrazioni di pigmenti clorofilliani in acqua, in tutte le stazioni sono stati raccolti campioni di acqua in prossimità del fondo mediante bottiglia idrologica tipo Niskin della OceanTest

Equipment inc. I campioni sono stati filtrati immediatamente in campo in opportuni volumi di acqua (0.2-1 L) su membrane Whatman GF/F (0,45 μm di porosità) pre-combusti a 450 °C. I filtri sono stati conservati alla temperatura di -20 °C fino alle analisi in laboratorio.

La raccolta dei campioni di sedimento è stata effettuata mediante carotaggio manuale in immersione nelle stazioni a 50 m dalla costa e con benna di tipo Van Veen nelle restanti stazioni, seguito da sub-campionamento mediante carote in plexiglas del diametro interno di 5.6 cm.

I 2 cm superficiali di ciascuna carota (n=3 repliche per stazione) è stato conservato in capsule Petri a -20°C fino alle analisi in laboratorio.

Fatta eccezione per le misure della profondità dello strato di discontinuità redox (*Redox Potential Discontinuità*, RPD) e dell'Eh (potenziale di ossido-riduzione) nei sedimenti che sono state effettuate *in situ*, le altre variabili considerate hanno previsto la raccolta e conservazione dei campioni a -20°C (materia organica totale, pigmenti clorofilliani, granulometria) e a 4°C per il conteggio ed identificazione delle cisti.

L'acqua interstiziale per le analisi delle concentrazioni di nutrienti è stata estratta dal sedimento mediante centrifuga refrigerata a 4°C, a 3000 rpm per 10 minuti e successivamente filtrata con membrane Whatman GF/F (0.45 μm di porosità) e conservata a -20 °C fino all'analisi.

La profondità dell'RPD è stata determinata in base alla profondità (espressa in cm) alla quale il sedimento vira il proprio colore per effetto di condizioni riducenti (i.e. variazione cromatica tra strato ossidato di colore chiaro rispetto allo strato sub-ossico/anossico, generalmente di colore tendente al grigio scuro/nero).

Le misure di Eh sono state effettuate mediante l'utilizzo di un pH-metro WTW330i (elettrodo modello Redox WTW SenTix ORP per misure dell'Eh).

4. Caratteristiche oceanografiche e fisico-chimiche sedimentarie dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA

4.1 Misure oceanografiche

Data la scarsa profondità dei fondali (max 2 m), le misure chimico-fisiche condotte nelle stazioni A (a circa 50 m dalla costa) dei transetti 1 – 19, disposti lungo l'arco costiero marchigiano, sono state condotte ad una profondità fissa di circa 1 m. Ciò non ha permesso di visualizzare i dati in sezione verticale. Pertanto, i risultati delle misure CTD eseguite in queste stazioni vengono illustrati separatamente dalle stazioni B e C degli stessi transetti. Le stazioni A presentano temperature e salinità distribuite secondo un gradiente crescente da Nord a Sud ed in linea con i valori tipici primaverili (Fig. 3).

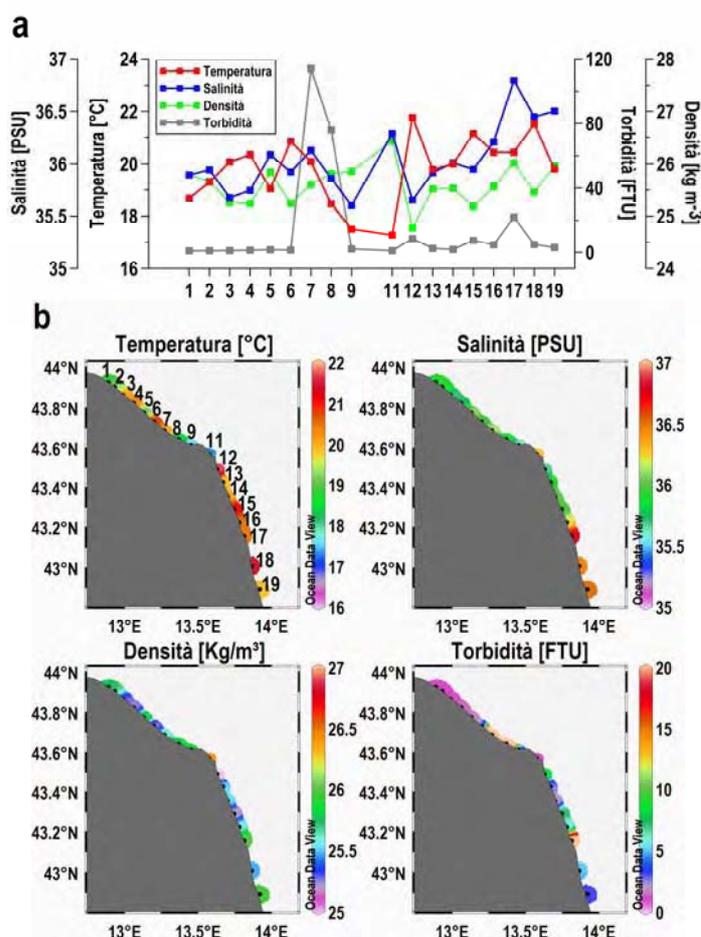


Figura 3 – Arco costiero marchigiano, transetti 1 – 19, stazioni A (50 m dalla costa). Variabili fisiche (temperatura [°C], salinità [PSU], densità [kg m⁻³] e torbidità [FTU]); a) grafico lineare x/y; b) distribuzioni iso-superficiali a circa 1 m di profondità.

Temperature massime sono state misurate nelle stazioni con minor profondità ed in presenza di barriere frangiflutti, fattori che tendono ad accentuare l'accumulo di calore. Salinità minime sono osservate fra le foci dei fiumi Foglia e Chienti ed in particolare in prossimità della foce del fiume Esino. Picchi di torbidità sono osservati nelle stazioni 7A, 8A e 17A, in condizioni idrodinamiche tali da favorire la risospensione dei sedimenti fini. I valori delle variabili fisiche nelle stazioni B e C (rispettivamente a circa 500 e 1000 m dalla costa) sono riportati nelle figure da 5 a 11. Le Figure da 4 a 6 mostrano i valori misurati in superficie e sul fondo mentre le figure da 7 a 10 illustrano le distribuzioni delle variabili fisiche in sezione verticale.

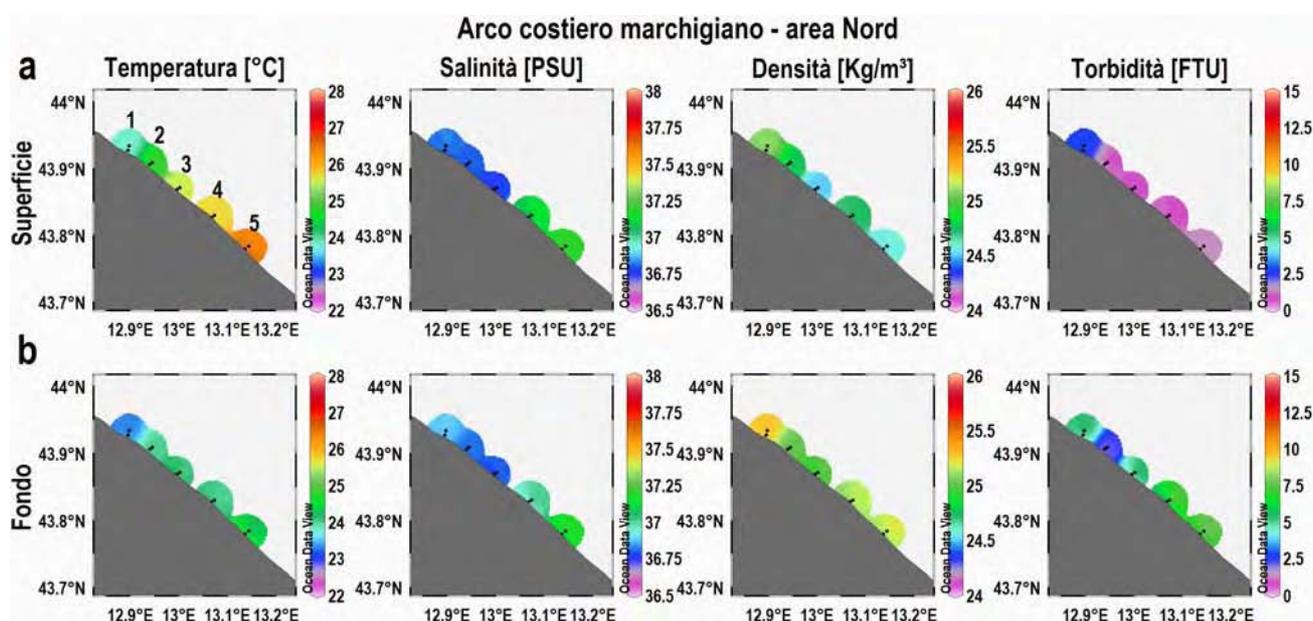


Figura 4 – Arco costiero marchigiano, area Nord (da Pesaro a Cesano di Senigallia), transetti 1 – 5, stazioni B e C (500 e 1000 m dalla costa). Distribuzioni delle variabili fisiche (temperatura [°C], salinità [PSU], densità [kg m⁻³] e torbidità [FTU]): a) in superficie; b) sul fondo.

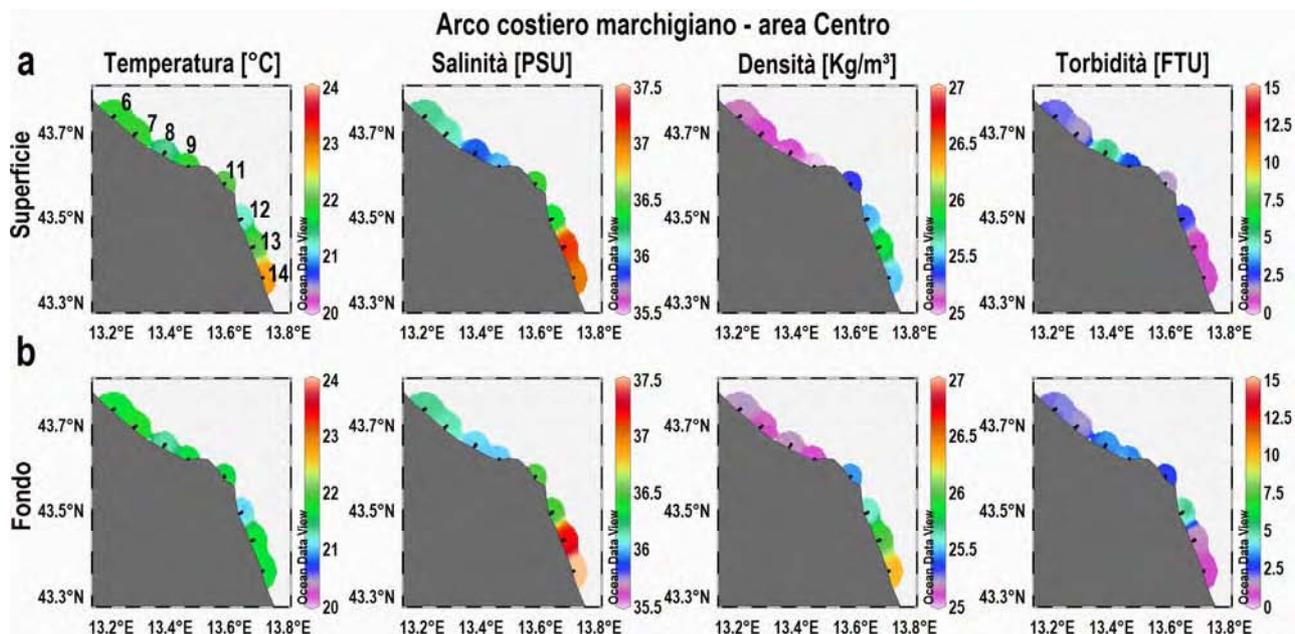


Figura 5 – Arco costiero marchigiano, area Centro (da Marzocca di Senigallia a Porto Potenza Picena), transetti 6 – 14, stazioni B e C (500 e 1000 m dalla costa). Distribuzioni delle variabili fisiche (temperatura [°C], salinità [PSU], densità [kg m⁻³] e torbidità [FTU]): a) in superficie; b) sul fondo.

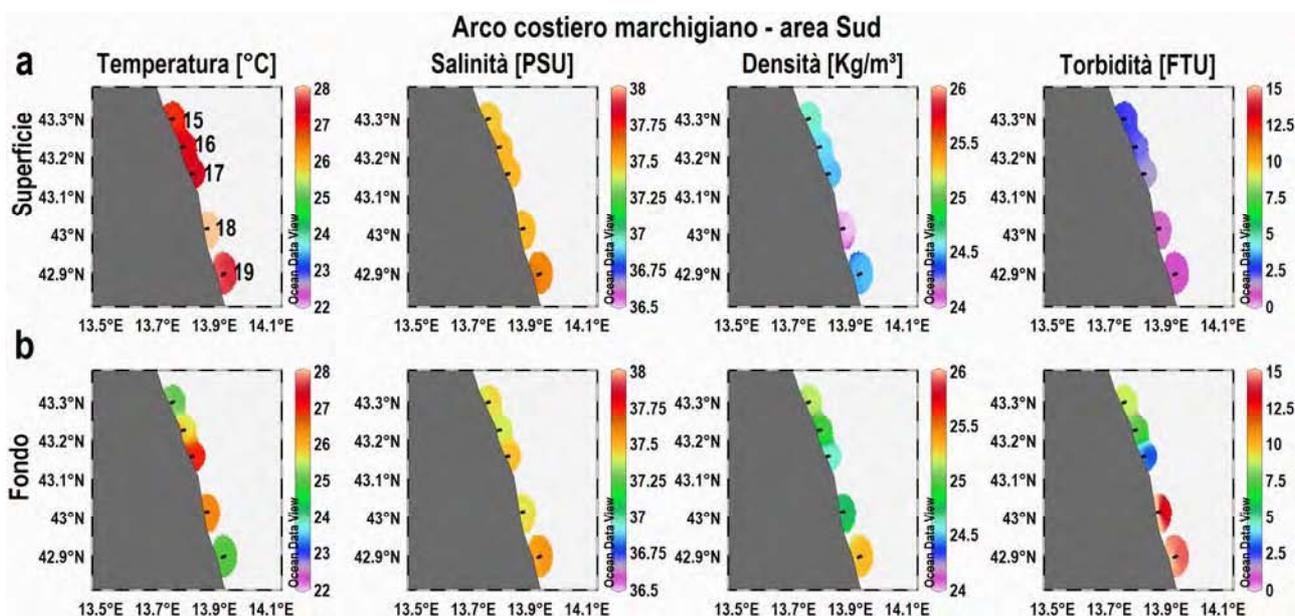


Figura 6 – Arco costiero marchigiano, area Sud (da Civitanova Marche a San Benedetto del Tronto), transetti 15 – 19, stazioni B e C (500 e 1000 m dalla costa). Distribuzioni delle variabili fisiche (temperatura [°C], salinità [PSU], densità [kg m⁻³] e torbidità [FTU]): a) in superficie; b) sul fondo.

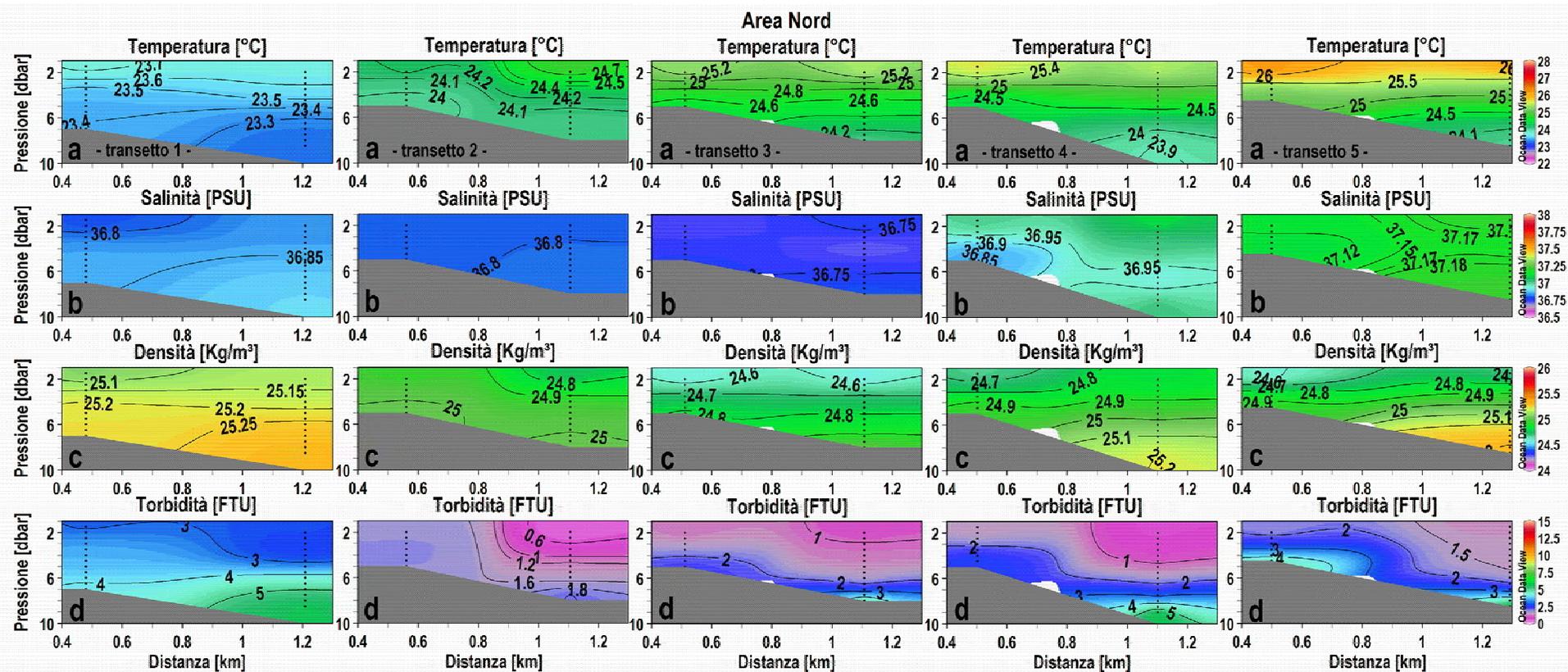


Figura 7 – Arco costiero marchigiano, area Nord (da Pesaro a Cesano di Senigallia), transetti 1 – 5, stazioni B e C (500 e 1000 m dalla costa). Distribuzioni in sezione verticale delle variabili fisiche: a) temperatura [°C], b) salinità [PSU], c) densità [kg m⁻³], d) torbidità [FTU].

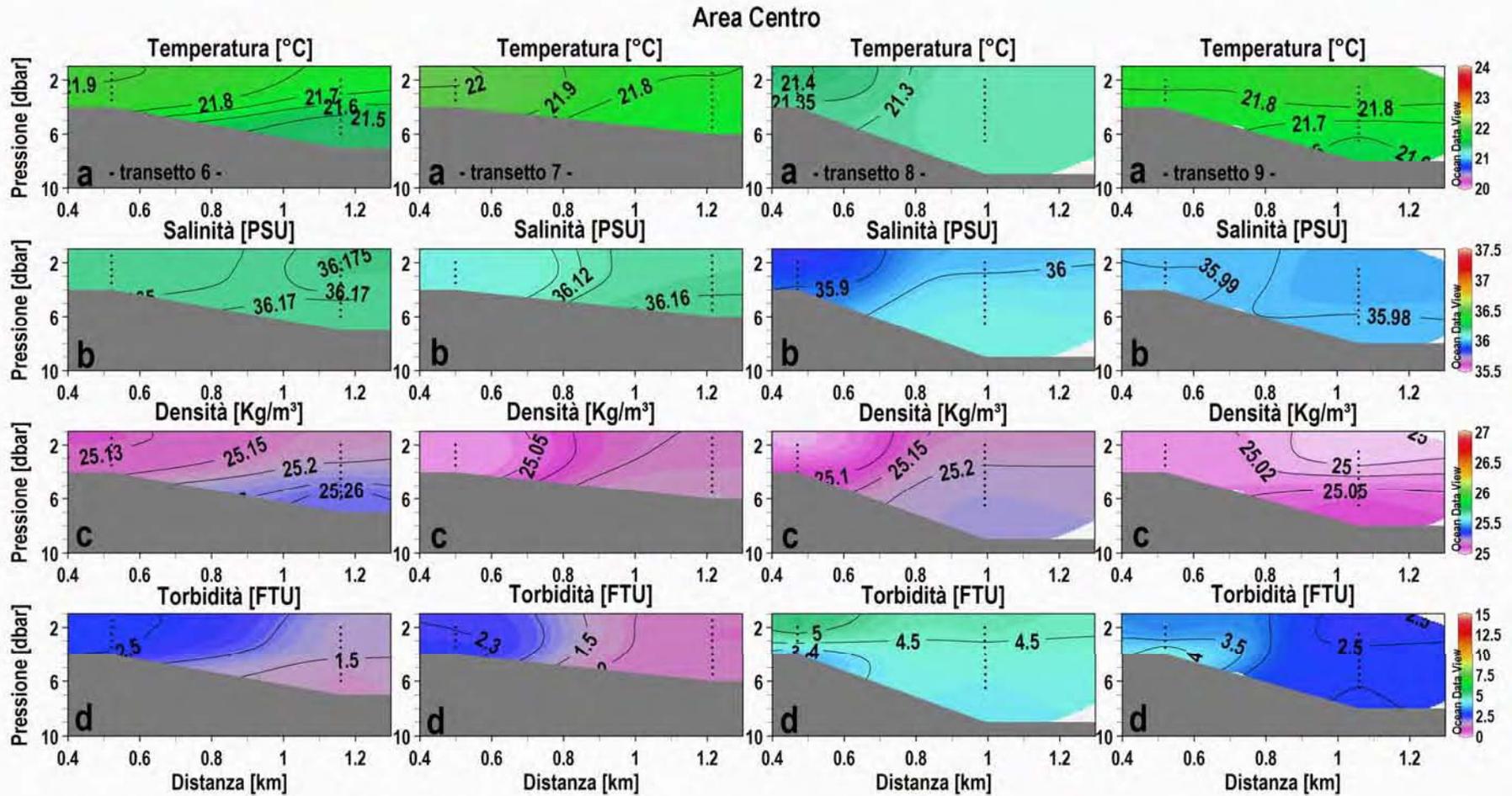


Figura 8 – Arco costiero marchigiano, area Centro (da Marzocca di Senigallia a Palombina di Ancona), transetti 6 – 9, stazioni B e C (500 e 1000 m dalla costa). Distribuzioni in sezione verticale delle variabili fisiche: a) temperatura [°C], b) salinità [PSU], c) densità [kg m⁻³], d) torbidità [FTU].

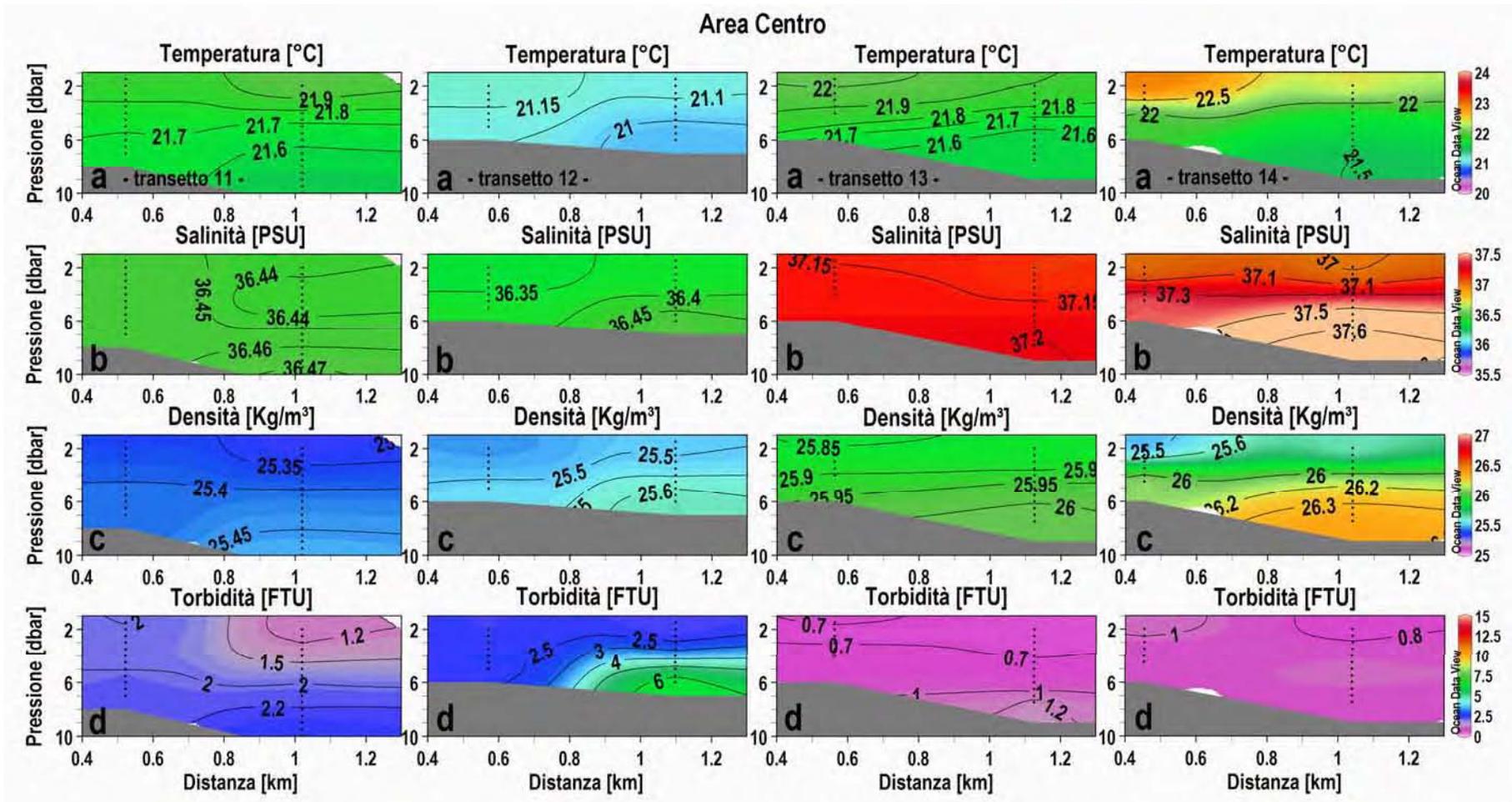


Figura 9 – Arco costiero marchigiano, area Centro (da Portonovo di Ancona a Porto Potenza Picena), transetti 11 – 14, stazioni B e C (500 e 1000 m dalla costa). Distribuzioni in sezione verticale delle variabili fisiche: a) temperatura [°C], b) salinità [PSU], c) densità [kg m⁻³], d) torbidità [FTU].

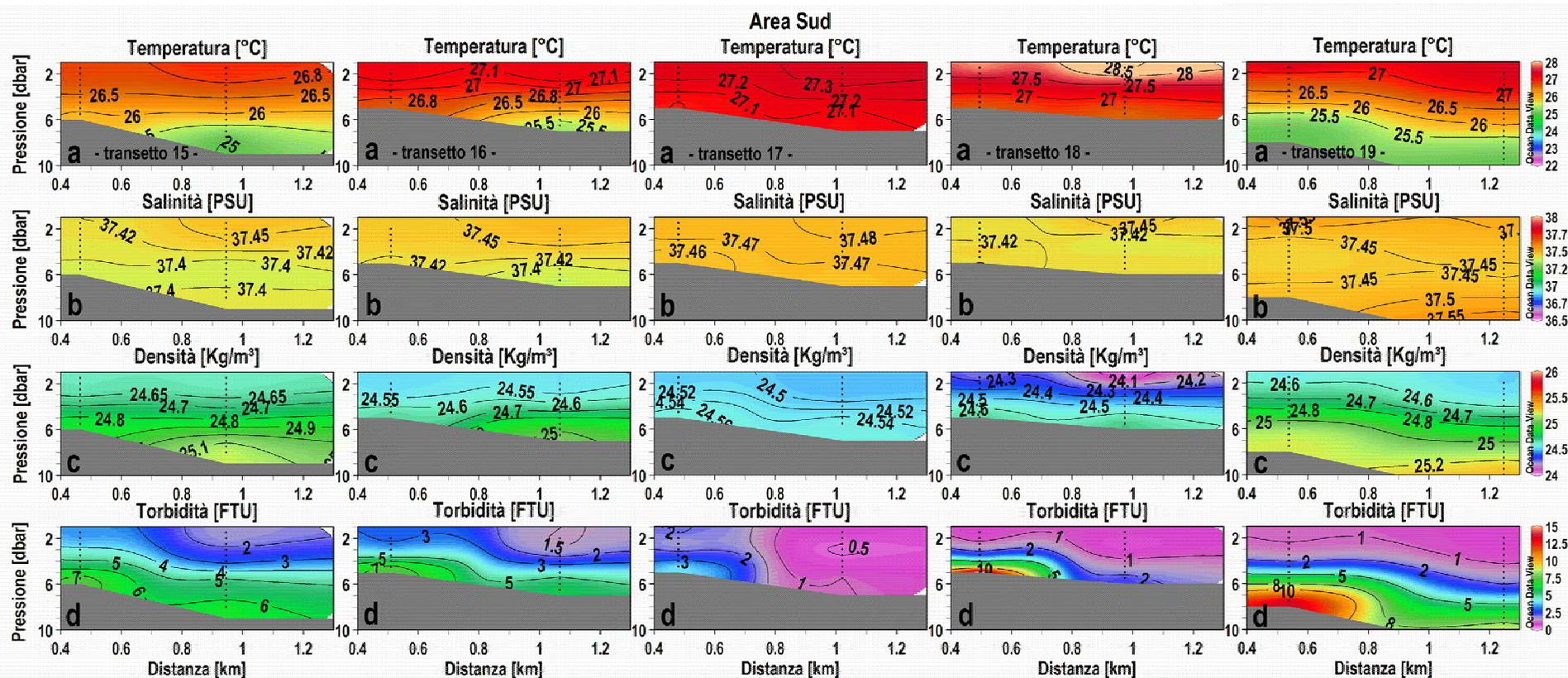


Figura 10 – Arco costiero marchigiano, area Sud (da Civitanova Marche a San Benedetto del Tronto), transetti 15 – 19, stazioni B e C (500 e 1000 m dalla costa). Distribuzioni in sezione verticale delle variabili fisiche: a) temperatura [°C], b) salinità [PSU], c) densità [kg m⁻³], d) torbidità [FTU].

La colonna d'acqua fino a 1000 m dalla costa appare piuttosto omogenea dal punto di vista termalino, caratteristica tipica delle stazioni meno profonde dell'area costiera marchigiana (Marini *et al.*, 2001, 2002). Le temperature tendono ad aumentare verso Sud e a diminuire leggermente al crescere della profondità, con un'escursione massima di circa 2 °C fra superficie e fondo. Temperature massime sono state registrate nell'area compresa fra Porto San Giorgio e San Benedetto del Tronto (Fig. 10, a). Lungo tutto il litorale marchigiano si riscontrano salinità relativamente basse. Analogamente a quanto affermato per le stazioni A, i valori di salinità esibiscono un gradiente crescente Nord-Sud. L'influenza dei fiumi locali è evidenziata da minimi di salinità (< 37) riscontrati specialmente fra Pesaro e Fano ed immediatamente a Sud della foce dell'Esino (Figg. 7 e 8, b). La colonna d'acqua si presenta relativamente limpida e mostra picchi di Torbidità verso costa ed in prossimità del fondo (Figg. 7 – 10, d). In Figura 11 sono rappresentate le distribuzioni in sezione verticale delle variabili fisiche misurate in area AERCA. Lungo i tracciati del refluo termico dell'impianto IGCC, della futura nuova condotta e dell'attuale oleodotto si osserva una diminuzione di T °C verso il fondo, più marcata in corrispondenza dell'attuale oleodotto. Questo transetto presenta un'estensione molto superiore rispetto agli altri transetti analizzati (fino a circa 15 km dalla costa; Fig. 11, a) ed esibisce una colonna d'acqua stratificata dal punto di vista termico ed alino. Il fondale tocca una profondità massima di circa 30 m ed appare intersecato dal termoclino stagionale, situato ad una profondità di circa 15-20 m. Al di sopra del termoclino/alocline si osservano salinità minime intorno a 37.00 PSU che palesano l'influenza di acque provenienti dai fiumi settentrionali. I due transetti più brevi antistanti l'impianto IGCC (lunghezza max 1.3 km circa) presentano caratteristiche simili a quelle osservate lungo il resto dell'arco costiero marchigiano entro 1000 m dalla costa. L'influenza della *plume* del fiume Esino è identificata, in corrispondenza del tracciato della futura nuova condotta, da valori minimi di salinità (min. 36.38; Fig. 11, b). Torbidità massime si riscontrano verso costa, in superficie e sul fondo, specialmente in corrispondenza della *plume* dell'Esino (Fig. 11, d).

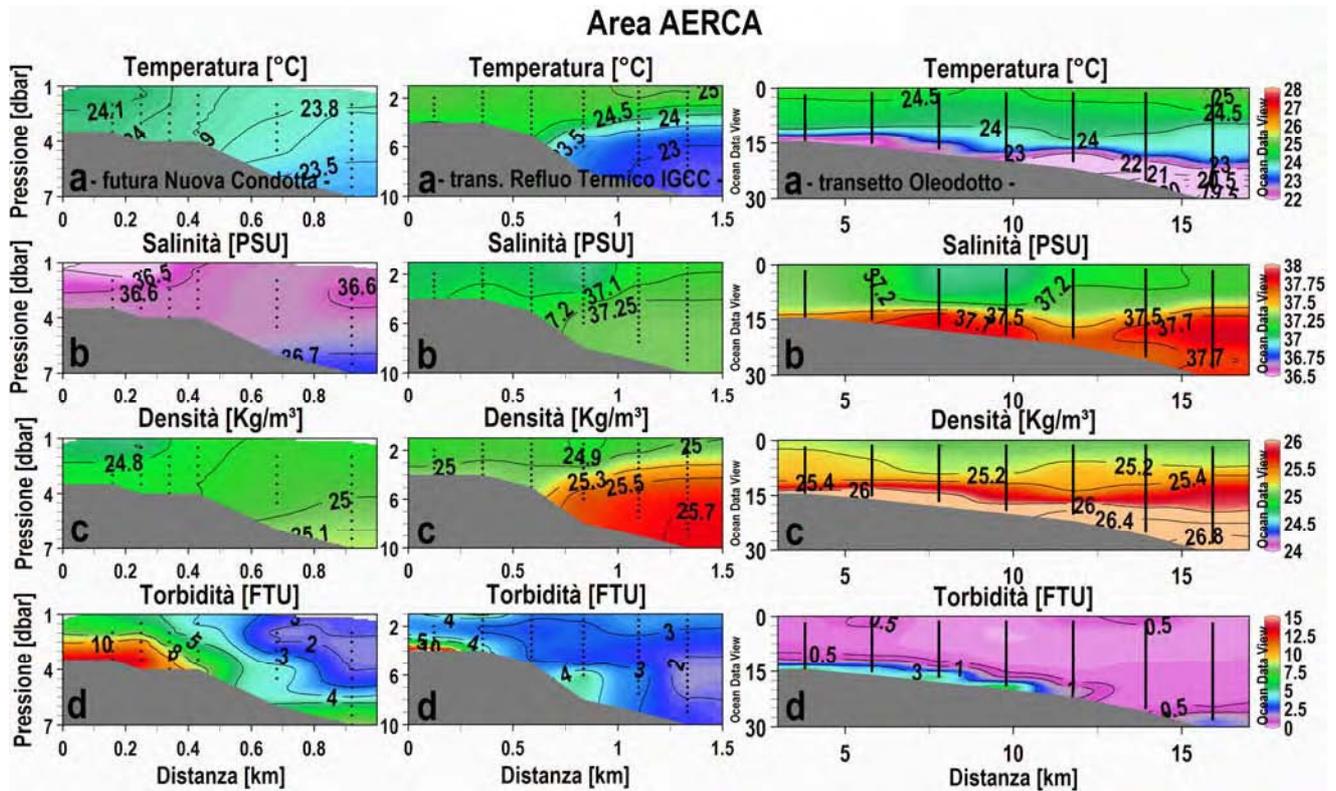


Figura 11 – Area AERCA (area antistante la raffineria API di Falconara Marittima), transetti lungo il tracciato della futura nuova condotta (stazioni A – F), del refluio termico dell’impianto IGCC (stazioni RF 1 – 6) e dell’attuale oleodotto (stazioni 1 – 8). Distribuzioni in sezione verticale di parametri fisici; a) temperatura [°C], b) salinità [PSU], c) densità [kg m⁻³], d) torbidità [FTU].

I dati correntometrici mostrano l’andamento delle correnti marine in due stazioni situate in area AERCA, rispettivamente a Nord e a Sud del refluio termico, a circa 1000 m di distanza reciproca ed in giorni differenti. In Figura 12 (a, b) sono rappresentate la velocità e direzione di corrente misurate nei due siti (48 e 24 h rispettivamente). Il flusso si muove prevalentemente in direzione NO nella stazione più a Sud, con velocità media di $6.30 \pm 3.32 \text{ cm s}^{-1}$ (dev. st.), mentre nella stazione più a Nord, a circa 7 giorni di distanza, appare orientato prevalentemente a SE, con una velocità media di $8.52 \pm 5.23 \text{ cm s}^{-1}$ (dev. st.). In entrambi i siti si osserva un’alternanza di direzione di corrente a breve scala temporale (6-12 h) che riflette l’andamento tipico delle correnti lungo il litorale marchigiano a Nord del monte Conero (Budillon *et al.*, 2002).

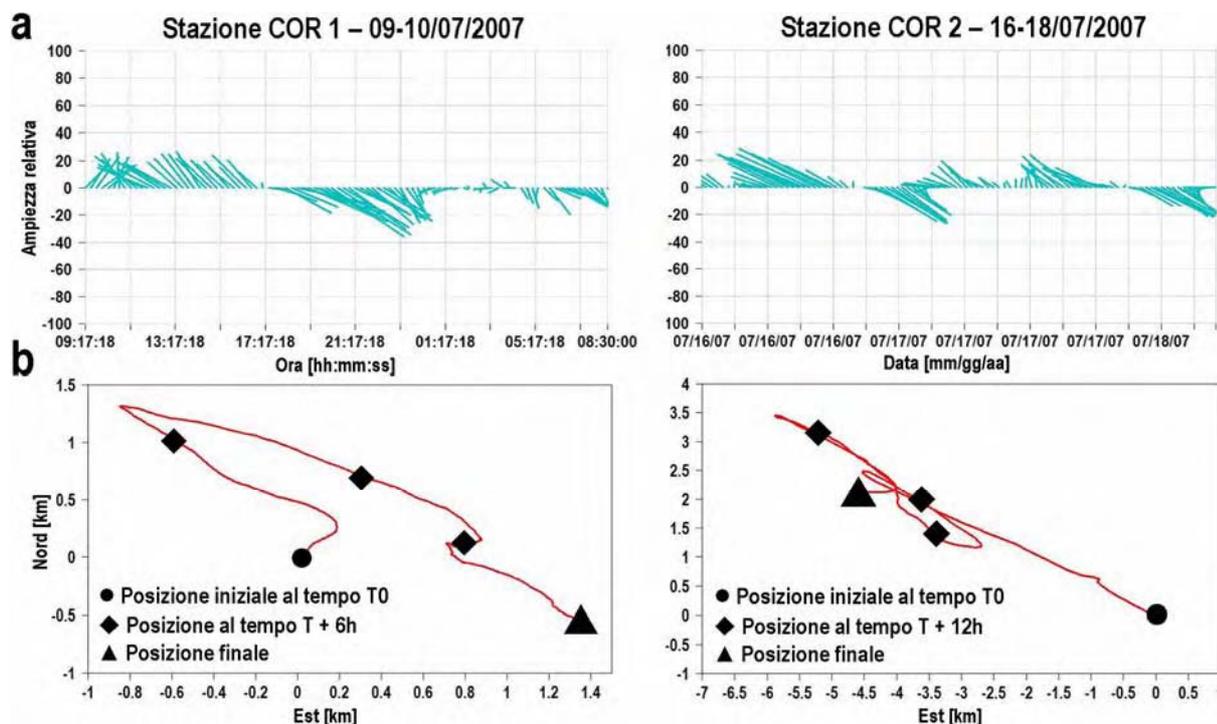


Figura 12 – Area AERCA (area antistante la raffineria API di Falconara Marittima), misure di velocità e direzione delle correnti marine presso le stazioni COR 1 e COR 2 (rispettivamente a Sud e a Nord dei tracciati della futura nuova condotta e del refluo termico dell'impianto IGCC): a) diagramma a stick (l'ampiezza relativa e l'inclinazione dei segmenti indicano rispettivamente la velocità e la direzione di corrente); b) diagramma a vettore progressivo che mostra la posizione relativa (al tempo T + Xh) di un'ipotetica particella d'acqua trasportata dalla corrente a partire da una posizione iniziale (al tempo T0).

4.2 Misure fisiche nel sedimento

Per le misure del potenziale di ossidoriduzione (Eh) l'apposito elettrodo è stato inserito nelle carote di sedimento immediatamente dopo il prelievo. La profondità della zona di discontinuità del potenziale di ossidoriduzione (RPD) è stata determinata contestualmente alle misure di Eh osservando il punto in cui il sedimento assume una tonalità tendente al grigio-scuro/nero. I transetti lungo l'arco costiero marchigiano mostrano valori positivi di potenziale *redox* nei primi due centimetri di carota (Fig. 13). I valori tendono a rimanere costanti o a diminuire al crescere della profondità al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento e risultano compresi fra un minimo di 11.80 mV (stazione 11A) ed un massimo di 260.00 mV (stazione 6C). Il decremento di Eh appare più marcato nelle stazioni a 50 m dalla costa (stazioni A).

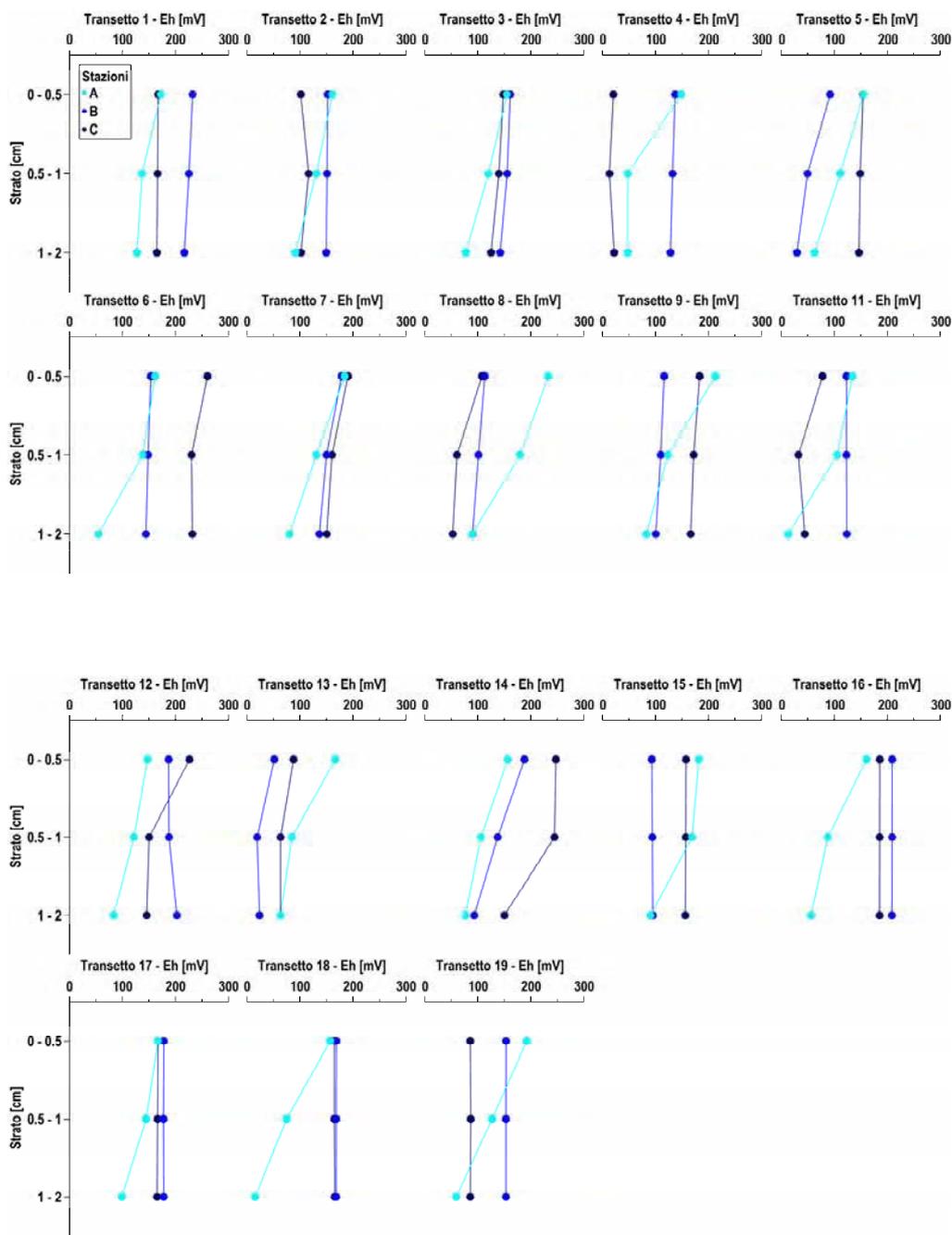


Figura 13 – Arco costiero marchigiano, transetti 1 – 19, stazioni A, B e C (50, 500 e 1000 m dalla costa). Profili verticali di potenziale redox nei primi due centimetri al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento. Le misure sono relative a tre strati contigui al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento (rispettivamente 0-0.5, 0.5-1 e 1-2 cm); ● stazioni A, ● stazioni B, ● stazioni C.

Le stazioni in area AERCA esibiscono valori di Eh superiori nelle stazioni più costiere (Fig. 14). Il transetto lungo il tracciato della futura nuova condotta presenta Eh positivo tranne che nelle stazioni C (al di sotto di 0.5 cm) ed F. Nei due restanti transetti dell'area AERCA, i valori di Eh misurati sono sempre negativi e relativamente costanti lungo lo strato di sedimento analizzato. L'Eh appare per lo più compreso fra -100 e -50 mV lungo il tracciato dell'attuale oleodotto e fra circa -150 e -50 mV in prossimità del refluo termico dell'impianto IGCC.

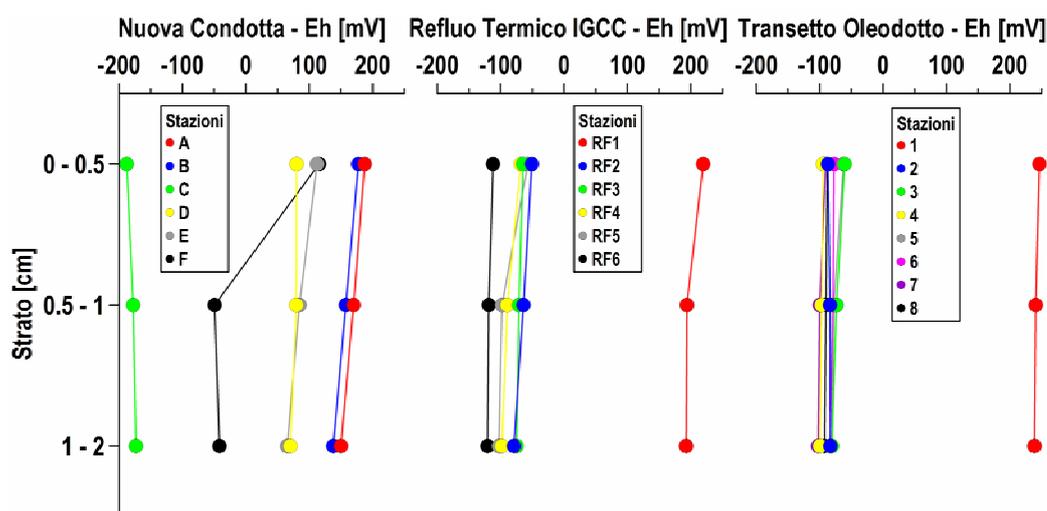


Figura 14 – Area AERCA, (area antistante la raffineria API di Falconara Marittima), transetti lungo il tracciato della futura nuova condotta (stazioni A – F), del refluo termico dell'impianto IGCC (stazioni RF 1 – 6) e dell'attuale oleodotto (stazioni 1 – 8). Profili verticali di potenziale redox nei primi due centimetri al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento. Le misure sono relative a tre strati contigui al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento (rispettivamente 0-0.5, 0.5-1 e 1-2 cm). Colori e simboli relativi alle varie stazioni sono riportati in legenda.

La profondità della zona di discontinuità del potenziale *redox* (RPD) mostra un andamento più irregolare (Fig. 15). Ad esclusione della stazione A1, le stazioni A esibiscono un RPD relativamente profondo, compreso fra i valori medi di 10.83 e 20.00 ± 0.00 (dev. st.). Al crescere della distanza dalla costa i transetti da 1 a 19 mostrano un RPD più superficiale, compreso fra una profondità di 4.17 ± 0.24 e 0.5 ± 0.00 (dev. st.). Analogamente, la profondità dell'RPD misurata in area AERCA appare compresa fra 3.75 ± 0.25 e 0.5 ± 0.00 (dev. st.), con massimi in corrispondenza del tracciato della futura nuova condotta e minimi in prossimità del presente refluo termico.

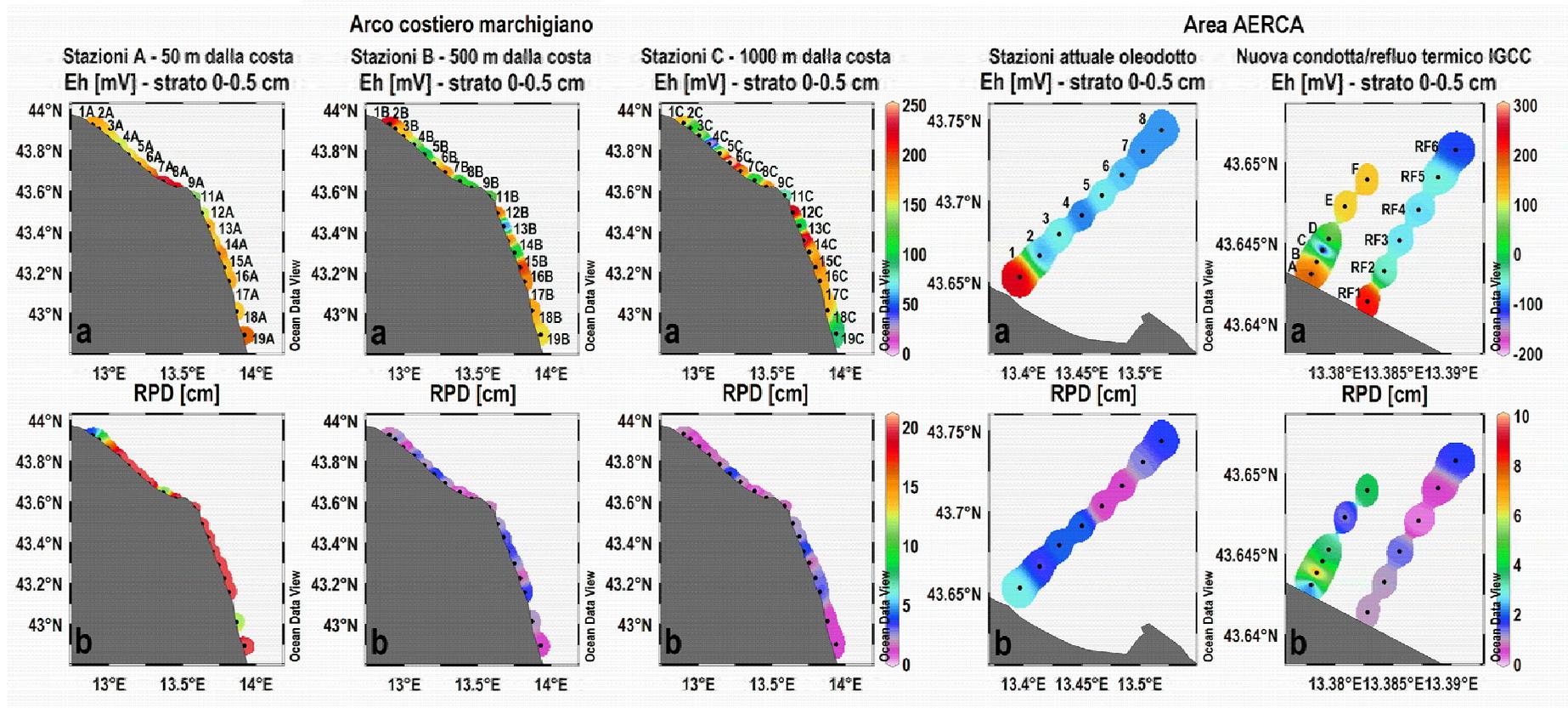


Figura 15 – Arco costiero marchigiano, transetti 1 – 19, stazioni A, B e C (50, 500 e 1000 m dalla costa) e stazioni in area AERCA (transetto attuale oleodotto, transetto futura nuova condotta e transetto refluo termico impianto IGCC). Distribuzioni di potenziale redox (Eh) nel primo strato al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento (0 – 0.5 cm), e misure di profondità della zona di discontinuità del potenziale redox (RPD).

Le indagini eseguite con sonda multiparametrica (CTD) entro 1 km dalla costa hanno messo in luce una distribuzione di temperatura e salinità piuttosto omogenea, caratteristica delle stazioni meno profonde dell'area costiera marchigiana (Marini *et al.*, 2001, 2002). I valori di temperatura e salinità appaiono distribuiti secondo un gradiente crescente Nord-Sud. Le temperature misurate entro 50 m dalla costa mostrano valori maggiori in presenza delle barriere frangiflutti, suggerendo l'importanza di quest'ultimo fattore nel favorire l'accumulo di calore in acque in acque poco profonde. Lungo tutto il litorale marchigiano si riscontrano salinità relativamente basse. Ciò indica l'influenza delle acque continentali provenienti dai grandi fiumi del Nord Italia ed in particolare dal Po, che è già stata oggetto di numerosi studi (Artegiani & Azzolini, 1981, Artegiani *et al.*, 1981, Marini *et al.*, 2000, 2001, 2002). Queste acque sono trasportate dalla corrente adriatica occidentale (WAC) che scorre verso SE lungo la costa italiana (Zore-Armanda, 1956, Buljan & Zore-Armanda, 1976, Franco *et al.* 1982, Orlić *et al.*, 1992, Russo & Artegiani, 1996, Artegiani *et al.*, 1997a, Hopkins *et al.*, 1999, Poulain & Cushman-Roisin, 2001a). L'influenza dei fiumi locali è evidenziata da minimi di salinità inferiori a 37 riscontrati specialmente fra Pesaro e Fano ed in prossimità della foce dell'Esino. Una situazione analoga è già stata sottolineata relativamente ad altri corsi d'acqua di limitata portata che sfociano lungo il litorale marchigiano (Artegiani *et al.*, 2002b, Campanelli *et al.*, 2004). Il campo di torbidità mostra un andamento più irregolare, presumibilmente legato ai processi di sedimentazione e risospensione dei sedimenti in colonna d'acqua, alla natura dei sedimenti ed ai processi di decomposizione della materia organica sul fondo. Le misure CTD effettuate in area AERCA hanno confermato l'influenza della *plume* dell'Esino sulle acque antistanti la raffineria API, evidenziata da minimi di salinità e da massimi di torbidità rilevati in corrispondenza del tracciato della futura nuova condotta. I dati sono stati raccolti in maniera sinottica e dopo il processamento sono stati sottoposti ad un ulteriore controllo di qualità. Non si riscontrano anomalie termoaline derivanti dall'immissione di acque reflue attraverso lo sbocco a mare del sistema di raffreddamento dell'impianto IGCC ed i valori di temperatura e salinità analizzati in questo studio appaiono conformi con le medie stagionali tipiche del tratto di fascia costiera compreso fra Senigallia e Portonovo (circa 15 km a Nord e 18 km a Sud della raffineria API; Artegiani *et al.*, 1996, Marini *et al.*, 2001, 2002, Artegiani *et al.*, 2002a, 2002b). Va però precisato che il grigliato adottato per le misure CTD non permette di rilevare con sufficiente precisione eventuali variazioni a breve scala spazio-temporale nell'area ristretta antistante la raffineria API. Budillon *et al.* (2002) hanno evidenziato come la circolazione nell'area compresa fra Senigallia e Ancona sia dominata da un vortice ciclonico alla cui origine gioca un ruolo fondamentale la morfologia della costa a Nord del Monte Conero. Quest'area risulta influenzata sia dalla corrente adriatica occidentale (WAC), sia da forzanti a media e piccola scala, come i venti e le maree. I venti possono esercitare localmente un'influenza determinante su tutta la colonna d'acqua in aree costiere, caratterizzate da scarsa profondità. Il flusso osservato nel primo sito

di misura in area AERCA mostra direzione prevalente SE, mentre nel secondo sito (circa 7 giorni dopo) appare diretto prevalentemente a NO, con frequenti inversioni di direzione che appaiono causate dallo spirare i venti di Scirocco. Inoltre nel sito più a Nord le variazioni di direzione di corrente osservate su scala di circa 12 h potrebbero essere compatibili con onde di marea caratteristiche del Nord Adriatico. Secondo Budillon *et al.* (2002) le correnti di marea dovute alle componenti M2, K1 ed S2 hanno intensità dello stesso ordine di grandezza della WAC in primavera-estate, determinando variazioni nella direzione delle correnti osservate nell'area costiera compresa fra Senigallia e Ancona.

Il potenziale *redox* nei primi due centimetri al di sotto dell'interfaccia acqua sedimento nei transetti 1 – 19 mostra valori positivi che tendono a restare costanti o a diminuire leggermente al crescere della profondità nello strato esaminato. La diminuzione di Eh appare più evidente nelle stazioni A. In area AERCA si riscontrano valori di Eh superiori nelle stazioni più costiere. Lungo il tracciato della futura nuova condotta si rileva Eh positivo tranne che nelle stazioni C ed F, mentre nei due restanti transetti dell'area AERCA i valori di Eh sono sempre negativi e relativamente costanti lungo lo strato di sedimento analizzato, con minimi in prossimità del refluo termico dell'impianto IGCC. Nel complesso i valori di Eh appaiono conformi con quelli rilevati nell'area costiera a Nord di Ancona da Colantoni *et al.* (2002a, 2002b, 2002c, 2002d). La profondità dell'RPD tende a diminuire al crescere della distanza dalla costa, con massimi nelle stazioni A dei transetti da 1 a 19 (ad eccezione della stazione A1) e minimi in prossimità del presente refluo termico. Le misure di Eh ed RPD appaiono in accordo con quanto atteso in base alle caratteristiche granulometriche dei sedimenti campionati.

4.3 Nutrienti interstiziali nel sedimento

4.3.1 Arco costiero Marchigiano

La distribuzione spaziale delle concentrazioni dei nutrienti interstiziali nei sedimenti dell'arco costiero marchigiano, i cui valori sono confrontabili a quelli osservati in altri studi, evidenzia la presenza dell'influenza della plume di acque continentali di derivazione nord Adriatica.

Per quanto concerne le concentrazioni di ammoniaca (Fig. 16A) si osserva un evidente gradiente latitudinale, con concentrazioni che diminuiscono dal settore settentrionale a quello meridionale dell'arco costiero marchigiano e l'assenza di chiari gradienti costa-largo. Ben differente è la distribuzione delle concentrazioni delle forme ossidate dell'azoto (nitriti NO_2 e nitrati NO_3) nelle acque interstiziali, per le quali si osservano alcuni punti di accumulo, tra l'area interessata dalla foce del fiume Foglia, della foce del fiume Esino e della foce del fiume Potenza (Fig. 16B).

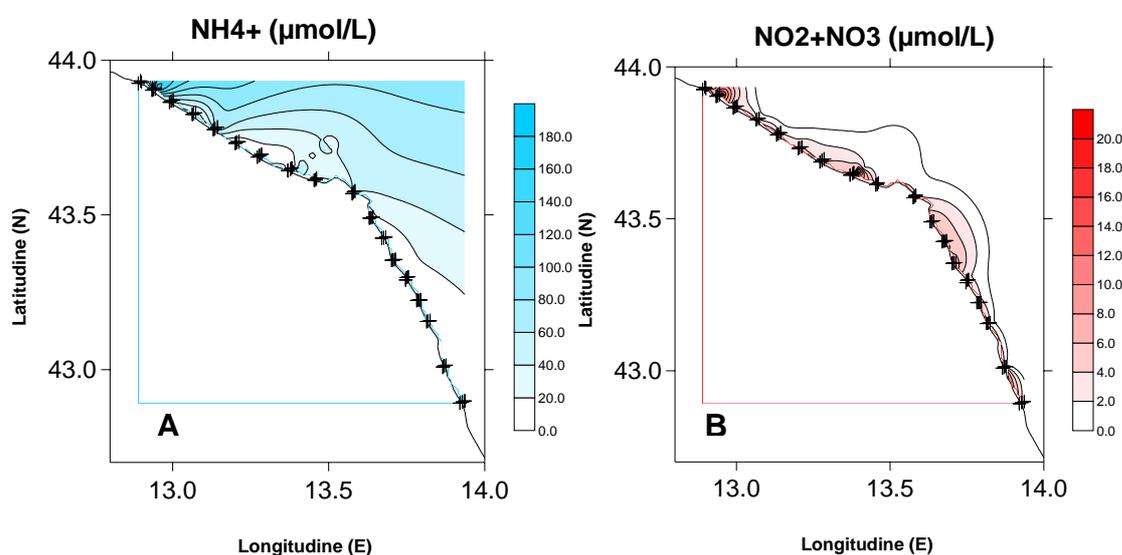


Figura 16 – Distribuzione spaziale delle concentrazioni di ammonio (A) e di nitriti e nitrati (B) nelle acque interstiziali dell'arco costiero marchigiano.

Le concentrazioni di silicati nelle acque interstiziali (Fig. 17A) mostrano chiari gradienti costa-largo (con concentrazioni maggiori all'aumentare della distanza da costa), ma l'assenza di chiari gradienti latitudinali dal settore settentrionale a quello meridionale dell'arco costiero marchigiano. Analogamente le concentrazioni di fosfati (Fig. 17B) aumentano notevolmente all'aumentare della distanza da costa e non mostrano chiari pattern latitudinali.

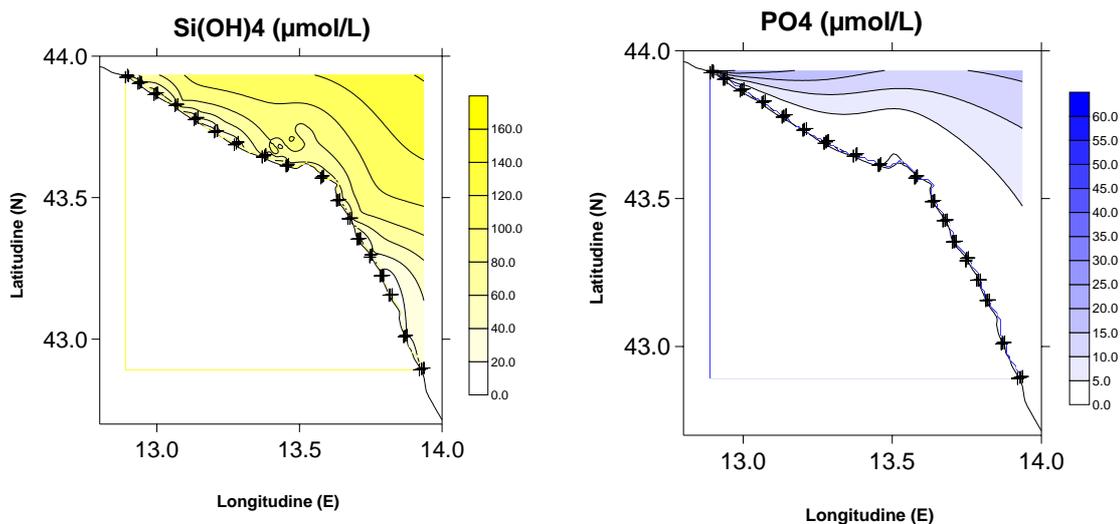


Figura 17 – Distribuzione spaziale delle concentrazioni di silicati (A) e ortofosfati (B) nelle acque interstiziali dell'arco costiero marchigiano.

4.3.2 Area AERCA

Come per l'intero arco costiero marchigiano, anche all'interno dell'area AERCA, le concentrazioni di nutrienti interstiziali nei sedimenti sono simili ai valori presenti in letteratura per l'arco costiero adriatico.

Per ammonio, nitriti, nitrati e silicati, le differenze tra stazioni all'interno di ciascuno dei tre transetti sono generalmente ridotte, fatta eccezione:

- per la stazione RF4 (Condotta IGCC), nella quale le concentrazioni di NH_4 nei sedimenti sono più alte che in tutte le altre stazioni;
- per la stazione 1 (Oleodotto), nella quale la somma di nitriti e nitrati è maggiore che in tutte le altre stazioni;
- per tutte le stazioni lungo l'oleodotto, le cui concentrazioni in Si(OH)_4 sono più elevate che nelle altre stazioni

Per quanto concerne, invece, i fosfati, in tutti e tre i transetti si osserva un evidente gradiente costa- largo (Fig. 18).

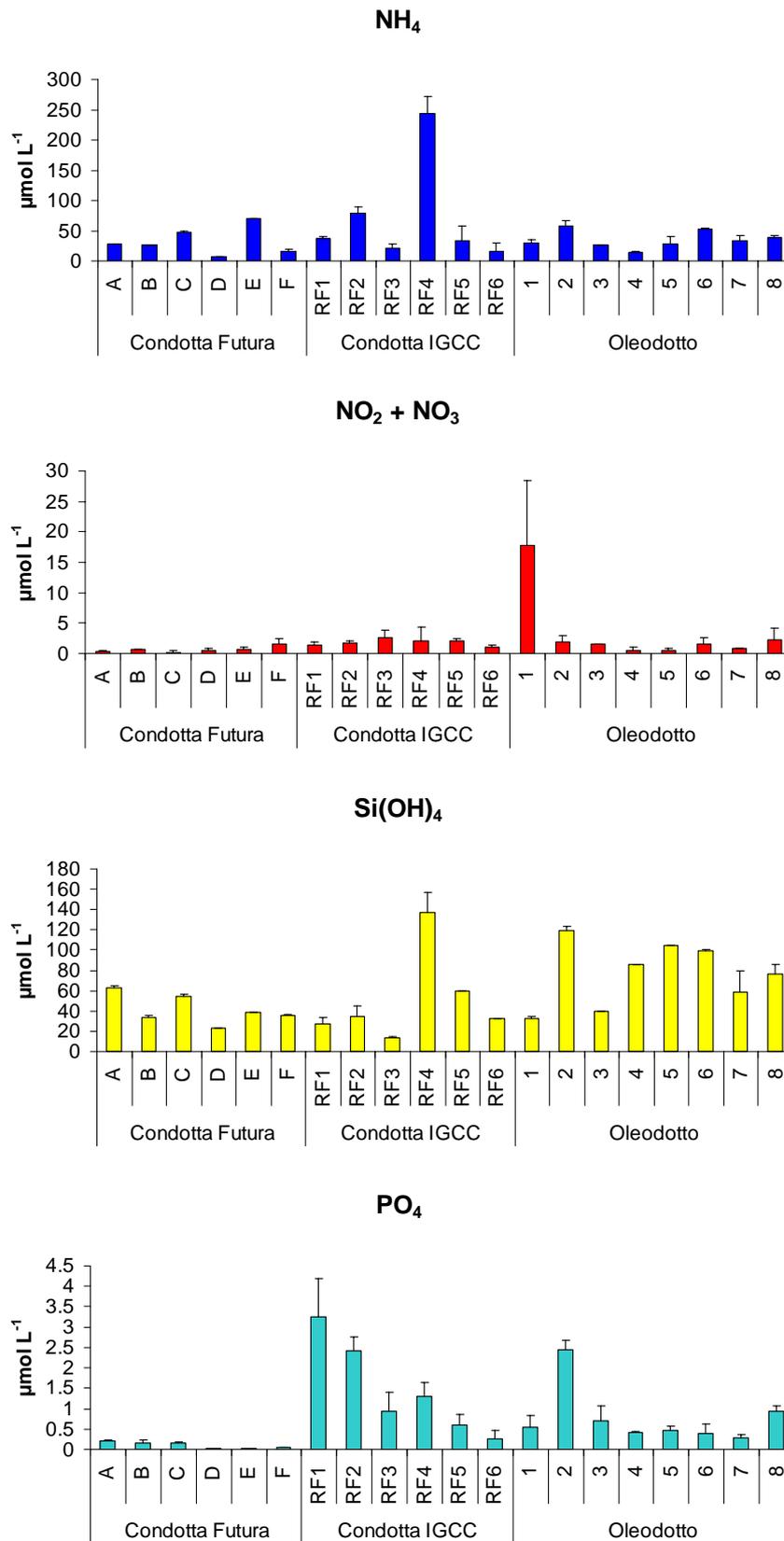


Figura 18 – Distribuzione spaziale delle concentrazioni di ammonio, nitriti, nitrati, silicati ed ortofosfati nelle acque interstiziali dell'area AERCA.

Dall'analisi dei valori medi delle concentrazioni dei nutrienti interstiziali nei sedimenti dell'arco costiero marchigiano (a nord e a sud del Monte Conero) ed in quelli dell'area AERCA, si evince che ciascuna delle variabili mostra differenze significative tra aree (Fig. 19).

Tuttavia, il pattern di tali differenze non è univoco per tutte le forme chimiche, in quanto per ciascuna forma è possibile identificare dei trend differenti. Ciò suggerisce che le condizioni locali all'interno dell'area AERCA non siano l'unico fattore potenzialmente coinvolto nella distribuzione dei nutrienti inorganici nelle acque interstiziali.

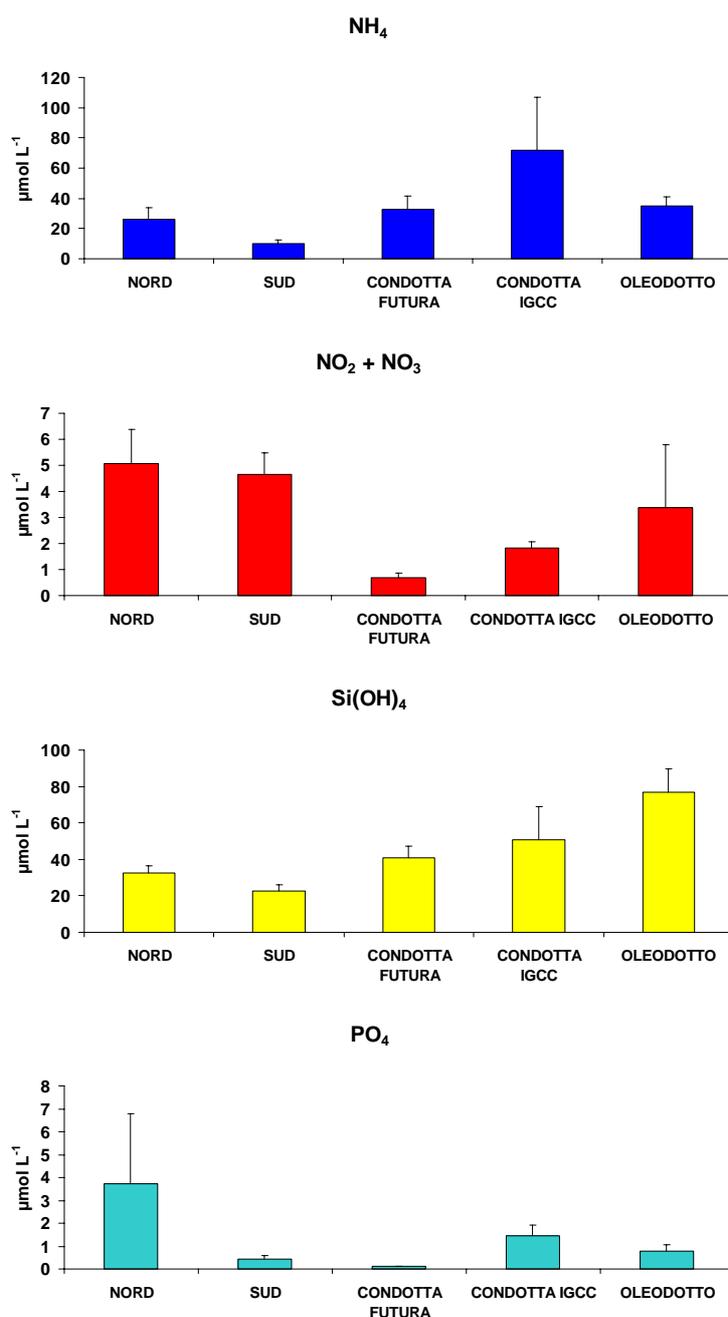


Figura 19 – Confronto delle concentrazioni di ammonio, nitriti, nitrati, silicati ed ortofosfati nelle acque interstiziali dei sedimenti dell'arco costiero marchigiano a nord e sud del Monte Conero e dell'area AERCA.

5. Stato trofico delle acque e dei sedimenti dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA

5.1 Introduzione

Negli ultimi decenni, è stata rivolta particolare attenzione alla valutazione della qualità ambientale e all'identificazione degli strumenti più adatti per la definizione dello stato trofico degli ecosistemi acquatici.

Gli studi su tale argomento sono stati focalizzati principalmente sulla determinazione delle concentrazioni di nutrienti inorganici (azoto e fosforo), sulla determinazione della biomassa fitoplanctonica (a partire dalla misura della concentrazione di clorofilla-a) o sull'alterazione di parametri chimici e fisici quali la torbidità e la concentrazione di ossigeno. Tradizionalmente, questi studi definiscono lo stato trofico di un dato ecosistema come oligotrofico, mesotrofico ed eutrofico (Vollenweider *et al.*, 1998). Con tale approccio, il processo di eutrofizzazione è quindi generalmente considerato come un meccanismo di tipo "input-risposta" nel quale la crescita di biomassa algale stimolata dall'aumento della concentrazione dei nutrienti inorganici può portare a fenomeni distrofici. Tale approccio era recepito nel DLgs 152/99, nel quale l'indice TRIX veniva calcolato a partire dalle concentrazioni di N, P, clorofilla-a e della percentuale di saturazione dell'ossigeno in acqua.

Tuttavia, sebbene esista una relazione di causa-effetto tra concentrazione di nutrienti e produttività fotosintetica, lo stato trofico di un ecosistema marino non dipende solo dalla disponibilità di nutrienti inorganici. Nei sistemi mixoalini (lagune, estuari, aree costiere di bassa profondità) la variazione della concentrazione di clorofilla-a è indotta dalla risospensione del microfitobenthos piuttosto che dall'aumento delle concentrazioni dei nutrienti (Conde *et al.*, 1999; Lucas *et al.*, 2000). Esistono inoltre sistemi che, pur caratterizzati da alte concentrazioni di nitrati, presentano basse biomasse fitoplanctoniche (Behrenfeld *et al.*, 1996). La mera misura dei macronutrienti non può rappresentare quindi una regola generale per definire lo stato trofico di un sistema acquatico.

Un contributo migliorativo alla valutazione dello stato trofico dei sistemi marini si è avuto da Nixon (1995) il quale ha proposto un nuovo approccio basato sui flussi di carbonio organico da e al sistema (come $g\ C\ m^{-2}\ y^{-1}$), quindi non sulla produttività primaria potenziale bensì sul rifornimento di materiale organico. Questo dovrebbe includere sia le fonti autoctone (in termini di produzione primaria) sia quelle alloctone, vale a dire i contributi verticali e/o laterali. Tale approccio appare particolarmente appropriato in una prospettiva ecologica. Infatti, l'aumento di carbonio organico nei sedimenti è il meccanismo che innesca le conseguenze più gravi dell'eutrofizzazione quali ipossia, mortalità degli organismi e perdita di biodiversità (Cloern, 2001). Il concetto di rifornimento organico proposto da Nixon

può essere esteso ai sedimenti utilizzando la misura della quantità e della qualità della materia organica che si accumula nello strato superficiale dei sedimenti come descrittore dello stato trofico del sistema. I sedimenti, infatti, sono una sorta di "registratore" dei processi che avvengono in colonna d'acqua e sono il serbatoio finale di accumulo della materia organica (Fabiano e Danovaro, 1994). I sedimenti integrano i contributi presenti e passati dei flussi di sostanza organica da e verso i sistemi adiacenti: l'accumulo di materia organica pertanto è il risultato dell'equilibrio fra produzione *in situ*, input alloctoni, esportazione, utilizzazione eterotrofa e degradazione. Recenti studi hanno infatti evidenziato che le determinazioni di stato trofico in colonna d'acqua a partire dalle concentrazioni di nutrienti inorganici si discostano ampiamente dalle condizioni di stato trofico dei sedimenti (Fabiano *et al.*, 1995; Pusceddu *et al.*, 2000; Dell'Anno *et al.*, 2002; Dell'Anno *et al.*, 2003; Pusceddu *et al.*, 2003; Vezzulli *et al.*, 2004; Pusceddu *et al.*, 2005a-b; Pusceddu *et al.*, 2007).

Questi studi hanno evidenziato che, diversi tipi di impatto di origine antropica possono alterare sia la quantità sia la composizione dei carichi organici sedimentari suggerendone un utilizzo ai fini oltre che della definizione dello stato trofico anche dei possibili livelli di alterazione ecosistemica a carico del comparto bentonico.

In questa fase dello studio dedicato alle potenziali interazioni esistenti tra reflu termico della centrale IGCC di proprietà della API-Energia e la comparsa, crescita e tossicità della microalga *Fibrocapsa japonica* lungo le coste marchigiane con particolare riferimento all'area AERCA, si è adottata una strategia di analisi del potenziale impatto dell'IGCC sullo stato trofico dei sedimenti articolata in tre fasi:

1. In primis, si è analizzato lo stato trofico sedimentario dell'intero arco costiero marchigiano per valutare l'eventuale relazione tra distribuzione dei propaguli dell'alga e condizioni di trofia del sistema;

2. All'interno dell'area AERCA si sono valutate le differenze in termini di carico organico tra l'area interessata dalla presenza del vecchio oleodotto, quella interessata dalla presenza della condotta dell'impianto IGCC attualmente in funzione e quella eventualmente interessata dalla costruzione di una nuova condotta per il futuro impianto. Tale analisi partiva dall'ipotesi che la presenza della condotta IGCC abbia effetti significativi sullo stato trofico sedimentario e pertanto possa aver determinato condizioni di pre-requisito per l'insediamento e proliferazione dell'alga proprio in prossimità dello scarico;

3. La terza fase dell'analisi ha riguardato la comparazione delle caratteristiche trofiche dell'intero arco marchigiano con quello dell'area AERCA per valutare il potenziale effetto localizzato degli scarichi dell'IGCC sulla trofia dei sedimenti.

Le tre fasi consequenziali dello studio miravano ad identificare e, laddove presente, quantificare l'effetto dell'area AERCA sullo stato trofico sedimentario delle aree circostanti, ivi comprese quelle interessate dalla proliferazione dell'alga.

5.2 Materiali e Metodi

5.2.1 Strategia di Campionamento

I campioni per l'analisi dei pigmenti clorofilliani (acqua e sedimento) e della materia organica (sedimento) sono stati raccolti lungo l'intero arco costiero marchigiano presso un totale di 18 transetti approssimativamente perpendicolari alla linea di costa, e localizzati fra la foce del fiume Foglia (a Nord) e la foce del fiume Tronto (a Sud). Ciascun transetto comprendeva 3 stazioni localizzate a 50, 500 e 1000 m dalla costa (stazioni A, B e C rispettivamente), per un totale di 19 siti e 54 stazioni (Fig. 20A).

Ulteriori campioni di acqua e sedimento sono stati raccolti presso un grigliato di 20 stazioni localizzate entro l'area interessata dalla presenza del refluo termico della centrale IGCC (area AERCA) della raffineria API di Falconara Marittima (Fig. 20B). In quest'area sono stati effettuati campionamenti lungo 3 transetti: uno disposto lungo la condotta dell'attuale oleodotto (stazioni 1-8), uno orientato lungo il tracciato dell'eventuale nuova condotta (6 stazioni, da A ad F) ed uno orientato lungo l'attuale condotta del refluo termico dell'impianto IGCC della centrale API (6 stazioni, da RF1 a RF6).

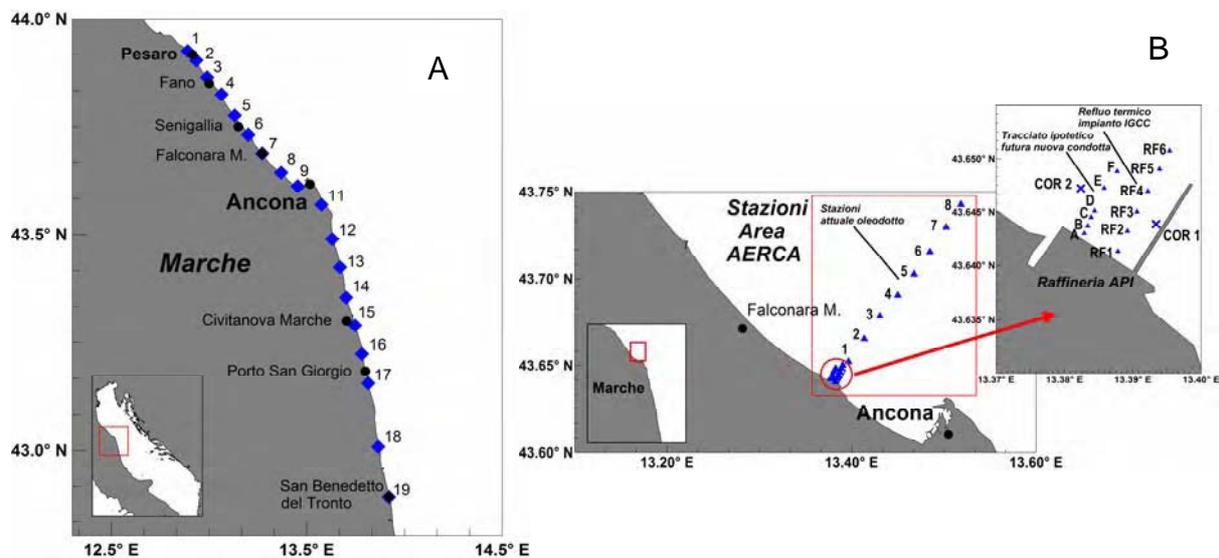


Figura 20– Localizzazione delle stazioni di campionamento per l'analisi della quantità e composizione biochimica della materia organica sedimentaria. A. visione generale dell'area di campionamento. B. particolare dell'area AERCA.

5.2.2 Analisi dei pigmenti in acqua e nel sedimento e del tenore organico sedimentario

I campioni d'acqua di volume noto (0.5-1 L) per l'analisi dei pigmenti clorofilliani sono stati preventivamente filtrati su membrane in fibra di vetro (Whatman GF/F, porosità nominale 0.45 μm). L'estrazione dei pigmenti è stata effettuata mediante acetone al 90%, l'analisi effettuata per via fluorimetrica secondo (Lorenzen & Jeffrey, 1980) e le concentrazioni riportate come mg L^{-1} .

L'estrazione della clorofilla-a (Chla) e dei feopigmenti (Feo) dal sedimento è stata effettuata in acetone al 90% (Plante-Cuny, 1974). Le concentrazioni sono state determinate per via fluorimetrica (Lorenzen & Jeffrey, 1980) e riportate in μg per g di sedimento secco (60°C per 24h). La concentrazione di fitopigmenti totali è stata determinata come somma delle concentrazioni di clorofilla e feopigmenti.

Il contenuto in materia organica totale nei sedimenti è stato determinato per calcinazione in accordo al protocollo proposto da Parker (1983) e, normalizzato al peso del sedimento secco, riportato in mg di sostanza organica per g di sedimento secco (60°C per 24h).

5.2.3 Analisi statistiche

5.2.3.1 Arco costiero marchigiano

Per testare l'ipotesi nulla di assenza di differenze tra stazioni lungo l'arco costiero marchigiano a distanza crescente da costa è stata applicata un'analisi della varianza a due vie (ANOVA), con transetto (1-19) e stazione (A-C) come fattori (fissi) di variabilità. Inoltre, a seguito della mappatura dei dati su grafici di superficie (mediante SUFER 8.0), si è proceduto a verificare l'ipotesi di differenze tra porzione a nord e porzione a sud del Monte Conero. Per le variabili che hanno mostrato differenze significative è stato inoltre applicato un test a posteriori di Student-Newman-Keuls (SNK) per identificare eventuali trend/gradienti. L'analisi della varianza ed il test SNK sono stati effettuati utilizzando il software GMAV 5.0.

5.2.3.2 Area AERCA

Per testare l'ipotesi nulla di assenza di differenze tra stazioni localizzate entro l'area AERCA è stata applicata un'analisi della varianza a due vie (ANOVA), con transetti (vecchio oleodotto, condotta attuale, condotta futura) e stazione (A-C) come fattori (fissi) di variabilità. Per le variabili che hanno mostrato differenze significative è stato inoltre applicato un test a posteriori di Student-Newman-Keuls (SNK) per

identificare eventuali trend/gradienti. L'analisi della varianza ed il test SNK sono stati effettuati utilizzando il software GMAV 5.0.

5.2.3.3 Confronto area AERCA e arco costiero marchigiano

Per testare l'ipotesi nulla di assenza di differenze tra stazioni lungo l'arco costiero marchigiano e stazioni localizzate entro l'area AERCA è stata applicata un'analisi della varianza ad una via (ANOVA) sui valori medi (\pm errore standard) di cinque aree identificate come: area a N del Conero (trasetti 1-9), area a Sud del Conero (trasetti 11-19), area futura IGCC (stazioni A-F), area attuale condotta IGCC (stazioni RF1-RF6), area vecchio oleodotto (stazioni 1-8). Per le variabili che hanno mostrato differenze significative è stato inoltre applicato un test a posteriori di Student-Newman-Keuls (SNK) per identificare eventuali trend/gradienti. L'analisi della varianza ed il test SNK sono stati effettuati utilizzando il software GMAV 5.0.

Al fine di visualizzare e quantificare eventuali somiglianze/differenze tra stazioni o gruppi di stazioni, l'intero data set (arco costiero marchigiano e area AERCA) è stato sottoposto ad analisi multivariate di *MultiDimensional Scaling* (MDS) ed analisi dei *cluster*. Le analisi multivariate sono state effettuate mediante il programma Primer 6 β , previa normalizzazione – laddove necessaria – dei dati.

5.3 Risultati

5.3.1 Analisi dello stato trofico dell'intero arco costiero marchigiano

5.3.1.1 Pigmenti clorofilliani in acqua

Le concentrazioni di clorofilla-a in acqua variavano da $0.24 \pm 0.05 \mu\text{g L}^{-1}$ a $3.62 \pm 0.72 \mu\text{g L}^{-1}$ ed erano simili a quelle misurate nel corso di studi precedenti e a quelle misurate durante il monitoraggio dell'arco costiero marchigiano (ex DL 152/99) (Cfr. All. 8).

Le concentrazioni di feopigmenti in acqua variavano da $0.63 \pm 0.001 \mu\text{g L}^{-1}$ a $8.58 \pm 0.67 \mu\text{g L}^{-1}$ ed erano simili ai valori rinvenibili in letteratura e mediamente circa doppie di quelle della clorofilla-a reattiva, condizione in accordo con il periodo di campionamento allorquando le fioriture fitoplanctoniche primaverili sono già decadute (Cfr. All. 8).

Le concentrazioni di fitopigmenti totali in acqua (in media $3.32 \pm 0.52 \mu\text{g L}^{-1}$) ricadevano nell'intervallo di variabilità di quelle misurate in studi precedenti lungo l'intero arco costiero adriatico ed erano per lo più dominate dalla frazione non reattiva (feopigmenti), come evidenziato dai valori della frazione attiva dei pigmenti clorofilliani (in media $33 \pm 2\%$, min 13% – max 44%) (Cfr. All. 1).

Le distribuzioni spaziali della clorofilla-a, dei feopigmenti, dei pigmenti totali e della frazione attiva dei fitopigmenti in acqua erano caratterizzate da un'elevata eterogeneità (Fig. 21A-D), non riconducibile ad alcun evidente gradiente spaziale. Dall'analisi della distribuzione spaziale emerge, tuttavia, che il settore a nord del Monte Conero è caratterizzato da valori inferiori della frazione attiva dei pigmenti totali. Tale condizione è riconducibile alla presenza – a nord del Conero – dei rimanenti reflui di natura continentale (e quindi ricchi di materiale algale degradato) provenienti dal fiume Po.

L'eterogeneità nella distribuzione delle concentrazioni dei pigmenti clorofilliani nelle acque dell'arco costiero marchigiano è confermata dai risultati dell'ANOVA che per tutte le variabili considerate ha evidenziato variazioni significative tra transetti, stazioni, e nell'interazione tra stazioni e transetti (Tabella 1), suggerendo la presenza di importanti differenze anche tra stazioni/transetti tra loro adiacenti.

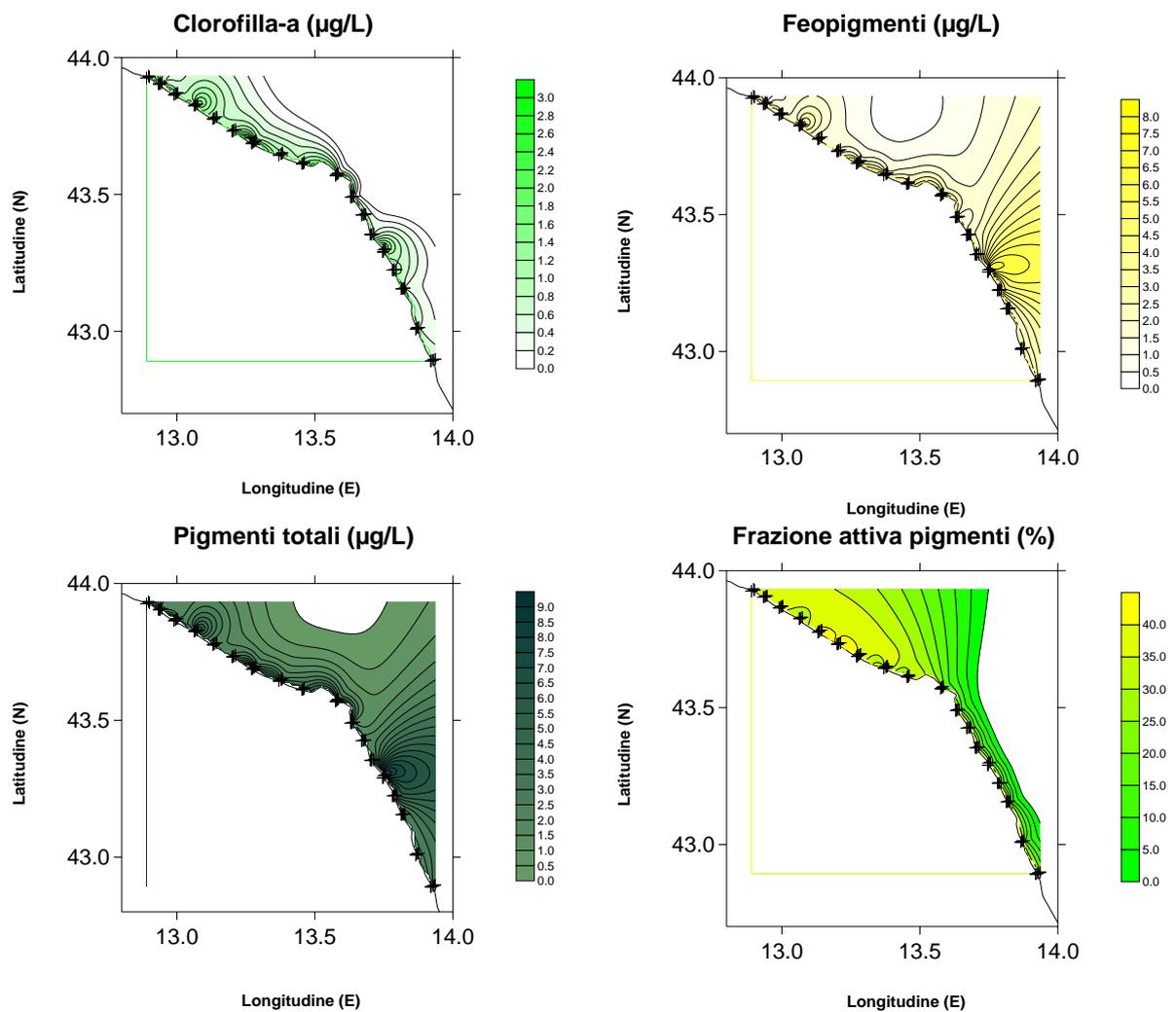


Figura 21 – Distribuzione delle concentrazioni dei pigmenti clorofilliani in acqua lungo l'arco costiero marchigiano

Tabella 1 – Risultati dell'ANOVA per le variabili relative ai pigmenti clorofilliani in acqua (***) = $p < 0.001$). In ragione della significatività della interazione tra sorgenti di variabilità (Stazione X Transetto) i risultati del test SNK a posteriori sono stati omessi.

	Source	DF	MS	F	P	
Clorofilla-a	Stazione	2	0.3085	102.05	***	
	Transform: Ln(X+1)					
	Transetto	17	0.2979	98.55	***	
	Cochran's Test	St X Tr	34	0.2527	83.58	***
	C = 0.2266 (P < 0.01)	RES	108	0.003		
	TOT	161				
Feopigmenti	Stazione	2	0.7116	112.1	***	
	Transform: Sqrt(X+1)					
	Transetto	17	0.4638	73.05	***	
	Cochran's Test	St X Tr	34	0.4551	71.68	***
	C = 0.1547 (Not Significant)	RES	108	0.0063		
	TOT	161				
Pigmenti totali	Stazione	2	0.5454	41.32	***	
	Transform: Ln(X)					
	Transetto	17	1.0864	82.3	***	
	Cochran's Test	St X Tr	34	0.9621	72.89	***
	C = 0.1306 (Not Significant)	RES	108	0.0132		
	TOT	161				
Frazione attiva pigmenti	Stazione	2	1785.472	599.48	***	
	Transform: None					
	Transetto	17	147.082	49.38	***	
	Cochran's Test	St X Tr	34	216.1106	72.56	***
	C = 0.5773 (P < 0.01)	RES	108	2.9784		
	TOT	161				

5.3.1.2 Tenore organico sedimentario lungo l'arco costiero marchigiano

Il carico organico totale nei sedimenti dell'arco costiero marchigiano – in media $32.2 \pm 5.4 \text{ mg g}^{-1}$ - ha presentato valori simili a quelli rilevati in studi precedenti nell'intero arco costiero adriatico, variando da un minimo di 1.5 ± 0.1 ad un massimo di $169.7 \pm 7.7 \text{ mg g}^{-1}$ (Cfr. All. 9). L'analisi della distribuzione dei valori di tenore organico sedimentario mediante grafici di superficie ha messo in evidenza la presenza di un gradiente longitudinale nelle stazioni più al largo la presenza di un certo gradiente costa-largo (Fig. 22).

Mentre l'ANOVA condotta sull'intero data set ha messo in evidenza differenze significative solo tra transetti e stazioni, ma non tra settori (N vs. S del Conero; Tabella 2), i risultati dell'ANOVA e dal successivo test a posteriori SNK condotti sui valori mediati per settore (N vs. S del Conero) e per stazione (A, B e C) hanno individuato – nelle stazioni più al largo - valori di tenore organico nei sedimenti a nord del Monte Conero (transetti 1-9)

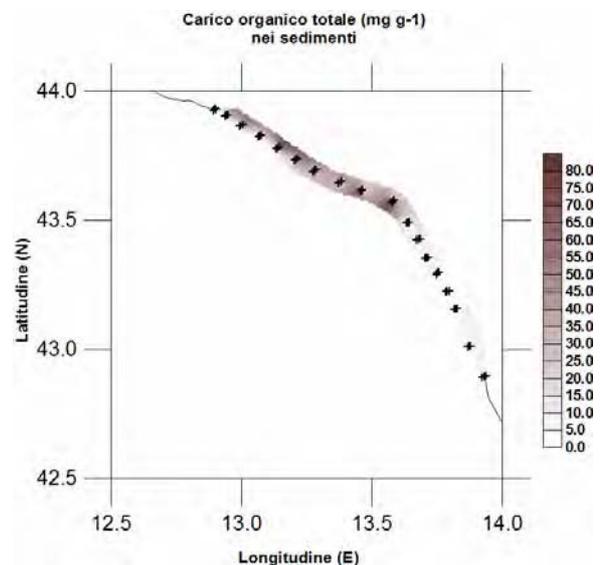


Figura 22 – Carico organico nei sedimenti dell'arco costiero marchigiano. I simboli a croce indicano la localizzazione delle stazioni di campionamento.

significativamente maggiori di quelli nel settore a sud del Monte Conero (transetti 11-19; ANOVA $p < 0.01$) e, nella regione a nord del Conero, valori più elevati al largo che a costa ($p < 0.01$, Fig. 23).

Tabella 2 – Risultati dell'ANOVA per le variabili relative al carico organico totale nei sedimenti (***) = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). SE = Settore; TR = transetto; ST = stazione.

Source	DF	MS	F	P
Settore (N vs. S)	1	25628.21	4.06	ns
Transetto (1-19)	8	1689.961	10.81	***
Stazione (A-C)	2	10437.54	3.32	ns
SEXTR	8	6312.041	40.36	***
SEXST	2	8333.713	1.83	ns
TRXST	16	3141.172	20.08	***
SEXTRXST	16	4545.539	29.06	***
RES	108	156.399		
TOT	161			

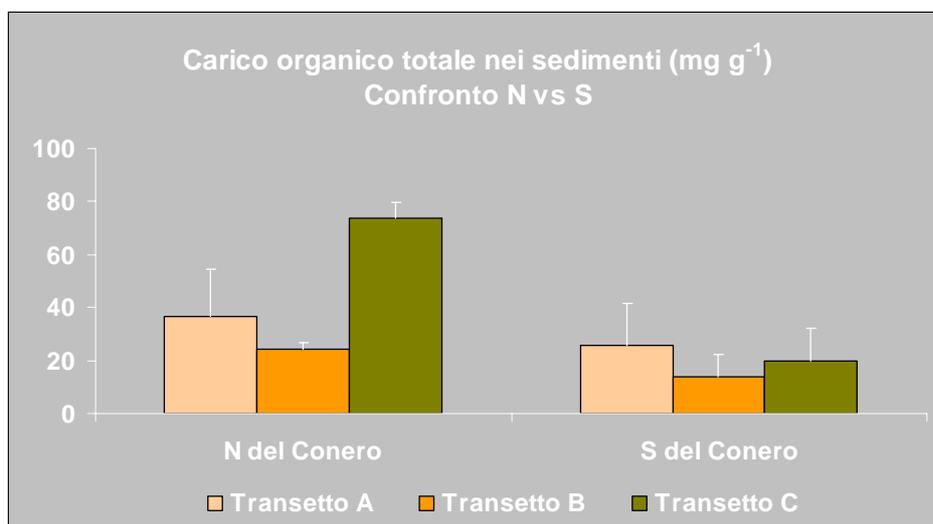


Figura 23 – Confronto dei valori medi di carico organico nei sedimenti a nord ed a sud del Monte Conero. Si noti che nel settore a N del Conero i valori di tenore organico nelle stazioni più al largo (transetto C) sono significativamente più elevate che negli altri due transetti (SNK, $p < 0.01$) e che per il transetto C i valori di tenore organico nel settore a N del Conero sono significativamente maggiori di quelli nel settore a sud del Conero.

5.3.1.3 Pigmenti clorofilliani nei sedimenti

Le concentrazioni di clorofilla-a nei sedimenti dell'arco costiero marchigiano variavano da $0.12 \pm 0.03 \mu\text{g g}^{-1}$ a $5.17 \pm 0.31 \mu\text{g g}^{-1}$ (in media $1.26 \pm 0.12 \mu\text{g g}^{-1}$), simile ai valori rilevati in studi precedenti. Anche le concentrazioni di feopigmenti (range da 0.18 ± 0.06 a $29.01 \pm 4.51 \mu\text{g g}^{-1}$, in media $3.87 \pm 0.52 \mu\text{g g}^{-1}$) e di pigmenti totali (range da 0.30 ± 0.11 a $34.18 \pm 4.78 \mu\text{g g}^{-1}$, in media $5.13 \pm 0.79 \mu\text{g g}^{-1}$) mostravano intervalli di variabilità simili a quelli rilevati in studi precedenti (Cfr. All. 9).

L'analisi della distribuzione spaziale delle concentrazioni dei pigmenti clorofilliani nei sedimenti dell'arco costiero marchigiano (Fig. 24) suggerisce la presenza di concentrazioni maggiori in prossimità del Monte Conero, e la presenza di un evidente gradiente nei valori della frazione attiva dei pigmenti fotosintetici, i quali tendono a diminuire da costa verso il largo.

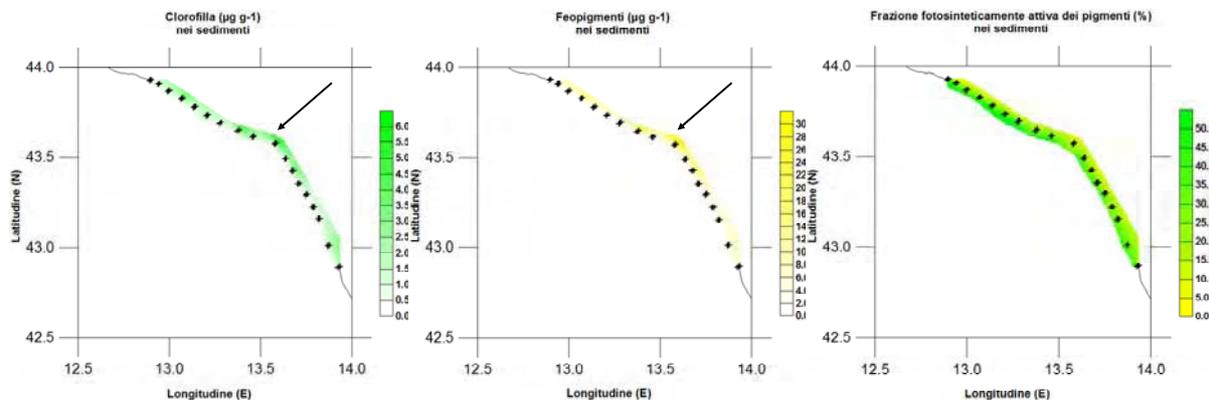


Figura 24 – Distribuzione spaziale delle concentrazioni di pigmenti clorofilliani (clorofilla-a e feopigmenti) e dei valori della frazione attiva dei pigmenti nei sedimenti dell'arco costiero marchigiano.

Come per i carichi organici sedimentari, l'ANOVA condotta sui dati relativi ai pigmenti clorofilliani non ha evidenziato differenze significative tra settori (N vs. S del Conero) ma ampie differenze significative sia tra transetti sia tra stazioni (Tabella 3), confermando gli elevati livelli di eterogeneità ambientale dell'area di studio. Tuttavia, contraendo il data set ed utilizzando unicamente i dati mediati per settore e per transetti (stazioni appartenenti alla medesima batimetrica), è stato possibile evidenziare che le differenze tra transetti e tra stazioni risultano assai attenuate e che l'unico gradiente significativo evidente permane quello nei valori della frazione attiva dei pigmenti, che diminuisce significativamente da costa verso largo (Fig. 25).

Tabella 3 – Risultati dell'ANOVA per le variabili relative ai pigmenti nei sedimenti dell'arco costiero marchigiano
 (***) = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). SE = Settore; TR = transetto; ST = stazione.

	Source	DF	MS	F	P
Clorofilla-a	Settore (N vs. S)	1	0.3601	0.12	ns
Transform: None	Transetto (1-19)	8	1.6614	20.34	***
Cochran's Test	Stazione (A-C)	2	20.2347	8.55	**
C = 0.1312 (Not Significant)	SEXTR	8	2.8858	35.33	***
	SEXST	2	1.9595	0.64	ns
	TRXST	16	2.3667	28.97	***
	SEXTRXST	16	3.0665	37.54	***
	RES	108	0.0817		
	TOT	161			
Feopigmenti	Settore (N vs. S)	1	0.0004	0	ns
Transform: Ln(X)	Transetto (1-19)	8	1.7962	49.44	***
Cochran's Test	Stazione (A-C)	2	49.2582	35.69	***
C = 0.1105 (Not Significant)	SEXTR	8	2.3219	63.91	***
	SEXST	2	0.1312	0.1	ns
	TRXST	16	1.3801	37.99	***
	SEXTRXST	16	1.2974	35.71	***
	RES	108	0.0363		
	TOT	161			
Pigmenti totali	Settore (N vs. S)	1	0.2452	0.12	ns
Transform: Ln(X)	Transetto (1-19)	8	1.3931	43.15	***
Cochran's Test	Stazione (A-C)	2	37.6316	26.59	***
C = 0.1028 (Not Significant)	SEXTR	8	2.0743	64.25	***
	SEXST	2	0.4569	0.36	ns
	TRXST	16	1.4152	43.83	***
	SEXTRXST	16	1.2699	39.33	***
	RES	108	0.0323		
	TOT	161			
Frazione attiva	Settore (N vs. S)	1	1096.449	5.69	ns
Transform: None	Transetto (1-19)	8	285.4055	19.55	***
Cochran's Test	Stazione (A-C)	2	4301.83	37.81	***
C = 0.1963 (P < 0.01)	SEXTR	8	192.7401	13.2	***
	SEXST	2	431.7166	4.04	ns
	TRXST	16	113.7801	7.79	***
	SEXTRXST	16	106.7415	7.31	***
	RES	108	14.5984		
	TOT	161			

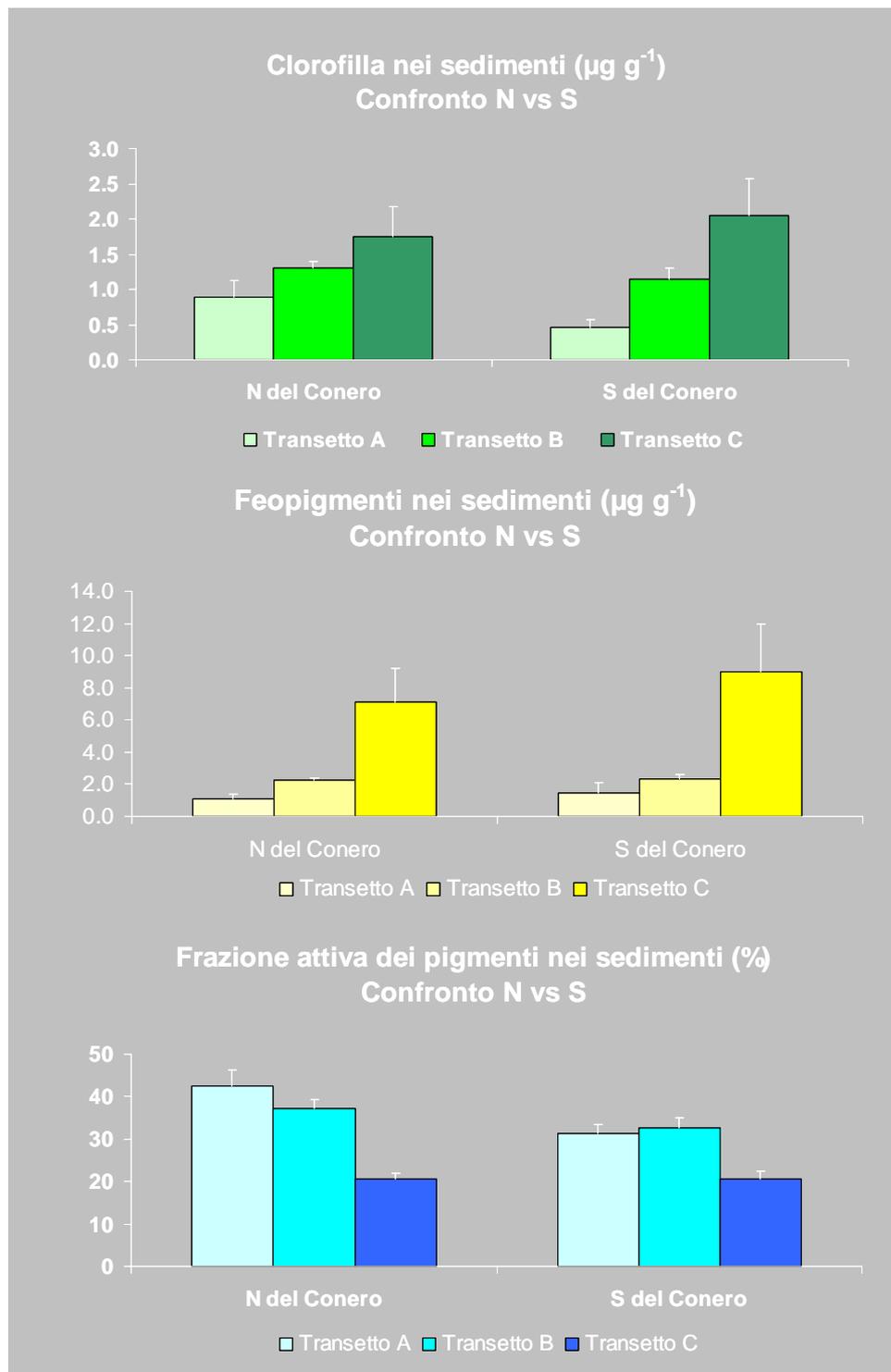


Figura 25 – Confronto dei valori medi di clorofilla-a, feopigmenti, pigmenti totali e frazione attiva dei pigmenti nei sedimenti a nord ed a sud del Monte Conero.

5.3.2 Analisi dello stato trofico nell'area AERCA

5.3.2.1 Pigmenti clorofilliani in acqua nell'area AERCA

Come per i dati relativi all'intero arco costiero marchigiano, anche le concentrazioni delle varie frazioni dei pigmenti clorofilliani nell'area AERCA mostravano intervalli di variabilità confortabili con quelli di altri studi precedenti inerenti l'arco costiero adriatico (Cfr. All. 10).

L'ANOVA condotta sulle concentrazioni di pigmenti clorofilliani in acqua ha messo in evidenza differenze significative sia tra transetti (oleodotto, condotta attuale, condotta futura) sia tra stazioni all'interno di ciascun transetto, confermando la scarsa capacità descrittiva di stato trofico di variabili misurate in colonna d'acqua (Tabella 4).

Tabella 4 – Risultati dell'ANOVA per i pigmenti clorofilliani nell'area AERCA (***) = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$). SE = settore: condotta IGCC attuale, condotta futura, oleodotto; ST = stazione. Per l'ANOVA bilanciata le stazioni più al largo lungo il transetto dell'oleodotto sono state considerate come repliche e mediate tra loro.

	Source	DF	MS	F	P
Clorofilla-a	SE	2	1.5733	14.05	***
Transform: None	ST(SE)	15	0.112	36.37	***
Cochran's Test	RES	36	0.0031		
C = 0.3536 (P < 0.05)	TOT	53			
Feopigmenti	SE	2	1.7626	8.3	**
Transform: None	ST(SE)	15	0.2124	18.62	***
Cochran's Test	RES	36	0.0114		
C = 0.3819 (P < 0.05)	TOT	53			
Pigmenti totali	SE	2	6.6547	10.83	***
Transform: None	ST(SE)	15	0.6143	27.1	***
Cochran's Test	RES	36	0.0227		
C = 0.2833 (Not Significant)	TOT	53			
Frazione attiva	SE	2	53.6113	4.37	*
Transform: None	ST(SE)	15	12.2565	4.26	***
Cochran's Test	RES	36	2.8792		
C = 0.6435 (P < 0.01)	TOT	53			

In particolare, il test a posteriori SNK ha messo in evidenza per clorofilla-a, feopigmenti e pigmenti totali in acqua un'evidente tendenza all'aumento delle concentrazioni da costa verso largo, e valori nel transetto interessato dalla presenza dell'oleodotto significativamente più bassi che negli altri due transetti. Il test non ha evidenziato alcuna differenza tra transetto interessato dalla attuale condotta IGCC e transetto nel quale dovrebbe essere posizionata la eventuale nuova condotta (Fig. 26). La variabilità tra repliche (area grigia in Fig. 26) era confrontabile alla variabilità tra stazioni in tutti i transetti, eccezion fatta che in quello caratterizzato dalla presenza dell'oleodotto.

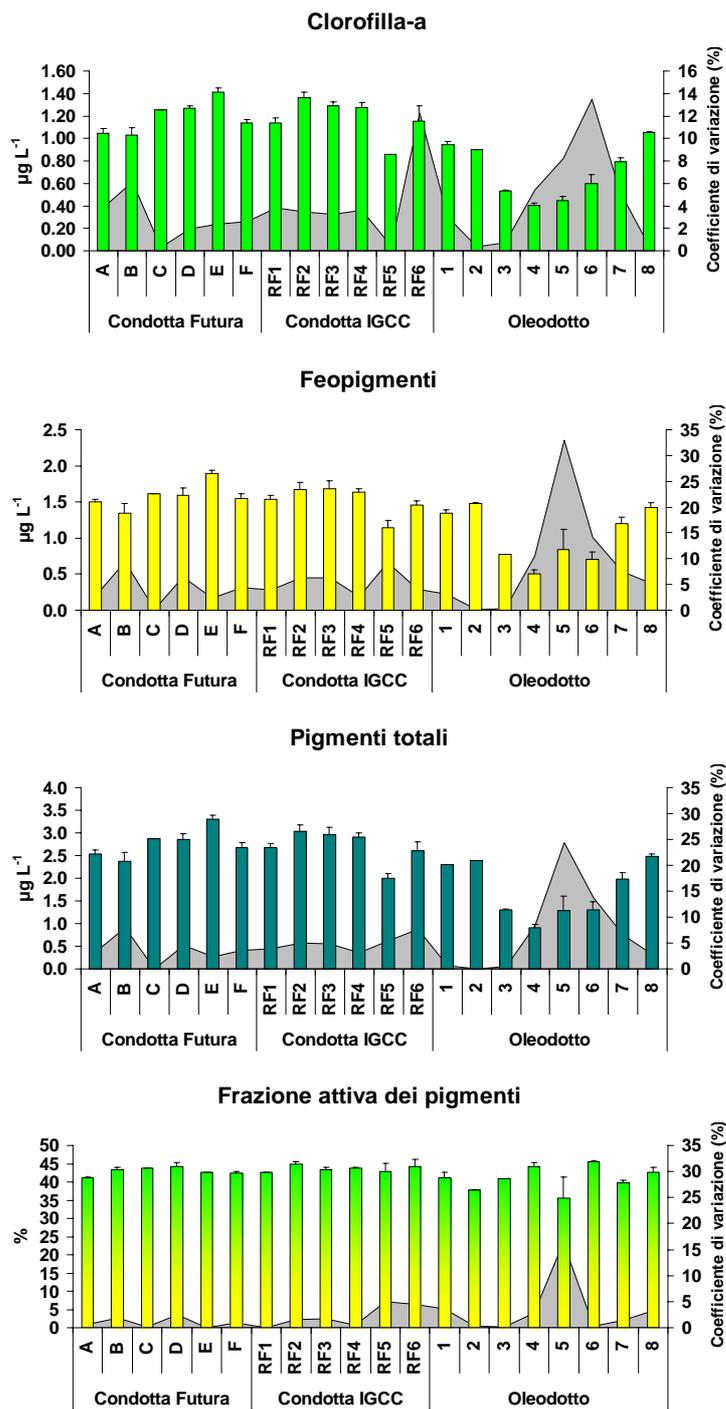


Figura 26 – Confronto dei valori medi di clorofilla-a, feopigmenti, pigmenti totali e frazione attiva in acqua nell'area AERCA.

5.3.2.2 Carico organico nei sedimenti dell'area AERCA

Le concentrazioni di materia organica nei sedimenti dell'area AERCA variavano da 6.71 ± 1.90 a 72.94 ± 8.15 mg g⁻¹, e, in media (29.18 ± 5.06 mg g⁻¹), non si discostavano significativamente dall'intervallo di variabilità osservato nell'intero arco marchigiano (Cfr. All. 4).

L'ANOVA (Tabella 5) ha rivelato che in ciascuno dei tre transetti considerati nell'area AERCA, le concentrazioni di materia organica sedimentaria mostravano differenze significative tra stazioni (ma non tra transetti), con un aumento significativo dei valori da costa al largo lungo la attuale condotta IGCC e lungo la traiettoria della eventuale futura condotta (SNK, $P < 0.01$ per entrambi i transetti) e *pattern* opposto nel transetto interessato dalla presenza del vecchio oleodotto (SNK, $P < 0.01$) (Fig. 27). La variabilità tra repliche (area grigia in Fig. 27) risultava essere simile o inferiore alla variabilità tra transetti, così da confermare l'ipotesi nulla di assenza di differenze tra transetti.

Tabella 5 – Risultati dell'ANOVA per i carichi organici nell'area AERCA (***) = $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; ns = non significativo). TR = transetto: condotta IGCC attuale, condotta futura, oleodotto; ST = stazione. Per l'ANOVA bilanciata, le stazioni più al largo (6-8) lungo il transetto dell'oleodotto sono state considerate come repliche e mediate tra loro.

	Source	DF	MS	F	P
Materia organica totale	TR	2	1979.422	1.27	ns
Transform: None	ST(TR)	15	1562.161	28.54	***
Cochran's Test	RES	36	54.7406		
C = 0.2927 (Not Significant)	TOT	53			

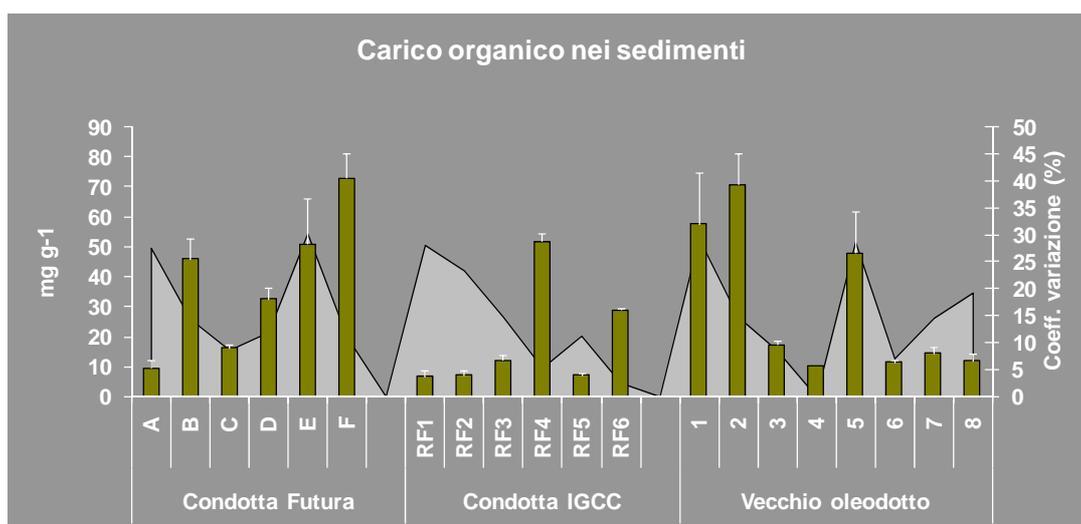


Figura 27 – Carichi organici sedimentari nell'area AERCA.

5.3.2.3 Pigmenti clorofilliani nei sedimenti dell'area AERCA

Le concentrazioni di clorofilla-a, feopigmenti, e pigmenti totali e i valori della frazione attiva dei pigmenti ricadevano entro i rispettivi intervalli di variabilità rilevati per l'intero arco costiero marchigiano (Cfr. All. 11).

L'ANOVA ha rivelato che, ad eccezione che per i valori della frazione attiva dei pigmenti, tutte le variabili relative ai pigmenti clorofilliani nei sedimenti dell'area AERCA non mostravano differenze significative tra transetti, ma solo differenze significative tra stazioni all'interno di ciascun transetto.

Tabella 6 – Risultati dell'ANOVA per i pigmenti clorofilliani nei sedimenti dell'area AERCA (** = $p < 0.001$; * = $p < 0.01$; * = $p < 0.05$; ns = non significativo). TR = transetto: condotta IGCC attuale, condotta futura, oleodotto; ST = stazione. Per l'ANOVA bilanciata, le stazioni più al largo (6-8) lungo il transetto dell'oleodotto sono state considerate come repliche e mediate tra loro.

	Source	DF	MS	F	P
Clorofilla-a	TR	2	1.3799	0.8	ns
Transform: Ln(X)	ST(TR)	15	1.7275	42.13	***
Cochran's Test	RES	36	0.041		
C = 0.1624 (Not Significant)	TOT	53			
Feopigmenti	TR	2	6.3385	4.24	ns
Transform: Ln(X)	ST(TR)	15	1.4965	28.55	***
Cochran's Test	RES	36	0.0524		
C = 0.2122 (Not Significant)	TOT	53			
Pigmenti totali	TR	2	5.2779	3.59	ns
Transform: Ln(X)	ST(TR)	15	1.4715	32.01	***
Cochran's Test	RES	36	0.046		
C = 0.2235 (Not Significant)	TOT	53			
Frazione attiva	TR	2	277.893	6.32	**
Transform: None	ST(TR)	15	43.9669	4.19	***
Cochran's Test	RES	36	10.499		
C = 0.4968 (P < 0.01)	TOT	53			

In particolare, lungo il transetto localizzato presso la eventuale futura condotta del nuovo impianto IGCC e lungo il transetto del vecchio oleodotto, le concentrazioni di clorofilla-a e feopigmenti aumentavano significativamente da costa al largo (SNK test, $P < 0.01$ per entrambe le variabili). Lungo il transetto dell'attuale condotta IGCC, invece, le differenze nelle concentrazioni di clorofilla-a e feopigmenti tra stazioni dipendevano da valori che presso la stazione RF4 erano significativamente più elevati che in tutte le altre stazioni dello stesso transetto (SNK test, $P < 0.01$) (Fig. 28A-B). Per quanto concerne la frazione attiva dei pigmenti, le differenze significative tra transetti sono associate a valori che lungo il vecchio oleodotto risultavano maggiori che negli altri due transetti (SNK, $P < 0.01$). Lungo il transetto della futura condotta e dell'attuale condotta IGCC i valori della frazione attiva dei pigmenti erano maggiori nelle stazioni più costiere (SNK test, $P < 0.01$ per entrambi i transetti), mentre il pattern opposto si osservava lungo il transetto del vecchio oleodotto (Fig. 28C).

Come per i carichi organici, la variabilità tra repliche (area grigia in Fig. 9) risultava confrontabile a quella osservata tra transetti.

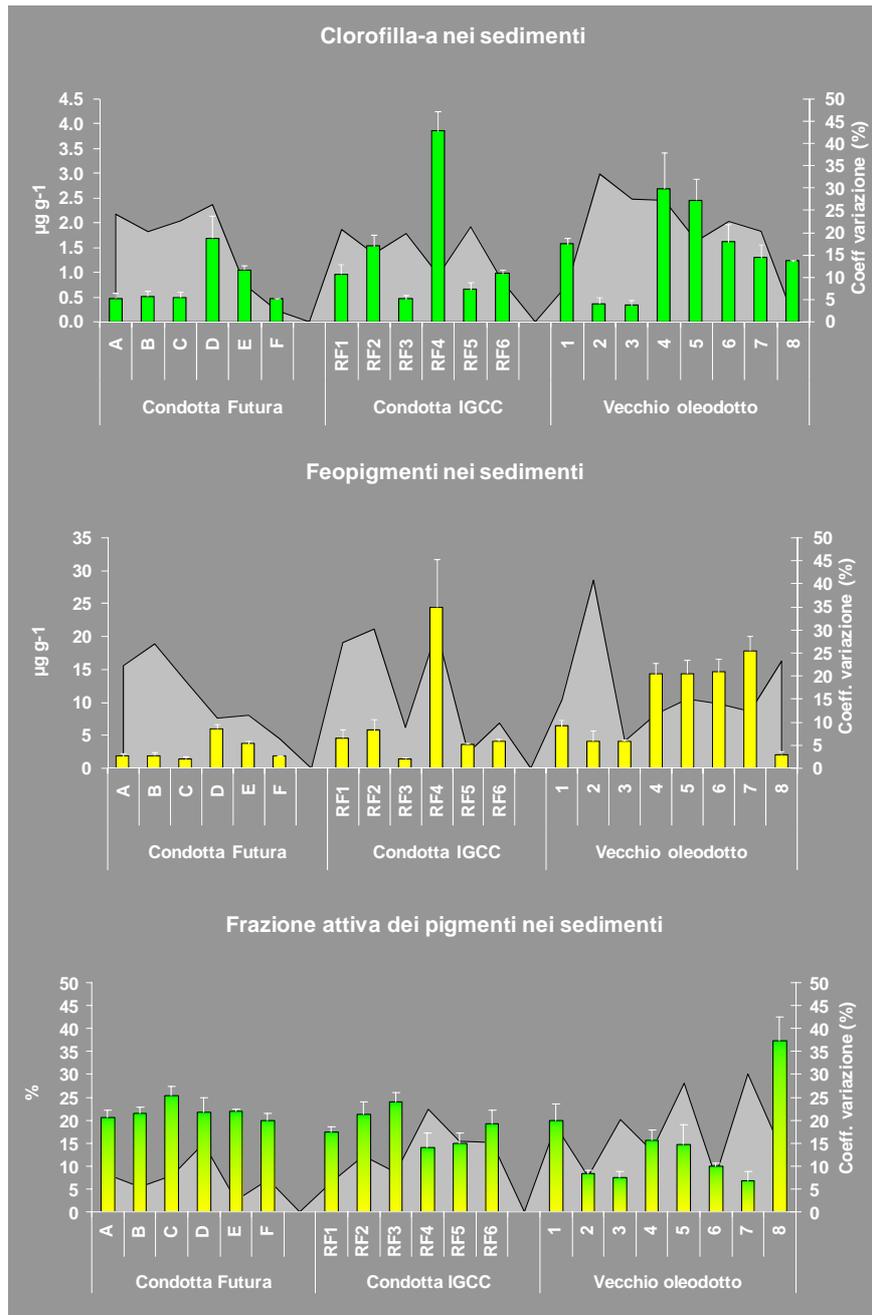


Figura 28 – Confronto dei valori medi di clorofilla-a, feopigmenti, pigmenti totali e frazione attiva nei sedimenti dell'area AERCA.

5.4 Analisi comparativa della distribuzione e variabilità dello stato trofico tra area AERCA e arco costiero marchigiano mediante tecniche univariate (ANOVA) e multivariate (Multidimensional Scaling)

Al fine di testare l'ipotesi nulla che le caratteristiche trofiche dell'area AERCA non differiscono significativamente da quelle presenti nell'intero arco costiero marchigiano, si sono calcolati i valori medi di tutte le variabili considerate (pigmenti in acqua e nel sedimento e carichi organici sedimentari) per i tre transetti localizzati nell'area AERCA e nei due settori a nord e sud del Monte Conero (Tabella 7).

Tabella 7 – Valori medi (\pm errore standard) delle concentrazioni di pigmenti clorofilliani nell'acqua e di pigmenti clorofilliani e materia organica totale nei sedimenti dell'area AERCA (Futura condotta, Condotta IGCC e Vecchio oleodotto) e nei due settori a nord e sud del Monte Conero.

Transetto	Variabili in Acqua							
	Clorofilla-a		Feopigmenti		Pigmenti totali		Frazione attiva (%)	
	$\mu\text{g L}^{-1}$	dev.st.	$\mu\text{g L}^{-1}$	dev.st.	$\mu\text{g L}^{-1}$	dev.st.	%	dev.st.
Nord del Conero	1.2	0.1	2.2	0.2	3.4	0.3	36.3	1.3
Sud del Conero	0.9	0.1	2.3	0.4	3.2	0.5	31.0	2.1
Condotta Futura	1.2	0.1	1.6	0.1	2.8	0.1	42.9	0.5
Condotta IGCC	1.2	0.1	1.5	0.1	2.7	0.2	43.6	0.3
Oleodotto	0.7	0.1	1.0	0.2	1.7	0.2	40.9	1.3

Transetto	Variabili nel sedimento									
	Clorofilla-a		Feopigmenti		Pigmenti totali		Frazione attiva (%)		Materia organica totale	
	$\mu\text{g L}^{-1}$	dev.st.	$\mu\text{g L}^{-1}$	dev.st.	$\mu\text{g L}^{-1}$	dev.st.	%	dev.st.	mg g^{-1}	dev.st.
Nord del Conero	1.31	0.18	3.47	0.86	4.78	1.02	33.44	2.19	44.83	8.22
Sud del Conero	1.22	0.04	4.27	0.21	5.48	0.24	28.24	0.44	19.68	0.44
Condotta Futura	0.78	0.20	2.78	0.73	3.56	0.93	21.86	0.77	38.01	9.61
Condotta IGCC	1.40	0.51	7.34	3.48	8.74	3.98	18.51	1.55	18.96	7.42
Oleodotto	1.46	0.41	9.12	1.98	10.58	2.36	14.03	2.08	36.08	10.63

L'ANOVA ha rivelato che le concentrazioni di tutte le variabili considerate, ad eccezione di quelle della clorofilla-a nei sedimenti, mostravano differenze significative tra i cinque transetti (Tabella 8). Tuttavia, il test a posteriori SNK ha evidenziato che tali differenze non erano riconducibili a marcate differenze tra arco costiero marchigiano (N e S del Conero) e area AERCA (condotta attuale IGCC, oleodotto e potenziale nuova condotta). Uniche eccezioni risultano i valori della frazione attiva dei pigmenti in acqua (significativamente maggiori nell'area AERCA) e quelli dei feopigmenti in acqua (significativamente minori nell'area AERCA) (Fig. 29). Nei sedimenti, i risultati del test SNK indicano che i vari transetti si confondono per tutte le variabili: ad esempio, per i pigmenti (ad eccezione della clorofilla-a) il transetto identificato dalla traiettoria della eventuale futura condotta si può assimilare all'arco costiero marchigiano, mentre per la materia organica sedimentaria il transetto relativo all'attuale condotta IGCC è assimilabile all'intera area a S del Monte Conero (Fig. 30).

Tabella 8 – Risultati dell'ANOVA sui dati di pigmenti clorofilliani in acqua e pigmenti clorofilliani e materia organica totale nei sedimenti nel confronto tra arco costiero marchigiano e settori entro l'area AERCA. (** = $p < 0.01$; *** = $p < 0.001$; ns = non significativo). TR = transetto (N del Conero -N-, S del Conero -S-, condotta IGCC attuale -IGCC-, condotta futura -New-, oleodotto -Oleo-). In tabella è anche riportato il risultato del test SNK a posteriori dal quale si possono evincere i pattern delle differenze evidenziate dall'ANOVA.

Variabili in acqua						
Variabile	Source	DF	MS	F	P	SNK
Clorofilla-a	TR	4	0.1478	13.23	***	Oleo < S < [N, New, IGCC]
Transform: None	RES	10	0.0112			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.3619 (Not Significant)						
Feopigmenti	TR	4	0.8011	17.3	***	[N, S] > [New, IGCC] > Oleo
Transform: None	RES	10	0.0463			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.6189 (Not Significant)						
Pigmenti totali	TR	4	1.2679	13.63	***	[N, S, New, IGCC] > Oleo
Transform: None	RES	10	0.093			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.5291 (Not Significant)						
Frazione attiva	TR	4	83.7739	52.58	***	S > N > [New, IGCC, Oleo]
Transform: None	RES	10	1.5932			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.5313 (Not Significant)						

Variabili nel sedimento						
Variabile	Source	DF	MS	F	P	SNK
Clorofilla-a	TR	4	0.2226	2.21	ns	-
Transform: None	RES	10	0.1007			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.5219 (Not Significant)						
Feopigmenti	TR	4	0.7227	7.87	**	[N, S, New] < [IGCC, Oleo]
Transform: Ln(X)	RES	10	0.0918			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.5897 (Not Significant)						
Pigmenti totali	TR	4	25.6914	5.49	**	[N, S, New] < [IGCC, Oleo]
Transform: None	RES	10	4.6788			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.6782 (Not Significant)						
Frazione attiva	TR	4	178.729	72.43	***	[N, S, New] < [IGCC, Oleo]
Transform: None	RES	10	2.4675			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.3904 (Not Significant)						
Materia organica totale	TR	4	403.6214	6.15	**	[N, New, Oleo] > [S, IGCC]
Transform: None	RES	10	65.6283			
Cochran's Test	TOT	14				
C = 0.3445 (Not Significant)						

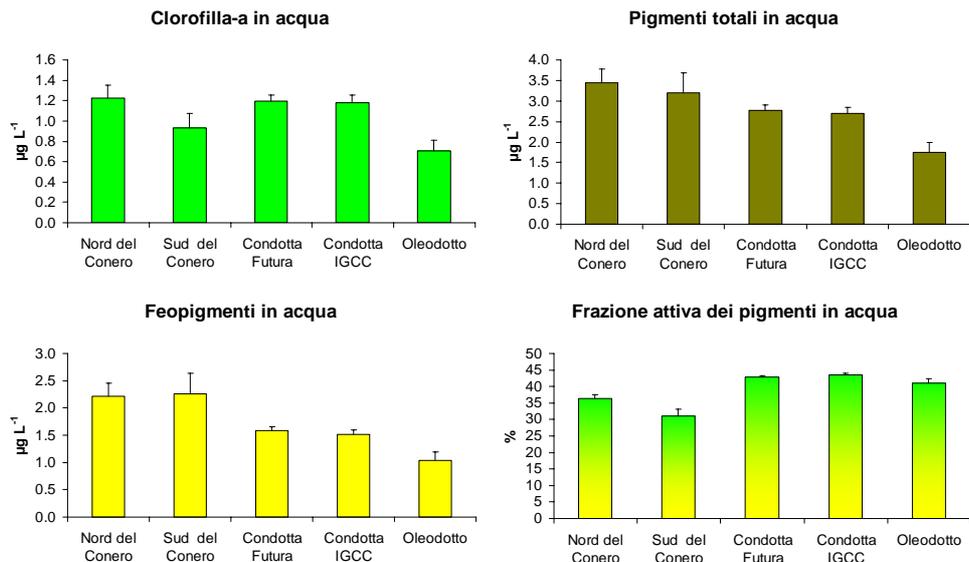


Figura 29 – Confronto dei valori medi di clorofilla-a, feopigmenti, pigmenti totali e frazione attiva dei pigmenti nelle acque dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA.

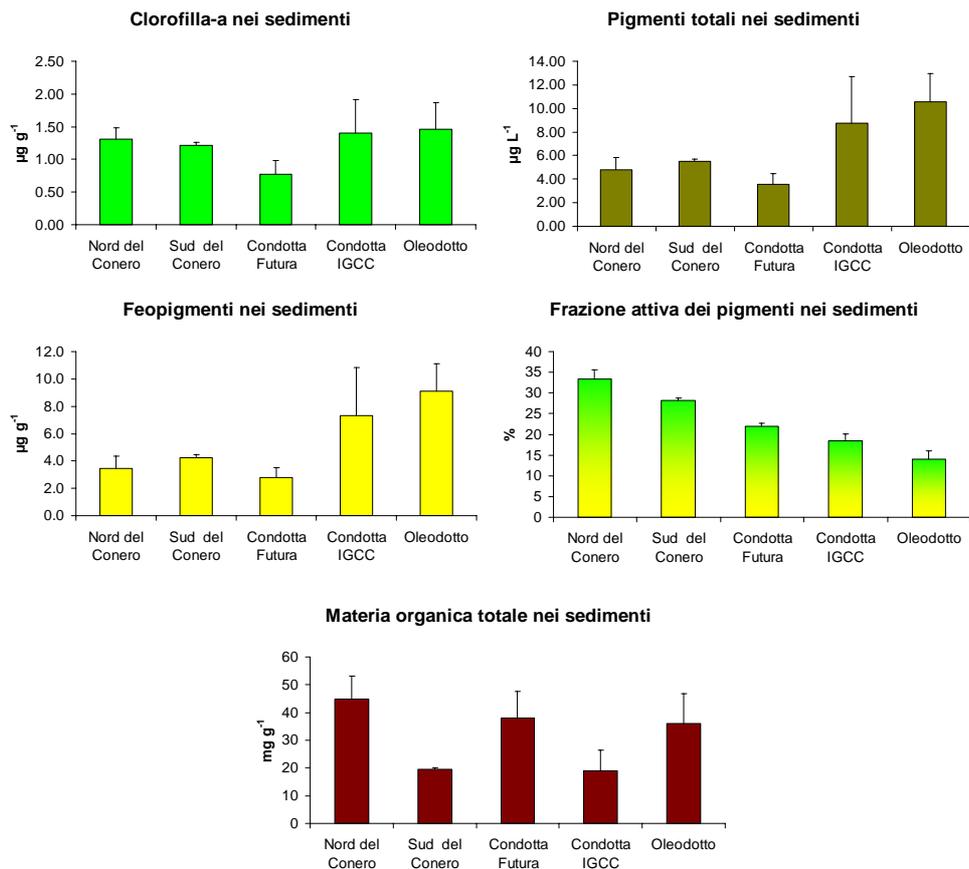


Figura 30 – Confronto dei valori medi di clorofilla-a, feopigmenti, pigmenti totali, frazione attiva dei pigmenti e materia organica totale nei sedimenti acque dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA.

Al fine di evidenziare ulteriormente che il trofismo dell'area AERCA non differisce dal trofismo dell'intero arco costiero marchigiano e che, laddove le differenze sussistono, queste non sono univocamente associabili alla presenza della condotta IGCC, si è proceduto ad analizzare l'intero data set utilizzando una tecnica di ordinamento multivariata MDS (*MultiDimensional Scaling*).

Tale tecnica permette di considerare contemporaneamente tutte le variabili e di ricostruire in un piano bidimensionale le differenze tra stazioni, la cui entità è proporzionale alla distanza tra punti (ciascuno rappresentanti una stazione). Quando tale tecnica implica la collocazione di un gran numero di punti, per individuare eventuali pattern si può ricorrere ad una analisi dei cluster. Graficamente tale tecnica "lega" tra loro punti (stazioni) simili ed calcola per ciascuna delle associazioni un valore di similarità.

I risultati dell'MDS e dell'analisi dei cluster condotta sul data set ottenuto nel corso di questo studio evidenziano che non è possibile identificare un chiaro pattern che metta in evidenza differenze significative nello stato trofico dell'area AERCA e quello dell'intero arco costiero marchigiano. Infatti, dai grafici dell'MDS e dei Cluster (Figg. 31-32) è possibile osservare che stazioni dell'area AERCA sono più simili a diverse stazioni dell'arco costiero marchigiano che ad altre stazioni dell'area AERCA stessa.

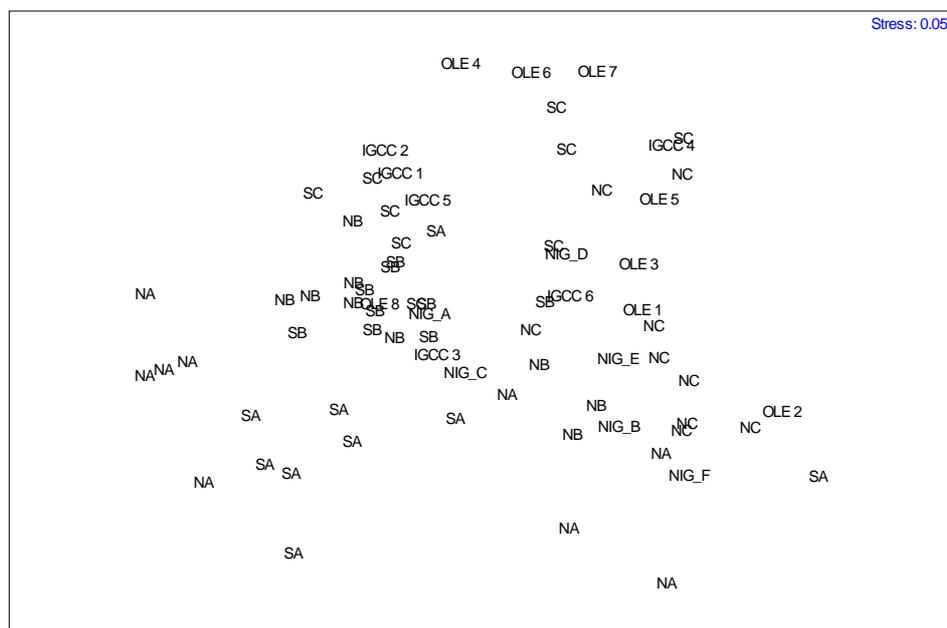


Figura 31 – Analisi MDS sui dati relativi allo stato trofico dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA. Le sigle identificano le stazioni (NA = nord a 50 m da costa, NB = nord a 500 m da costa, NC = nord a 1000 m da costa; SA = sud a 50 m, SB = sud a 500 m, SC = sud a 1000 m, rispettivamente; NIG_A-F = stazioni nuova condotta IGCC; IGCC_1-6 = stazioni attuale condotta IGCC, OLE 1-8 = stazioni oleodotto).

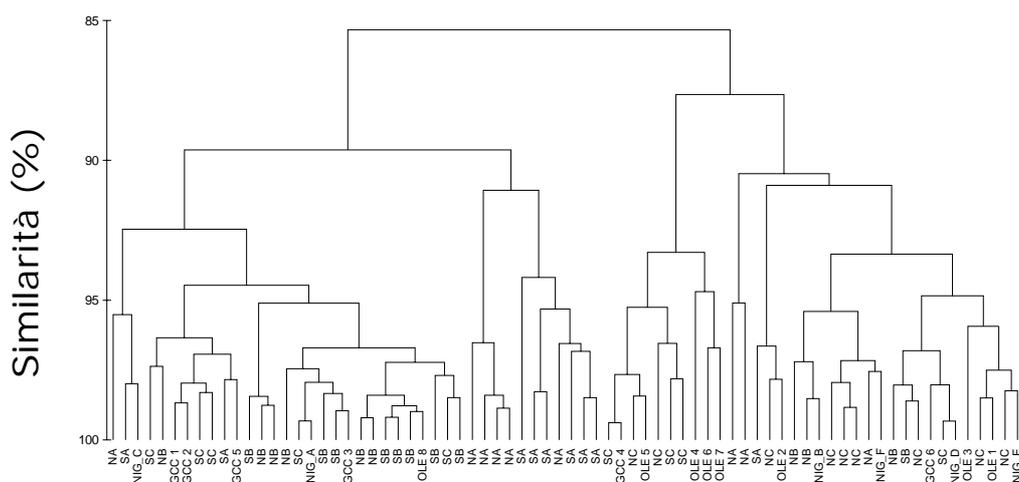


Figura 32 – Analisi dei cluster sui dati relativi allo stato trofico dell’arco costiero marchigiano e dell’area AERCA. Le sigle identificano le stazioni (NA = nord a 50 m da costa, NB = nord a 500 m da costa, NC = nord a 1000 m da costa; SA = sud a 50 m, SB = sud a 500 m, SC = sud a 1000 m, rispettivamente; NIG_A-F = stazioni nuova condotta IGCC; IGCC_1-6 = stazioni attuale condotta IGCC, OLE 1-8 = stazioni oleodotto).

5.5 Relazioni tra stato trofico e distribuzione di *F. japonica*

Lo scopo di questo studio è stato quello di identificare eventuali differenze nello stato trofico tra arco costiero marchigiano e area AERCA. A tal fine si sono misurate e quindi confrontate le concentrazioni di pigmenti clorofilliani in acqua e nei sedimenti ed i carichi organici sedimentari.

Per tutte le variabili considerate, in alcuna delle stazioni oggetto di studio, indipendentemente dalla localizzazione, sono stati osservati valori al di fuori del campo di variabilità normalmente osservato per l’arco costiero adriatico.

Le condizioni trofiche dell’arco costiero marchigiano sono risultate differenti a nord e sud del Monte Conero, come per altro atteso dalla estensione delle plume fluviali di origine nord Adriatica che si esauriscono proprio in prossimità del Monte Conero.

All’interno dell’area AERCA non sono emerse evidenti differenze tra transetti interessati dalla presenza della condotta termica IGCC e dell’oleodotto ed il transetto lungo il quale è stato ipotizzato collocare l’eventuale nuova condotta.

Il confronto tra stato trofico dell’area AERCA e stato trofico dell’intero arco costiero marchigiano non ha evidenziato alcuna evidente segregazione statisticamente significativa tra i due sistemi putativamente considerati.

L'ipotesi nulla di assenza di differenze statisticamente significative nello stato trofico tra area AERCA e le restanti aree dell'arco costiero marchigiano è stata confermata sia dalle analisi univariate sia, ed in maniera ancora più marcata, dalle tecniche di analisi multivariata.

Sulla base di tali risultati non è possibile identificare all'interno dell'area AERCA condizioni di stato trofico che possano giustificare un effetto sull'accrescimento di produttori primari significativamente differente da quanto avviene nelle restanti aree dell'arco costiero marchigiano.

6. Distribuzione di *F. japonica* e delle sue cisti di resistenza lungo l'arco costiero marchigiano e nell'area AERCA

6.1 Introduzione

Fibrocapsa japonica è una microalga unicellulare appartenente alla classe Raphidophyceae che produce intense fioriture in aree marine costiere. Lungo le coste del Giappone, ove è presente una fiorente attività di acquacoltura e piscicoltura in gabbie, i bloom di *Fibrocapsa* sono stati spesso associati con episodi di mortalità estensive di pesce, causando ingenti danni economici (Toriumi & Takano, 1973; Okaichi, 1989).

I bloom di *Fibrocapsa japonica* sono stati segnalati nelle acque costiere dell'Adriatico settentrionale (fascia costiera a nord di Ancona, fino all'Emilia Romagna) a partire dal 1997, e da allora si sono verificate regolarmente quasi ogni anno. Nelle coste adriatiche, la fioritura si estende nella fascia che va dalla battigia fino a circa 200-300 m al largo (profondità 2-3 m) e si verifica tipicamente nel periodo estivo (luglio-agosto), perdurando generalmente 20-40 giorni, in relazione alle condizioni meteomarine. Durante la fioritura, le abbondanze microalgali raggiungono elevate densità ($50-90 \times 10^6$ cellule L^{-1}), causando un cambiamento di colore dell'acqua che appare di un intenso rosso mattone. Sebbene per l'Adriatico non siano stati ad oggi riportati episodi di mortalità di pesce o problemi per la salute umana, la colorazione e l'aumento di torbidità causano danni alle attività turistiche e ricreative.

6.1.1 *Fibrocapsa japonica*: caratteristiche morfologiche e ciclo vitale

Le cellule di *Fibrocapsa japonica* hanno forma ovoidale, leggermente appiattita lunghe 20-37 μm e larghe 15-24 μm . La cellula ha simmetria dorsoventrale e porta due flagelli disuguali ed eterodinamici che emergono da una invaginazione (citofaringe) posta nell'estremità anteriore, uno rivolto anteriormente e dotato di peli (mastigonemi), l'altro rivolto posteriormente e liscio. Come tutte le Raphidophyceae, *Fibrocapsa japonica* non è dotata di parete cellulare, caratteristica che la rende estremamente vulnerabile nei confronti dei cambiamenti ambientali. All'interno si trovano numerosi cloroplasti di colore giallo-bruno; essi sono avvolti da quattro membrane, hanno i tilacoidi raggruppati in gruppi di tre e contengono clorofilla a, c1 e c2; e tra i pigmenti accessori prevalgono il carotene e la fucoxantina, che conferiscono la colorazione brunastra. La sostanza di riserva è rappresentata da crisolaminarina, un β 1,3 glucano che si accumula nel citoplasma (Van den Hoek *et al.*, 1995).

All'interno sono presenti delle mucocisti, organuli bastoncellari di forma allungata situati in particolare all'estremità posteriore della cellula. In seguito a stress ambientali di varia natura, le

mucocisti vengono estroflesse liberando lunghi filamenti. I comuni fissativi provocano la rottura del plasmalemma e la conseguente deformazione della cellula che assume l'aspetto di "mora" (Boni *et al.*, 2005).

Come molte Raphidophyceae, *Fibrocapsa japonica* forma cisti di resistenza nel corso del ciclo vitale (Fukuyo *et al.*, 2004).

Le cellule sono 2n e si riproducono agamicamente in condizioni ottimali. Un ciclo vitale completo è stato definito solo per alcune specie: *Chattonella antiqua* quando si trova in carenza da nutrienti produce per meiosi cellule n, che poi si trasformano in cisti e rimangono dormienti nel sedimento dalla fine estate fino alla primavera successiva. Alla germinazione fuoriesce una cellula mobile (n) che dopo qualche tempo subisce un processo di diploidizzazione. La produzione di cisti è stata messa in evidenza anche in *C. marina*, *Heterosigma akashiwo* e *Fibrocapsa japonica* (Lee, 1999).

Dal punto di vista morfologico, le cisti delle Raphidophyceae si presentano in genere di forma sferica più o meno appiattita, con presenza o meno di puntature interne; sono comunque molto scarse le notizie in letteratura a riguardo. Fukuyo *et al.*, (2004) hanno isolato alcune cisti di Raphidophyceae dai sedimenti di Seto Inland in Giappone.

Le cisti di *F. japonica* sono state identificate per la prima volta da Yoshimatsu (1987): hanno forma sferica dal diametro di 15-20 μm e sono di colore scuro. Le forme di resistenza di questa specie, a differenza di quelle di altre Raphidophyceae, non presentano puntature di materiale scuro al loro interno. Si presentano senza paratubulazioni, ornamenti o materiale mucillaginoso e si osservano spesso adese a frustuli di diatomee (Yoshimatsu, 1987); a volte queste cisti producono materiale extracellulare per attaccarsi ai frustuli (Imai, 1989).

De Boer *et al.* (2004b) hanno osservato la morfologia delle cisti di *F. japonica* in condizioni sperimentali, inducendone la formazione acclimatando e mantenendo le colture a basse temperature (12°C), a scarse intensità luminose ($<10 \mu\text{mol fotoni m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e successivamente al buio. In queste condizioni, le dimensioni delle cisti prodotte erano simili a quelle osservate da campioni naturali (De Boer *et al.*, 2004b); inoltre dopo un periodo di 9 mesi, le cisti apparivano ricoperte da un biofilm marrone scuro ed erano intatte, confermando la richiesta di un periodo di dormienza di diversi mesi messo in evidenza precedentemente. Si è osservato inoltre che le forme vegetative di *F. japonica* non sopravvivono per più di 16 gg a 4°C, e sono presenti solo nel periodo estivo; ciò fa supporre che questa specie trascorra gran parte del suo ciclo vitale sotto forma di cisti nel sedimento (de Boer, 2004b).

Tra le cisti di *C. antiqua* e *C. marina* non sono state osservate differenze morfologiche; solo con la germinazione e l'osservazione delle forme vegetative si riesce a discriminare tra le due specie.

Queste cisti si presentano di forma emisferico-ellissoidale, con un diametro di 25-35 μm e una lunghezza di 15-25 μm . Di solito aderiscono a substrati solidi, come frustuli di diatomee o granelli di sabbia; sono di colore dal giallo-grigio al marrone e presentano una puntinatura di materiale marrone scuro (Fukuyo *et al.*, 2004). Sono cellule uninucleate con molti cloroplasti visibili al microscopio ad epifluorescenza e non presentano ornamenti sulla superficie (Imai & Itoh, 1986,1988). Le cisti di *Chattonella* presentano le strutture per la futura germinazione, avvenuta la quale è stata osservata un'apertura circolare con un diametro di 7 μm ; la germinazione avviene dopo 4-6 giorni di incubazione ed è stato osservato che le cisti possono germinare anche al buio.

Nella formazione delle cisti di *Chattonella* sp. intervengono diversi fattori: la carenza di nutrienti (specialmente N-limitazione), l'adesione a substrati solidi e una bassa irradianza luminosa (Fukuyo *et al.*, 2004).

Nelle aree dove queste specie sono state maggiormente studiate (Giappone), la temperatura dell'acqua è soggetta a variazioni stagionali: in inverno essa oscilla attorno ai 10°C e solo saltuariamente può scendere al di sotto di questa soglia, mentre durante la stagione estiva può raggiungere e spesso superare i 25°C; esperimenti effettuati in laboratorio hanno confermato quanto osservato sul campo e cioè che la temperatura è un fattore cruciale nella fisiologia delle cisti di *Chattonella* (Imai & Itoh, 1987; Imai, 1989, Imai *et al.*, 1991).

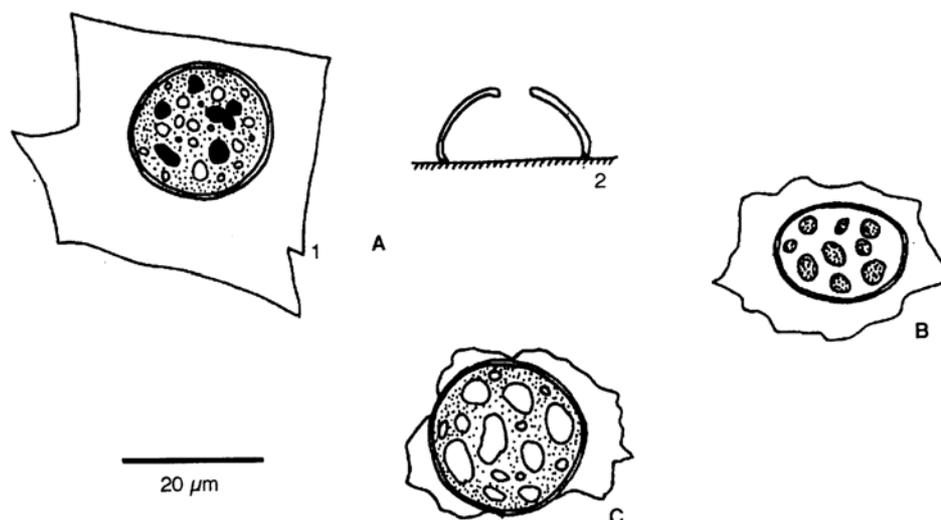


Figura 33 - Cisti di *Chattonella antiqua* (A1,2), *Heterosigma akashiwo* (B) e *Fibrocapsa japonica* (C); da Matsuoka & Fukuyo (2003).

Le cisti di *Heterosigma akashiwo* sono di forma sferica, con un diametro di 8-12 μm , circondate da materiale mucillaginoso che permette l'adesione a diversi substrati (Imai *et al.*, 1993). Queste cisti sono generalmente solitarie, ma occasionalmente si associano in gruppi. Hanno un colore che va dal giallo-grigio al marrone e non contengono materiale nero o marrone scuro, né strutture per la futura germinazione come accade invece in *Chattonella*. Le cisti di *H. akashiwo* possono germinare anche in condizioni di bassa illuminazione e addirittura al buio (Imai *et al.*, 1996). Recenti studi (Shikata *et al.*, 2007) hanno evidenziato come cisti mature di *Heterosigma*, possano germinare indipendentemente dalla luce e dalla temperatura dell'acqua, mentre questi fattori sarebbero molto importanti in relazione alla velocità di escistamento e per la sopravvivenza delle cellule dopo questo processo.

6.1.2 Tossicità delle Raphidophyceae

Diverse specie di microalghe flagellate appartenenti alla classe delle Raphidophyceae possono sviluppare intense fioriture con conseguente colorazione delle acque, a volte associate a morie di pesce: *Chattonella antiqua* (Toyoshima *et al.*, 1989; Imai *et al.*, 1998), *C. globosa* (Hara *et al.*, 1994), *C. marina* (Onoue & Nozawa, 1989; Endo *et al.*, 1992; Ahmed *et al.*, 1995), *C. subsalsa* (Biecheler, 1936), *C. verruculosa* (Baba *et al.*, 1995; Yamamoto & Tanaka, 1990), *Heterosigma akashiwo* (Chang *et al.*, 1990; Honjo, 1993; Smayda, 1998) e *Fibrocapsa japonica* (Ishimatsu *et al.*, 1996; Khan *et al.*, 1996; Oda *et al.*, 1997; Marshall *et al.*, 2003; Fu *et al.*, 2004).

I meccanismi di tossicità di queste alghe sono stati ampiamente studiati. È stato dimostrato che queste Raphidophyceae possono produrre differenti composti in grado di agire a diversi livelli: la produzione di FFAs (acidi grassi liberi) in *Chattonella* (Okaichi, 1983), la eiezione di mucocisti in *Fibrocapsa*. Inoltre in tutte le specie tossiche è stata ipotizzata la produzione di specie reattive dell'ossigeno (Ishimatsu *et al.*, 1996; Oda *et al.*, 1997) e di composti emolitici (Marshall *et al.*, 2003; Fu *et al.*, 2004) che agiscono entrambi a livello branchiale. Inoltre è stata riportata la produzione di neurotossine brevetossina-like sia in *Chattonella* che in *Fibrocapsa* (Khan *et al.*, 1996).

6.1.3 Tossicità in *Fibrocapsa japonica*

Fibrocapsa japonica è stata riconosciuta responsabile di massive morie di pesci, avvenute frequentemente in diversi paesi come Giappone, Nuova Zelanda, Canada, Stati Uniti, Cina, Cile e Germania (Okaichi, 1972; Rhodes *et al.*, 1993; Smayda & Villareal, 1989; Tomas 1998; Loeblich & Fine, 1977; Chang *et al.*, 1995; Vrieling *et al.*, 1995).

La ittiotossicità di questa specie è legata a varie cause, quali la eiezione di mucocisti (Fu, 2003) e la conseguente occlusione delle aperture branchiali, la produzione di specie reattive dell'ossigeno (ROS) che inducono asfissia delle branchie (Ishimatsu *et al.*, 1996; Oda *et al.*, 1997) e di composti emolitici (Marshall *et al.*, 2003; Fu *et al.*, 2004) che agiscono anch'essi a livello branchiale. Inoltre Khan *et al.* (1996) hanno riportato la produzione di neurotossine brevetossina-like in microalghe isolate nel mare del Nord. Queste neurotossine agiscono sul nervo vagale del cuore (Black *et al.*, 1991; Tyrrell *et al.*, 2001), provocando un abbassamento della pressione sanguigna e un minore afflusso di sangue ai tessuti branchiali, con conseguente ipossia e morte. Le 5 componenti neurotossiche individuate da Khan *et al.* (1996) tramite analisi in HPLC e denominate FjTx-I, FjTx-II, FjTx-IIIa, FjTx-IIIb e FjTx-IV, si presentavano con picchi corrispondenti ad altrettante molecole di brevetossine isolate dalla dinoflagellate *Karenia brevis*, responsabile di maree rosse nelle coste della Florida associate con la Neurotoxic Shellfish Poisoning (NSP). Questi composti aumentavano con l'età della coltura e raggiungevano i valori più alti al giorno 8 per poi diminuire; la tossina più abbondante era FjTx-II che aumentava soprattutto nella tarda fase logaritmica.

Sebbene in tutti e tre i generi di Raphidophyceae sia stata riscontrata la presenza di neurotossine simili alle brevetossine (Onoue *et al.*, 1990; Khan *et al.*, 1996, 1997) l'ipotesi più accettata sulla causa della tossicità di *Chattonella* ed *Heterosigma* è quella di un danno all'epitelio delle branchie dei pesci, dovuto alla produzione da parte delle alghe di specie reattive dell'ossigeno (ROS), ovvero di molecole che attivano processi a cascata determinando gravi danni alle cellule. L'azione dei ROS sarebbe però rinforzata dalla presenza di acidi grassi poliinsaturi, anche questi prodotti dalle alghe (Marshall *et al.*, 2003).

Il grado di tossicità associato alla produzione di questi composti sembra essere correlato ad alcune condizioni ambientali, quali temperatura, luce, salinità, concentrazione di nutrienti e presenza di batteri, come già dimostrato per altre specie algali (De Boer *et al.*, 2004, 2005).

Studi più recenti effettuati su un altro ceppo di *Fibrocapsa japonica* proveniente dalle coste tedesche hanno invece rivelato che tre composti emolitici, precedentemente assimilati alla categoria delle brevetossine, erano invece acidi grassi poliinsaturi (PUFAs), la cui composizione può anche essere usata nell'identificazione tassonomica (Fu, 2003). Questi acidi grassi poliinsaturi sono delle lunghe catene di idrocarburi con 18 o più atomi di carbonio, un gruppo carbossilico terminale e due o più doppi legami. La classificazione avviene in base alla posizione del primo doppio legame (contando dal gruppo metilico terminale). Possono quindi essere ω -3, ω -6 o ω -9. Gli ω -3 più importanti sono l'acido ω -linoleico (18:3), l'acido eicosapentaenoico o EPA (20:5) e il docosaesaenoico o DHA (22:6).

Da un punto di vista fisiologico, i PUFAs hanno la funzione di fornire energia e supportare la crescita cellulare durante il ciclo vitale dell'alga e sono anche impiegati come precursori nella sintesi di altri composti. L'EPA possiede un ruolo importante negli animali superiori e nell'uomo, essendo un precursore di un gruppo di eicosanoidi fondamentali nel regolare la fisiologia dello sviluppo. Il DHA è un costituente fondamentale delle membrane cellulari e rappresenta oltre il 60% degli acidi grassi totali presenti nella retina. Gli acidi grassi poliinsaturi possono però anche essere tossici: ad esempio cibi ricchi di acidi grassi ω -6 aumentano la produzione da parte del corpo di molecole pro-infiammatorie messaggere come la citochina. Un incremento del rapporto ω -6/ ω -3 nella dieta può contribuire ad aumentare l'incidenza delle malattie cardio-vascolari e disordini infiammatori (Borlak & Welch, 1994; Simopoulos, 2002). È stato inoltre osservato che i PUFAs possono essere tossici per i piccoli organismi marini, causando emolisi (Yasumoto *et al.*, 1990).

Il fatto che *Fibrocapsa japonica* possa produrre composti differenti può essere dovuto all'esistenza di differenti ceppi di questa specie con differente attività fisiologica.

In sunto, gli studi effettuati su *F. japonica* hanno finora evidenziato:

- la presenza di neurotossine in un ceppo isolato nella parte olandese del Mare del Nord; nei test di ittiotossicità, le colture di quest'alga hanno determinato la morte di stadi giovanili (4-5 mesi di età) di pesci (*Pagrus major*) in tempi molto brevi, variabili tra i 30 min e le 2-4 h, a seconda dello stadio di crescita dell'alga (Khan *et al.*, 1996).
- la presenza di composti con effetto emolitico su globuli rossi animali in un ceppo proveniente dal Wadden Sea (Germania); questi composti sono stati identificati essere costituiti da 3 acidi grassi poliinsaturi, mentre non sono state evidenziate neurotossine e non sono state fatte prove di ittiotossicità (de Boer *et al.*, 2004).
- la presenza di specie reattive dell'ossigeno, in particolare l'anione superossido e il perossido di idrogeno, in un ceppo giapponese; in questo caso è stato saggiato l'effetto tossico su un batterio marino, *Vibrio alginolyticus* (Oda *et al.*, 1997).

6.1.4 Distribuzione delle Raphidophyceae tossiche

La classe Raphidophyceae comprende i generi marini *Chattonella*, *Fibrocapsa* ed *Heterosigma* che originano marea colorate di colore bruno-giallastro, originariamente solo in Giappone e Nord America, mentre negli ultimi due decenni anche in altre aree quali Corea, Singapore, Canada, Nuova Zelanda, Mare del Nord, coste atlantiche di Scozia, Francia, Spagna e Portogallo e Italia (Toriumi & Takano

1973; Okaichi 1972, 1989; Smayda & Villareal, 1989; Vrieling *et al.*, 1995; Tomas, 1998; Congestri *et al.*, 2000; European Commission 2001; 2003; Cucchiari *et al.*, 2008). È stato ipotizzato che la loro introduzione in questi nuovi ambienti sia stata veicolata dall'importazione di molluschi destinati all'acquacoltura o dalle acque di zavorra delle navi (LIFEHAB 2001).

La prima segnalazione di maree colorate dovute a *Chattonella* risale al 1954 lungo la costa di Malabar in India (Subrahmanyam, 1954). Nelle acque costiere giapponesi la prima fioritura di *Chattonella* sp. è stata registrata nella baia di Hiroshima nel 1969 (Imai *et al.*, 1998), mentre *C. antiqua* formò maree colorate nell'estate del 1972 ad Harima-Nada in Giappone, causando la morte di 14 milioni di "yellowtail" di allevamento (*Seriola quinqueradiata*), con una perdita di 7 miliardi di yen. Questo è stato il danno più ingente causato da maree colorate nelle coste nipponiche (Okaichi, 1989).

Nel 1991 è stata effettuata la prima segnalazione lungo la baia di Dapeng in Cina (Tseng *et al.*, 1993). Specie di *Chattonella* sono state anche trovate nel sud-est asiatico, nella parte sud delle coste brasiliane (Odebrecht & Abreu, 1995) e australiane (Munday & Hallegraeff, 1998) e lungo le coste tedesche (Vrieling *et al.*, 1995). Fioriture causate da *Chattonella* sono state segnalate nel 1996 anche nel nord della Francia (Billard *et al.*, 1998). Recentemente, *C. marina* e *C. ovata* sono state associate a morie di pesce a Sinaloa in México (Cortés-Altamirano *et al.*, 2006) e nella Laguna Navachiste in California (Martínez-López *et al.*, 2006).

C. verrucolosa ha provocato la perdita di 400 tonnellate di salmone d'allevamento e libero nelle coste meridionali della Norvegia. Nel mese di maggio del 2000 estesi blooms di *C. verrucolosa* sono stati osservati nel Mar del Nord e in Danimarca con densità di $8.7-11.0 \times 10^6$ cellule L⁻¹.

Nel maggio 2001, un'altra proliferazione simile è stata registrata nelle coste sud della Norvegia in concentrazioni ancora più alte, provocando la morte di 400000 esemplari d'allevamento (Bourdelaïs *et al.*, 2002).

Anche *Heterosigma akashiwo* è una specie algale ittiotossica, le cui fioriture provocano ingenti morie di pesci di allevamento quantificabili in danni economici pari a diversi milioni di dollari di ricavo in meno ogni anno. Questa specie è una delle alghe responsabili della moria di "yellowtail" in Giappone, del salmone Chinook in Nuova Zelanda (Chan, 1993), in Canada (Taylor & Haigh, 1993) e negli Stati Uniti. Solo nella parte occidentale del Canada sono stati persi dai 3 ai 10 milioni di dollari canadesi annui a causa di morie di salmoni d'allevamento (Khan *et al.*, 1997). In Giappone nel mare di Seto Inland, in un periodo di 16 anni, sono stati quantificati danni per 2000 miliardi di yen (Honjo, 1993).

Questa specie è stata segnalata anche Inghilterra (Larsen & Moestrup, 1989), nelle aree costiere dell'est e dell'ovest del Nord America (Tomas, 1982) e alle Bermuda (Tomas, 1978b).

Dal 2001, numerose rafdofite tra cui *Heterosigma akashiwo* stanno provocando danni nelle acque del South Carolina, USA (Lewitus & Holland, 2003; Lewitus *et al.*, 2003), dove un bloom di *Heterosigma* è stato associato alla morte di 1×10^4 pesci (Keppler *et al.*, 2005).

Dato che nelle colture di laboratorio questa rafdofita ha mostrato una crescita ottimale a valori di temperatura da 20° a 30°C, gli habitat tropicali e sub tropicali non sembrano essere al sicuro dalle sue fioriture (Smayda, 1998). La temperatura, quindi, sembra ricoprire un ruolo fondamentale nel limitare le zone dove *Heterosigma akashiwo* può dar luogo a blooms, restringendole a quegli ambienti dove la temperatura minima della stagione fredda non scende sotto i 10°C, che risulta essere quella ideale per la quiescenza invernale di queste cellule algali.

6.1.5 Biogeografia e distribuzione di *Fibrocapsa japonica*

La distribuzione biogeografica di *Fibrocapsa japonica* sembra essere disgiunta, essendo confinata alle aree temperate sia calde che fredde di entrambi gli emisferi boreale e australe, mentre non è mai stata osservata nelle regioni Artiche ed Antartiche. (Kooistra *et al.*, 2001).

Originariamente segnalata negli anni '70 nelle acque costiere del Giappone e della California meridionale (Okaichi, 1972; Loeblich & Fine, 1977), *Fibrocapsa* è stata rilevata in tutto il mondo (Tabella 1): lungo le coste atlantiche del nord America (Smayda & Villareal, 1989; Tomas 1998), in Australia e Nuova Zelanda (Rhodes *et al.*, 1993; Chang *et al.*, 1995), e nel sud del Brasile (Odebrecht & Abreu, 1995). Nelle coste Europee, i primi reports risalgono al 1991 nelle coste atlantiche della Francia (Billard, 1992) e nel Wadden Sea in Olanda (Vrieling *et al.*, 1995). Nel 1997 questa specie fu trovata nella maggior parte dei campioni analizzati dai programmi di monitoraggio tedeschi per i blooms algali (Fu, 2003).

Per quanto riguarda il Mediterraneo, bloom di *Fibrocapsa* sono stati riportati solo nell'Adriatico settentrionale (Marche e Romagna) dal 1997 regolarmente ogni estate (Cucchiari *et al.*, 2006; Regione Emilia Romagna, 1978-2006) e nel Tirreno nel 1999 e 2003 (Congestri *et al.*, 2000, ARPA Toscana, 2004). Nell'Adriatico i bloom di *F. japonica* erano associati a *Chattonella marina* presente in basse concentrazioni.

La cronologia delle segnalazioni a partire dalla prima osservazione può suggerire una recente espansione di quest'alga a partire da una popolazione donatrice nord Pacifica (Kooistra *et al.*, 2001). Gli eventi di dispersione sarebbero stati mediati da vettori quali importazione di specie di acquacoltura o lo scarico delle acque di zavorra delle navi (Nehring, 1998, LIFEHAB, 2001). Come per molti casi

riguardanti l'introduzione di specie alloctone di microalghe unicellulari, non si può escludere che l'aumento dell'areale di distribuzione di quest'alga sia solo apparente e legato alla maggiore attenzione dei ricercatori verso questa specie. Si consideri inoltre che l'assenza di una parete cellulare e la presenza di una membrana abbastanza fragile comporta spesso la rottura cellulare di queste alghe a contatto con i fissativi normalmente usati per conservare i campioni di fitoplancton. In relazione a questo, ad esclusione degli episodi di fioritura ove le densità cellulari sono molto elevate, la presenza di *F. japonica* può essere facilmente sottostimata nei popolamenti fitoplanctonici.

Fibrocapsa japonica è una delle specie tossiche più osservate dagli inizi degli anni '90 (De Boer *et al.*, 2004a), tanto che si pensa possa aver beneficiato dei recenti cambiamenti ambientali. *Fibrocapsa* forma maree colorate quando trova condizioni favorevoli come alte temperature, sole e stabilità nella colonna d'acqua. Inoltre è stato messo in evidenza che questa microalga può crescere bene in aree costiere eutrofizzate, avendo un'elevata richiesta di nutrienti ed è in grado di competere con specie che richiedono un rapporto N:P più basso, avendo una minor richiesta di fosforo (De Boer *et al.*, 2004a), fatto che riveste una importanza particolare in aree come l'Adriatico settentrionale ove è presente una forte P-limitazione (Socal *et al.*, 1999).

6.1.6 Fioriture di *F. japonica* lungo la coste italiane

Per quel che riguarda le coste italiane, le prime testimonianze di fioriture di *Fibrocapsa japonica* si hanno a partire dall'estate del 1997 (ARPA Marche, 2001). Alla fine di agosto del 1998, la presenza dell'alga ha interessato la zona di balneazione nelle acque di Cesenatico, arrivando a una densità massima di 91 milioni di cellule/litro. Nel 1999 quest'alga viene segnalata nel mare di Sabaudia, nel Tirreno (Congestri *et al.*, 2000). Successivamente, nell'estate 2000, *Fibrocapsa* ha provocato fioriture entro i 200 metri dalla riva nella zona di Riccione e Misano ed inoltre ha formato strie rosso-brune, sporadiche e discontinue, limitate a poche zone lungo la costa adriatica tra Senigallia, Falconara e Ancona. Nel 2003, *Fibrocapsa japonica* è stata avvistata nel tratto di costa romagnola antistante Riccione, causando fino a metà agosto acque brune e torbide. Lungo la costa tirrenica ha provocato alcune fioriture nel 2003 nel tratto di costa fra Marina di Massa e Viareggio (ARPA Toscana, 2004).

Durante l'estate del 2004, la presenza di *Fibrocapsa* è stata nuovamente riscontrata a Riccione e nella zona costiera da Senigallia ad Ancona. Nell'estate 2005, questa specie è stata avvistata lungo il litorale anconetano, nella zona di Cervia e in maniera più moderata nel tratto di costa antistante Cesenatico. Nel 2006, si è ripresentata nelle acque costiere di Ancona e di Riccione. Nel 2007, sono state osservate fioriture nelle coste meridionali delle Marche (Grottammare, ARPA Marche, 2007 e

Riccione, ARPA Emilia Romagna, 2007). Diversamente da quanto osservato per le fioriture di altre microalghe, *Fibrocapsa japonica* si sviluppa in acque basse, mai oltre i 100-200 metri dalla riva (Regione Emilia-Romagna, 1998-2005). Queste fioriture raggiungono le connotazioni tipiche delle maree colorate, con acque bruno-vinaccia, che si manifestano al culmine della stagione balneare, con forti disagi alla balneazione e al turismo.

6.2 Metodi di analisi

6.2.1 Estrazione delle cisti di resistenza

I campioni di sedimento raccolti secondo la strategia di campionamento adottata per le altre variabili sono stati posti a 4°C e al buio per impedire eventuali escistamenti, senza aggiunta di fissativo. Dal campione originale sono stati prelevati dei sub-campioni (6-10 cc) che sono stati filtrati con setacci di maglia di 125 e 10 µm, dopo breve trattamento con sonicatore a vasca (Branson 2200). Le cisti presenti nel sedimento concentrato sul setaccio da 10 µm sono state separate e concentrate dal sedimento stesso mediante il metodo di Bolch (1997) che prevede l'uso del politungstato di sodio (SPT). Questa tecnica, prevede la separazione del campione mediante una centrifugazione su gradiente di densità ottenuto mediante una soluzione di politungstato di sodio (SPT) in acqua come segue:

- 75g di SPT sono stati sciolti in 25 ml di acqua MilliQ (MQ) per ottenere una soluzione stock di densità 2.49 g cm⁻³ (SPT) Da questa soluzione si è ottenuto un altro stock di densità 2,05 g cm⁻³ aggiungendo all'acqua MilliQ.
- Il campione di sedimento ottenuto dalla separazione su setaccio a maglia 10 µm (frazione 10-100 µm) è stato risospeso in 5 ml di acqua di mare filtrata.
- La soluzione di SPT (2 ml) è stata delicatamente iniettata sotto al campione (sul fondo della provetta).
- I tubi così allestiti sono stati centrifugati per 10 min a 1600 r.p.m. a temperatura ambiente per non abbassare la viscosità del composto.
- Dopo la centrifugazione, il materiale organico e le cisti si accumulano nell'interfaccia tra SPT a densità maggiore e l'acqua, formando uno strato ben delineato.
- Il materiale separato dal SPT è stato prelevato con una pipetta ed inoculato in un nuovo tubo ed è stato centrifugato nuovamente per 2 min a 1000 x g. Il soprannatante è stato rimosso ed il pellet risospeso in 5 ml di FSW.

- Il campione è stato “risciacquato” due volte in questo modo dal SPT. Questa procedura di lavaggio è necessaria visto che il materiale non era stato trattato con fissativi e ci permetteva di utilizzare le cisti per esperimenti di germinazione.
- I campioni di cisti così separati sono stati posti al buio e in frigorifero (+4°C).

6.2.2 Analisi ed identificazione al microscopio

Un subcampione del materiale ottenuto di volume variabile (50–200 µL) è stato posto a sedimentare in camere Utermöhl e analizzato mediante microscopio rovesciato a contrasto di fase Zeiss Axiovert 135 con ingrandimento 200x e 400x, osservando l'intera camera di sedimentazione. Il riconoscimento è stato effettuato basandosi su quanto riportato in manuali e letteratura specifica (Bolch & Hallegraef, 1990; Sonnemann & Hill, 1997; Matsuoka & Fukuyo, 2000; Rubino *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2003; Joyce L.B., 2004b).

I valori così ottenuti sono stati riportati a numero di cisti per grammo di peso umido di sedimento (cisti g⁻¹ ww ± SD). Al termine dell'analisi al microscopio, i campioni sono stati posti in condizioni ottimali per indurre la germinazione di eventuali specie di incerta identificazione.

6.2.3 Prove di germinazione delle cisti di incerta determinazione osservate nei sedimenti

Le cisti provenienti dai sedimenti marini e di incerta collocazione tassonomica sono state prelevate direttamente dalla camera di conteggio al termine dell'osservazione mediante aspirazione (McLachlan, 1973) e poste in pozzetti di una piastra per colture cellulari (multiwell) in numero di una ogni pozzetto a 20°C di temperatura, con fotoperiodo di 16h:8h l/d (85 µmol di fotoni m⁻² s⁻¹) e in un mezzo di crescita f/10 o in acqua di mare filtrata proveniente dall'area di campionamento. Le piastre sono state osservate giornalmente per alcune settimane.

6.2.4 Metodi molecolari per l'identificazione delle cisti

6.2.4.1 Estrazione di DNA genomico totale da cisti mediante l'uso del kit UltraClean Soil DNA Kit

Il campione di sedimento purificato col metodo del SPT viene pesato. Le quantità di sedimento utilizzabili per l'estrazione degli acidi nucleici vanno da 0.25 a 1g. Il campione di sedimento quindi è centrifugato a 4000 rpm per 10 min a temperatura ambiente; viene eliminato il soprannatante di acqua di mare e il pellet è lavato con 10 ml di H₂O sterile. Il campione viene di nuovo centrifugato a 4000 rpm per

10 min, viene eliminato il soprannatante ed il pellet è risospeso con 1 ml di H₂O sterile. Il campione viene trasferito in eppendorf; il campione è centrifugato di nuovo a 8000 rpm per 10 min, viene eliminato il soprannatante ed il pellet è congelato a -80°C. Per l'estrazione del DNA genomico il campione è scongelato a +65°C per 15 min, poi ricongelato in azoto liquido per 5 min e di nuovo scongelato a +65°C per 15 min. Il ciclo congelamento/scongelamento è ripetuto per tre volte consecutive. Il campione viene poi sonicato a 150 watt per 15 min, e quindi si segue la procedura di purificazione di DNA genomico secondo le istruzioni del kit UltraClean Soil DNA (Penna *et al.*, in preparazione).

6.2.4.2 Analisi di elettroforesi su gel d'agaroso

Il DNA genomico estratto è dosato preferibilmente su gel d'agaroso su un trans-illuminatore con lampade UV sfruttando la fluorescenza emessa dall'etidio bromuro intercalato nella doppia elica del DNA (Sambrook and Russel 2001). Questa metodica è preferibile rispetto al dosaggio con spettrofotometro perché le quantità di DNA estratto da cisti sono basse ed il campione di DNA può contenere tracce di contaminanti o impurità. Il campione di DNA genomico purificato è caricato su gel d'agaroso (0.8 % w/v) in 1X TAE (Tris acetato - EDTA) buffer assieme a diluizioni scalari di uno standard a DNA come il DNA Marker (MBI Fermentas, Germania).

6.2.4.3 Analisi molecolare di PCR

I primers specie - specifici di *Fibrocapsa japonica* sono stati disegnati sulle regioni ribosomali ITS-5.8S rDNA e validati nel il lavoro di Penna *et al.* (2007).

Sequenza del primer forward (5'-3'): GCAGAGTCCAGCGAGTCATCA

Sequenza del primer reverse (5'-3'): TAATATCCCAGACCACGCCAGA

Il volume della miscela di reazione è di 50 µl contenente 200 µM di ciascun dNTP; 0.4 µM di ciascun primer; 4.0 mM MgCl₂, 1x buffer (Diatheva, Fano, Italia); 0.2 U di Taq Polimerasi (Diatheva, Fano, Italia); 0.5-1 ng di DNA. Il protocollo termico è il seguente: uno step di denaturazione iniziale di 10 min a 95°C, 40 cicli di 30 sec a 95°C, 30 sec a 58°C e 30 sec a 72°C, e 7 min a 72°C (Penna *et al.*, 2007). I prodotti di amplificazione di PCR sono analizzati su gel d'agaroso (1.8 % w/v) in 1X TAE buffer e visualizzati con bromuro di etidio sotto UV come descritto sopra.

Talvolta, i prodotti di amplificazione non sono visualizzabili su gel d'agaroso essendo in genere basse le quantità di DNA estratto da cisti, quindi è consigliabile effettuare una seconda reazione di PCR sul

prodotto di amplificazione della prima reazione di PCR (1 µL) utilizzando lo stesso protocollo di PCR e gli stessi primers specie specifici come descritto sopra con 35 cicli di amplificazione.

6.2.5 Prove di tossicità

Per le prove di tossicità di *F. japonica* proveniente dal Mare Adriatico è stato utilizzato un ceppo isolato vicino ad Ancona (località Palombina) nel 2006 e successivamente coltivato in laboratorio.

L'alga è stata fatta crescere in coltura monospecifica in contenitori sterili contenenti terreno di coltura f/2 allestito in acqua di mare sterilizzata avente salinità di 35 psu. Le colture sono state mantenute in camera termostatica a temperatura costante e in un ciclo luce/buio di 16/8 ore.

La temperatura di 20°C, utilizzata per la crescita di *F. japonica* è stata considerata la temperatura di controllo mentre le altre prove di valutazione della tossicità sono state effettuate facendo crescere l'alga alle temperature di 25 e 30°C; questi ultimi valori sono stati scelti considerando una possibile diluizione della acque di uscita dall'impianto con l'acqua di mare del bacino nel periodo estivo.

Sono state eseguite due tipologie di prove: test biologici di tossicità e analisi chimiche.

I test biologici di tossicità eseguiti sono i seguenti:

- test di tossicità sul crostaceo *Artemia* sp
- test di emolisi di eritrociti di carpa (*Cyprinus carpio*)
- test di tossicità sul batterio bioluminescente *Vibrio fischeri*
- test di tossicità sul branzino (*Dicentrarchus labrax*) in stadio giovanile

Il test di tossicità sul riccio di mare (*Paracentrotus lividus*) inizialmente programmato non è stato eseguito in quanto il periodo di esecuzione del progetto non coincideva con il periodo riproduttivo della specie.

Le analisi chimiche eseguite per valutare la tossicità della microalga sono le seguenti:

- analisi di neurotossine
- analisi di acidi grassi poliinsaturi (PUFAs)
- analisi di specie reattive dell'ossigeno (perossido di idrogeno e anione superossido).

E' stato inoltre valutato l'effetto dell'acqua in uscita dall'impianto IGCC, contenente ipoclorito di sodio, sulla crescita della microalga.

Ulteriori dettagli metodologici sono inclusi nella sezione seguente.

6.3 Risultati

6.3.1 Le cisti di resistenza lungo la costa marchigiana

Per l'analisi microscopica dei sedimenti, al fine di individuare e conteggiare le cisti presenti nella fascia costiera marchigiana, sono stati separati mediante setaccio circa 140 repliche provenienti da 53 campioni. Questi sono stati sottoposti tutti a separazione mediante gradiente di densità per mezzo del Politungstato di Sodio; non tutti i campioni hanno dato risultati di estrazione soddisfacenti e si è dovuto quindi procedere ad ulteriori separazioni fino ad ottenere una quantità di cisti idonea al conteggio e infine sono stati analizzati al microscopio 100 sub-campioni. La stazione 10, inizialmente situata a Portonovo, non è stata campionata ed analizzata a causa della natura rocciosa del fondale.

I campioni prelevati nella fascia A, a 20 m dalla battigia, a causa della loro natura e granulometria, hanno mostrato una notevole resistenza nei processi di separazione, sia per quanto riguarda il setacciamento manuale, sia nel processo di separazione delle cisti attraverso un gradiente di densità per mezzo del Politungstato di Sodio. Tutti i campioni e le rispettive repliche provenienti da questa fascia sono stati debitamente trattati, ma solo alcuni di essi sono stati ritenuti idonei al conteggio al microscopio. I risultati (Fig. 34) si riferiscono ai campioni delle stazioni dalla 1 alla 13 (stazioni 10 e 11 n.d.). I valori di cisti totali ottenuti sono risultati comunque piuttosto bassi (da 13,4 a 65,1 cisti cm³ ww). Il valore più alto è stato osservato nella stazione 8, mentre il più basso nella stazione 13. Nelle stazioni poste a nord di Ancona (da 1 a 9) sono state trovate in media $48,3 \pm 13,4$ cisti cm³ ww, mentre nelle uniche altre due stazioni disponibili, poste a sud del Conero (12 e 13) ne sono state osservate in media un numero molto inferiore ($13,7 \pm 0,4$ cisti cm³ ww).

Per quanto riguarda le stazioni poste a 500 m dalla costa (fascia B), sono state osservate abbondanze totali comprese tra 42,2 e 269,6 cisti cm³ ww. Il valore più elevato (Fig. 35) è stato osservato nella stazione 19 (San Benedetto del Tronto), mentre le abbondanze più basse sono state osservate nella stazione subito adiacente (18); questo basso valore può essere però stato influenzato dalla non buona conservazione dei campioni provenienti da questa stazione. Per quanto riguarda la distribuzione spaziale lungo la costa Marchigiana, nella zona compresa tra Pesaro e Ancona (stazioni 1-9; area nord), sono state osservate in media $73,9 \pm 31,9$ cisti cm³ ww, mentre nella area sud (stazioni 11-19) compresa tra da Porto Recanati a San Benedetto del Tronto ne sono state conteggiate un numero superiore ($96,4 \pm 71,1$ cisti cm³ ww).

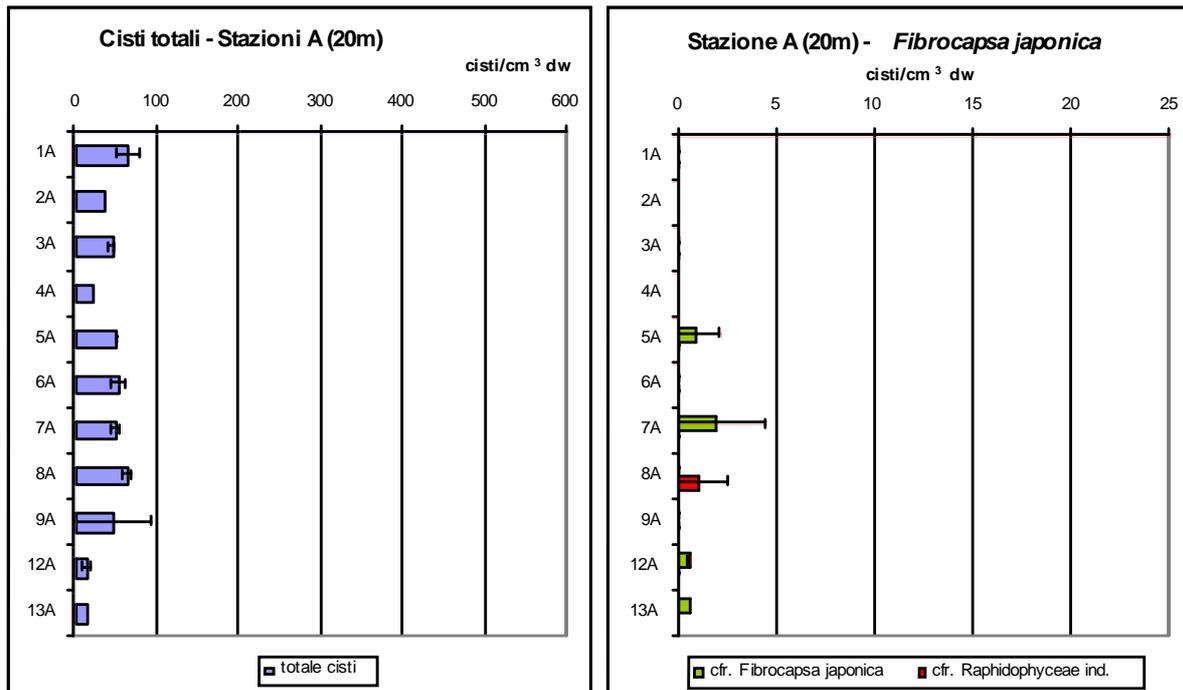


Figura 34 - Numero di cisti totali (n° cisti*cm⁻³ ww ± SD) e di *Fibrocapsa japonica* osservate nei sedimenti campionati a 20m (tratto A) dalla costa.

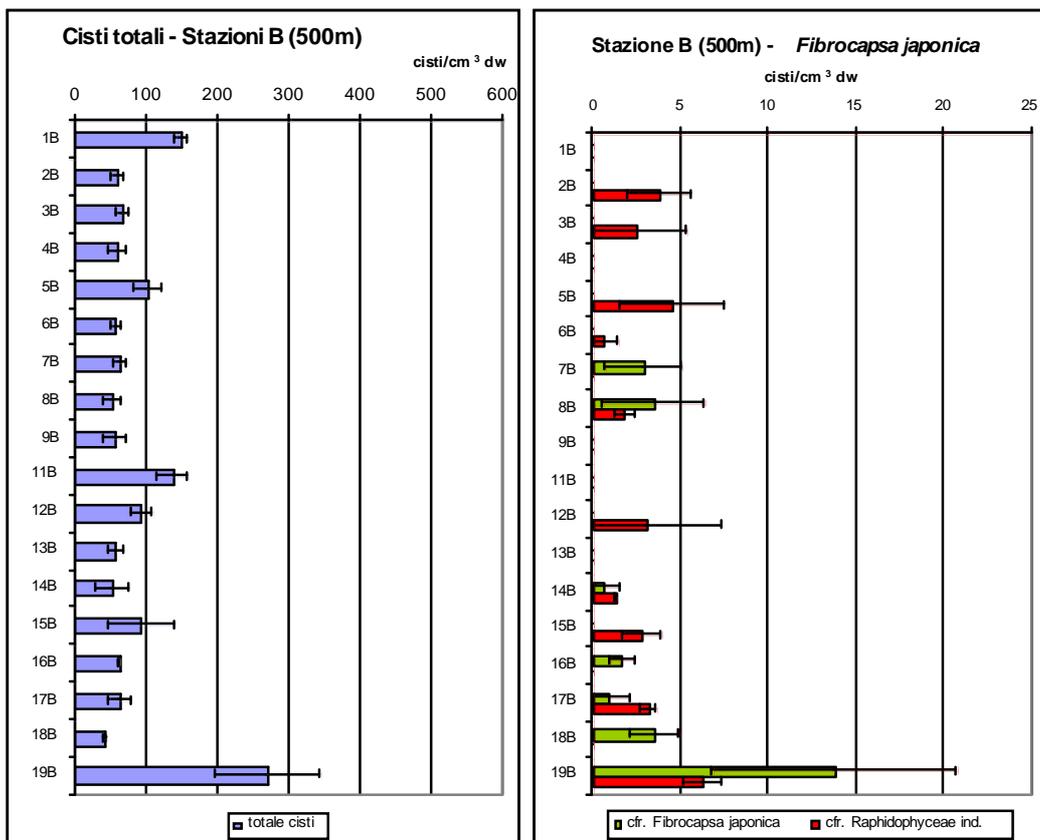


Figura 35 - Numero di cisti totali (n° cisti*cm⁻³ ww ± SD) e di *Fibrocapsa japonica* (n° cisti*cm⁻³ ww ± SD) osservate nei sedimenti campionati a 500m (tratto B) dalla costa.

Nella fascia dei 1000m (stazioni C) è stato osservato un numero totale di cisti comprese tra 38,6 e 393,3 cisti cm³ ww (Fig. 36). Il valore più elevato è stato osservato nella stazione 19 situata a largo di San Benedetto del Tronto, mentre i più bassi nelle stazioni 14 e 16 poste rispettivamente a nord (Porto Potenza Picena) e a sud (Porto Sant'Elpidio) di Civitanova Marche. Nelle stazioni da 1 a 9 (da Pesaro ad Ancona) sono state osservate in media 157,6 ± 73 cisti totali cm³ ww (stazione 3 n.d.), mentre nelle stazioni da 10 a 19 (da Porto Recanati a San Benedetto del Tronto ne sono state trovate in media un numero leggermente inferiore (122,8 ± 115,1 cisti cm³ ww).

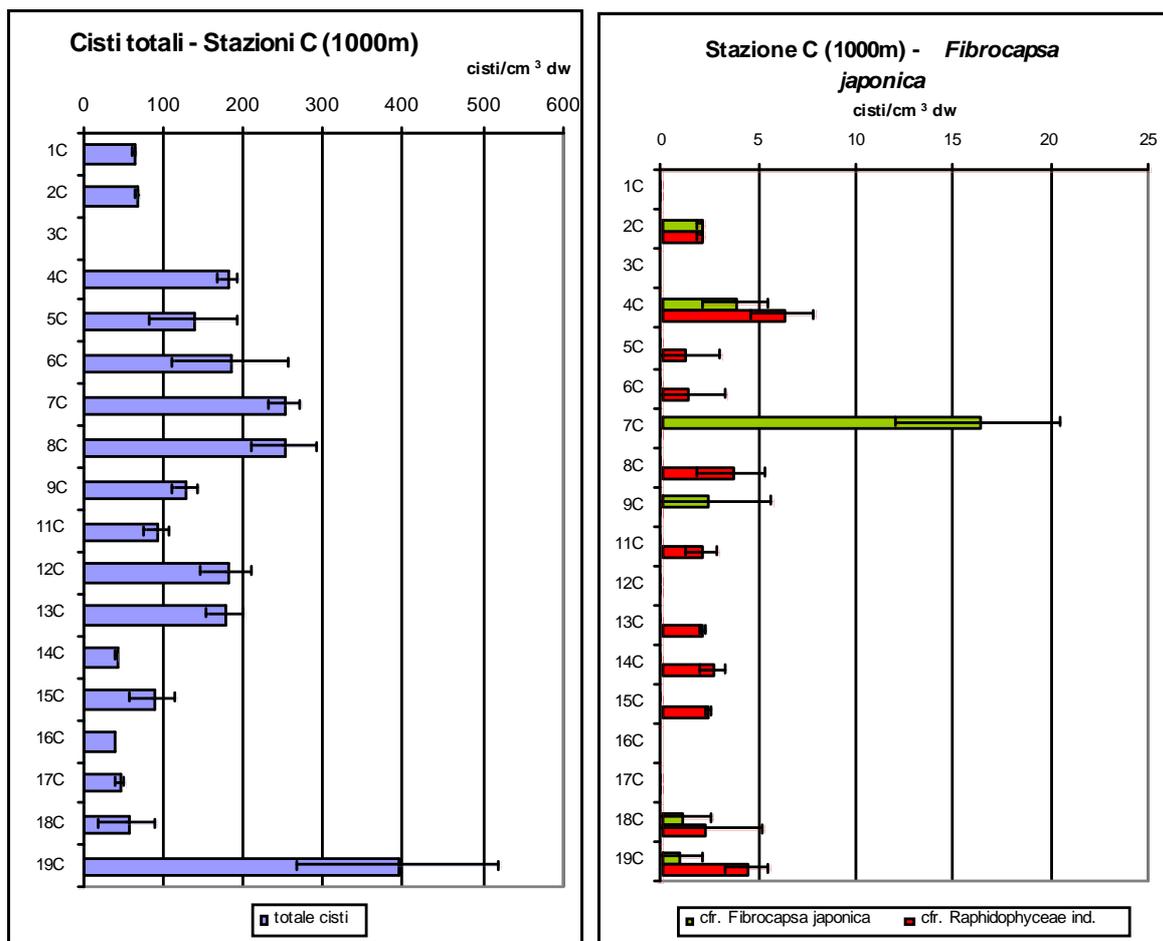


Figura 36 - Numero di cisti totali (n° cisti*cm⁻³ ww ± SD) e di *Fibrocapsa japonica* (n° cisti*cm⁻³ ww ± SD) osservate nei sedimenti campionati a 1000m (transetto C) dalla costa.

In generale non è stato possibile osservare un gradiente di distribuzione delle cisti in relazione alla distribuzione geografica delle stazioni, a parte il fatto che nella stazione 19 (San Benedetto del Tronto) è stato conteggiato il numero di cisti più alto sia nella fascia dei 500m (stazioni B) che in quella dei 1000m (stazioni C).

La presenza delle cisti di *Fibrocapsa japonica* è stata osservata lungo quasi tutta la costa marchigiana, e in particolare nelle zone già interessate in anni passati da abbondanti fioriture di quest'alga. In associazione alla presenza di cisti di *Fibrocapsa* è stata ricercata anche la presenza di eventuali altre Raphidophyceae.

Cisti di *Fibrocapsa japonica* (Figg. 33-35) sono state osservate nelle stazioni 2C (tra Pesaro e Fano), 4C e 5A (Senigallia), 7 (ABC) a largo di Falconara, 8 B, 9C (Ancona), 12A (Porto Recanati), 14 B e C, 16 B (Civitanova Marche), 17B (Porto San Giorgio), 18B e C (Grottamare), 19B e C (San Benedetto del Tronto). Cisti attribuite a *Raphidophyceae* ind. sono state invece osservate in molte più stazioni.

Il numero più elevato di cisti di *Fibrocapsa japonica* è stato osservato nelle stazioni 7C (Falconara – 16,3 cisti cm³ ww) e 19B (San Benedetto del Tronto – 13,8 cisti cm³ ww): a largo di Falconara i bloom di *Fibrocapsa* si sono verificati con una certa regolarità negli ultimi anni, mentre tra Porto San Giorgio e San Benedetto del Tronto la fioritura si è verificata per la prima volta nell'agosto del 2007, e questo evento è stato da noi previsto proprio grazie alla precedente osservazione di cisti nei sedimenti raccolti circa un mese prima del bloom.

6.3.2 Analisi delle cisti nei sedimenti della Area AERCA

Nell'area antistante lo stabilimento API di Falconara, sono stati campionati tre transetti: uno seguiva in percorso dell'oleodotto ed era costituito da 8 stazioni (St.1-8), un altro transetto (RF 1-6), percorreva parallelo l'impianto di raffreddamento, mentre l'ultimo (St.A-F) era situato in prossimità di una futura condotta. Le stazioni poste sul transetto da 1 a 8 erano situate ad una distanza dalla costa molto superiore rispetto a quelle degli altri due transetti. (fino a 16 Km).

Stazioni 1-8. In questo transetto è stato osservato un numero di cisti totali compreso tra 133,7 cisti cm³ ww (St. 2) e 52,6 cisti cm³ ww (St.8), con un valore medio di $80,8 \pm 28$ cisti cm³ ww (Fig. 37). Non è stato osservato un gradiente costa largo per quanto concerne la distribuzione delle cisti, anche se i valori più elevati sono stati registrati nelle stazioni intermedie del transetto. Le cisti di *Fibrocapsa japonica* sono state osservate in tutte le stazioni, fuorché nella stazione 3, con in media $3,7 \pm 2,1$ cisti cm³ ww. Il valore di abbondanza massimo (7 ± 4 cisti cm³ ww) era presente nella stazione 7. Sono state osservate cisti anche di *Raphidophyceae* ind., ma più raramente rispetto a *Fibrocapsa* e con abbondanze inferiori ($2,0 \pm 1,9$ cisti cm³ ww).

Stazioni RF 1-6. Le cisti totali nel transetto parallelo all'impianto di raffreddamento (Fig. 37), mostrano il loro massimo di abbondanza nella stazione RF5 con 156,1 cisti cm³ ww, e il valore più basso (48,8 cisti cm³ ww) nella RF3. In media sono state osservate 93,8 ± 38,6 cisti totali cm³ ww, tra queste, le forme di resistenza di *Fibrocapsa japonica* sono state osservate solo nelle stazioni RF1, RF4 e RF5 con valori di abbondanza medi di 2,7 ± 1,3 cisti cm³ ww. Cisti di *Raphidophyceae* ind. sono state invece ritrovate in tutte le stazioni tranne che nella RF3.

Stazioni A-F. Le cisti totali in questo transetto (Fig. 37) erano in media più abbondanti che negli altri due (103,8 ± 52,5 cisti cm³ ww) con un valore massimo di 201,2 cisti cm³ ww nella stazione St. C. ed il minimo si riferisce invece alla St. E (54,2 cisti cm³ ww). Le cisti di *Fibrocapsa japonica* sono state osservate solo nelle stazioni St.A e St.D con valori rispettivamente di 6,3 e 2,9 cisti cm³ ww.

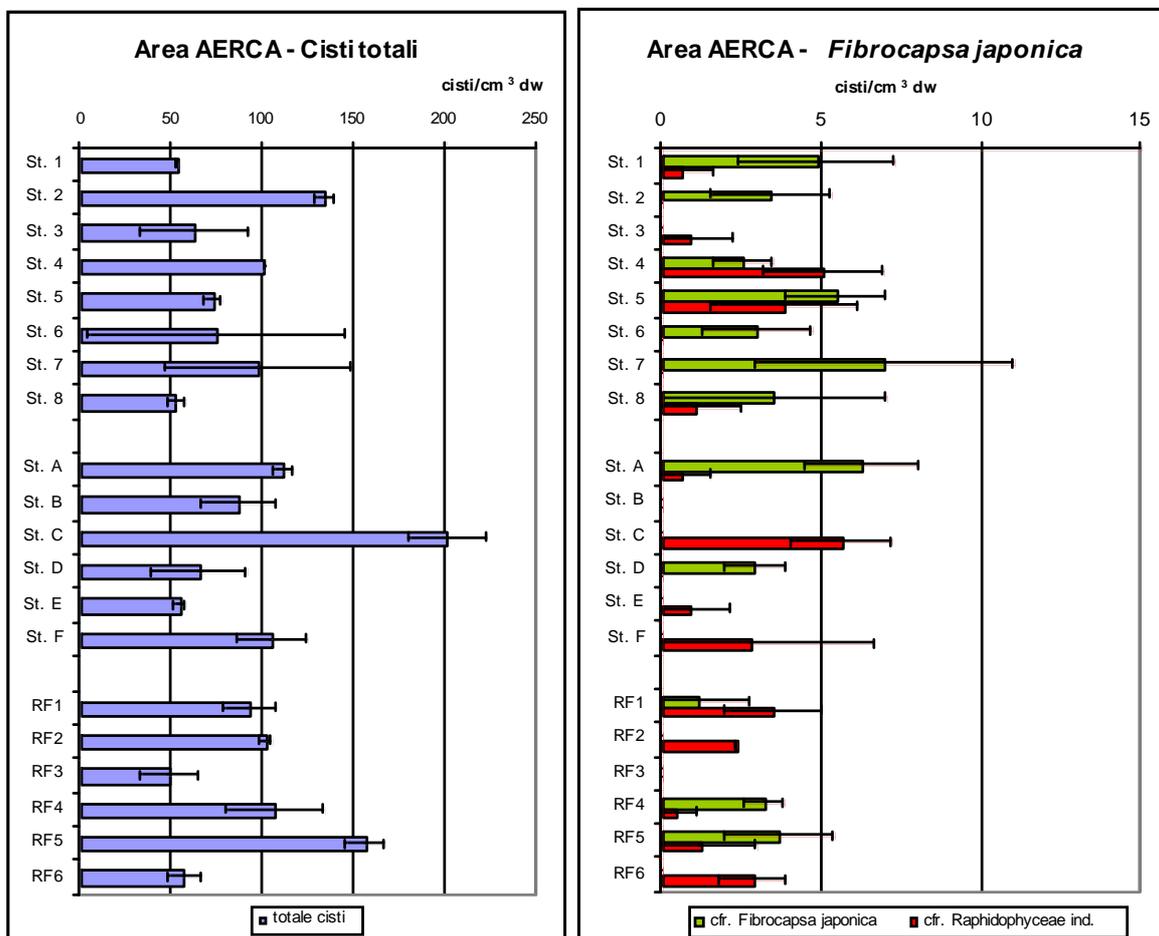


Figura 37. Numero di cisti totali (n° cisti*cm⁻³ ww ± SD) e di *Fibrocapsa japonica* (n° cisti*cm⁻³ ww ± SD) osservate nei sedimenti provenienti dall'area AERCA.

6.3.3 Prove di germinazione

Le cisti provenienti dai sedimenti marini di classificazione tassonomica certa, prelevate direttamente dalla camera di conteggio e poste a germinare in pozzetti di una piastra per colture cellulari (multiwell), sono germinate solo in parte: cellule vegetative appartenenti a dinoflagellate quali di *Alexandrium* sp e *Scrippsiella* sp. sono comparse dopo alcune settimane, mentre le cisti indeterminate o di incerta determinazione quali le "Round brown" non sono germinate durante il periodo di osservazione e le cisti attribuite a Raphidophyceae ind. o *Fibrocapsa japonica* si sono disgregate dopo pochi giorni in camera di coltura.

6.3.4 Analisi molecolare sulle cisti estratte dai sedimenti

L'analisi molecolare effettuata sugli stessi campioni ha confermato, con una concordanza del 94% i risultati ottenuti attraverso l'analisi microscopica (Tabella 9, Tabella 10). Si sono osservate discrepanze soltanto nella stazione 7 di fronte Falconara e nella stazioni st 6 e RF6 dell'area AERCA.

Tabella 9 - Confronto tra i risultati ottenuti dall'analisi molecolare e quella microscopica circa la presenza di cisti di *Fibrocapsa japonica* (*F. jap*) e altre Raphidophyceae (*Raph.ind*) nelle stazioni situate lungo la costa marchigiana.

stazione	Microscopia			stazione	PCR	Microscopia		stazione	PCR	Microscopia	
	PCR	<i>F. jap</i>	<i>Raph.ind.</i>			<i>F. jap</i>	<i>Raph.ind.</i>			<i>F. jap</i>	<i>Raph.ind.</i>
1A	Negativo			1B	Negativo			1C	Negativo		
2A	Negativo			2B	Negativo		X	2C	Positivo	X	X
3A	Negativo			3B	Negativo		X	3C			
4A	Negativo			4B	Negativo			4C	Positivo	X	X
5A	Positivo	X		5B	Negativo		X	5C	Negativo		X
6A	Negativo			6B	Negativo		X	6C	Negativo		X
7A	Negativo	X		7B	Negativo	X		7C	Positivo	X	
8A	Negativo		X	8B	Positivo	X	X	8C	Negativo		X
9A	Negativo			9B	Negativo			9C	Positivo	X	
11A				11B	Negativo			11C	Negativo		X
12A	Positivo	X		12B	Negativo		X	12C	Negativo		
13A				13B	Negativo			13C	Negativo		X
				14B	Positivo	X	X	14C	Negativo		X
				15B	Negativo		X	15C	Negativo		X
				16B	Positivo	X		16C	Negativo		
				17B	Positivo	X	X	17C	Negativo		
				18B	Positivo	X		18C	Positivo	X	X
				19B	Positivo	X	X	19C	Positivo	X	X

Nella stazione 7, posta a largo di Falconara marittima, l'osservazione microscopica aveva messo in evidenza la presenza di cisti di *Fibrocapsa japonica* in tutte e tre le fasce campionate (20, 500 e 1000 m), mentre l'analisi molecolare ne ha riscontrato la presenza solo nei campioni prelevati a 1000 m della costa. Poiché l'area è stata più volte interessata da fioriture di questa microalga, riteniamo possibile che l'analisi molecolare non sia riuscita ad individuare la presenza di cisti di *Fibrocapsa* seppur presenti

nei campioni, verosimilmente in seguito al cattivo stato di conservazione dei campioni utilizzati che potrebbe aver influito sulla degradazione del DNA genomico presente, o ad una perdita di materiale durante estrazione del campione, anche tenendo in considerazione che il numero di cisti di *Fibrocapsa* rinvenuto nelle stazioni 7A e 7B è basso. Si precisa inoltre che le analisi molecolari di PCR sul DNA di tutti i campioni di sedimento sono state validate per testare l'eventuale presenza di agenti inibitori della reazione di PCR; tutti i controlli hanno dimostrato l'assenza di inibitori nei campioni di DNA estratto dai sedimenti.

Tabella 10 - Confronto tra i risultati ottenuti dall'analisi molecolare e quella microscopica circa la presenza di cisti di *Fibrocapsa japonica* (*F. jap*) e altre Raphidophyceae (*Raph.ind*) nelle stazioni situate nell'area AERCA.

stazione	PCR	Microscopia		stazione	PCR	Microscopia		stazione	PCR	Microscopia	
		<i>F. jap</i>	<i>Raph.ind.</i>			<i>F. jap</i>	<i>Raph.ind.</i>			<i>F. jap</i>	<i>Raph.ind.</i>
ST.1	Positivo	X	X	St. A	Positivo	X	X	RF 1	Positivo	X	X
St. 2	Positivo	X		St. B	Negativo			RF 2	Negativo		X
St. 3	Negativo		X	St. C	Negativo		X	RF 3	Negativo		
St. 4	Positivo	X	X	St. D	Positivo	X		RF 4	Positivo	X	X
St. 5	Positivo	X	X	St. E	Negativo		X	RF 5	Positivo	X	X
St. 6	Negativo	X		St. F	Negativo		X	RF 6	Positivo		X
St. 7	Positivo	X									
St. 8	Positivo	X	X								

Nella stazione RF6 al contrario l'analisi molecolare ha messo in evidenza la presenza di cisti di *F. japonica* che invece non sono state rilevate nell'analisi microscopica. Questo può essere dovuto al fatto che le cisti, se presenti in concentrazioni molto basse, possono essere rilevate (come presenza/assenza) da un metodo specifico e sensibile quale quello molecolare, mentre possono non essere rilevate dall'osservazione microscopica, che si basa sull'esame di subcampioni di volumi molto bassi.

6.3.5 Test di tossicità su *Artemia* sp.

Artemia sp. è un piccolo crostaceo anostraco marino, eurialino, di 2-3 cm di lunghezza e con il corpo diviso in tre parti: un capo con due antenne e tre occhi, un torace con due paia di arti forniti di appendici lamellari e un addome. L'organismo utilizzato per il saggio è un nauplio di età inferiore a 48 ore allo stadio larvale II o III del crostaceo marino *Artemia* sp. (Fig. 38) così come viene previsto nel metodo IRSA-CNR (2003a).



Figura 37 - Nauplio di Artemia al II-III stadio larvale

Esistono due tipologie di test: un tipo di prova viene condotta esponendo 10 artemie a 1 ml di coltura algale contenente diverse concentrazioni di cellule ed effettuando l'osservazione della vitalità delle artemie dopo 24 h di incubazione a 25°C; la seconda tipologia viene eseguita con quantità di coltura maggiori e in tempi più lunghi, in quanto 10 artemie vengono esposte a 40 ml di coltura (con concentrazioni di cellule variabili tra 80000 e 110000 cell/ml) per tempi fino a 96 h, facendo osservazioni ogni 24 h (Fig. 38). L'osservazione consiste nel contare le artemie morte e depositate sul fondo del recipiente, considerando morti gli organismi privi di movimento per almeno 10 sec. Le Artemie di controllo erano messe in presenza della diatomea *Phaeodactylum tricornutum*, un'alga utilizzata nell'allevamento di piccoli crostacei.



Figura 38 – Test di tossicità su *Artemia* sp. in 40 ml di coltura

I risultati ottenuti con il primo tipo di test non hanno mostrato effetti letali di *F. japonica* su *Artemia*, tuttavia gli organismi esposti a concentrazioni molto alte di cellule (circa 200000 cell/mL) erano incapaci di nuotare e compivano solo leggeri movimenti delle appendici.

Nel test a volume maggiore invece si è osservata mortalità di alcuni organismi già dopo 24 h e nell'ultimo giorno di osservazione (96 h) la maggior parte (70-80%) degli organismi esposti alle concentrazioni maggiori di cellule algali era morta. Il valore di mortalità diminuiva con il diminuire della

concentrazione e mostrava un andamento diverso a seconda della temperatura di crescita delle colture algali. L'effetto è stato valutato come EC50 (dose che causa la morte del 50% degli organismi) ed è stato espresso in cellule per ml. Come risulta dalla Tabella 11 e dalla Fig. 39, in questo tipo di test le alghe cresciute a 20 e 30°C hanno determinato una EC50 più bassa, risultando così più dannose, rispetto a quelle tenute a 25°C.

Tabella 11 – Valori di EC50 ottenuti dal test su *Artemia* sp. esposta a colture algali cresciute a diversi valori di temperatura.

Test di tossicità su <i>Artemia</i> sp.	
	EC50 (cell/ml) 96h
20°C	26416
25°C	60543
30°C	36178

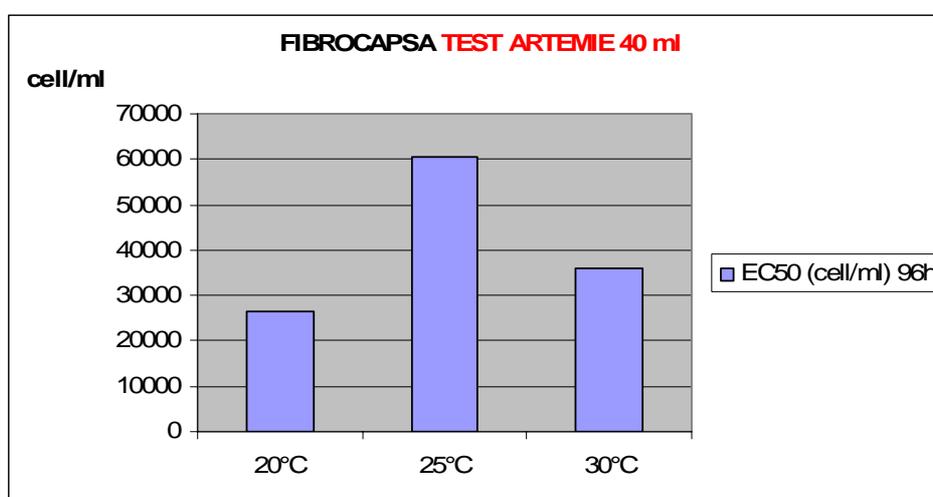


Figura 39 – Effetto tossico (EC50) su *Artemia* sp. esposta a colture algali cresciute a diversi valori di temperatura.

6.3.6 Test di emolisi con eritrociti di carpa

Per valutare il presunto effetto emolitico di *F. japonica* sono stati effettuati test sui globuli rossi di un campione ematico prelevato da carpe *Cyprinus carpio*, effettuati secondo Eschbach *et al.* (2001).

Per effettuare il test è stato utilizzato 1 mL di soluzione con gli eritrociti in aggiunta ad 1 mL di sospensione algale, ottenuta centrifugando 10-20 mL della coltura di alghe da testare in modo da eliminare il soprannatante. Il precipitato è stato sospeso in un tampone ELA (Erythrocyte Lysis Assay), quindi sonicato.

I test sono stati realizzati utilizzando 5 differenti diluizioni della sospensione algale preparata come sopra e aggiunta agli eritrociti, mantenendo la sospensione alla temperatura di 15°C per un periodo di 20 ore, al termine delle quali il campione è stato centrifugato.

Dopo la centrifugazione gli eritrociti ancora intatti sono raccolti sul fondo della provetta, mentre quelli che hanno subito lisi hanno riversato il contenuto cellulare nella soluzione. La quantità di emoglobina liberata dalla lisi degli eritrociti è stata valutata misurando l'assorbanza della soluzione con lo spettrofotometro, alla lunghezza d'onda di 540 nm.

Le percentuali di emolisi sono ricavate dal confronto con il valore massimo corrispondente al 100% di lisi, ottenuto trattando con il sonicatore un campione di eritrociti contenente 1.3×10^7 cellule/mL. Inoltre ogni test è stato validato utilizzando una sostanza fortemente emolitica, la saponina della corteccia di *Quillaja* (ottenuta da Sigma).

I risultati hanno mostrato che *Fibrocapsa japonica* provoca effetti emolitici, con valori di emolisi proporzionali alla concentrazione delle cellule algali, tali effetti sono stati valutati come EC50 (dose che causa la lisi del 50% dei globuli rossi) ed espressi in cellule per ml. Sono risultate più emolitiche le alghe cresciute a 20 e 25°C mentre, aumentando ulteriormente la temperatura, l'effetto emolitico è risultato minore (Tabella 12 e Fig. 40)

Tabella 12 - Valori di EC50 ottenuti dal test di emolisi su colture algali cresciute a diversi valori di temperatura.

Test di emolisi	
	EC50 (cell/ml)
20°C	10913
25°C	4989
30°C	37600

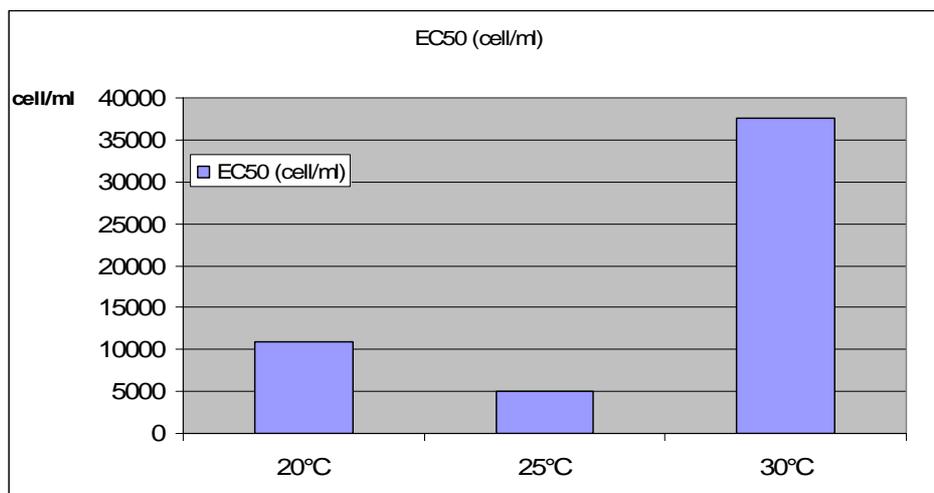


Figura 40 - Effetto emolitico (EC50) delle colture algali cresciute a diversi valori di temperatura.

6.3.7 Test di tossicità sul batterio *Vibrio fischeri*

Vibrio fischeri è un batterio marino di profondità, dotato di bioluminescenza legata direttamente alla respirazione cellulare, di cui è un effetto collaterale. Ogni inibizione dell'attività cellulare dovuta, per esempio, ad una sostanza tossica, si traduce in una diminuzione del tasso di respirazione, con un corrispondente calo del tasso di luminosità, proporzionale all'intensità tossica della sostanza con cui i batteri vengono a contatto. Il batterio *Vibrio fischeri*, infatti, emette luce di colore blu-verde con un massimo alla lunghezza d'onda di 430 nm, purchè sia presente ossigeno.

I test sono stati effettuati seguendo il metodo IRSA-CNR (2003b). Per il saggio è stato utilizzato il ceppo NRRL-B-11177; i campioni da testare si sono ottenuti concentrando un volume noto di estratto algale, aggiungendo in seguito 5 ml di soluzione diluente e sonicando per 20 minuti.

Oltre al controllo (soluzione diluente) sono state saggiate nove diverse concentrazioni di ciascun campione, inoltre per ogni set è stato aggiunto un bianco contenente solo il diluente.

Il test viene eseguito sospendendo in una cuvetta i batteri in 1 mL di acqua ultrapura e misurando l'emissione luminosa a 15°C. Si aggiungono poi 0.5 mL di soluzione campione preventivamente termostata a 15°C per 15 min, quindi effettuando letture a 5 e 15 minuti.

Come si può vedere dai valori di EC 50 riportati in Tabella 13 e Fig. 41, i risultati hanno mostrato che l'effetto di inibizione della bioluminescenza diminuisce all'aumentare della temperatura di crescita di *F. japonica*, in particolare al passaggio dalla temperatura di crescita da 25 a 30°C.

Tabella 13 - Valori di EC50 ottenuti dal test sul batterio bioluminescente *Vibrio fischeri* esposto a colture algali cresciute a diversi valori di temperatura.

Test di tossicità sul batterio bioluminescente <i>Vibrio fischeri</i>	
	EC50 (mg/l)
20°C	4,30
25°C	4,90
30°C	7,38

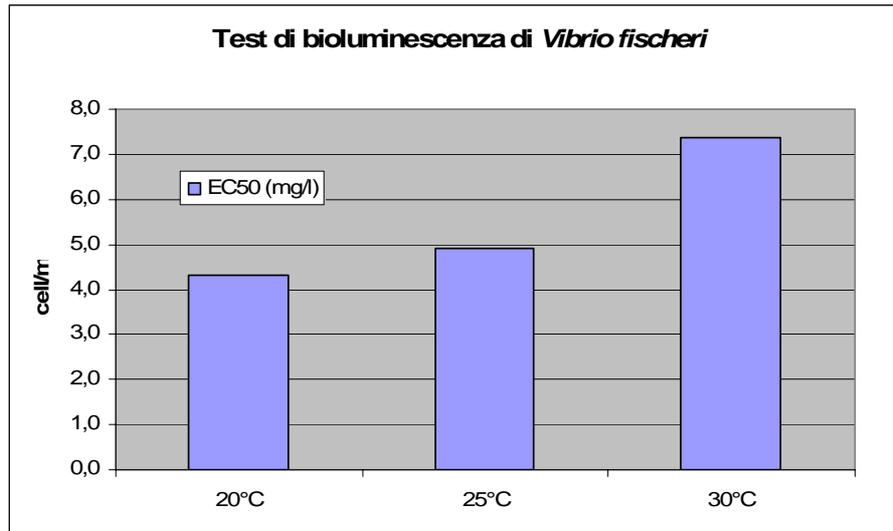


Figura 41 - Effetto tossico (EC50) sul batterio *Vibrio fischeri* esposto a colture algali cresciute a diversi valori di temperatura.

6.3.8 Test di tossicità su branzino

L'utilizzo di pesci quali indicatori della qualità degli ambienti acquatici si inserisce in metodologie adottate da tempo in diverse nazioni (US-EPA, 1993). In campo italiano, invece, si è nella fase di validazione di metodi che prevedano la possibilità di adottare tali organismi, in particolar modo il Decreto Legislativo 152/99 ha affidato all'ANPA il compito di effettuare studi al fine di predisporre protocolli operativi in materia. In letteratura sono diverse le specie ittiche ritenute idonee per questo tipo di test e comprendono principalmente specie tipicamente di acque dolci o tipiche di acque tropicali, non presenti perciò nei nostri mari (IRSA-CNR, 2003c). L'ARPA di Ferrara, in collaborazione con l'ANPA, ha proposto l'utilizzo del branzino (*Dicentrarchus labrax*) come organismo bersaglio, in quanto specie ittica autoctona e di cui si ha la disponibilità di protocolli standardizzati relativamente alla produzione in condizioni controllate e al mantenimento in laboratorio delle fasi larvali e giovanili.

Prima di effettuare i test si è reso necessario l'allestimento di due acquari della capacità di circa 60 litri, equipaggiati con filtri meccanici e biologici (Fig. 42).

Il movimento dell'acqua è stato affidato ad una pompa centrifuga, mentre l'ossigenazione è stata assicurata da un aeratore a membrana che alimentava due pietre porose, una è stata collocata direttamente in vasca mentre l'altra è stata sistemata sotto il filtro biologico, allo scopo di fornire ossigeno ai batteri aerobi, il cui compito è quello di garantire una costante pulizia biochimica dell'acqua.



Figura 42 – Acquario allestito per il test di tossicità su branzino.

Durante tutta la fase sperimentale, la vasca che ospitava i pesci è stata tenuta alla temperatura costante di 20°C, con una salinità di 35 psu e un fotoperiodo di 16 ore di luce.

Per effettuare il test di tossicità, i pesci sono stati introdotti in diverse vaschette di plastica trasparente, provviste di ossigenatore, contenenti ciascuna 1,5 litri di coltura algale cresciuta alle diverse temperature (20, 25, 30°C) in cui sono stati immersi 4 organismi (Fig. 43).

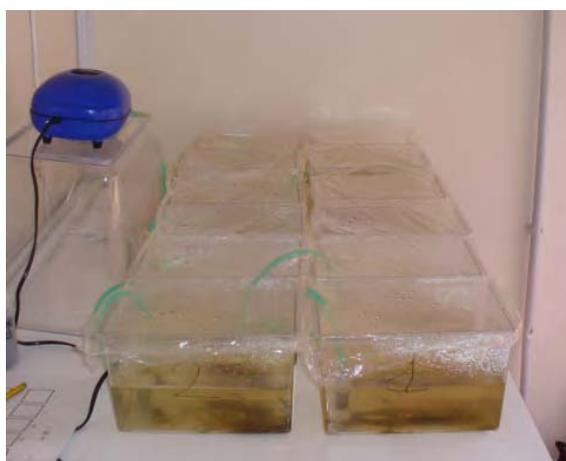


Figura 43 – Vaschette utilizzate per il test su branzino.

Sono state allestite anche alcune vaschette di controllo che consistevano nell'espore i pesci alla diatomea *Phaeodactylum tricornutum* un'alga sicuramente innocua in quanto utilizzata per l'allevamento intensivo di piccoli crostacei.

In un primo momento i pesci sono stati mantenuti per 7 giorni in presenza delle alghe; in questo periodo di tempo non è stata osservata mortalità di nessun organismo. Al termine della prova sono stati reimmessi in acquario, mantenendoli separati dai pesci non esposti, per poter osservare eventuali effetti conseguenti all'esposizione; i pesci non hanno però mostrato effetti particolari, visibilmente rilevabili.

Successivamente altri pesci sono stati esposti a *F. japonica* per un periodo più lungo; quelli esposti alle alghe cresciute alla temperatura di 20 e 25°C sono morti tutti tra l'11° e 12° giorno di esposizione, mentre le alghe cresciute a 30°C hanno determinato la morte di un solo pesce al 13° giorno dopodiché la prova è stata conclusa (Fig. 44). I pesci morti avevano le branchie meno irrorate di sangue e intasate da muco.



Figura 44 – Esemplari di branzino morti in seguito all'esposizione prolungata all'alga.

Anche in questo caso, pertanto, l'aumento di temperatura di crescita delle alghe ha mostrato una diminuzione della tossicità. I risultati sono schematizzati in Tabella 14 dove si osserva che gli organismi delle vasche di controllo erano tutti vivi alla fine della prova.

Tabella 14 – Risultati del test di tossicità su branzino.

Test di tossicità su avannotti di branzino				
Giorni di esposizione	20°C	25°C	30°C	<i>Phaeodactylum</i>
	68591 cell/ml	70614 cell/ml	40467 cell/ml	
11-12	Tutti morti	Tutti morti		
13			1 morto	Tutti vivi

6.3.9 Analisi delle neurotossine

Per queste analisi sono state allestite colture di 1,5 litri e, dopo aver raccolto le alghe per filtrazione, sono stati preparati gli estratti utilizzando una miscela di cloroformio/metanolo e un sistema a riflusso in Soxhlet. Al termine gli estratti sono stati filtrati e concentrati mediante evaporazione del solvente sotto vuoto e in seguito ripresi con opportuni solventi, in modo da poter effettuare le analisi chimiche. Le analisi effettuate sono state di tipo HPLC-MS e ^1H NMR. Le acquisizioni degli spettri NMR sono state effettuate in CDCl_3 e hanno evidenziato profili molto simili alle diverse temperature (Fig. 45), presentando picchi caratteristici di diverse sostanze naturali, tra cui carboidrati e acidi grassi, ma senza evidenziare la presenza di picchi associabili alle brevetossine. Le determinazioni HPLC-MS sono state effettuate in ESI positivo e negativo e anche in questo caso non è emersa negli estratti la presenza di neurotossine simili a brevetossine.

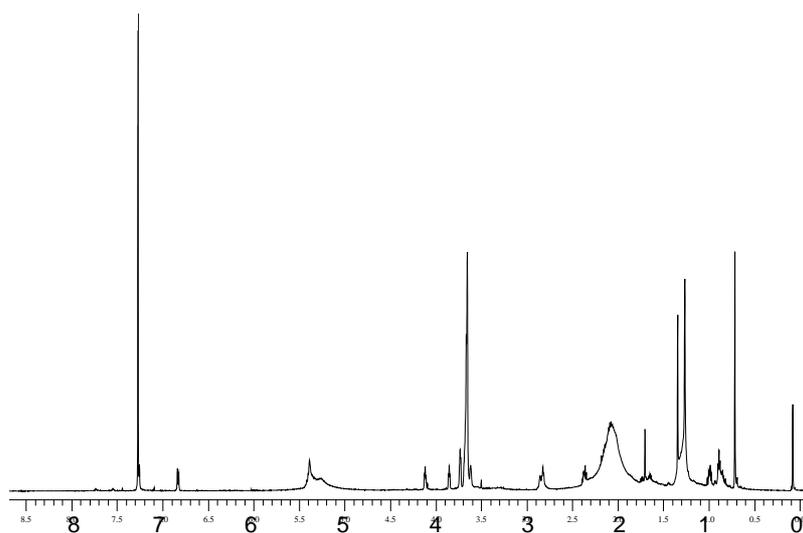


Figura 45 - Spettro ^1H NMR in CDCl_3 caratteristico di un estratto algale di *Fibrocapsa japonica*.

6.3.10 Analisi qualitativa di acidi grassi poliinsaturi in estratti algali

Le microalghe sono potenziali fonti di varie sostanze naturali, fra queste proteine, carboidrati e lipidi, questi ultimi principalmente trigliceridi e steroli ma anche acidi grassi liberi, di cui le microalghe in ambiente marino rappresentano la maggior fonte (Aaronson *et al.*, 1980).

Non tutti i composti presenti vengono rilevati con analisi chimiche GC-MS, in particolare quelli ad elevato peso molecolare o molto polari, che risultano poco volatili. Le sostanze che sono state riconosciute nei gascromatogrammi appartengono principalmente alle classi di carboidrati, aminoacidi,

acidi grassi e steroli. Gli acidi grassi rilevati sono quelli già presenti come tali nelle alghe, in particolare i composti più abbondanti sono risultati essere l'acido palmitico, miristico e stearico per quanto riguarda gli acidi saturi, l'acido palmitoleico, l'oleico, il linoleico, il linolenico e l'ottadecatetraenoico per quanto riguarda gli acidi insaturi a 18 atomi di carbonio e, infine, l'arachidonico e l'eicosapentenoico per gli acidi polinsaturi a 20 atomi di carbonio (Fig. 46).

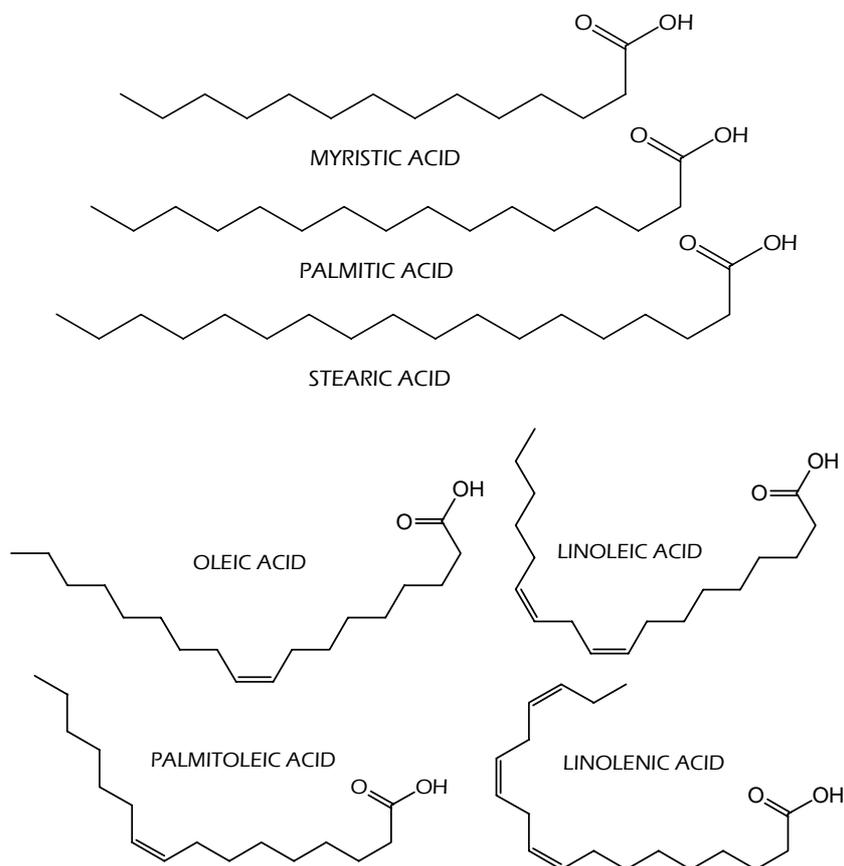


Figura 46 – Esempio di acidi grassi saturi e insaturi ritrovati nelle alghe.

Gli ultimi 3 sono gli acidi grassi polinsaturi (PUFA) trovati anche in un ceppo olandese di *F. japonica* e a cui sono stati imputati effetti emolitici (Fig. 47).

Frazioni contenenti gli acidi grassi linolenico (18:3), arachidonico (20:4) e l'eicosapentenoico (20:5) sono state utilizzate per effettuare test di tossicità su *Artemia* e test di emolisi. Tali acidi grassi hanno mostrato effetto emolitico su eritrociti ed effetti tossici su *Artemia* ma solo a concentrazioni molto elevate, non paragonabili a quelle rilasciate dalle alghe presenti in una coltura o fioritura.

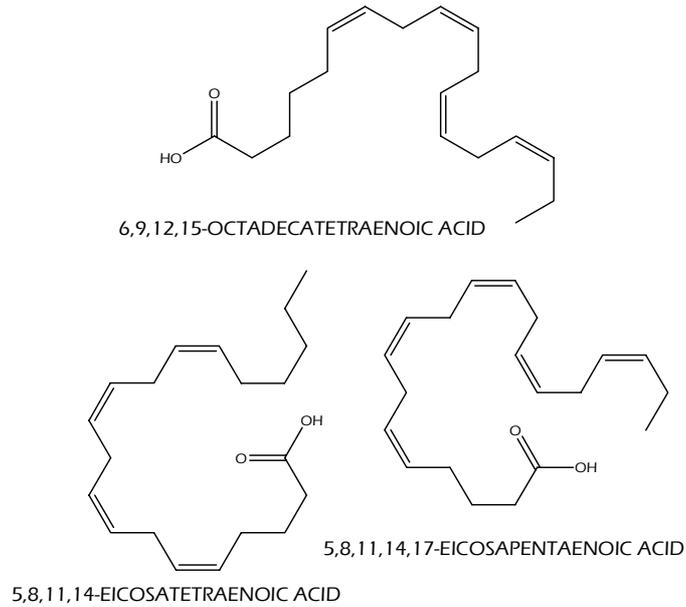


Figura 47 – PUFA ritrovati in un ceppo olandese di *Fibrocapsa japonica*.

6.3.11 Analisi quantitativa delle specie reattive dell'ossigeno

In queste prove sono stati misurati i quantitativi di perossido di idrogeno (H_2O_2) rilasciati da *F. japonica* in 3 diverse condizioni: nel terreno di coltura filtrato (rilascio extracellulare), nel terreno di coltura contenente anche le alghe sonicate (rilascio più contenuto intracellulare) e nell'acqua (filtrata) delle vasche in cui le alghe erano state messe in contatto con i pesci (rilascio extracellulare in presenza dei pesci). Tutte queste prove sono state condotte alle 3 temperature già indicate e ancora una volta i risultati sono stati messi a confronto con quelli ottenuti utilizzando la diatomea *P. tricornutum*. Il perossido di idrogeno è stato misurato con il metodo FOX1 (Bellincampi *et al.*, 2000) basato sulla ossidazione del Fe^{2+} a Fe^{3+} , mediata dall'enzima perossidasi; il ferro ossidato forma un complesso con arancio xilenolo che viene evidenziato misurandone l'assorbanza a 560 nm. Il quantitativo di H_2O_2 prodotto è stato calcolato sulla base di una curva di taratura eseguita con concentrazioni note di acqua ossigenata, effettuata sia nel terreno di coltura f/2 sia in acqua di mare (Fig. 48).

Le prove hanno messo in evidenza un rilascio modesto di perossido di idrogeno da parte sia di *P. tricornutum* che di *F. japonica*, per quanto riguarda quest'ultima, a qualsiasi temperatura di crescita; non si evidenzia un aumento di questa specie reattiva dell'ossigeno in seguito a rottura delle cellule.

Il risultato più significativo, per quanto riguarda *Fibrocapsa* consiste nel fatto che la presenza dei pesci stimola la produzione e il rilascio di perossido di idrogeno, cosa che non si verifica per la

diatomea. Anche in questo caso l'aumento di temperatura non determina un incremento degli effetti osservati (Fig. 49).

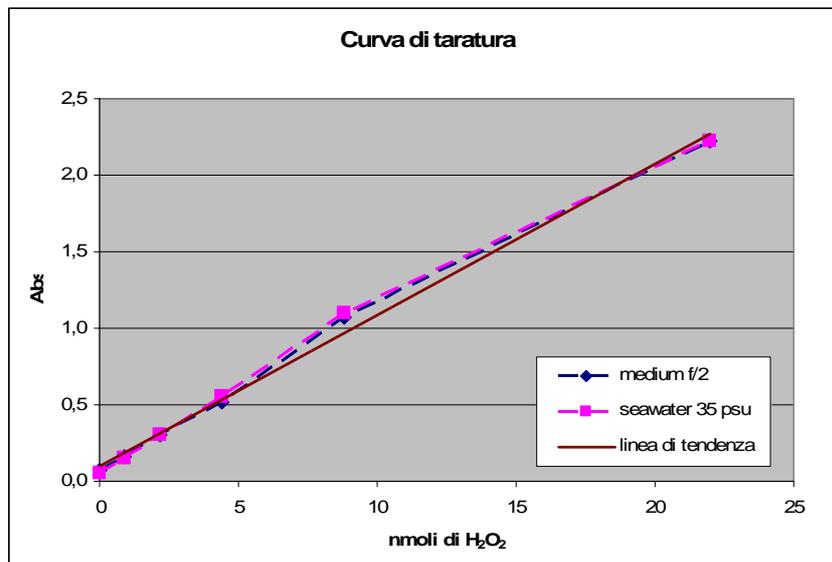


Figura 48 – Curva di taratura per la determinazione del perossido di idrogeno.

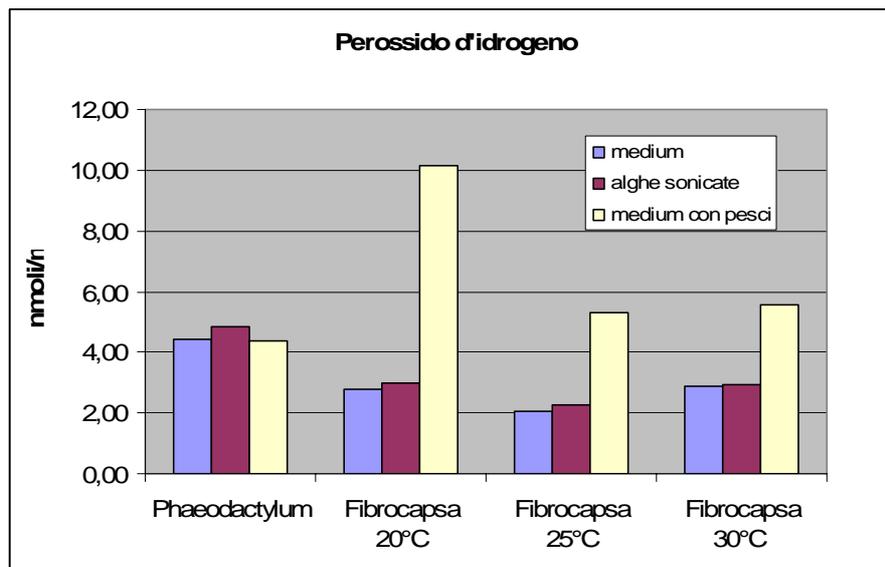


Figura 49 – Perossido di idrogeno (nmoli/ml) prodotti da *F. japonica* cresciuta a 3 diverse temperature.

Il rilascio di anione superossido è stato misurato allo spettrofotometro sulla base della riduzione che determina nella molecola del ferricitocromo *c*, misurata come incremento di assorbanza a 540 nm (Oda *et al.*, 1992). La reazione è stata effettuata in presenza e in assenza dell'enzima superossidodismutasi (SOD) che inibisce la riduzione del ferricitocromo *c* attraverso l'eliminazione dell'anione superossido. La

quantità di anione superossido viene determinata per differenza tra l'assorbanza del citocromo *c* con e senza SOD.

La prova è stata eseguita utilizzando una sospensione di cellule di *F. japonica* cresciute alle 3 temperature e utilizzando come confronto microalghe del genere *Chattonella* note per produrre quantità di anione superossido tossiche per i pesci. *F. japonica* non è risultata produrre quantità rilevabili di anione superossido mentre *C. ovata* e *C. marina* hanno rilasciato quantità comprese tra 2,8 e 4 nmoli per ml di coltura, paragonabili a quelle riportate in letteratura (Oda *et al.*, 1992).

6.3.12 Test di crescita delle alghe in acqua di uscita dall'impianto

Il test è stato effettuato facendo crescere le alghe in 5 diverse diluizioni dell'acqua di uscita dall'impianto, ottenute addizionandola con acqua di mare, prelevata in Adriatico a distanza dalla costa, in modo da avere i seguenti valori: 100%, 80%, 60%, 40%, 20% di acqua proveniente dall'impianto, più un controllo con sola acqua di mare. L'acqua, avente una salinità di circa 38 psu, è stata sterilizzata per filtrazione ed addizionata di nutrienti necessari per la crescita delle alghe (terreno f/2); sono state allestite delle beute in due repliche contenenti 800 ml di terreno e uno stesso inoculo iniziale di alghe. Le colture sono state tenute in camera termostatica alla temperatura di 25°C, sono state seguite per 17 giorni e la crescita delle alghe è stata valutata con conteggi eseguiti ad intervalli di 3 giorni circa.

Le colture messe in presenza delle concentrazioni con 20 e 40% di acqua di uscita dall'impianto hanno presentato una crescita uguale al controllo (0%); si è invece riscontrata una diminuzione di crescita di circa il 15-20% nelle colture in presenza del 60, 80 e 100% di acqua proveniente dall'impianto (Fig. 50).

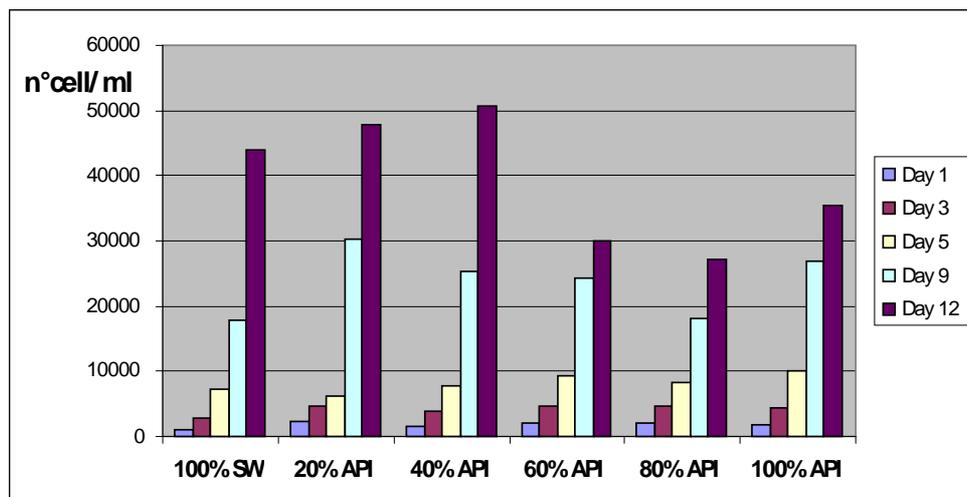


Figura 50 – Variazioni di crescita dell'alga alle diverse concentrazioni di acqua di uscita dall'impianto.

6.4 Considerazioni conclusive

6.4.1 Presenza di cisti di resistenza nei sedimenti della costa marchigiana

Le analisi microscopiche e molecolari hanno evidenziato la presenza di cisti di *Fibrocapsa japonica* lungo tutta la costa marchigiana ed in particolare nelle aree periodicamente interessate dalle fioriture. Le densità più elevate sono state riscontrate nell'area di Falconara e San Benedetto del Tronto. La presenza di cisti è stata rilevata anche nei sedimenti dell'area AERCA, con valori paragonabili a quelli riscontrati nelle altre aree. Le cisti di *F. japonica* rappresentavano fino al 9% delle cisti totali nei sedimenti dell'area AERCA, mentre nelle stazioni della costa marchigiana raggiungevano la percentuale massima di 8,5%.

In questo lavoro abbiamo preso in considerazione anche cisti appartenenti ad altre Raphidophyceae cui *F. japonica* appartiene, in quanto le fioriture di *Fibrocapsa japonica* nel mare Adriatico sono spesso associate alla presenza, con densità variabili, anche di altre specie di questo gruppo. Nonostante tali specie non abbiano fino ad ora provocato blooms in Adriatico, sono comunque specie potenziali produttrici di sostanze tossiche ed essendo affini a *Fibrocapsa japonica* potrebbero beneficiare delle stesse condizioni favorevoli di crescita. Le densità delle cisti attribuite a Raphidophyceae rappresentavano fino al 12,7% delle cisti totali nell'area AERCA e il 10,4% nelle stazioni situate lungo il litorale marchigiano.

L'osservazione e il conteggio delle cisti non ha messo in evidenza l'esistenza di un gradiente nord-sud o costa-largo, sia per quanto concerne la distribuzione delle cisti totali sia per quelle di *F. japonica* e di altre Raphidophyceae.

6.4.2 Effetto dell'acqua di uscita dall'impianto sulla crescita di *F. japonica*

L'acqua di uscita dall'impianto non stimola la crescita dell'alga, sia per quanto riguarda l'aumento di temperatura sia per quanto riguarda la presenza di ipoclorito di sodio come disinfettante; l'aggiunta di quest'ultimo composto, al contrario, ha un leggero effetto di inibizione sulla crescita dell'alga, evidente solo alle concentrazioni più elevate.

6.4.3 Effetti sugli organismi

I test biologici di tossicità hanno messo in evidenza che *F. japonica* esercita degli effetti tossici su alcuni organismi, in particolare mostra letalità verso il crostaceo *Artemia* sp. e verso gli avannotti di branzino.

Questi effetti si manifestano in presenza di densità cellulari molto elevate ed in tempi di esposizione prolungati per cui si può supporre che non debbano esserci conseguenze particolarmente gravi su organismi che vivono liberi nell'ambiente e che, nuotando, possono sottrarsi alla presenza dell'alga. Il pericolo potrebbe essere maggiore per organismi che vivono in spazi confinati come quelli utilizzati per l'allevamento delle specie ittiche.

I test biologici hanno mostrato, da parte di *F. japonica*, anche effetti di inibizione della bioluminescenza del batterio *Vibrio fischeri* ed effetti emolitici in eritrociti di carpa.

6.4.4 Meccanismo di tossicità

Il ceppo di *F. japonica* isolato nel Mare Adriatico non è risultato produttore di neurotossine simili a brevetossine. Produce acidi grassi con effetto emolitico, tuttavia questo effetto si manifesta solo per concentrazioni elevate che non si ritiene possano essere raggiunte in ambiente, anche in presenza di crescita elevata o di fioritura.

Le osservazioni effettuate sulle artemie e sui branzini morti fanno pensare ad un effetto meccanico dovuto al rilascio di muco che interferirebbe con i movimenti delle artemie o con la respirazione branchiale dei pesci. In effetti le colture di *F. japonica* cresciute a temperature più elevate producono meno muco e sono risultate meno letali.

Non si può escludere che effetti tossici possano essere causati anche da specie reattive dell'ossigeno, quali il perossido di idrogeno, la cui produzione aumenta quando l'alga si trova in presenza dei pesci.

Marshall *et al.* (2003) hanno postulato un meccanismo di tossicità causato dall'azione combinata di specie reattive dell'ossigeno e di acidi grassi poliinsaturi; a questo si potrebbe aggiungere l'effetto meccanico dei polisaccaridi che potrebbero favorire l'adesione delle alghe alle branchie e permettere il rilascio delle sostanze nocive direttamente a contatto con questi organi.

6.4.5 Effetto dell'aumento di temperatura sulla tossicità

Gli effetti tossici sopra riportati mostrano una generale tendenza alla diminuzione quando l'alga cresce a temperature di 25 e, in maniera più evidente, di 30°C rispetto agli effetti mostrati a 20°C.

7. Analisi degli effetti del refluo termico sulla tossicità e sull'accrescimento di *F. japonica*

7.1 Sviluppo di *Fibrocapsa japonica* in relazione a differenti variabili ambientali

Negli ultimi trenta anni, si è assistito ad una espansione geografica ed intensificazione di fioriture di *Fibrocapsa japonica* su scala globale (de Boer, 2005). Questi fenomeni hanno interessato ed interessano attualmente sia sistemi marini costieri di aree temperate calde sia fredde di entrambi gli emisferi boreale ed australe.

Un'areale di distribuzione biogeografia così ampio (Fig. 51) lascia presupporre una elevata capacità adattativa di *F. japonica* in relazione ai forti gradienti ambientali ed ecologici in cui tale specie è stata documentata. In particolare al fine di comprendere meglio le potenziali strategie di adattamento di *F. japonica* alle differenti condizioni ambientali alcuni studi si sono focalizzati alla valutazione delle risposte biologiche ed ecofisiologiche di questa specie in differenti condizioni sperimentali.

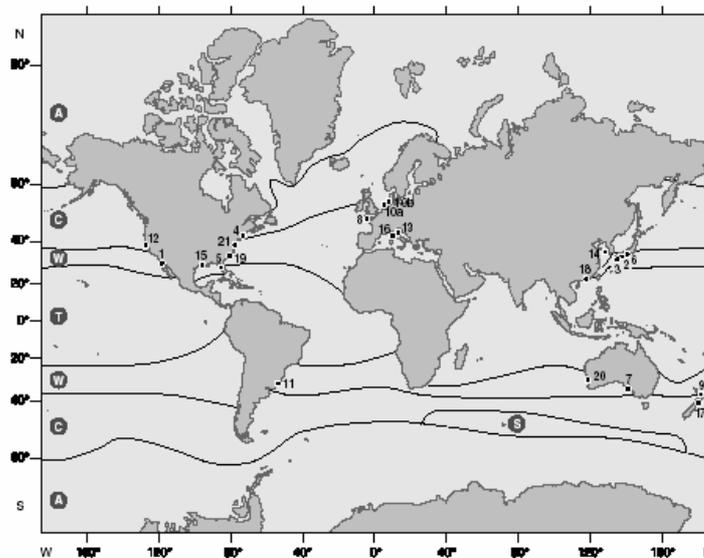


Figura 51 - Segnalazioni di *F. japonica* su scala globale (evidenziate dai numeri) a partire dagli anni 70 fino alla fine degli anni 90 (mappa di distribuzione da de Boer et al. 2005)

I primi studi effettuati su ceppi di *F. japonica* isolati da campioni prelevati nel Mar del Giappone sono stati indirizzati alla comprensione dei potenziali effetti dell'eutrofizzazione sulle dinamiche di sviluppo di questa alga (Iwasaki, 1973). Questi studi hanno permesso di stabilire in condizioni sperimentali che un'ampia varietà di composti organici (e.g. purine, pirimidine, ormoni vegetali, vitamina B12, urea) stimola la crescita di *F. japonica* (Yamaguchi *et al.*, 2005; Edvardsen & Imai, 2006). Successivi approfondimenti in tale direzione sono stati rivolti alla valutazione degli optimum nutrizionali a sostegno della crescita di *F. japonica* isolata da sistemi eutrofici del Mar del Nord (de Boer *et al.*,

2004). La crescita cellulare di *F. japonica* del Mar del Nord necessita di concentrazioni di nutrienti inorganici relativamente elevati ($q_0N = 7.1 \text{ pmol cell}^{-1}$; $q_0P = 0.29 \text{ pmol cell}^{-1}$) con un rapporto ottimale azoto:fosforo (N:P) di ca. 25 (quindi differente da quanto predicibile sulla base dal rapporto N:P di 16; Redfield *et al.*, 1963). L'elevato rapporto N:P richiesto a sostegno della crescita di *F. japonica* potrebbe rappresentare un vantaggio competitivo nei riguardi di altre specie algali che richiedono una maggiore quantità di fosforo per crescere (De Boer *et al.*, 2004). Questa condizione è tipica di numerose aree marino costiere, tra cui l'Adriatico settentrionale, in cui sono stati ripetutamente documentati elevati rapporti N:P (Degobbis *et al.* 2000; Degobbis *et al.*, 2005).

Negli ultimi anni alcune ricerche si sono focalizzate, alla valutazione degli effetti della temperatura sulle dinamiche di crescita di *F. japonica* isolata da campioni provenienti da sistemi marino costieri biogeograficamente distanti (mare del Nord, Mar del Giappone, sistemi marino costieri della Nuova Zelanda) e con caratteristiche ambientali differenti, al fine di poter meglio comprendere i pattern di distribuzione spaziale, lo sviluppo stagionale ed i fenomeni di fioritura ad essa associati (de Boer *et al.*, 2005). Tali studi hanno permesso di stabilire sia gli intervalli di temperatura ottimale di crescita di *F. japonica* (21°C e 24.5°C) sia l'intervallo di tolleranza termica di questa specie (9.5–12.5°C fino a 29–32°C). Tuttavia le temperature in grado di sostenere i massimi tassi di crescita dell'alga in condizioni di laboratorio erano in molti casi differenti da quelli tipici delle condizioni naturali (e.g. la temperatura nelle acque della nuova Zelanda varia in un intervallo di valori estremamente ridotto: tra 11°C e 16°C) e generalmente disgiunti da quelle in cui sono state osservate intense fioriture di *F. japonica*.

Pertanto, sebbene la temperatura da sola non determini la dominanza di una popolazione algale negli ecosistemi naturali, in questo studio sono state valutate le cinetiche ed i tassi di crescita di ceppi di *F. japonica* isolati in Adriatico al variare della temperatura e della salinità. La principale finalità di questo studio è quella di implementare le conoscenze sull'adattamento biologico di questa specie alle condizioni locali e fornire indicazioni sulla potenziale influenza della temperatura sulla periodicità delle fioriture osservate dal 1997 ad oggi in differenti aree marino-costiere dell'Adriatico centro-settentrionale.

7.2. Influenza della temperatura e salinità su ceppi di Fibrocapsa japonica isolati in Adriatico

7.2.1 Attività sperimentali

Ceppi di *Fibrocapsa japonica* sono stati isolati da campioni raccolti nell'area marina-costiera antistante Palombina (Ancona) nell'estate del 2004 e 2006 dal laboratorio di Botanica marina del Dipartimento di Scienze del Mare di Ancona (Università Politecnica delle Marche). Colture monoclonali sono state ottenute attraverso l'utilizzo del terreno di coltura f/2 (Guillard, 1975) in condizioni di temperatura

($20 \pm 1^\circ\text{C}$) e luce controllate ($85 \mu\text{mol fotoni m}^{-2} \text{s}^{-1}$; ciclo giornaliero luce:buio 16: 8 ore). I ceppi isolati di *Fibrocapsa japonica* sono stati successivamente utilizzati per la valutazione degli effetti delle variazioni della temperatura e della salinità sulle crescite cellulari. A tale scopo sono stati allestiti esperimenti di microcosmo, effettuati a partire da un valore iniziale di abbondanza cellulare omogeneo) con valori di salinità del mezzo di coltura di 25, 30, 35, 38 e 42 e temperature di incubazione di 16, 20 e $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Le salinità di 25 e 42 sono state utilizzate al fine di identificare potenziali capacità adattative di *F. japonica* a regimi alini estremi (e.g. aree marino-costiere soggette ad elevato apporto fluviale e aree semi-confiniate all'interno delle barriere frangiflutto soggette ad elevata evaporazione nel periodo estivo).

Tutte le colture sono state mantenute ad irradianza costante di $85 \mu\text{mol fotoni m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (ciclo giornaliero luce:buio 16:8 ore) fino ad un massimo di 26 giorni. Per la determinazione delle curve di crescita, i conteggi cellulari sono stati effettuati su sub-campioni prelevati a giorni alterni e sempre alla medesima ora. Il tasso specifico di crescita μ è stato calcolato prendendo in considerazione la parte della curva di crescita in cui le cellule aumentano di numero, secondo una funzione esponenziale.

In questa fase, la variazione del numero di cellule (N) nel tempo (t) è proporzionale al numero di cellule iniziali N_0 secondo la seguente funzione:

$$N_t = N_0 \exp(\mu t)$$

Risolviendo per μ di ottiene:

$$\mu = \frac{\ln N_t / N_0}{t}$$

in cui μ è il tasso specifico di divisione, ha dimensioni t^{-1} e rappresenta il tasso di crescita per unità di biomassa; N_t è il numero di cellule al tempo t e N_0 il numero di cellule iniziali.

Quando N è uguale a 2 N_0 si ha:

$$t_d = \ln 2 / \mu$$

$$t_d = 0.69 / \mu$$

dove t_d è il tempo di duplicazione e rappresenta il tempo necessario alla popolazione per raddoppiare la sua densità cellulare. Un grande valore significa sviluppo lento, un piccolo valore sviluppo veloce.

7.2.2 Analisi statistiche

Per testare l'ipotesi nulla di assenza di differenze nella crescita di *F. japonica* a temperature e salinità è stata applicata un'analisi della varianza (ANOVA) bilanciata a due vie, con temperatura (3 livelli, 16-20-26°C, fattore fisso) e salinità (5 livelli, 25-30-35-38-42, fattore random) come sorgenti di variabilità. Per le interazioni che hanno mostrato differenze significative è stato inoltre applicato un test a posteriori di Student-Newman-Keuls (SNK).

7.2.3 Curve e tassi di crescita di *F. japonica*

In Fig. 52 sono riportate le curve di crescita di *F. japonica* in funzione delle differenti condizioni sperimentali di temperatura e salinità.

Le colture di *F. japonica* cresciute alla temperatura di 16°C hanno mostrato una fase di stasi (i.e. *lag phase*) più lunga ed una crescita più lenta rispetto a quelle cresciute alle altre due temperature con i massimi valori di densità cellulare significativamente più bassi rispetto a quelli osservati nelle altre condizioni sperimentali ($p < 0.001$). Alla temperatura di 16°C ed una salinità di 25 la crescita di *F. japonica* cessava dopo solo 6 giorni. Le cellule mantenute alla temperatura di 20°C hanno mostrato differenti curve di crescita a seconda della salinità del mezzo. Le densità cellulari più elevate sono state osservate a salinità di 30 e 35, mentre valori significativamente più bassi sono stati determinati alla salinità di 42 ($p < 0.001$). Analogamente anche le colture di *F. japonica* mantenute alla temperatura di 26°C mostravano le abbondanze cellulari più elevate alla salinità di 30 e 35.

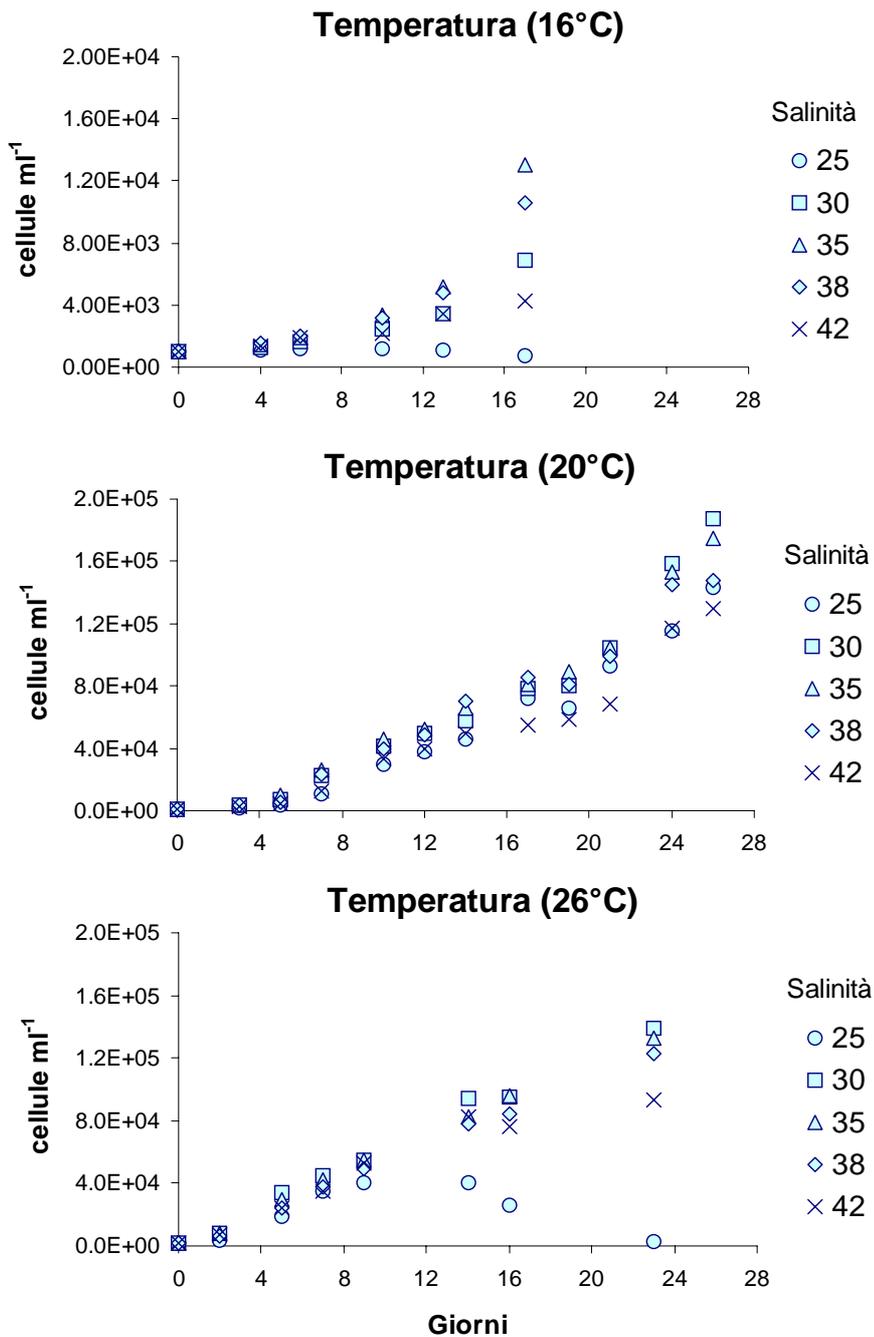


Figura 52 - Curve di crescita di *Fibrocapsa japonica* alle differenti condizioni di temperatura (16, 20 e 26°C) e salinità (25, 30, 35, 38, 42).

I tassi specifici di crescita di *F. japonica* determinati a 16°C erano significativamente inferiori rispetto ai tassi calcolati a 20 e 26°C ($p < 0.001$), mentre non mostravano differenze statisticamente significative a 20 e 26°C (Tabella 15; Fig. 53).

Tabella 15 - Output dell'ANOVA sui dati relativi ai tassi di crescita di *F. japonica* nelle differenti condizioni sperimentali

Source	DF	MS	F	P
te	2	1.1192	209.64	***
sa	4	0.0306	75.88	***
teXsa	8	0.0053	13.24	***
RES	30	0.0004		
TOT	44			

Transform: None
 Cochran's Test
 C = 0.5937 (P < 0.01)
 *** = P < 0.001

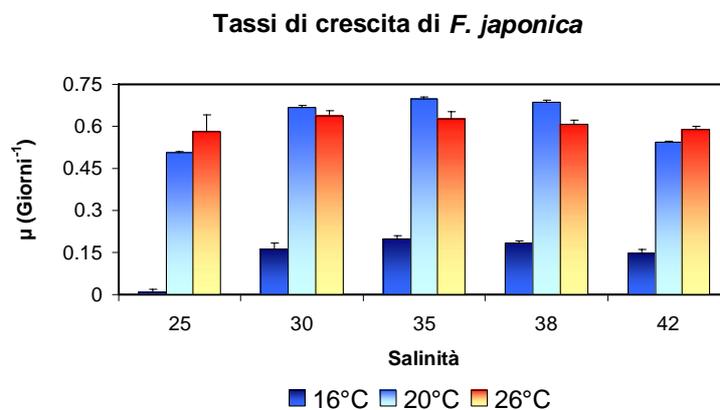


Figura 53 - Tassi di crescita di *F. japonica* alle differenti condizioni sperimentali

Alla temperatura di 16°C i tassi di crescita di *F. japonica* non mostravano differenze statisticamente significative per tutti i valori di salinità superiori a 25, così come non sono state osservate differenze statisticamente significative alla temperatura di 26°C per tutti i valori di salinità testati. A temperature intermedie (i.e. 20°C) i tassi di crescita di *F. japonica* erano significativamente più elevati a salinità di 30, 35 e 38 rispetto a quelli determinati a salinità di 20 e 42.

7.3 Confronto dei tassi di crescita dei ceppi di *F. japonica* adriatici con quelli disponibili in letteratura

I tassi di crescita dei ceppi di *F. japonica* isolati da campioni dell'Adriatico, ottenuti alle differenti temperature ed a salinità di 30, 35 e 38 (escludendo gli estremi di salinità al fine di un confronto più realistico con regimi alini naturali), sono stati utilizzati al fine di elaborare un modello teorico della capacità adattativa potenziale di questa specie al variare del regime termico. I valori sperimentali dei tassi di crescita di *F. japonica* sono stati quindi interpolati attraverso un modello di regressione di

secondo ordine la cui equazione consente di calcolare i tassi di crescita teorici di questa alga in funzione delle variazioni di temperatura (Fig. 54).

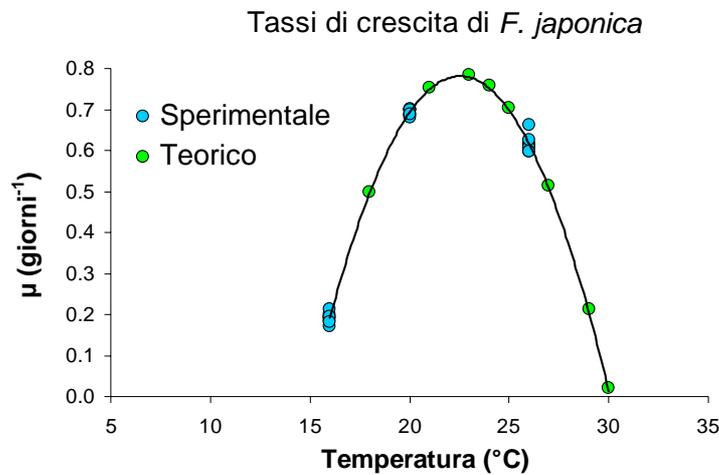


Figura 54 - Tassi di crescita di *F. japonica* ottenuti sperimentalmente (ceppi isolati da campioni raccolti in Adriatico) e quelli stimati (i.e. teorici) dal modello di interpolazione di secondo ordine al variare della temperatura. L'equazione del modello di interpolazione utilizzato è: $\mu = -0.014 (°C)^2 + 0.623 (°C) - 6.23$ ($R^2 = 0.996$; $P < 0.01$).

Sulla base di tale modello il tasso massimo teorico di crescita di *F. japonica* adriatica sarebbe in un intervallo di temperatura compreso tra ca. 21 e 24°C. Inoltre il limite di tolleranza termica massimo sarebbe intorno ai 30°C a cui il tasso di crescita sarebbe prossimo allo zero. Il modello di interpolazione di secondo ordine utilizzato sui dati sperimentali ottenuti sui ceppi adriatici concorda, con un elevato limite di confidenza, con quello applicabile ai tassi di crescita di *F. japonica* (isolata da 3 differenti sistemi marino costieri) ottenuti da de Boer *et al.* (2005) per un più ampio intervallo di temperatura (Fig. 55).

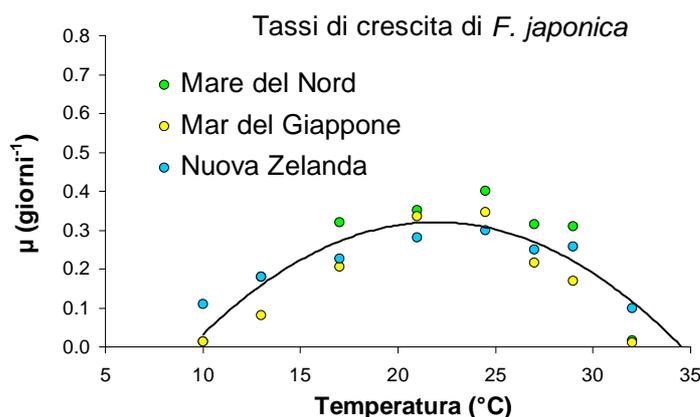


Figura 55 - Tassi di crescita di *F. japonica* ottenuti sperimentalmente da de Boer *et al.* (2005) su ceppi isolati da campioni del Mare del Nord, Mar del Giappone e da aree marino-costiere della Nuova Zelanda. L'equazione del modello di interpolazione utilizzato è: $\mu = -0.002 (°C)^2 + 0.089 (°C) - 0.658$ ($R^2 = 0.921$; $p < 0.01$).

7.4 Effetti potenziali del refluo termico sulla fioritura di *F. japonica*

Sulla base dei risultati sperimentali relativi all'accrescimento dell'alga a differenti regimi termici, si è cercato di modellizzare l'influenza potenziale del refluo termico dell'impianto esistente IGCC sulle dinamiche di crescita di *F. japonica*. A tal fine è stato preso in esame "the worst scenery possible", assumendo una temperatura del bacino naturale di 28°C, acqua stagnante ed un incremento della temperatura allo scarico pari a 6 °C. Il gradiente di temperatura lungo l'asse centrale del pennacchio termico nella zona più prossimale allo scarico (entro i 100 m, near field) e quello nella zona più distante (far field >100 m e fino ad 1 Km) sono stati dedotti dai modelli di simulazione CORMIX.

I risultati del modello indicano che le variazioni di temperatura indotte dal refluo termico nella parte più prossimale allo scarico (*near field*) sono tali da eccedere il limite massimo di tolleranza termica di *F. japonica* (Fig. 56A). Nel *far field*, tuttavia, l'accrescimento dell'alga – per effetto della diminuzione esponenziale del delta termico rispetto allo scarico, rimarrebbe comunque al di sotto dell'accrescimento massimo dell'alga (compreso tra ca. 21 ed i 24°C; Fig. 56). La comparsa di fioriture estive o tardo estive, quando i valori di temperatura eccedono l'optimum termico di crescita suggeriscono che l'evenienza della fioritura sia slegata dal fattore temperatura.

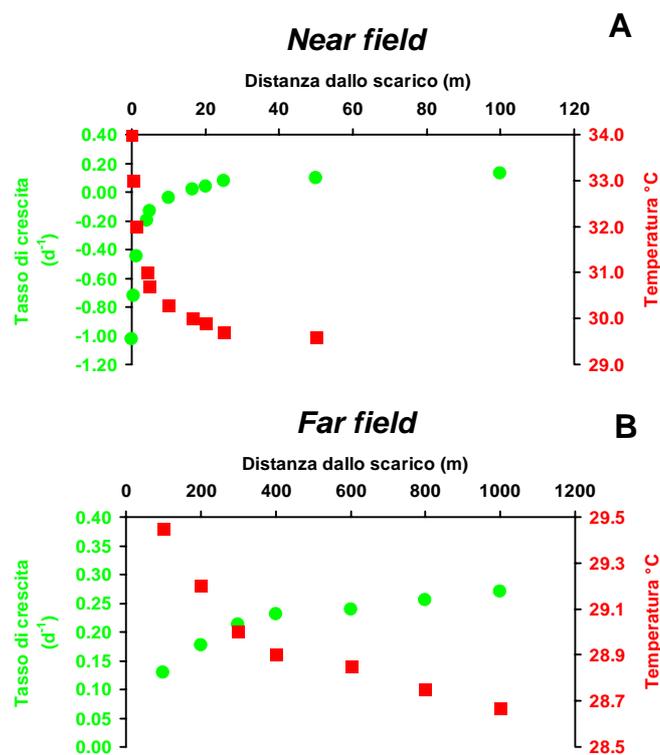


Figura 56 – Modello teorico dei potenziali effetti del refluo termico dell'impianto esistente IGCC sulle dinamiche di crescita di *F. japonica*. A) effetto del gradiente termico entro i 100 m, near field sui tassi di crescita di *F. japonica*; B) effetto del gradiente termico tra 100 m fino ad 1 km dallo scarico, far field sui tassi di crescita di *F. japonica*.

Solo assumendo un regime di stagnazione delle acque di ca. 15 giorni, concentrazioni di nutrienti mai limitanti, assenza di pascolatori e la presenza di un propagulo dell'alga nella parte più distale del far field, la crescita dell'alga potrebbe raggiungere in fase stazionaria di crescita densità confrontabili con quelle osservate nel corso delle fioriture estive ($> 50 \times 10^6$ cellule L^{-1} ; Fig. 57). Considerato che la concomitanza di tali fattori è assai improbabile e che si sono osservate fioriture in regimi termici più bassi e in aree non interessate dalla presenza di reflui termici, non è possibile identificare relazioni di causa-effetto tra la presenza del reflu termico e la fioritura di *Fibrocapsa japonica*.

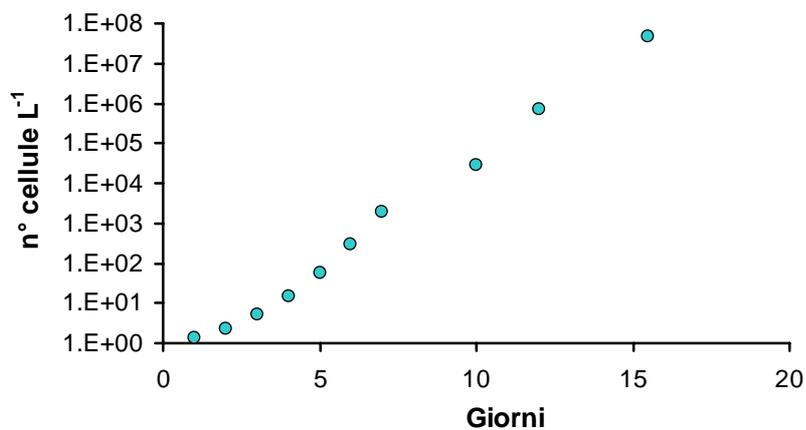


Figura 57 - Modello teorico dell'effetto potenziale del gradiente di temperatura nel far field sulle dinamiche di crescita di *F. japonica* assumendo "the worst scenery possibile" (stagnazione delle acque, concentrazioni di nutrienti mai limitanti, assenza di pascolatori e presenza di un propagulo dell'alga nella parte più distale del far field)

7.5 Conclusioni

L'intervallo di temperatura che sostiene i massimi tassi di crescita teorici per i ceppi di *F. japonica* dell'Adriatico (tra ca. 21 e 24°C) sono molto simili a quelli riportati in letteratura per ceppi provenienti da aree biogeograficamente distanti (tra 21 e 24.5°C a seconda dell'area di provenienza del ceppo), così come i limiti massimi di tolleranza termica. Questi risultati indicano che il ceppo di *F. japonica* rinvenuto in Adriatico è euritermo (i.e. in grado di adattarsi/crescere all'interno di un ampio intervallo di temperatura) tanto quanto i ceppi di *F. japonica* provenienti da altri sistemi marino-costieri.

Tuttavia, i tassi di crescita entro l'intervallo ottimale di temperature (21-24°C) di *F. japonica* isolata da campioni Adriatici sono fino a 2 volte superiori rispetto a quelli dei ceppi isolati da altri sistemi marino-costieri, suggerendo che il ceppo Adriatico presenti un adattamento peculiare.

L'ipotesi di una fioritura di *F. japonica* indotta da alterazione della temperatura dovuta alla presenza di reflui termici appare improbabile in ragione di quattro semplici osservazioni:

- l'effetto teorico del refluo termico sui tassi di crescita sarebbe tale che, anche nelle condizioni peggiori estive ($T > 27^{\circ}\text{C}$) ed in prossimità dello scarico questi risulterebbero inibiti nel *near field* (<100 m) e ben al di sotto di quelli necessari al raggiungimento di densità di cellule confrontabili con quelle osservate nel corso delle fioriture nel *far field* (>100 m);
- solo nel periodo primaverile le condizioni in prossimità dello scarico (ma oltre il *near field*) potrebbero approssimare quelle teoriche ottimali per garantire una fioritura di densità confrontabile con quella osservata nelle fioriture estive;
- tutte le fioriture verificatesi nell'area prossimale all'area AERCA sono – fino ad oggi – state osservate in estate inoltrata;

Sulla base di tali considerazioni si può concludere che la comparsa di fioriture di *F. japonica* in differenti aree marino-costiere dell'Adriatico centro-settentrionale appare (così come in altre aree marino-costiere a livello globale) disgiunta dai valori assoluti di temperatura (*F. japonica* cresce e si sviluppa a differenti latitudini dal temperato caldo al temperato freddo), anche quando questi raggiungono valori tali da sostenere i tassi di crescita massimi in condizioni di laboratorio.

Nel loro insieme i risultati di questo studio non supportano una relazione di causa-effetto tra la presenza del refluo termico e la fioritura di *Fibrocapsa japonica*.

8. Effetti del refluo termico sullo sviluppo di *Fibrocapsa japonica*. Esperimenti numerici.

8.1. Il modello numerico

Il modello utilizzato per questo studio è il Regional Ocean Modelling System (ROMS) sviluppato dall'Ocean Modeling Group dell'Institute of Marine and Coastal Sciences della Rutgers University, New Jersey.

Il modello ROMS appartiene alla classe dei modelli numerici 3D, a superficie libera, che risolvono le equazioni di Navier-Stokes mediate secondo l'approssimazione di Reynolds (RANS) usando le assunzioni idrostatica e di Boussinesq. Il modello utilizza coordinate verticali di tipo "terrain following" e coordinate orizzontali ortogonali sulla griglia C di Arakawa (Arakawa e Lamb, 1977). È largamente usato dalla comunità scientifica in una vasta gamma di applicazioni (Haidvogel et al. 2000, 2007; Marchesiello et al., 2003; Peliz et al., 2003; Di Lorenzo 2003; Dinniman et al., 2003; Budgell, 2005; Warner et al., 2005a, b; Wilkin et al., 2005). Gli algoritmi che costituiscono il modello non lineare del ROMS sono descritti in dettaglio in Shchepetkin e McWilliams (2003, 2005), mentre per i modelli di tipo "tangent linear" ed "adjoint" si veda Moore et al. (2004).

Il modello ROMS è disponibile sotto la licenza MIT/X (<http://www.opensource.org/licenses/mit-license.php>) ed è utilizzato e mantenuto da una vasta comunità di utenti, che hanno fornito miglioramenti chiave in molti aspetti, in particolare nella dinamica, nella formulazione biogeochimica, in quella di trasporto di sedimenti, di parametrizzazione della turbolenza. La comunità ROMS interagisce attraverso internet, pubblicazioni e meeting annuali. Versioni rivedute del codice, rapporti di bug e soluzioni ai problemi sono poste on-line nel sito web di ROMS (<http://www.myroms.org>).

Il ROMS (Fig. 58) ha una struttura flessibile che permette la scelta tra diverse componenti del modello, tra diversi e sofisticati algoritmi di avvezione di ordine elevato, tra diversi moduli per la chiusura della turbolenza (Large et al. 1994; Durski et al. 2004; Mellor e Yamada, 1982; Warner et al. 2005a) e tra diverse condizioni al contorno. Include moduli per la descrizione degli strati limite (boundary layer) di superficie e di fondo (Fairall et al. 1996; Large et al. 1994; Durski et al. 2004; Styles e Glenn, 2000), per il calcolo dei flussi all'interfaccia aria-mare, per il trasporto di drifter di superficie e per la descrizione dell'accoppiamento acqua-ghiaccio (Budgell, 2005), dei processi biologici (Fennel et al. 2006) e del trasporto di sedimenti (Warner et al. 2006).

Per ogni applicazione le differenti componenti del modello sono attivate o disattivate per mezzo del preprocessore C, attraverso le direttive definite in un file che viene incluso nel codice al momento della compilazione. Questo procedimento assicura che la memoria sia allocata solamente quando necessario e che solo gli algoritmi computazionali rilevanti siano compilati, creando quindi un file eseguibile più leggero ed efficiente.

Il codice vero e proprio del modello è scritto in Fortran 90/95 e può essere fatto girare in ambiente Unix, sia in modo seriale su singolo processore, sia in parallelo su processori multipli usando architetture di memoria condivisa o distribuita (OpenMP o MPI; Haidvogel *et al.*, 2000; Chassignet *et al.*, 2000; Ezer *et al.*, 2002).

Tutti i file di input/output del modello sono scritti nel formato NetCDF (Network Common Data Format) per facilitare lo scambio di dati tra computer, tra utenti della comunità e l'utilizzo di software di analisi indipendenti.

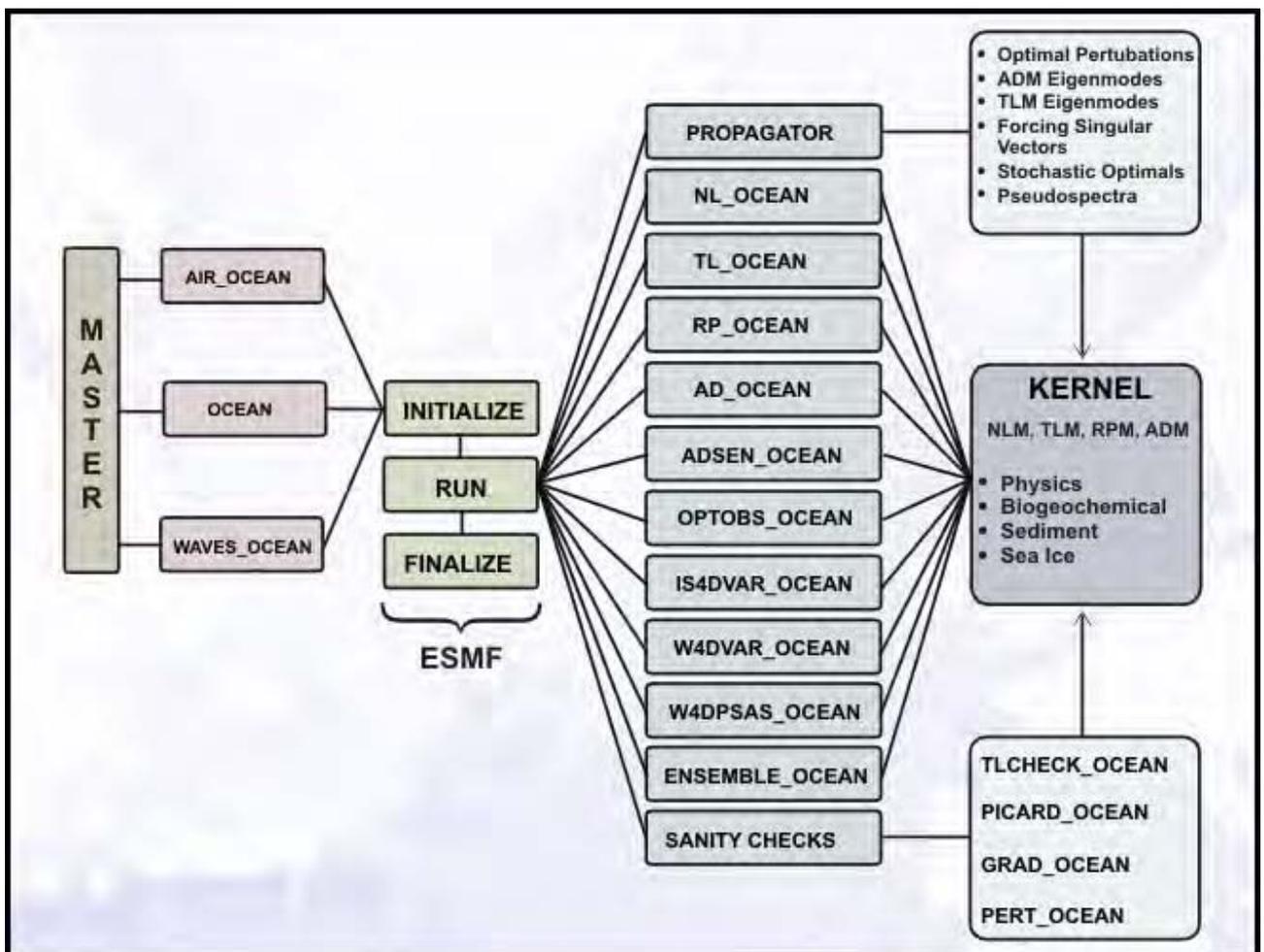


Figura 58 – Schema del modello ROMS (da <http://www.myroms.org>).

8.2 Formulazione del modello fisico

Sono di seguito descritte le equazioni primitive nelle coordinate Cartesiane. Il bilancio del momento nelle due componenti, zonale e meridionale, è:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla u - fv = -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_u + D_u$$
$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla v - fu = -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_v + D_v$$

L'evoluzione temporale del campo di salinità e della temperatura potenziale, $S(x,y,z,t)$ e $T(x,y,z,t)$ è governata dalle equazioni di avvezione e diffusione:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T = F_T + D_T$$
$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla S = F_S + D_S$$

L'equazione di stato è data da:

$$\rho = \rho(T, S, P)$$

Seguendo l'approssimazione di Boussinesq, le variazioni di densità si suppongono trascurabili nelle equazioni del momento eccetto che per il loro contributo alla forza di buoyancy nell'equazione verticale del momento.

Seguendo l'approssimazione idrostatica, si può assumere che il gradiente di pressione verticale bilancia la forza di buoyancy:

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = -\frac{\rho g}{\rho_0}$$

L'equazione di continuità per un fluido incompressibile sarà:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Gli effetti del forzante e della dissipazione sono indicati dai termini F e D , rispettivamente.

Le condizioni al bordo verticali possono essere descritte come segue: in superficie si ha

$$\begin{aligned}
z &= \zeta(x, y, t) \\
k_m \frac{\partial u}{\partial z} &= \tau_s^x(x, y, t) \\
k_m \frac{\partial v}{\partial z} &= \tau_s^y(x, y, t) \\
k_T \frac{\partial T}{\partial z} &= \frac{Q_T}{\rho_o c_p} + \frac{1}{\rho_o c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref}) \\
k_S \frac{\partial S}{\partial z} &= \frac{(E - P)S}{\rho_o} \\
w &= \frac{\partial \zeta}{\partial t}
\end{aligned}$$

mentre al fondo si ha

$$\begin{aligned}
z &= -h(x, y) \\
k_m \frac{\partial u}{\partial z} &= \tau_b^x(x, y, t) \\
k_m \frac{\partial v}{\partial z} &= \tau_b^y(x, y, t) \\
k_T \frac{\partial T}{\partial z} &= 0 \\
k_S \frac{\partial S}{\partial z} &= 0 \\
-w + \vec{v} \cdot \nabla h &= 0
\end{aligned}$$

Poiché Q_T è funzione della temperatura superficiale è anche prudente includere un termine di correzione per la variazione di Q quando la temperatura superficiale si allontana dalla temperatura di riferimento che è stata usata per calcolare Q_T .

Sul fondo le componenti orizzontali della velocità sono condizionate al fine di determinare uno stress di fondo che è la somma dei termini lineari e quadratici (o l'uno o l'altro dipende dalle opzioni settate nel codice):

$$\begin{aligned}
\tau_b^x &= (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})u \\
\tau_b^y &= (\gamma_1 + \gamma_2 \sqrt{u^2 + v^2})v
\end{aligned}$$

I flussi verticali di calore e di salinità possono essere anche prescritti al fondo, benchè generalmente siano posti uguali a zero.

Dal punto di vista computazionale, è molto conveniente introdurre un sistema di coordinate verticali di tipo "stretched" che essenzialmente tendono ad assottigliare gli strati di superficie e in prossimità del fondo, per meglio risolvere le dinamiche all'interfaccia aria-mare e acqua-sedimento.

Questi sistemi di coordinate "s" sono stati largamente usati, con leggere ed appropriate modifiche, sia in meteorologia che in oceanografia (Phillips, 1957; Freeman *et al.*, 1972). Per procedere si operano le seguenti trasformazioni delle coordinate:

$$\begin{aligned}\hat{x} &= x \\ \hat{y} &= y \\ s &= s(x, y, z) \\ z &= z(x, y, s) \\ \hat{t} &= t\end{aligned}$$

Seguendo Song e Haidvogel (1994), le coordinate verticali sono state scelte come:

$$z = \zeta + \left(1 + \frac{\zeta}{h}\right) [h_c s + (h - h_c) C(s)] \quad -1 \leq s \leq 0$$

dove h_c è sia la profondità minima che la profondità alla quale si desidera avere una maggiore risoluzione. $C(s)$ è definito come:

$$C(s) = (1 - b) \frac{\sinh(\theta s)}{\sinh \theta} + b \frac{\tanh\left[\theta\left(s + \frac{1}{2}\right)\right] - \tanh\left(\frac{1}{2}\theta\right)}{2 \tanh\left(\frac{1}{2}\theta\right)}$$

dove θ e b sono i parametri di controllo di superficie e di fondo. I loro range sono $0 \leq \theta \leq 20$ e $0 \leq b \leq 1$ rispettivamente. La prima equazione porta a $z = \zeta$ per $s = 0$ e $z = h$ per $s = -1$.

Alcune caratteristiche di questo sistema di coordinate sono:

- esso è una generalizzazione del sistema di coordinate sigma. Ponendo θ a zero ed usando la regola dell'Hopital, si avrà $z = (\zeta + h)(1 + s) - h$ che è la coordinata sigma
- esso ha una dipendenza lineare su ζ ed è differenziabile all'infinito in s
- maggiore è il valore di θ , maggiore sarà la risoluzione su h_c
- per $b = 0$ la risoluzione è maggiore in superficie quando θ viene aumentata
- per $b = 1$ la risoluzione è distribuita equamente sia alla superficie che al fondo quando θ viene aumentata
- per $\theta = 0$ c'è un leggera deviazione nella discretizzazione delle equazioni del modello, ad esempio nel termine di viscosità orizzontale.

La derivata di $C(s)$ può essere calcolata analiticamente come:

$$\frac{\partial C(s)}{\partial s} = (1-b) \frac{\cos(\theta s)}{\sinh \theta} \theta + b \frac{\coth\left(\frac{1}{2}\theta\right)}{2 \cosh^2\left[\theta\left(s + \frac{1}{2}\right)\right]} \theta$$

Si è scelto di calcolare H_z in modo discreto come $\frac{\Delta z}{\Delta s}$ poiché questo conduce al fatto che la somma verticale di H_z è esattamente pari alla profondità totale dell'acqua.

Le regole a catena per la trasformazione delle equazioni del moto in questo sistema di coordinate verticali sono:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_z &= \left(\frac{\partial}{\partial x}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right) \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_s \frac{\partial}{\partial s} \\ \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_z &= \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)_s - \left(\frac{1}{H_z}\right) y_s \frac{\partial}{\partial s} \\ \frac{\partial}{\partial z} &= \left(\frac{\partial s}{\partial z}\right) \frac{\partial}{\partial s} = \frac{1}{H_z} \frac{\partial}{\partial s} \end{aligned}$$

dove risulta conveniente definire

$$H_z \equiv \frac{\partial z}{\partial s}$$

Come conseguenza di questa semplificazione geometrica, le risultanti equazioni dinamiche diventano un po' più complicate; omettendo i passaggi intermedi, esse diventano:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla u - f v = -\frac{\partial \phi}{\partial x} - \left(\frac{g\rho}{\rho_o}\right) \frac{\partial z}{\partial x} - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F_u + D_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla v - f u = -\frac{\partial \phi}{\partial y} - \left(\frac{g\rho}{\rho_o}\right) \frac{\partial z}{\partial y} - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + F_v + D_v$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla T = F_T + D_T$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla S = F_S + D_S$$

$$\rho = \rho(T, S, P)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial s} = \left(\frac{-g H_z \rho}{\rho_o}\right)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} + \frac{\partial(H_z u)}{\partial x} + \frac{\partial(H_z v)}{\partial y} + \frac{\partial(H_z \Omega)}{\partial s} = 0$$

dove

$$\vec{V} = (u, v, \Omega)$$

$$\vec{V} \cdot \nabla = u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \Omega \frac{\partial}{\partial s}$$

La velocità verticale nelle coordinate s è:

$$\Omega(x, y, s, t) = \frac{1}{H_z} \left[w - (1+s) \frac{\partial \zeta}{\partial t} - u \frac{\partial z}{\partial x} - v \frac{\partial z}{\partial y} \right]$$

$$w = \frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} + \Omega H_z$$

Nel sistema di coordinate "stretched" le condizioni al bordo diventano: in superficie

$$\left(\frac{k_m}{H_z} \right) \frac{\partial u}{\partial s} = \tau_s^x(x, y, t)$$

$$\left(\frac{k_m}{H_z} \right) \frac{\partial v}{\partial s} = \tau_s^y(x, y, t)$$

$$\left(\frac{k_T}{H_z} \right) \frac{\partial T}{\partial s} = \frac{Q_T}{\rho_o c_p} + \frac{1}{\rho_o c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref})$$

$$\left(\frac{k_S}{H_z} \right) \frac{\partial S}{\partial s} = \frac{(E - P)S}{\rho_o}$$

$$\Omega = 0$$

e al fondo (s = -1):

$$\left(\frac{k_m}{H_z} \right) \frac{\partial u}{\partial s} = \tau_b^x(x, y, t)$$

$$\left(\frac{k_m}{H_z} \right) \frac{\partial v}{\partial s} = \tau_b^y(x, y, t)$$

$$\left(\frac{k_T}{H_z} \right) \frac{\partial T}{\partial s} = 0$$

$$\left(\frac{k_S}{H_z} \right) \frac{\partial S}{\partial s} = 0$$

$$\Omega = 0$$

Si noti la semplificazione delle boundary conditions sulla velocità verticale che risulta dalla trasformazione in coordinate s .

8.3 Il modello biogeochimico

Sin dalla sua origine il modello ROMS è stato inteso come uno strumento di modellistica oceanica multidisciplinare e multi-scopo. Uno degli aspetti di maggior interesse è l'investigazione dei cicli biogeochimici e delle dinamiche di ecosistema. Per questo il modello numerico ROMS presenta incorporato al suo interno un modulo biogeochimico relativamente semplice, denominato modello biologico tipo-Fasham in quanto è una versione modificata del codice di Fasham (Fasham *et al.*, 1990; Fennel *et al.*, 2006).

Il modulo biogeochimico tipo-Fasham di cui è fornito ROMS consiste nella rappresentazione del ciclo pelagico dell'azoto nel quale i traccianti biogeochimici sono trasportati dagli schemi di avvezione e diffusione del modello, subiscono movimenti verticali ad opera del sinking e di specifici moti comportamentali ed interagiscono l'un l'altro attraverso le trasformazioni biogeochimiche. Le specie chimiche gassose come il diossido di carbonio (CO_2) e l'ossigeno sono scambiate all'interfaccia aria-mare in relazione alle rispettive pressioni parziali (Fennel *et al.*, 2006).

Tale modulo (Fig. 59) è basato su un singolo nutriente limitante, l'azoto. I composti di azoto inorganico, nitrato ed ammonio, sono trattati come variabili di stato separate. La clorofilla è inclusa come variabile prognostica in aggiunta alla biomassa fitoplanctonica e a quella zooplanctonica. Inoltre comprende due classi di detrito, distinte in base alle dimensioni: small detritus ($S_{det} < 10 \mu\text{m}$) e large detritus ($L_{det} > 10 \mu\text{m}$).

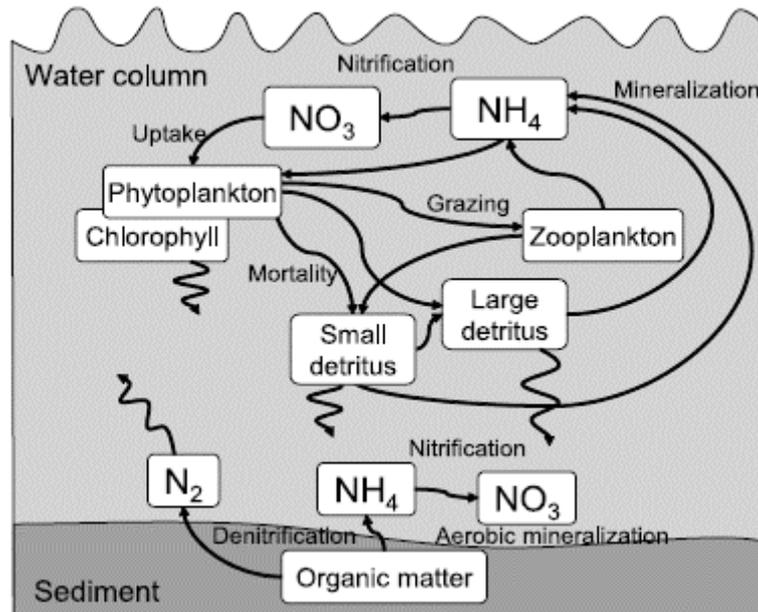


Figura 59 – Rappresentazione grafica del modulo biogeochimico tipo-Fasham (da Fennel *et al.*, 2006).

È inoltre presente la possibilità di attivare le dinamiche del carbonio e dell'ossigeno includendo, come variabili di stato, il carbonio inorganico totale (TIC), l'alcalinità totale, small detritus e large detritus espressi in termini di concentrazioni di carbonio e l'ossigeno (O₂).

Il modello include la descrizione dei processi di denitrificazione e dei processi sedimentari per ripristinare il materiale particolato precipitato nel pool di nutriente.

8.4 Accoppiamento fisico-biologico

Il modello fisico determina le condizioni ambientali e il modello biogeochimico definisce come tali condizioni esterne influiscano sulla componente biologica, sui nutrienti, sui detriti e sulle altre variabili, come il carbonio inorganico e l'ossigeno disciolto, rappresentate all'interno di esso.

Per una schematica descrizione del modulo fisico del ROMS e della sua interazione col modulo biologico tipo-Fasham si veda la Figura 60.

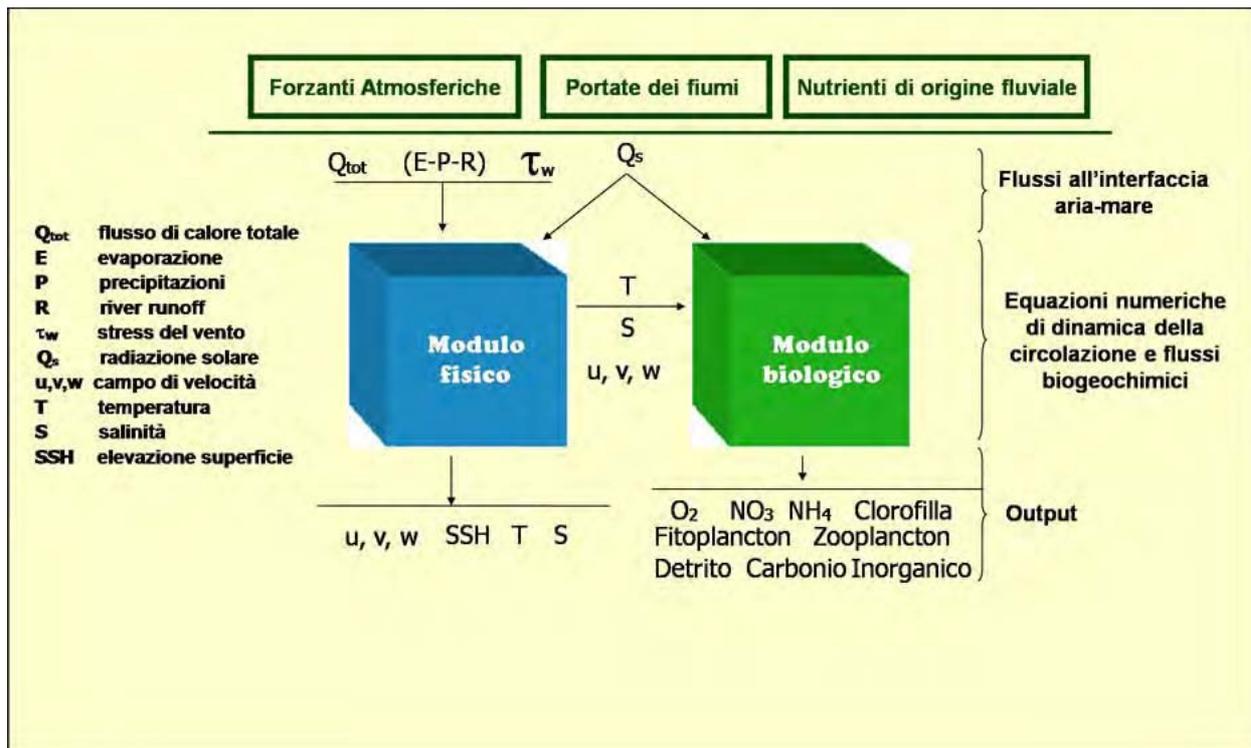


Figura 60 – Schema dell'interazione tra modulo fisico e modulo biologico in ROMS.

L'interfaccia tra processi fisici di trasporto, mixing e dinamica biologica risiede nelle equazioni di avvezione e diffusione. Ogni variabile di stato del modello NPDZ avrà un'equazione separata descrivente il suo moto nello spazio e nel tempo, espressa nella seguente forma:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{v}C - D\Delta C = DB$$

dove a destra dell'equazione compare il termine DB che sta per dinamica biologica ed a sinistra dell'equazione la somma dei termini di variazione della concentrazione della sostanza C, la sua dinamica avveviva e il suo mixing turbolento. La dinamica biologica è rappresentata da: fonti (input di nutrienti da parte dei fiumi o dei sedimenti), perdite (sequestro nei sedimenti), trasformazioni del sistema (assorbimento di nutrienti da parte del fitoplancton).

La stessa equazione in forma esplicita diventa:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (w + w_s) \frac{\partial C}{\partial z} = k_h \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + k_v \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + DB$$

dove C è la concentrazione della variabile di stato (N, P, Z, o D), u, v e w sono le velocità verticali ed orizzontali dell'acqua determinate dal modello fisico, w_s è la velocità di sinking o di swimming della variabile di stato, e k_h e k_v sono le diffusività orizzontali e verticali.

L'equazione così espressa non è banale da risolvere, anche quando u , v e w sono prescritte. Tipicamente, u , v e w sono ottenute da un modello fisico simultaneamente alla dinamica biologica (sebbene questo non sia necessario se è disponibile una sufficiente memoria del computer per trattenere i risultati del modello fisico).

La variazione temporale del fitoplancton dovuto alle fonti e alle perdite biologiche è data da:

$$\frac{\partial Phy}{\partial t} = \mu Phy - gZoo - m_p Phy - \tau(S_{det} + Phy) Phy - w_p \frac{\partial Phy}{\partial z}$$

Il tasso di crescita del fitoplancton μ dipende dalla temperatura T attraverso la relazione del massimo di velocità di crescita μ_{max} che può essere espresso secondo Eppley (1972) da:

$$\mu_{max} = \mu_{max}(T) = 1.066^T \mu_o$$

μ dipende dalla radiazione fotosinteticamente disponibile (PAR) e dalle concentrazioni di azoto sotto forma di NO_3 e NH_4 , ossia:

$$\mu = \mu_{max} f(I)(L_{NO_3} + L_{NH_4})$$

dove

$$L_{NO_3} = \frac{NO_3}{k_{NO_3} + NO_3} \frac{1}{1 + NH_4 / k_{NH_4}}$$

e

$$L_{NH_4} = \frac{NH_4}{k_{NH_4} + NH_4}$$

L'irradianza I decresce esponenzialmente con la profondità z secondo la seguente relazione:

$$I = I(z) = I_o \cdot par \cdot \exp \left\{ -zK_w - K_{chl} \int_z^0 Chl(\zeta) d\zeta \right\}$$

dove I_o è la luce incidente appena sotto la superficie e par è la frazione di luce disponibile per la fotosintesi, posta uguale a 0,43.

K_w e K_{chl} sono i coefficienti di attenuazione della luce per l'acqua e per la clorofilla rispettivamente e sono posti a $0,04 \text{ m}^{-1}$ e $0,025 \text{ (mg Chl)}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (Kirk, 1983). La funzione $f(I)$ descrive la relazione fotosintesi-luce (P-I) rappresentata secondo Evans e Parslow (1985) da:

$$f(I) = \frac{\alpha I}{\sqrt{\mu_{\max}^2 + \alpha^2 I^2}}$$

dove α è la pendenza iniziale della curva.

La limitazione del nutriente è rappresentata dalla somma delle funzioni di Michaelis-Menten per il nitrato e l'ammonio, L_{NO_3} e L_{NH_4} , e l'assorbimento del nitrato (da parte del fitoplancton) si assume essere inibito alla presenza dell'ammonio attraverso il fattore $1/(1+NH_4/k_{NH_4})$ seguendo Parker (1993). In questo caso si è scelto di non usare il termine di inibizione esponenziale dell'ammonio usato da Fasham et al. (1990) in quanto tale parametrizzazione ha due caratteristiche indesiderabili: l'assorbimento dell'azoto non aumenta monotonicamente con l'aumentare delle concentrazioni di ammonio per concentrazioni di azoto superiori a circa 1 mmol N m^{-3} e l'espressione non è limitata per valori inferiori o eguali ad 1, pertanto non può essere trattato come un termine limitativo adimensionale (si veda Hood e Christian, 2006 per un approfondimento).

K_{NO_3} e K_{NH_4} sono le concentrazioni di semi-saturazione per l'assorbimento di nitrato ed ammonio, rispettivamente.

Il tasso di grazing del fitoplancton (g) da parte dello zooplancton è rappresentato da:

$$g = g_{\max} \frac{Phy^2}{k_p + Phy^2}$$

dove g_{\max} rappresenta la massima percentuale del grazing e k_p la concentrazione di semi-saturazione per l'ingestione del fitoplancton. Altri termini di perdita del fitoplancton sono la mortalità, rappresentata dall'percentuale lineare m_p , l'aggregazione del fitoplancton e dei piccoli detriti in detriti grandi, e il sinking verticale.

Si considera che le particelle che formano il detrito piccolo (S_{det} : particelle più piccole di 10μ) ed il fitoplancton (Phy) si aggregano e formano particelle di detrito grandi (L_{det}). Il tasso di aggregazione si assume scalare con il quadrato dell'abbondanza delle particelle piccole ($S_{det} + Phy$) poiché le percentuali di incontro delle particelle aumentano con la quantità delle particelle stesse, e che sia moltiplicato dal fattore di aggregazione τ . w_p è una velocità di sedimentazione costante.

In figura 61 è rappresentato schematicamente il ciclo dell'azoto descritto nel modello biologico tipo Fasham.

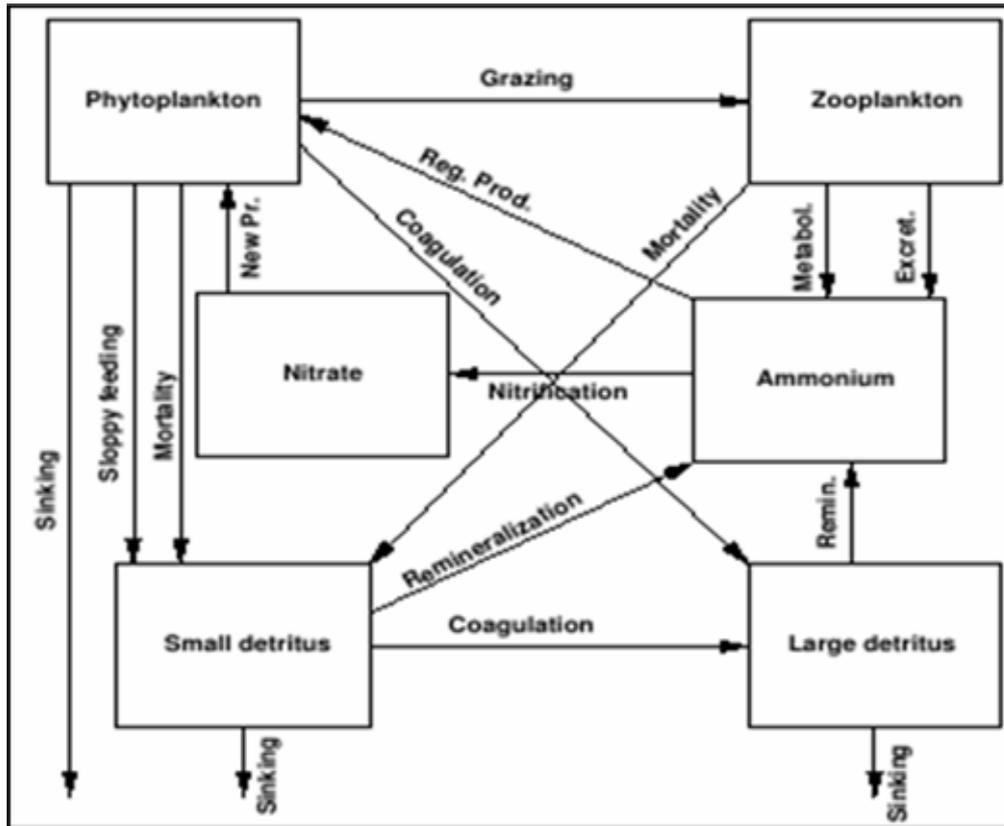


Figura 61 – Ciclo dell’azoto nel modulo biologico (da Fennel et al. 2006)

La relazione tra clorofilla e biomassa fitoplanctonica è non lineare poiché il contenuto di clorofilla per cellula di fitoplancton varia con l’acclimatazione dell’apparato fotosintetico ai cambiamenti di luce e di disponibilità dei nutrienti (Falkowski, 1980). Si tiene conto degli effetti di questa foto-acclimatazione sulla base del modello di Geider *et al.* (1996, 1997).

La dinamica della clorofilla è derivata dall’equazione del fitoplancton attraverso la conversione in unità di clorofilla, ossia attraverso la moltiplicazione con il rapporto della clorofilla sulla biomassa fitoplanctonica, e l’assunzione che solo una frazione della crescita del fitoplancton è dedicata alla sintesi della clorofilla. Questa frazione ρ_{chl} è definita come

$$\rho_{chl} = \frac{\theta_{max} \mu_{Phy}}{\alpha I \cdot Chl}$$

dove θ_{max} è il rapporto massimo di clorofilla sulla biomassa fitoplanctonica. Qui ρ_{chl} è regolata dal rapporto della fotosintesi realizzata su quella massima potenziale (μ_{Phy}) / (αI Chl) (Geider *et al.*, 1997).

Il tasso di variazione nel tempo della clorofilla segue la seguente relazione:

$$\frac{\partial Chl}{\partial t} = \rho_{chl} \mu_{Chl} - g_{Zoo} \frac{Chl}{Phy} - m_p Chl - \tau (SDet + Phy) Chl$$

Lo zooplancton si assume che assimili il fitoplancton ingerito con efficienza β mentre la frazione rimanente è poi trasferita al pool di small detritus. Altri termini di perdita per lo zooplancton sono l'escrezione e la mortalità. L'escrezione è comprensiva sia dell'escrezione dovuta al metabolismo basale alla velocità lineare l_{BM} , che dell'escrezione dipendente dall'assimilazione che è proporzionale alla assimilazione del fitoplancton ingerito ed ha la massima percentuale l_E . La mortalità dello zooplancton si assume modulata dal quadrato della biomassa zooplanctonica e trasferita nel pool di small detritus.

Il tasso di variazione dello zooplancton e dei pool di detriti segue:

$$\begin{aligned}\frac{\partial LDet}{\partial t} &= \tau(SDet + Phy)^2 - r_{LD}LDet - w_L \frac{\partial LDet}{\partial z} \\ \frac{\partial Zoo}{\partial t} &= g\beta Zoo - l_{BM}Zoo - l_E \frac{Phy^2}{k_p + Phy^2} \beta Zoo - m_z Zoo^2 \\ \frac{\partial SDet}{\partial t} &= g(1 - \beta)Zoo + m_z Zoo^2 + m_p Phy - \tau(SDet + Phy)SDet - r_{SD}SDet - w_S \frac{\partial SDet}{\partial z}\end{aligned}$$

Qui r_{SD} ed r_{LD} sono i tassi di remineralizzazione per il pool di detriti piccoli e grandi rispettivamente e w_S e w_L sono le loro rispettive velocità di sedimentazione.

La remineralizzazione del detrito alimenta il pool di ammonio e l'ammonio successivamente è nitrificato per produrre nitrato. Il tasso di nitrificazione n è descritto da

$$n = n_{\max} \left[1 - \max \left(0, \frac{I - I_0}{k_I + I - I_0} \right) \right]$$

dove n_{\max} è il tasso massimo di nitrificazione. Poichè la nitrificazione è inibita dalla luce ed il livello minimo di inibizione è raggiunto a livelli di luce non nulli (Olson, 1981) si assume che esso tenda a zero ad alte intensità di luce. k_I è l'intensità di luce alla quale l'inibizione è metà-saturata ed una soglia di inibizione di I_0 .

I tassi di variazione dovuti ai processi biologici per il nitrato e l'ammonio sono

$$\begin{aligned}\frac{\partial NO_3}{\partial t} &= -\mu_{\max} f(I) L_{NO_3} Phy + nNH_4 \\ \frac{\partial NH_4}{\partial t} &= -\mu_{\max} f(I) L_{NH_4} Phy - nNH_4 + l_{BM}Zoo + l_E \frac{Phy^2}{k_p + Phy^2} \beta \cdot Zoo + r_{SD}SDet + r_{LD}LDet\end{aligned}$$

Il tasso di variazione nel tempo del DIC è

$$\frac{\partial DIC}{\partial t} = -CN_{Phy} \cdot \mu Phy + \left(l_{BM} + l_E \frac{Phy^2}{k_p + Phy^2} \beta \right) \cdot CN_{Zoo} \cdot Zoo + CN_{Det} \cdot r_{SD} \cdot SDet + \dots$$

$$\dots + CN_{Det} \cdot r_{LD} \cdot LDet + \frac{vK_{CO_2}}{\Delta z} CO_{2,sol} (pCO_{2,air} - pCO_2)$$

dove CN_{Phy} e CN_{Zoo} sono i rapporti carbonio – azoto di fitoplancton e di zooplancton rispettivamente.

In figura 62 è rappresentato schematicamente il ciclo del carbonio così come parametrizzato nel modello biologico.

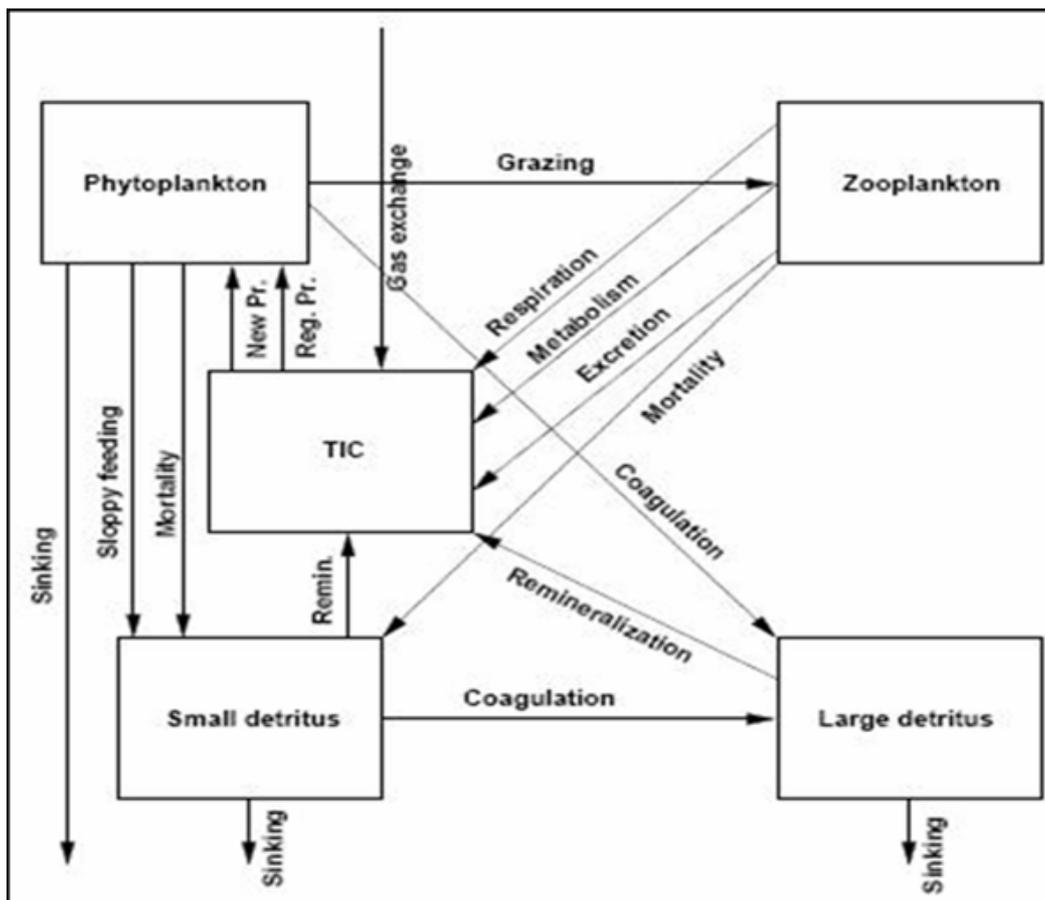


Figura 62 – ciclo del carbonio nel modulo biologico (da Fennel *et al.*, 2006).

Il carbonio inorganico totale (TIC) comprende l'acido carbonico ($H_2CO_3^*$), bicarbonato (HCO_3^-) e carbonato (CO_3^{2-}). Una distinzione di queste specie per i calcoli del trasporto non è necessaria. Una specifica è richiesta solamente per la cella superiore in modo che la pressione parziale del diossido di carbonio sia nota e che lo scambio di gas tra aria-mare possa essere calcolato.

Lo scambio di gas aria-mare è parametrizzato seguendo Wanninkhof (1992). vK_{CO_2} è il coefficiente di trasferimento del gas dipendente dalla velocità del vento, $CO_{2,sol}$ è la solubilità di CO_2 (dipendente dalla temperatura e salinità; Weiss, 1974), $pCO_{2,air}$ e pCO_2 sono le pressioni parziali di CO_2 in atmosfera e alla superficie dell'oceano, rispettivamente. Δz è lo spessore dello strato superiore.

Se l'alcalinità è trattata come una variabile prognostica essa è condizionata dalla "nuova produzione" (la produzione di fitoplancton basata sull'assorbimento di NO_3 e sulla nitrificazione) in accordo a:

$$\frac{\partial Alk}{\partial t} = \mu_{max} f(I) L_{NO_3} Phy - n NH_4$$

Se l'alcalinità è trattata come una variabile diagnostica essa viene calcolata dalla salinità basandosi su Brewer et al. (1986).

Inoltre il modulo biologico del ROMS permette la descrizione della dinamica dell'ossigeno disciolto, legata, come noto, ai processi di respirazione, fotosintesi, nitrificazione e mineralizzazione (Fennel et al., 2006).

$$\frac{\partial O_x}{\partial t} = \mu_{max} \cdot f(I) \cdot (L_{NO_3} \cdot r_{O_2:NO_3} + L_{NH_4} \cdot r_{O_2:NH_4}) \cdot Phy - 2n \cdot NH_4 + \dots$$

$$- \left(l_{BM} + l_E \frac{Phy^2}{k_p + Phy^2} \beta \right) \cdot r_{O_2:NH_4} \cdot Zoo - r_{SD} \cdot r_{O_2:NH_4} \cdot SDet - r_{LD} \cdot r_{O_2:NH_4} \cdot LDet + \frac{vK_{O_2}}{\Delta z} (O_{x,sat} - O_x)$$

dove vK_{O_2} è il coefficiente di scambio del gas per l'ossigeno, Δz è lo spessore dello strato superiore, $O_{x,sat}$ la concentrazione di saturazione dell'ossigeno.

In tabella 16 si riportano i parametri ed i rispettivi simboli che compaiono nelle equazioni del modello biogeochimico.

μ_0	Tasso di crescita del fitoplancton a 0°C
K_{NO_3}	Concentrazione di metà saturazione per l'assorbimento di NO_3
K_{NH_4}	Concentrazione di metà saturazione per l'assorbimento di NH_4
α	Pendenza iniziale della curva P-I
g_{max}	Massima tasso di grazing
k_P	Concentrazione di metà saturazione per l'ingestione di fitoplancton
m_P	Mortalità del fitoplancton

τ	Parametro di aggregazione
θ_{max}	Tasso massimo del rapporto di clorofilla su fitoplancton
β	Efficienza di assimilazione
I_{BM}	Tasso di escrezione dovuta al metabolismo basale
I_E	Massimo tasso di assimilazione legato all'escrezione
m_z	Mortalità dello zooplancton
r_{SD}	Tasso di remineralizzazione dei detriti sospesi
r_{LD}	Tasso di remineralizzazione dei detriti grandi
n_{max}	Massimo tasso di nitrificazione
k_I	Intensità della luce alla quale l'inibizione della nitrificazione è metà-saturata
I_0	Soglia per l'inibizione (da parte della luce) della nitrificazione
W_{phy}	Velocità di caduta del fitoplancton
W_{SDet}	Velocità di caduta dei detriti sospesi
W_{LDet}	Velocità di caduta delle particelle più grandi
ρ_{chl}	Frazione della crescita del fitoplancton dovuto alla sintesi di clorofilla
Δz	Spessore dello strato superficiale
$P_{CO_2,air}$	Pressione parziale di CO_2 in atmosfera
P_{CO_2}	Pressione parziale di CO_2 in oceano
$CO_{2,sol}$	Solubilità di CO_2 (dipendente da T ed S)
vK_{CO_2}	Coefficiente di trasferimento del gas dipendente dalla velocità del vento
vK_{O_2}	Coefficiente di scambio del gas per l'ossigeno
O_{Xsat}	La concentrazione di saturazione dell'ossigeno
SC_{Ox}	Numero di Schmidt
$r_{O_2:NO_3}$	Rapporto ossigeno/nitrato
$r_{O_2:NH_4}$	Rapporto ossigeno/ammonio

Tabella 16: parametri del modello biogeochimico tipo-Fasham.

9. Applicazione per lo studio dell'influenza del refluo termico sullo sviluppo di *Fibrocapsa Japonica*

Le simulazioni effettuate con il modello ROMS sono volte in particolare a valutare le modifiche indotte nei sistemi fisico e biologico dall'introduzione di una sorgente di momento e di calore in corrispondenza del refluo termico. Il modello è stato fatto girare per un periodo di due mesi in estate, dal 24 Giugno al 26 Agosto 2007. Il periodo è stato scelto sulla base del fatto che i passati eventi di fioritura di *Fibrocapsa Japonica* nelle Marche sono stati registrati nei mesi di luglio e agosto. Gli esperimenti sono stati condotti in condizioni realistiche, prendendo cioè in considerazione sia forzanti atmosferiche ad alta risoluzione spaziale e temporale che l'apporto dei fiumi (flusso d'acqua e di nutrienti) che le componenti mareali principali; in questo modo sono stati considerati sostanzialmente tutti i fattori che inducono la variabilità dei campi di corrente, temperatura, salinità, e dei campi biogeochimici. Si è poi utilizzata la funzione di crescita del fitoplancton modificata in funzione della relazione trovata sperimentalmente per *Fibrocapsa Japonica* in Adriatico. Ciò equivale ad assumere che tutto il fitoplancton presente si comporti come la specie *Fibrocapsa Japonica*, cosa che ovviamente sovrastima enormemente il suo valore assoluto, ma l'analisi qui effettuata è stata indirizzata a valutare le variazioni relative tra una simulazione con la presenza del refluo termico e un'altra identica ma senza la presenza del refluo stesso. In questo modo si è potuto quantificare il potenziale effetto del refluo termico sullo sviluppo di *Fibrocapsa Japonica*.

9.1 Implementazione dell'esperimento numerico

Il dominio del modello utilizzato per questi esperimenti copre l'intera regione del Nord Adriatico con una risoluzione orizzontale di 500 m e una boundary aperta situata poco oltre il limite meridionale della Regione Marche. La griglia è ruotata di 48° in senso antiorario rispetto nord geografico per meglio seguire la direzione del bacino lungo l'asse Nord Ovest – Sud Est (Fig. 63) e consiste di 576 punti in direzione meridionale e 480 punti in direzione zonale con passo costante in entrambi le direzioni; lungo la verticale sono presenti 12 livelli "s" che portano a una risoluzione variabile da pochi centimetri sottocosta ad alcuni metri in mare aperto.

La scelta di un dominio tanto esteso è giustificata dal fatto che si vogliono inserire le variazioni indotte dal refluo in un contesto più ampio e non solo a scala locale. L'ampio dominio permette inoltre una definizione ottimale delle correnti e dei campi termoclinici e biogeochimici in tutto l'Adriatico settentrionale, e conseguentemente anche nell'area interessata dallo scarico termico.

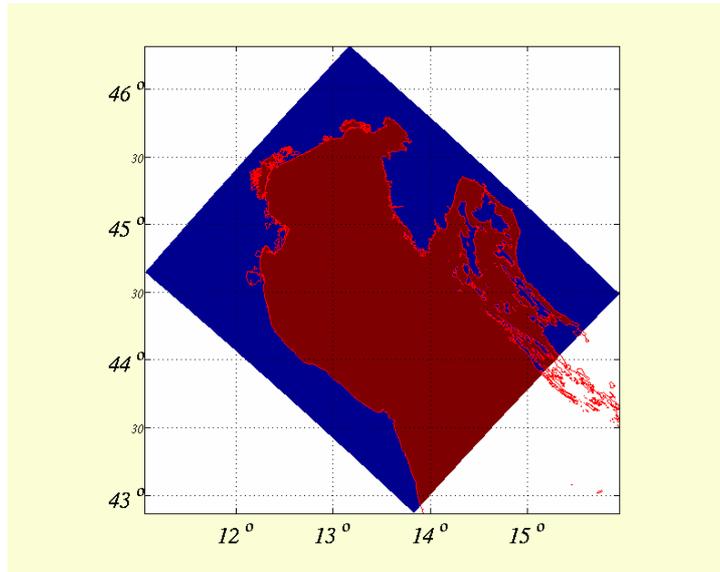


Figura 63 – Il dominio del modello a 500 m di risoluzione orizzontale.

La principale modifica introdotta rispetto alla versione originale del modello riguarda la dipendenza del tasso di crescita del fitoplancton dalla temperatura. Sulla base dello studio riportato nel capitolo 7, si è utilizzata la seguente relazione riferita al ceppo di *Fibrocapsa Japonica* presente in Adriatico:

$$\mu_{\max} = \mu_{\max}(T) = \mu_o(-0.0138 \cdot T^2 + 0.6225 \cdot T - 6.234)$$

dove μ_{\max} è il massimo tasso di crescita potenziale e μ_o è il tasso di crescita di riferimento normalizzato a 0° C.

Poiché il modello biologico tipo-Fasham prevede una sola classe di fitoplancton, non è stato possibile definire un tasso di crescita per le specie algali normalmente presenti in Adriatico e valutarne gli effetti legati alla competizione per l'utilizzo dei nutrienti. Tuttavia, la semplificazione introdotta risulta accettabile, in quanto siamo interessati non tanto all'evoluzione del ciclo stagionale di *F. Japonica* in relazione alle altre specie, quanto alle variazioni indotte dal reflu termico sullo sviluppo di questa specie algale.

Le condizioni iniziali di temperatura e salinità del modello al 24 Giugno 2007 sono state ricavate dalle misure effettuate in Adriatico nell'ambito di diverse campagne oceanografiche. I dati distribuiti in maniera disomogenea nel bacino, sono stati riportati su griglia regolare mediante la tecnica dell'Analisi Oggettiva (Carter e Robinson, 1987; Bretherton *et al.*, 1976).

Le condizioni iniziali del campo di corrente e dei traccianti biologici sono state ricavate invece dai risultati dello stesso modello a 500 m di risoluzione ottenuti da esperimenti precedenti.

Le forzanti atmosferiche derivano da un modello meteorologico "ad area limitata", mentre le portate dei fiumi sono ricavate dai dati climatologici presenti in letteratura, eccetto le portate del Po che derivano da misure dell'altezza idrodinamica alla stazione di Pontelagoscuro.

Per quanto riguarda lo scarico è stato imposto, in un unico punto griglia vicino a costa, un flusso di $33.75 \text{ m}^3/\text{s}$ costante per tutta la durata della simulazione. La temperatura dello scarico è stata ricavata dai risultati del run di riferimento senza la sorgente di momento e di calore aggiuntiva. È stata estratta la serie temporale di temperatura in un punto distante 1 km dalla costa in corrispondenza della presa a mare dello stabilimento API e alla profondità di 5 m. I valori di temperatura così ricavati sono stati aumentati di $2 \text{ }^\circ\text{C}$ e utilizzati come temperatura dello scarico (è stata quindi effettuata una scelta conservativa, sovrastimando sia la portata dello scarico sia il delta termico indotto).

In figura 64 è mostrato il confronto tra i dati di temperatura estratti dal modello, come medie giornaliere a -5 m in corrispondenza della presa a mare (in rosso) e le misure fornite da API (in blu); considerando anche il fatto che le misure non sono effettuate alla bocca di presa bensì nella vasca dell'impianto (quindi soggette a variazioni rispetto alla temperatura alla presa), si può affermare che il modello ha riprodotto molto bene le temperature effettivamente presenti.

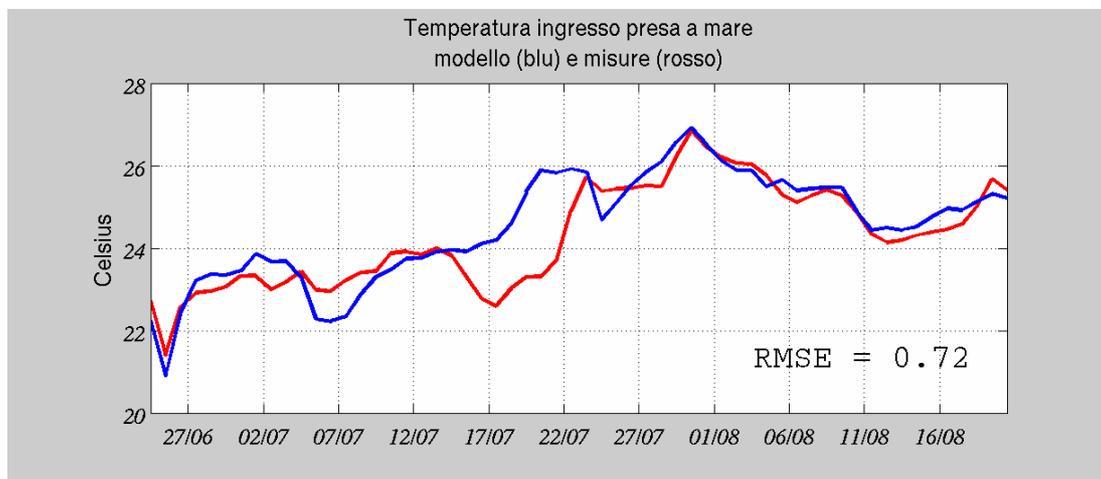


Figura 64 – Dati di temperatura all'ingresso della presa a mare dello stabilimento API: dati da modello (linea rossa) vs. misure (linea blu). Il Root Mean Square Error è di $0.72 \text{ }^\circ\text{C}$.

9.2 Risultati

Per valutare l'influenza del refluo termico sono stati effettuati due run del modello: uno di controllo senza lo scarico e uno con la sorgente di momento e di calore a parità di tutte le altre condizioni. L'effetto termico si manifesta con la formazione di un pennacchio che si estende per circa 1 – 2 km dalla sorgente, con variazioni di temperatura che vanno da un massimo di 1,6 °C dall'origine tendendo a zero nella parte più esterna.

L'evoluzione del pennacchio segue l'andamento del vento e delle correnti, presentando una direzione dominante verso Sud Est seguendo la direzione della Corrente Adriatica Occidentale. Laddove la corrente perde di intensità o si inverte per effetto principalmente della variabilità locale del vento, il pennacchio si estende verso il largo o in alcuni casi in direzione Nord Ovest.

In figura 65 è mostrato il pennacchio rivolto verso Nord Ovest e il corrispondente campo di velocità delle correnti, che mostrano un evidente inversione rispetto all'andamento medio. In figura 66 è mostrata invece la situazione più tipica con il pennacchio rivolto verso Sud Est cioè lungo la predominante Corrente Adriatica Occidentale.

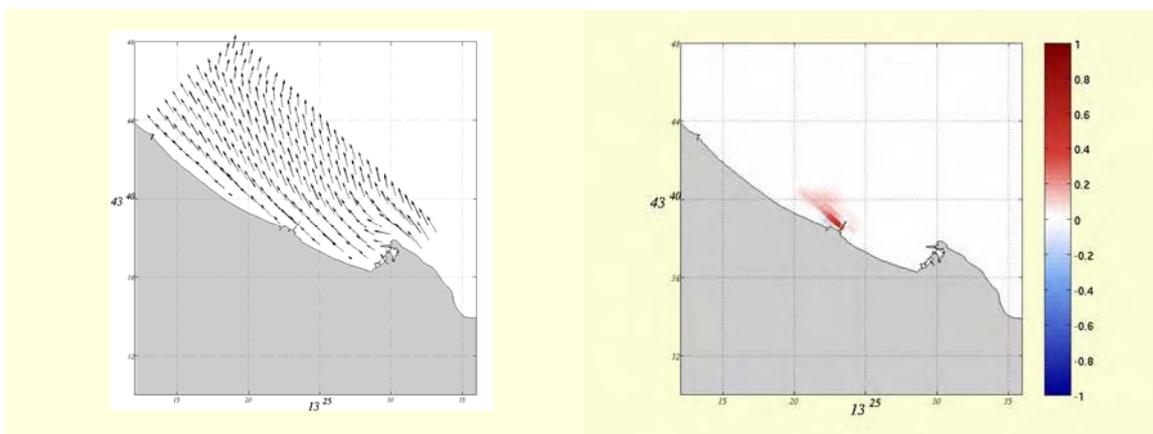


Figura 65 – Campo di circolazione simulato del 01/07/2007 (riquadro a sinistra) e pennacchio termico (riquadro a destra) rappresentato come anomalia di temperatura tra il run con lo scarico e il run di controllo.

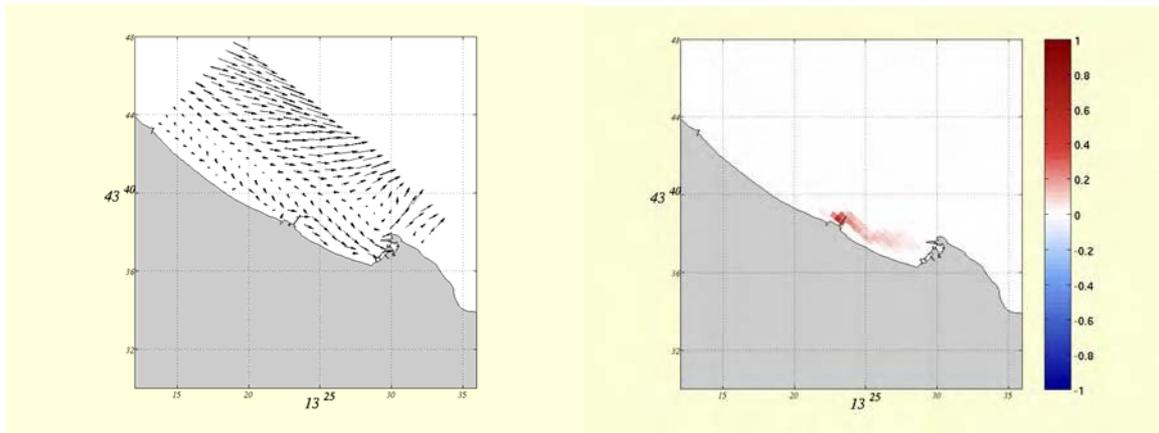


Figura 66 - Campo di circolazione simulato del 03/07/2007 (riquadro a sinistra) e pennacchio termico (riquadro a destra) rappresentato come anomalia di temperatura tra il run con lo scarico e il run di controllo.

Non va trascurato poi l'effetto della portata del fiume Esino, che tuttavia in estate è abbastanza limitata con valori minori di 10 m³/s nel periodo considerato.

L'evoluzione del pennacchio termico, rappresentata come anomalia di temperatura tra il run con lo scarico e il run di controllo, si può esaminare nell'animazione a cadenza tri-oraria contenuta nel CD allegato.

Le figure dalla 67 alla 70 mostrano l'effetto della variazione di temperatura sulla produzione fitoplanctonica. In figura 67 è rappresentata nel pannello in alto la quantità totale di fitoplancton, integrata su tutta la colonna d'acqua, nella regione costiera interessata dal pennacchio termico. Come si può vedere, differenze significative nella quantità di fitoplancton tra il run con la source (in rosso) e il run di controllo (in blu), cominciano a manifestarsi dopo circa 3 settimane dall'inizio dello scarico. Questo andamento si può meglio evidenziare guardando la differenza percentuale della quantità totale di fitoplancton calcolata come:

$$\Delta Phy = \frac{Phy_s - Phy_o}{Phy_o} \cdot 100$$

dove Phy_s è la quantità di fitoplancton risultante dal modello con lo scarico e Phy_o è la quantità di fitoplancton risultante dal run di controllo.

Si nota (Fig. 67, pannello in basso) che le prime differenze significative compaiono intorno al 13 Luglio, dopo 19 giorni dall'inizio del run. Queste differenze rimangono poi comprese tra $\pm 5\%$ con una media sull'intero periodo pari a -1,07%. Un andamento analogo si osserva per la quantità di fitoplancton integrata nello strato di superficie (primo livello "s", Fig. 68) e per la quantità di clorofilla integrata su tutta la colonna d'acqua (Fig. 69) e nello strato di superficie (Fig. 70).

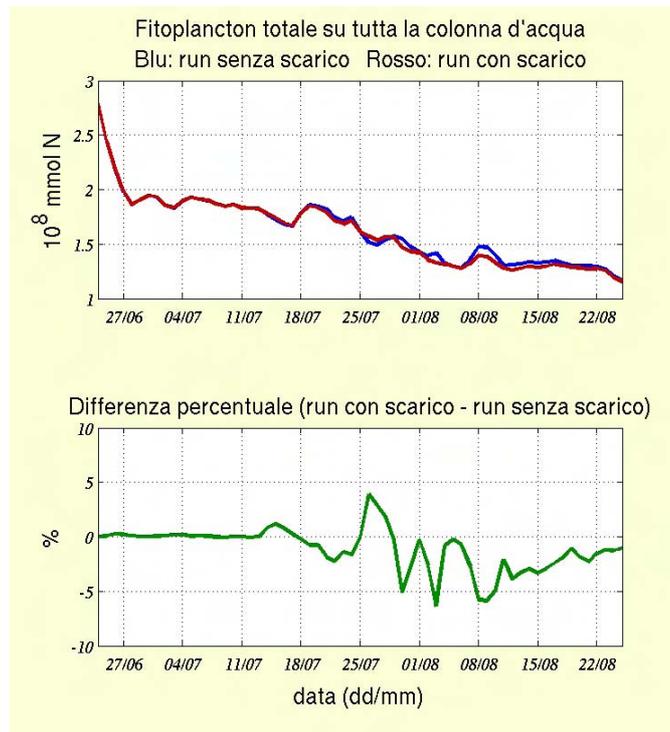


Figura 67 – Quantità totale di fitoplancton integrata su tutta la colonna d'acqua nella regione costiera interessata dal refluo termico (pannello superiore). Unità di misura: 10⁸ mmol N. Il volume totale della regione considerata è di 7,98 x 10⁸ m³.

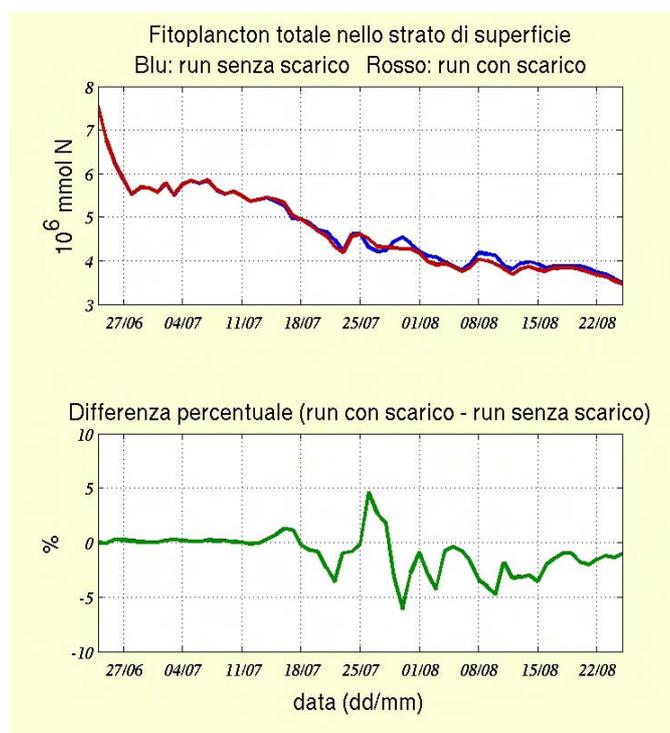


Figura 68 – Quantità totale di fitoplancton integrata nello strato di superficie nella regione costiera interessata dal refluo termico (pannello superiore). Unità di misura: 10⁶ mmol N. Il volume totale dello strato considerato è di 2,39 x 10⁷ m³.

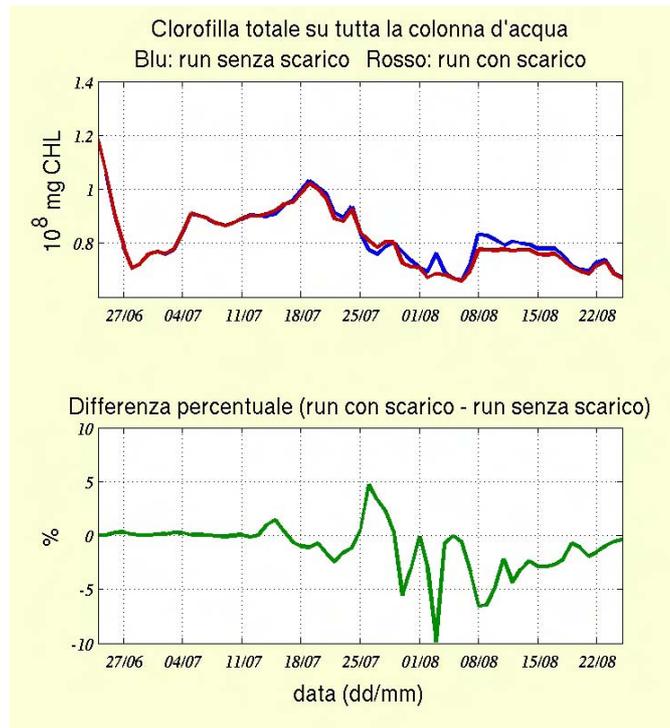


Figura 69 – Quantità totale di clorofilla integrata su tutta la colonna d'acqua nella regione costiera interessata dal refluo termico (pannello superiore). Unità di misura: 10^8 mg Chl. Il volume totale della regione considerata è di $7,98 \times 10^8$ m³.

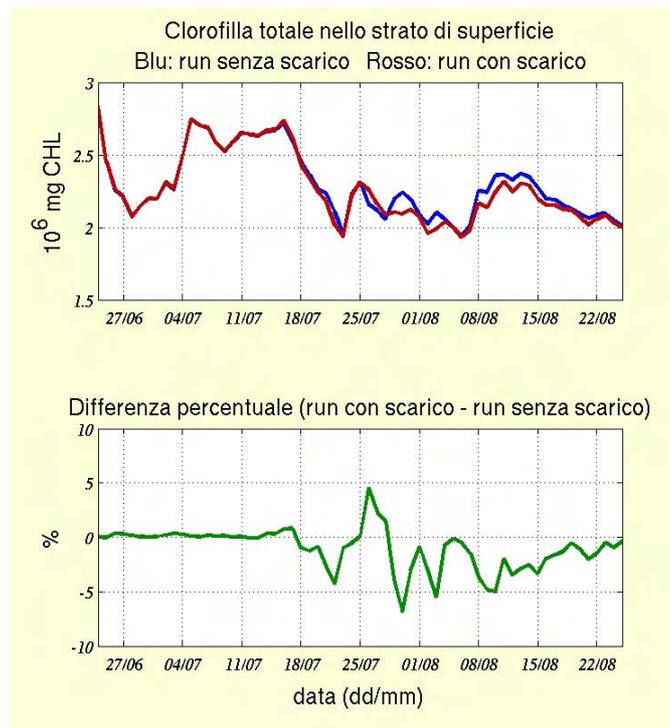


Figura 70 – Quantità totale di clorofilla integrata nello strato di superficie nella regione costiera interessata dal refluo termico (pannello superiore). Unità di misura: 10^6 mg Chl. Il volume totale dello strato considerato è di $2,39 \times 10^7$ m³.

In tabella 17 sono riportate le differenze percentuali medie su tutto il periodo considerato, che in tutti i casi sono intorno al - 1 %.

Tabella 17 – Differenze percentuali tra il run con lo scarico e il run di controllo per il fitoplancton integrato su tutta la colonna d'acqua (Phy TOT_V) e nello strato di superficie (Phy TOT_S) e la clorofilla integrata su tutta la colonna d'acqua (Chl TOT_V) e nello strato di superficie (Chl TOT_S).

	Phy TOT _V	Phy TOT _S	Chl TOT _V	Chl TOT _S
Δ%	-1,07	-0,96	-1,10	-1,03

Contrariamente a quanto ci si potrebbe aspettare, l'aumento della temperatura indotto dalla sorgente di calore porta mediamente a una diminuzione della produzione primaria di *Fibrocapsa Japonica*. Questo è dovuto al fatto che alle temperature tipicamente estive, comprese tra 22 e 27 °C a 5 m di profondità (come si ricava dalla figura 71 sia dai dati misurati che dai risultati modellistici) a cui sono stati aggiunti 2 °C per simulare l'effetto dell'impianto, la curva del tasso di crescita è nella sua fase discendente. Dagli studi effettuati sui ceppi dell'Adriatico, infatti, si è visto che il tasso di crescita ottimale si ha in un intervallo di temperature compreso tra 21 e 24 °C. Per cui aumentando la temperatura sopra il limite superiore, la crescita viene via via inibita e la produzione primaria diminuisce.

In figura 71 è mostrato l'andamento della temperatura media estratta nella regione costiera interessata dal reflu termico e interpolata alla profondità di - 2 m. Dal confronto dei risultati delle due simulazioni, risulta che nel mese di agosto la temperatura generalmente aumenta, com'era logico aspettarsi, ma tenendosi effettivamente al di sopra della soglia di 24 °C per la crescita ottimale di *Fibrocapsa Japonica*.

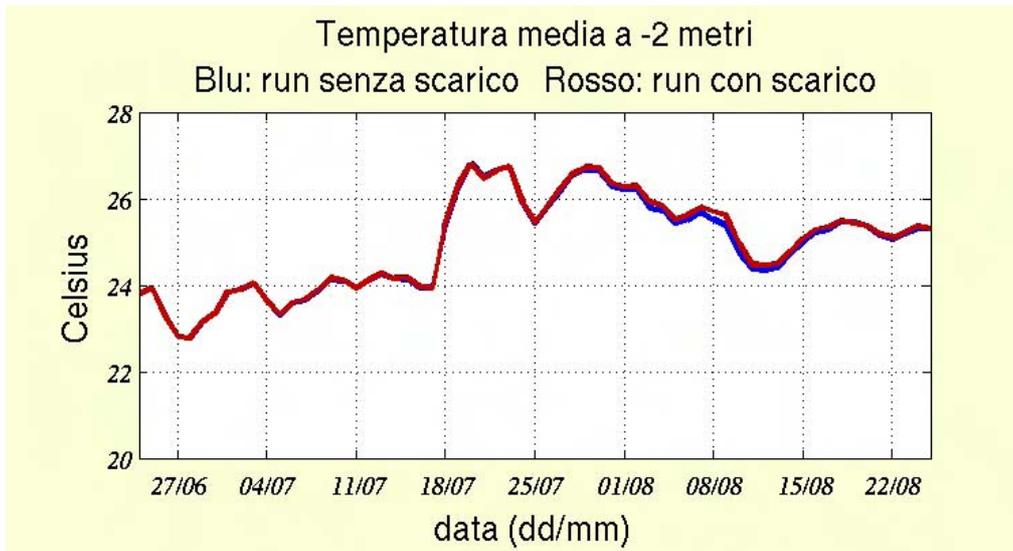


Figura 71 – Temperatura media a – 2 m nella regione costiera interessata dal refluo termico. Risultati della simulazione con lo scarico termico (in rosso) e della simulazione di riferimento senza scarico termico (in blu).

9.3 Conclusioni

Il pennacchio termico che origina dal refluo è fortemente influenzato nella sua evoluzione dall'andamento della corrente e dal vento, discostandosi anche di parecchie centinaia di metri dalla costa. Tuttavia i valori di temperatura restano entro i termini di legge e le variazioni indotte sono comprese tra 0,1 e 1,5 °C con una veloce dispersione del calore dall'origine ai bordi del pennacchio. L'utilizzo del modello accoppiato fisico-biogeochimico ha permesso di valutare gli effetti complessivi dell'introduzione di uno scarico termico in un sistema dinamico, caratterizzato da una serie di interazioni (dovute a vento, flussi di calore, precipitazioni, apporti fluviali, correnti, maree, turbolenza, nutrienti, dinamica biologica...) complesse e non lineari non valutabili altrimenti.

I risultati delle simulazioni effettuate indicano che i flussi di massa e di calore introdotti nel sistema costiero nell'area interessata dallo scarico termico dello stabilimento API di Falconara Marittima non portano a significativi aumenti della produzione primaria di *Fibrocapsa Japonica*. Anzi, nella seconda parte del periodo considerato, date le elevate temperature dell'acqua tipiche del periodo combinate alla carenza di nutrienti tipica del periodo, la produzione fitoplanctonica tende a diminuire e questo andamento è confermato anche in presenza di una sorgente di calore. Il confronto tra due simulazioni identiche tranne che per la presenza dello scarico termico indica che quest'ultimo potenzialmente induce una leggera diminuzione (dell'ordine dell' 1%) della presenza di *Fibrocapsa Japonica*. E' inoltre da considerare che in queste simulazioni non è stato considerato l'effetto dei trattamenti anti-fouling, che diminuisce ulteriormente la produzione fitoplanctonica.

10. Considerazioni conclusive

Lo "Studio sulle possibili interazioni esistenti tra refluo termico della centrale IGCC di proprietà della API-Energia e la comparsa, crescita e tossicità della microalga *Fibrocapsa japonica* lungo le coste marchigiane con particolare riferimento all'area AERCA", commissionato da API Energia al Dipartimento di Scienze del Mare dell'Università Politecnica delle Marche nasce dalla volontà di identificare ed analizzare, attraverso un approccio scientifico rigoroso, i fattori potenzialmente concorrenti allo sviluppo, crescita ed eventuale produzione di tossine da parte di *Fibrocapsa japonica*, la cui frequenza di fioritura lungo l'arco costiero marchigiano è stata da tempo documentata.

La presenza di questa alga potenzialmente tossica è stata registrata nelle acque costiere di tutto il mondo, comprese quelle europee e, con una certa frequenza, anche in alcuni tratti dell'arco costiero marchigiano. La diffusione di *F. japonica* in passato è facilitata dallo scarico di acque di zavorra delle navi (*ballast waters*), che, come per altre specie esotiche potenzialmente invasive, ha favorito l'ampliamento del suo areale di distribuzione nelle acque temperate di entrambi gli emisferi del pianeta. Questa microalga, come altre specie appartenenti allo stesso gruppo (e.g. *Chattonella* sp. e *Heterosigma* sp.), è stata riconosciuta responsabile della produzione di diversi composti tossici per i pesci quali specie reattive dell'ossigeno (ROS), di composti emolitici (PUFAs), e della eiezione di mucocisti. Inoltre, è stata riportata la produzione di neurotossine che avrebbero effetti tossici verso i mammiferi. Sebbene le fioriture verificatesi nelle acque italiane non siano mai state associate a morie di pesci, non è escluso che tali microalghe siano in grado di produrre sostanze potenzialmente dannose.

Questo studio si proponeva di: a) Analizzare le caratteristiche oceanografiche e fisico-chimiche principali dell'arco costiero marchigiano e dell'area AERCA al fine di individuare eventuali peculiarità locali alle quali attribuire un potenziale di facilitazione della diffusione dell'alga *Fibrocapsa japonica* lungo il litorale potenzialmente interessato dal refluo termico; b) Analizzare lo stato trofico sedimentario dell'intero arco costiero marchigiano per valutare l'eventuale relazione tra distribuzione dei propaguli dell'alga e condizioni di trofismo del sistema; c) Valutare, all'interno dell'area AERCA, le differenze in termini di carico organico tra l'area interessata dalla presenza del vecchio oleodotto, quella interessata dalla presenza della condotta dell'impianto IGCC attualmente in funzione e quella eventualmente interessata dalla costruzione di una nuova condotta per il futuro impianto. Tale analisi partiva dall'ipotesi che la presenza della condotta IGCC possa avere effetti significativi sullo stato trofico sedimentario e pertanto possa aver determinato – in tempi recenti - condizioni di pre-requisito per l'insediamento e proliferazione dell'alga proprio in prossimità dello scarico; d) Analizzare comparativamente le caratteristiche trofiche dell'intero arco marchigiano con quello dell'area AERCA per valutare il potenziale effetto localizzato degli scarichi dell'IGCC sul trofismo dei sedimenti; e) Definire la distribuzione di

Fibrocapsa japonica e in particolare delle sue cisti di resistenza nei sedimenti della fascia costiera marchigiana, con particolare riferimento all'area AERCA, che intercetta il refluo termico della centrale IGCC dell'API di Falconara Marittima. Tale indagine è volta anche a quantificare l'abbondanza e la composizione specifica della intera banca di cisti presente nei sedimenti della costa marchigiana; f) Valutare l'effetto del refluo termico sulla tossicità di *Fibrocapsa japonica* e sui suoi tassi di crescita; g) Modellizzare la distribuzione ed accrescimento di *Fibrocapsa japonica* nell'area AERCA e nelle sue prossimità.

Questo studio è stato realizzato con il coinvolgimento diretto di oltre 20 ricercatori con consolidata esperienza a livello internazionale nei settori delle indagini ambientali marine, afferenti all'Università Politecnica delle Marche, all'Università di Urbino ed all'Università di Bologna.

I risultati di questo studio hanno permesso di giungere alle seguenti conclusioni:

1. Le caratteristiche termoaline delle acque e quelle granulometriche e chimico-fisiche dei sedimenti dell'arco costiero marchigiano non si discostano da quanto osservato in numerosi studi precedenti. Le caratteristiche oceanografiche e chimico-fisiche sedimentarie all'interno dell'area AERCA non si discostano significativamente da quelle medie osservate lungo l'intero arco costiero marchigiano. In particolare, i valori di temperatura e salinità rilevati all'interno dell'area AERCA appaiono conformi con le medie stagionali tipiche del tratto di fascia costiera compreso fra Senigallia e Portonovo e non evidenziano la presenza di anomalie termoaline potenzialmente derivanti dall'immissione di acque reflue attraverso lo sbocco a mare del sistema di raffreddamento dell'impianto IGCC.

2. Come per l'intero arco costiero marchigiano, le concentrazioni di nutrienti interstiziali nei sedimenti nell'area AERCA sono simili ai valori presenti in letteratura per l'arco costiero adriatico. Per ammonio, nitriti, nitrati e silicati, le differenze tra stazioni all'interno di ciascuno dei transetti sono generalmente ridotte, mentre per i fosfati si osserva un evidente gradiente costa-largo. Le differenze significative nelle concentrazioni sedimentarie delle varie specie chimiche oggetto di studio tra area AERCA ed intero arco costiero marchigiano non sono consistenti per tutte le variabili, così che è possibile concludere che le condizioni ambientali all'interno dell'area AERCA non possano essere l'unico fattore coinvolto nella distribuzione dei nutrienti inorganici nelle acque interstiziali.

3. Le condizioni di trofismo dei sedimenti dell'arco costiero marchigiano sono risultate differenti a nord e sud del Monte Conero, come per altro atteso dalla estensione delle plume fluviali di origine nord Adriatica. Le analisi statistiche uni- e multi-variate hanno evidenziato che lo stato trofico sedimentario all'interno dell'area AERCA non differiva sostanzialmente da quello medio dell'arco costiero marchigiano. Tali analisi portano a ritenere non direttamente riconducibili alla presenza dell'impianto IGCC le differenze dello stato trofico sedimentario tra aree differenti dell'arco costiero marchigiano. Inoltre, sulla base di tali risultati non è possibile identificare all'interno dell'area AERCA condizioni di stato trofico che possano giustificare un effetto sull'accrescimento di produttori primari significativamente differente da quanto avviene nelle restanti aree dell'arco costiero marchigiano.

4. Le analisi microscopiche e molecolari hanno evidenziato la presenza di cisti di *Fibrocapsa japonica* lungo tutta la costa marchigiana con valori nei sedimenti dell'area AERCA non significativamente differenti da quelli riscontrati nelle altre aree. Gli esperimenti di laboratorio hanno dimostrato che l'acqua di uscita dall'impianto non stimola la crescita dell'alga, ma al contrario, uando arricchita con ipoclorito di sodio (sostanza utilizzata come antifouling) ha un lieve effetto inibitorio sulla crescita dell'alga. Questi risultati evidenziano che l'effetto della plume termica prodotta dall'impianto IGCC non ha alcun effetto sull'accrescimento di *Fibrocapsa japonica* lungo le coste prospicienti l'impianto stesso.

5. Il ceppo di *Fibrocapsa japonica* isolato nel Mare Adriatico non è risultato produttore di neurotossine simili a brevetossine. Produce acidi grassi con effetto emolitico, tuttavia questo effetto si manifesta solo per concentrazioni elevate che difficilmente vengono raggiunte in ambiente, anche in presenza di tassi di crescita elevata o di fioritura evidente.

6. I test biologici di tossicità hanno messo in evidenza che *Fibrocapsa japonica* è tossica per alcuni organismi marini, in particolare mostra letalità verso il crostaceo *Artemia* sp. e verso gli avannotti di branzino. Tuttavia questi effetti si manifestano in presenza di densità cellulari molto elevate ed a seguito di tempi di esposizione molto prolungati (14 giorni). Tempi di esposizione inferiori non determinano conseguenze particolarmente gravi su organismi che vivono liberi nell'ambiente e che, nuotando, possono sottrarsi alla presenza dell'alga. Il pericolo potrebbe essere maggiore per organismi che vivono in spazi confinati come quelli utilizzati per l'allevamento delle specie ittiche. Le osservazioni effettuate sulle artemie e sui branzini morti fanno pensare ad un effetto meccanico dovuto al rilascio di muco che interferirebbe con i movimenti delle artemie o con la respirazione branchiale dei pesci. Inoltre, è da

notare che le colture di *Fibrocapsa japonica* cresciute a temperature superiori ai 25°C producono meno muco e sono risultate meno letali. Questi risultati portano ad ipotizzare come remote le possibilità che la presenza del refluo termico possa indurre episodi di mortalità dovuti a tossicità indotta dalla presenza di *Fibrocapsa japonica*.

7. Le prove sperimentali e la loro implementazione mediante modelli teorici di crescita indicano che il ceppo di *Fibrocapsa japonica* rinvenuto in Adriatico è euritermo (i.e. in grado di adattarsi/crescere all'interno di un ampio intervallo di temperatura) tanto quanto i ceppi provenienti da altri sistemi marino-costieri. Tuttavia, i tassi di crescita entro l'intervallo ottimale di temperature (21-24°C) di *F. japonica* isolata da campioni Adriatici sono fino a 2 volte superiori rispetto a quelli dei ceppi isolati da altri sistemi marino-costieri, suggerendo che il ceppo Adriatico presenti un adattamento peculiare.

8. Sulla base dei risultati dei modelli teorici di crescita appare improbabile che l'alterazione della temperatura dovuta alla presenza di reflui termici possa avere scatenanti una fioritura di *Fibrocapsa japonica* perché tutte le fioriture verificatesi nell'area prossimale all'area AERCA sono – fino ad oggi – state osservate in estate inoltrata ed in queste condizioni termiche (i.e., in condizioni estive con $T > 27^{\circ}\text{C}$), in prossimità dello scarico, la crescita risulterebbe inibita nel *near field* (<100 m). Inoltre, il modello sviluppato indica che le condizioni nel *far field* (>100 m) non permettono il raggiungimento di densità di cellule confrontabili con quelle osservate nel corso delle fioriture. Tali considerazioni permettono di rigettare l'ipotesi di una relazione di causa-effetto tra la presenza del refluo termico e la fioritura di *Fibrocapsa japonica*.

9. I risultati delle simulazioni numeriche indicano che i flussi di massa e di calore introdotti nel sistema costiero in prossimità di Falconara non portano a significativi aumenti della produzione primaria di *Fibrocapsa japonica*. Al contrario, nel periodo estivo, quando l'effetto combinato della stagionalità e del refluo portano a temperature dell'acqua comprese tra 24 e 27 °C, la produzione tende a diminuire. L'anticipazione della fioritura di *F. japonica* in periodi pre-estivi non si è mai verificata, il che porta a concludere che l'installazione della centrale IGCC non possa avere avuto effetto sulla comparsa delle fioriture lungo l'arco costiero prossimale.

11. Riferimenti bibliografici

- Aaronson, S., Berner, T. & Dubinsky, Z. (1980). Microalgae as source of chemicals and natural products. In: *Algae Biomass*, Shelef, G. & Soeder, C. J. Eds, North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, pp. 575-601.
- Ahmed, M.S., Arakawa O., Onoue Y. (1995). Toxicity of cultured *Chattonella marina*. In: *Harmful Marine Algal Blooms* (Ed. by P. Lassus, G. Arzul, E. Erard-Le Denn, P. Gentien, C. Marcaillou-Le Baut), pp. 499-504. Lavoisier, Paris.
- Anderson, D.M., Fukuyo Y., Matsuoka K. (2003) – Cysts methodologies – In: *Manual on Harmful Marine Microalgae*. (GM Hallegraeff, DM Anderson and AD Cembella ed.). Manual and Guides IOC-UNESCO, 165-189.
- Arakawa, A. and V. R. Lamb (1977). Methods of computational physics. Academic Press, 174-265.
- ARPA Toscana (2004). www.arpat.toscana.it; www.rete.toscana.it.
- ARPAM (2001) Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche Un anno di monitoraggio biologico marino. [www.regione.marche.it/mareancona/eu1997\(1\).htm](http://www.regione.marche.it/mareancona/eu1997(1).htm)
- Artegiani, A., and R. Azzolini (1981). Influence of the Po floods on the western Adriatic coastal water up to Ancona and beyond, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 27(6), 115-119.
- Artegiani, A., Bregant, D., Paschini, E., Pinardi, N., Raicich, F., Russo, A. (1997a). The Adriatic Sea general circulation. Part I. Air–sea interactions and water mass structure. *J. Phys. Oceanogr.* 27, 1492–1514.
- Artegiani, A., Pariante, R., Paschini, E., Russo, A., and C. Totti (1996). Seasonal evolution of the physical water properties observed from the Senigallia transect, *Proceedings of the Workshop: Physical and Biogeochemical Processes of the Adriatic Sea.*, edited by Artegiani et al., 59-63, UER 18834.
- Artegiani, A., R. Azzolini, and E. Paschini (1981). Seasonal thermocline evolution in the northern and middle Adriatic Sea, in *FAO fisheries report No. 253*, pp. 55-64.
- Artegiani, A., Sansone, E., Purini, R., Antolini, B., Bianco, G., Budillon, G., De Alteris, A., De Stefano, M., Falco, P., Ficca, G., Gallarato, A., Moretti, M., Pangia, M., Pariante, R., Paschini, E., Russo, A., e A. Simioli (2002a). Condizioni oceanografiche della fascia costiera fra Senigallia e Porto Recanati, nel periodo 3 agosto-27 settembre 1996, in *1st PRISMA-II Data Report*, edited by Artegiani et al., 63-85.

- Artegiani, A., Sansone, E., Purini, R., Antolini, B., Bianco, G., Budillon, G., Falco, P., Ficca, Grilli, F., Mainolfi, R., Moretti, M., Pariante, R., Paschini, E., Penna, P., Russo, A., e A. Simioli (2002b). Condizioni oceanografiche della fascia costiera fra Senigallia e Porto Recanati, nel periodo 5 maggio-10 luglio 1998, in 3rd PRISMA-II Data Report, edited by Artegiani et al., 81-103.
- Baba, T., Momoyama K., Hiraoka M. (1995). A harmful flagellated plankton increased in Tokuyama Bay. *Bull. Yamaguchi Pref. Naikai Fish. Exp. Stn* 24: 121-122.
- Behrenfeld, M.J., Bale, A.J., Kolber, Z.S., Aiken, J., and Falkowski, P.G. (1996). Confirmation of iron limitation of phytoplankton photosynthesis in the Equatorial Pacific Ocean. *Nature* 383, 508-511.
- Bellincampi, D., Dipierro N., Salvi G., Cervone F., De Lorenzo G. (2000). Extracellular H₂O₂ induced by oligogalacturonides is not involved in the inhibition of the auxin-regulated rolB gene expression in tobacco leaf explants. *Plant Physiol.* 122: 1379-1385.
- Biecheler, B. (1936). Sur une chloromonadine nouvelle d'eau saumatre *Chattonella subsalsa* n. gen., n. sp. *Arch. Zool. Exp. Gén.* 78: 79-83.
- Billard, C., Erard-Le Denn E., Crassous M.P. (1998). New observations of Raphidophyceae. *Harmful Algae News*, 17:5-6.
- Biondi, E., Brugiapaglia E., Baldoni M. (1995). Caratteristiche ambientali della costa marchigiana. In: Biondi E. (Ed.), Atti del Convegno "Salvaguardia e gestione dei beni ambientali nelle Marche", Ancona 8-9 aprile 1991: 125-143.
- Black, E.A., Whyte LN.C., Bagshaw JW. (1991). The effects of *Heterosigma akashiwo* on juvenile *Oncorhynchus tshawytscha* and its implications for fish culture. *Journal of Applied Ichthyology*, 7: 168-175.
- Bolch, C.J. & G. Hallegraeff G.M. (1990). Dinoflagellate Cysts in Recent Marine Sediments from Tasmania, Australia. *Bot. Mar.*, 33: 173-192.
- Bolch, C.J.S. (1997). The use of sodium polytungstate for the separation and concentration of living dinoflagellate cysts from marine sediments. *Phycologia*, 36: 472-478.
- Boni, L., Guerrini F., Pistocchi R., Cangini M., Pompei M., Cucchiari E., Romagnoli T., Totti C. (2005). *Microalghe tossiche del Medio ed Alto Adriatico*. Casa Editrice Fernandel, Ravenna, pp. 64.
- Borlak, J.T., Welch, V.A. (1994). Health implications of fatty acids. *Arzneim. Forsch.* 44, 976-981.
- Bourdelais, A.J., Tomas C.R., Naar J., Kubanek J., & Baden D.J. (2002). New Fish-Killing Alga in Coastal Delaware Produces Neurotoxins; *Environmental Health Perspectives*, vol.110 (5): 465-470.

- Bretherton, F.P., R.E. Davis and C. Fandry (1976). A technique for objective analysis and design of oceanographic experiments applied to MODE-73, *Deep Sea Res.*, 23, 559-582.
- Budgell, W.P. (2005). Numerical simulation of ice-ocean variability in the Barents Sea region. *Ocean Dynamics*, DOI 10.1007/s10236-0050008-3.
- Budillon, G., Grilli, F., Ortona, A., Russo, A. and M. Tramontin (2002). An assessment of surface dynamics observed offshore Ancona with HF radar, *Marine Ecology*, 23(1), 21-37.
- Buljan, M., and M. Zore-Armanda (1976). Oceanographical properties of the Adriatic Sea, *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 14, 11-98.
- Campanelli, A., Fornasiero, P. and M. Marini (2004). Physical and chemical characterization of the water column in the Piceno coastal area (Adriatic Sea), *Fresenius Environmental Bulletin*, 13(5), 430-435.
- Carter E. F. and A.R. Robinson (1987). Analysis models for the estimation of oceanic fields, *J. Atms. And Ocean. Techn.*, 4, 49-74.
- Chang, F.H., Anderson C., Boustead N. C. (1990). First record of a *Heterosigma* (Raphidophyceae) bloom with associated mortality of cage-reared salmon in Big Glory Bay, New Zealand. *New Zealand. J. Mar. Freshw. Res.* 24: 461-469.
- Chang, F.H., Page M. (1995). Influence of light and three nitrogen sources on growth of *Heterosigma carterae* (Raphidophyceae). *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 29: 299-304.
- Chassignet, E.P., H.G. Arango, Dietrich, D., Ezer, T., Ghil, M., Haidvogel, D.B., Ma, C.-C., Mehra, A., Paiva, A.M., and Sirkes, Z. (2000). DAMEE-NAB: The Base Experiments. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 32, 155-183.
- Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* 210, 223-253.
- Colantoni, P., Franchi, R., Acconcia, V., Baldelli, G., Barbaresi, A., Cuppari, A., Ercolessi, F., Mencucci, D., Morelli, D., Rossi, B. e R. Ugolini (2002d), Resoconto delle campagne eseguite al largo del delta del Po e di Ancona per la caratterizzazione dei fondali, in 4th PRISMA-II Data Report, edited by Artegiani et al., 287-307.
- Colantoni, P., Franchi, R., Baldelli, G., Borsini, E., Giunta, S. e L. Longhini (2002a), Caratterizzazione tessiturale e compositiva dei fondali antistanti il promontorio del Conero (Adriatico centrale), in 1st PRISMA-II Data Report, edited by Artegiani et al., 203-213.

- Colantoni, P., Franchi, R., Baldelli, G., Ceccarini, M., Barbaresi, A., Cuppari, A., Mencucci, D., Morelli, D. e R. Ugolini (2002c), Resoconto delle campagne eseguite al largo del delta del Po e di Ancona per la caratterizzazione dei fondali, in 3rd PRISMA-II Data Report, edited by Artegiani et al., 217-233.
- Colantoni, P., Franchi, R., Baldelli, G., Cecchini, M., Cuppari, A., Giunta, S., Ercolessi, F., Longhini, L., Mencucci, D. e D. Morelli (2002b), Caratterizzazione dei sedimenti in due aree selezionate dell'alto e medio Adriatico (Febbraio – Aprile 1997), in 2nd PRISMA-II Data Report, edited by Artegiani et al., 267-281.
- Conde, D., Bonilla, S., Aubriot, L., de Leon, R., and Pintos, W. 1999. Comparison of the areal amount of chlorophyll a of planktonic and attached microalgae in a shallow coastal lagoon. *Hydrobiologia* 408/409, 285-291.
- Congestri, R., Albertano, P., Ravizza, P. *et al.* (2000) On blooms of *Fibrocapsa* along the middle Tyrrhenian Sea (Mediterranean Sea), Italy, in spring–summer 1999. ASLO Abstract, Copenhagen.
- Cortés-Altamirano, R., Alonso-Rodríguez R., Sierra Beltrán A. (2006). Fish mortality associated with *Chattonella marina* and *C. cf. ovata* (Raphidophyceae) blooms in Sinaloa (Mexico). *Harmful Algae News*, 31:7-8.
- Cucchiari, E., Boni, L., Guerrini, F., Matteucci, G., Penna, A., Totti, C., Pistocchi, R., (2006). Crescita e tossicità di *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae) dell'Adriatico settentrionale. *V Convegno CoNISMa*, Viareggio, 14-18 novembre 2006.
- Cucchiari, E., Guerrini F., Penna A., Totti C., Pistocchi R. (2008). Effect of salinity, temperature, organic and inorganic nutrients on growth of cultured *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae) from the northern Adriatic Sea. *Harmful Algae*, in press.
- Danovaro, R. (2003). Pollution threats in the mediterranean sea: an overview. *Chemistry and Ecology* 19: 15 – 32.
- Danovaro, R., Armeni M., Luna G.M., Corinaldesi C., Dell'Anno A, Ferrari C.R., Fiordelmondo C., Gambi C., Gismondi M., Manini E., Mecozzi M., Perrone F.M., Pusceddu A., Giani M. (2005). Exoenzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the Northern Adriatic Sea. *Science of The Total Environment* 353:189-203.
- de Boer, M.K., de Boer M.K., Van Rijssel M., Vrieling E.G. (2004b). Morphology of *Fibrocapsa japonica* cysts formed under laboratory conditions. In: Steidinger KA, Landsberg JH, Tomas CR, Vargo

- GA (eds) Harmful algae 2002. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO: 455-457.
- de Boer, M.K., E.M. Koolmees, E.G. Vrieling, A.M. Breeman, M. Van Rijssel (2005). Temperature responses of three *Fibrocapsa japonica* strains (Raphidophyceae) from different climate regions. *J. Plankton Res.* 27: 47-60.
- de Boer M.K., Koolmees E.M., Vrieling E.G., Breeman A.M., Van Rijssel M. (2005). Temperature responses of three *Fibrocapsa japonica* strains (Raphidophyceae) from different climate regions. *J Plankton Res*, 27 (1): 47-60.
- de Boer, M.K., M.R. Tyl, E.G. Vrieling, M. van Rijssel (2004). Effects of salinity and nutrient conditions on growth and haemolytic activity of *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). *Aquat. Microb. Ecol.* 37: 171–181.
- de Boer, M.K., Tyl M.R., Vrieling E.G., van Rijssel M. (2004a). Effects of salinity and nutrient conditions on growth and haemolytic activity of *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). *Aquatic Microbial Ecology*, 37: 171–181.
- Degobbis, D., R. Precali, I. Ivancic, N. Smodlaka, D. Fuks, S. Kveder (2000). Long-term changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication. *Int. J. Environ. Pollut.* 13:495–533.
- Degobbis, D., R. Precali, C.R. Ferrari, T. Djakovac, A. Rinaldi, I. Ivančić, M. Gismondi, N. Smodlaka (2005). Changes in nutrient concentrations and ratios during mucilage events in the period 1999–2002. *Sci. Total Environ.* 353:103-114.
- Dell'Anno, A, Incera, M., Mei, M.L., and Pusceddu, A. (2003). Mesoscale variability of organic matter composition in NW Adriatic sediments. *Chemistry and Ecology*, 19, 33–45.
- Dell'Anno, A., Mei, M.L., Pusceddu, A., and Danovaro, R. (2002). Assessing the trophic state and eutrophication of coastal marine systems: a new approach based on the biochemical composition of sediment organic matter. *Marine Pollution Bulletin* 44, 611-622.
- Di Lorenzo, E. (2003). Seasonal dynamics of the surface circulation in the southern California Current System. *Deep-Sea Res., Part II*, 50, 2371-2388.
- Dinniman, M. S., J. M. Klinck, and W. O. Smith Jr. (2003). Cross shelf exchange in a model of the Ross Sea circulation and biogeochemistry. *Deep-Sea Res., Part II*, 50, 3103-3120.

- Durski, S.M., S.M. Glenn, and D.B. Haidvogel (2004). Vertical mixing schemes in the coastal ocean: Comparison of the level 2.5 Mellor-Yamada scheme with an enhanced version of the K profile parameterization. *J. Geophys. Res.*, 109, C01015.
- Edvardsen, B., I. Imai (2006) The Ecology of harmful flagellates within Prymnesiophyceae and Raphidophyceae. In: Ecology of Harmful algae, Graneli E. J.T. Jefferson, Ecological studies, Vol. 189 pp-67-79, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Endo, M., Onoue Y., Kuroki A. 1992. Neurotoxin-induced cardiac disorder and its role in the death of fish exposed to *Chattonella marina*. *Mar. Biol.*, 112: 371-376.
- Eschbach, E., Scharsack J.P., John U., Medlin L. 2001. Improved erythrocyte lysis assay in microtitre plates for sensitive detection and efficient measurement of haemolytic compounds from ichthyotoxic algae. *J. Appl. Toxicol.* 21: 513-519.
- European Commission (2002). Commission Decision 2002/225/EC laying down detailed rules for the implementation of Council Directive 91/492/EEC as regards the maximum levels and the methods of analysis of certain marine biotoxins in bivalve molluscs, echinoderms, tunicates and marine gastropods.
- European Commission (2003) The EU-US scientific initiative on Harmful Algal Blooms. Workshop Report, EUR 20578, Brussels.
- Ezer, T., H. Arango, A. Shchepetkin (2002). Developments in terrain following ocean models: intercomparison of numerical aspects. *Ocean Modelling* 4: 249-267.
- Fabiano, M., and Danovaro, R. 1994. Composition of organic matter in sediments facing a river estuary (Tyrrhenian Sea): relationships with bacteria and microphytobenthic biomass. *Hydrobiologia* 277, 71-84
- Fabiano, M., Danovaro, R., and Fraschetti, S. 1995. A three-year time series of elemental and biochemical composition of organic matter in subtidal sandy sediments of the Ligurian Sea (northwestern Mediterranean). *Continental Shelf Research* 15, 1453-1469.
- Fairall, C.W., E.F. Bradley, D.P. Rogers, J.B. Edson and G.S. Young (1996). Bulk parameterization of air-sea fluxes for tropical ocean-global atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment. *J. Geophys. Res.*, 101, 3747-3764.
- Falkowski, P.G. (1980). Light-shade adaption in marine phytoplankton, in *Primary Productivity in the Sea*, edited by P.G. Falkowski, pp.99-119, Springer, New York.

- Fasham, M. J. R., H. W. Ducklow, and S. M. McKelvie. (1990). A nitrogen-based model of plankton dynamics in the oceanic mixed layer. *J. Mar. Res.*, 48, 591-639.
- Fennel, K., J. Wilkin, J. Levin, J. Moisan, J. O'Reilly, and Da. Haidvogel (2006). Nitrogen cycling in the Middle Atlantic Bight: Results from a three-dimensional model and implications for the North Atlantic nitrogen budget. *Global Biogeochemical Cycles*, 20, GB3007.
- Fonda Umani, S., Franco P., Ghirardelli E., Malej A. 1992. Outline of oceanography and the plankton of the Adriatic Sea. In: Colombo G., Ferrari I., Ceccherelli VV., Rossi R. (eds) Marine eutrophication and population dynamics. Proc. 25th Eur. Mar. Biol. Symp. Olsen & Olsen, Fredensborg, p 347–365.
- Franco, P., L. Jeftić, P. Malanotte Rizzoli, A. Michelato, and M. Orlić (1982), Descriptive model of the northern Adriatic, *Oceanol. Acta*, 5(3), 379-389.
- Freeman, N.G., A.M. Hale, and M.B. Danard (1972). A modified sigma equations' approach to the numerical modeling of great lake hydrodynamics. *J. Geophys. Res.*, 77, 1050-1060.
- Fu M. (2003) Isolation and characterization of toxins from *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). PhD Thesis, University Oldenburg, Germany.
- Fu, M., Koulman, A., Van Rijssel, M. *et al.* (2004) Chemical characterisation of three haemolytic compounds from the microalgal species *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). *Toxicon*, 43, 355–363.
- Fukuyo Y., Sako Y., Matsuoka K., Imai I., Takahashi M., Watanabe M. (2004). Biological character of Red-tide organism. In: *Red Tides*. (T. Okaichi ed.). Terra Scientific Publishing Company, Tokyo: 110-178.
- Geider, R.J., H.L. McIntyre, and T.M. Kana (1996). A dynamic model of photoadaptation in phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 41, 1-15.
- Geider, R.J., H.L. McIntyre, and T.M.Kana (1997). Dynamic model of phytoplankton growth and acclimation: Responses of the balanced growth rate and the chlorophyll a: Carbon ratio to light, nutrient-limitation and temperature. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 148, 187-200.
- Guillard, R.R.L. (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In: Culture of marine invertebrate animals. Smith WL and Chanely MH (eds), Plenum Press., New York, p. 26-60.
- Haidvogel, D.B., Arango, H.G., Budgell, W.P., Cornuelle, B.D., Curchitser, E., Di Lorenzo, E., Fennel, K., Geyer, W.R., Hermann, A.J., Lanerolle, L., Levin, J., McWilliams, J.C., Miller, A.J., Moore, A.M., Powell, T.M., Shchepetkin, A.F., Sherwood, C.R., Signell, R.P., Warner, J.C., Wilkin, J.

- (2007). Regional Ocean Forecasting in Terrain-following Coordinates: Model Formulation and Skill Assessment. *Journal of Computational Physics*.
- Haidvogel, D. B., Arango, H. G., Hedstrom, K., Beckmann, A., Malanotte-Rizzoli, P., and Shchepetkin, A. F. (2000). Model evaluation experiments in the North Atlantic Basin: Simulations in nonlinear terrain-following coordinates. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 32 (239-281).
- Hara, Y., Doi K., Chihara M. (1994). Four new species of *Chattonella* (Raphidophyceae, Chromophyta) from Japan. *Japanese Journal of Phycology*, 42: 407-420.
- Honjo, T. (1993). Overview on bloom dynamics and physiological ecology of *Heterosigma akashiwo*. In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea* (Ed. Smayda, Y. Shimizu). Elsevier, Amsterdam.: 33-41
- Hood, R.R, and J.R.Christian (2006). N-cycle modeling, Nitrogen in the Marine Environment, edited by E.J.Carpenter and D.G.Capone, Elsevier.
- Hopkins, T. S., C. Kinder, A. Artegiani and R. Pariente (1999), A discussion of the northern Adriatic circulation and flushing as determined from the ELNA hydrography, in *The Adriatic Sea. Ecosystem Report*, edited by T. S. Hopkins et al., 32, 85-106, European Commission, Brussels, Belgium, EUR 18834.
- Imai, I. & Itoh K. (1986). A preliminar note on the cystis of *Chattonella* (Raphidophyceae), red tide flagellates, found in bottom sediment in Suo-Nada, western Seto Inland Sea, Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 33: 61-63.
- Imai, I. & Itoh K. (1988). Cyst of *Chattonella antiqua* and *C. marina* (Raphidophyceae) in sediment of Inland Sea of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 35: 35-44.
- Imai, I. (1989). Cyst formation of the noxious red tide flagellate *Chattonella marina* (Raphidophyceae) in culture. *Marine Biology* 103: 235-239.
- Imai, I. (1989). Cyst formation of the noxious red tide flagellate *Chattonella marina* (Raphidophyceae) in culture. *Marine Biology*, 103: 235-239.
- Imai, I., Ishida Y., Sawayama S. & Hata Y. (1991). Isolation of a marine gliding bacterium that kills *Chattonella antiqua* (Raphidophyceae). *Nippon Suisan Gakkaishi*, 57: 1409-1409.
- Imai, I., Itakura S. & Itoh K. (1993). Cysts of the red tide flagellate *Heterosigma akashiwo*. Raphidophyceae, found in bottom sediments of northern Hiroshima Bay, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59: 1069-1073.

- Imai, I., Yamaguchi M., Watanabe M. (1998). Ecophysiology, Life Cycle, and Bloom Dynamics of *Chattonella* in Seto Island Sea, Japan. In: *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. Anderson, Cembella, Hallegraeff (eds.), Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, pp. 95-112
- IRSA-CNR (2003a) *Metodi analitici per le acque, APAT Manuali e Linee Guida 29/2003*. Vol. 3: 8060 - Metodo di valutazione della tossicità acuta con *Artemia* sp.; pp.1043-1050.
- IRSA-CNR (2003b) *Metodi analitici per le acque, APAT Manuali e Linee Guida 29/2003*; Vol.3: 8030 - Metodo di valutazione della tossicità acuta con batteri bioluminescenti; pp.1003-1012.
- IRSA-CNR (2003c). *Metodi analitici per le acque., APAT Manuali e Linee Guida 29/2003*. Vol.3: 8010- Metodo di valutazione della tossicità con pesci; pp.985-992.
- Ishimatsu, A., Sameshima, M., Tamura, A. *et al.* (1996) Histological analysis of the mechanisms of *Chattonella*-induced hypoxemia in Yellowtail. *Fish. Sci.*, 62, 50–58.
- Iwasaki, H. (1973) The physiological characteristics of neritic red tide flagellates. *Bull. Plankton Soc. Jap.* 19:104-114.
- Joyce, L.B. (2004b). Investigation into the diversity and distribution of cysts of harmful algal blooms within the Benguela current large marine ecosystem region. *Final report BCLME project, EV/HAB/02/03*. Benguela Current Large Marine Ecosystem Programme.
- Keppler, C.J., Hogue J., Smith K., Ringwood A.H., Lewitus A.J. (2005). Sublethal effects of the toxic alga *Heterosigma akashiwo* on the southeastern oyster (*Crassostrea virginica*). *Harmful Algae*, 4: 275-285.
- Khan, S., Arakawa O., Onoue Y. (1996b). Neurotoxin production by a chloromonad *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). *Journal of the World Aquaculture Society*. 27:254-263.
- Khan, S., Arakawa O., Onoue Y. (1997). Neurotoxins in a toxic red tide of *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae) in Kagoshima Bay, Japan. *Aquaculture Research*. 28: 9-14.
- Khan, S., Arakawa, O., Onoue, Y. (1996a) Growth characteristics of a neurotoxin-producing chloromonad *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae). *J. World Aquac. Soc.*, 27, 247–253.
- Kirk, J.T.O. (1983). *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge Univ. Press, New York.
- Kooistra, W.H.C.F., De Boer, M.K., Vrieling, E.G. *et al.* (2001) Variation along ITS markers across strains of *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae) suggests hybridisation events and recent range expansion. *J. Sea Res.*, 46, 213–222.

- Large, W. G., J. C. McWilliams, and S. C. Doney (1994). Oceanic vertical mixing: a review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. *Rev. Geophys.*, 32, 363-403.
- Larsen, J., Moestrup Ø. (1989). *Guide to Toxic and Potentially Toxic Marine Algae*. Fish Inspective Service, Ministry of Fisheries, Copenhagen.
- Lee, R.E. (1999). *Phycology*. 3rd edition. Cambridge University Press, 614 pp.
- Lewitus, A.J., Holland, A.F. (2003). Initial results from a multi-institutional collaboration to monitor harmful algal blooms in South Carolina. *Environ. Monitor. Assess.* 81, 361-371.
- LIFEHAB – *Life histories of microalgal species* (2001). A cura di: Garcés E., Zingone A., Montresor M., Reguera B., Dale B. (2001) www.icm.csic.es/bio/projects/lifehab/LIFEHAB.pdf
- Loeblich, A. R. I., Fine, K. (1977) Marine chloromonads: more widely distributed in neritic environments than previously thought. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 90, 388-399.
- Lorenzen, C.J., and S.W. Jeffrey. (1980). Determination of chlorophyll and phaeopigments spectrophotometric equations. *Limnology and Oceanography* 12, 343-346.
- Lucas, C.H., Widdows, J., Brinsley, M.D., Salkeld, P.N., and Herman, P.M.J. (2000). Benthic-pelagic exchange of microalgae at a tidal flat. 1. Pigment analysis. *Marine Ecology Progress Series* 196, 59-73.
- Marchesiello, P., J.C. McWilliams, and A. Shchepetkin (2003). Equilibrium structure and dynamics of the California Current System. *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 753-783.
- Marini, M., Fornasiero, P. and A. Artegiani (2001), Principali parametri fisici e chimici della fascia costiera del promontorio del Conero, Quad. Ist. Ric. Pesca Marittima, 1, 35-51.
- Marini, M., Fornasiero, P. and A. Artegiani (2002), Variations of hydrochemical features in the coastal waters of Monte Conero: 1982-1990. P.S.Z.N.: *Marine Ecology*, 23 (suppl. 1), 258-271.
- Marini, M., Totti, C. and A. Artegiani (2000), Variazioni interannuali del livello di eutrofizzazione lungo un transetto posto all'altezza di Senigallia (Adriatico settentrionale): 1988-1994, *Atti Ass. It. Oceanol. Limnol.*, 13(2), 333-341.
- Marshall, J.A., Nichols P.D., Hamilton B., Lewis R.J., Hallegraeff G.M. (2003). Ichthyotoxicity of *Chattonella marina* (Raphidophyceae) to damselfish (*Acanthochromis polycaanthus*): the synergistic role of reactive oxygen species and free fatty acids. *Harmful Algae* 2: 273-281.

- Martínez-López, A., Band-Schmidt C.J., Escobedo-Urías D., Ulloa-Pérez A.E. (2006). Bloom of *Chattonella subsalsa* in an impacted coastal lagoon in the Gulf of California. *Harmful Algae News*, 31:1-5.
- Matsuoka, K. & Fukuyo Y. (2000) - *Technical Guide for Modern Dinoflagellate Cyst Study*. (WESTPAC – HAB /WESTPAC / IOC). Japan Society of the Promotion of Science, Tokyo. pp 1-29.
- Matsuoka, K. & Fukuyo Y. (2003) – Taxonomy of cysts – In: *Manual on Harmful Marine Microalgae*. (GM Hallegraeff, DM Anderson & AD Cembella Edt.). Manual and Guides IOC- UNESCO: 563-592.
- McLachlan, J., (1973). Growth media-marine. In: *Culture methods and growth measurements*. Stein J.R. (Eds), Handbook of Phycological Methods. Cambridge University Press, New York: 25-51.
- Mellor, G.L. and Yamada, T. (1982). Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20: 851-875.
- Mistri, M. (2003). The non-indigenous mussel *Musculista senhousia* in an Adriatic lagoon: effects on benthic community over a ten year period. *Journal of the Marine Biological Association of the UK* 83: 1277-1278.
- Moore, A.M., H.G. Arango, A.J. Miller, B.D. Cornuelle, E. Di Lorenzo and D.J. Neilson (2004). A Comprehensive Ocean Prediction and Analysis System Based on the Tangent Linear and Adjoint Components of a Regional Ocean Model. *Ocean Modelling*, 7, 227-258.
- Morello, E.B., Solustri C. Frogliá C. (2004). The alien bivalve *Anadara demiri* (Arcidae): a new invader of the Adriatic Sea, Italy. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 84: 1057-1064.
- Munday, B.L., Hallegraeff G.M. (1998) Mass mortality of captive southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) in April/May 1996 in Boston Bay, South Australia: a complex diagnostic problem. *Fish Pathol* 33:343–350.
- Nehring, S. (1998). Non-indigenous phytoplankton species in the North Sea: supposed region of origin and possible transport vector. *Arch. Fish. Mar. Res.*, 46: 181-194.
- Nixon, S.W. (1995). Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41, 199-219.
- Oda, T., Ishimatsu A., Shimada M., Takeshita S., Muramatsu T. (1992). Oxygen-mediated toxic effects of the red tide flagellate *Chattonella marina* on *Vibrio alginolyticus*. *Marine Biology* 112: 505-509.

- Oda, T., Nakamura A., Shikayama M., Kawano I., Ishimatsu A., Muramatsu T. (1997). Generation of reactive oxygen species by Raphidophycean Phytoplankton. *Biosci. Biotech. Biochem.* 61:1658-1662.
- Odebrecht, C., Abreu P.C. (1995). Raphidophycean in Southern Brazil. *Harmful Algae News*, 12/13, 4.
- Okaichi, T. (1972). Occurrence of red-tides related to neritic water pollution. In: The cause of red-tide in neritic water. *The Japanese association for the Protection of Fisheries Resources*, Tokio. Japan. (in Japanese).
- Okaichi, T. (1983). Marine environmental studies on outbreaks of red tide in neritic waters. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 39: 267-278.
- Okaichi, T. (1989). Red tide problems in the Seto Inland Sea, Japan. In: Okaichi T., Anderson D.M., Nemoto T. (eds.). *Red tides: Biology, environmental science and toxicology*. Elsevier, New York: 137-142.
- Olson, R.J. (1981). Differential photoinhibition of marine nitrifying bacteria: A possible mechanism for the formation of the primary nitrite maximum. *J.Mar.Res.*, 39, 227-238.
- Onoue, Y., Nozawa K. (1989). Separation of toxins from harmful red tides occurring along the coast of Kagoshima Prefecture. In: *Red Tides, Biology, Environmental Science, and Toxicology* (Ed. by T. Okaichi, D.M. Anderson, T. Nemoto), pp. 371-374. Elsevier, Amsterdam.
- Orlić, M., M. Gačić, and P. E. La Violette (1992). The currents and circulation of the Adriatic Sea, *Oceanol. Acta*, 15(2), 109-124.
- Parker, J.G. (1983). A comparison of methods used for the measurement of organic matter in sediments. *Chem. Ecol.*, 1: 201-210.
- Parker, R. A. (1993). Dynamic models for ammonium inhibition of nitrate uptake by phytoplankton. *Ecol. Modell.*, 66, 113-120.
- Peliz, A., J. Dubert, D. B. Haidvogel, and B. Le Cann (2003). Generation and unstable evolution of a density-driven Eastern Poleward Current: The Iberian Poleward Current. *J. Geophys. Res.*, 108(C8), 3268, doi:10.1029/2002JC001443.
- Penna, A., Battocchi, C., Garcés, E., Anglés, S., Bravo, I., Giacobbe, M.G., Satta, C., Krempe, A., Cucchiari, E. and Totti, C. Study on the distribution and dynamics of dinoflagellates species resting cysts in different Mediterranean areas using molecular methods (in preparation).

- Penna, A., Bertozzini E., Battocchi C., Galluzzi L., Giacobbe M.G., Vila M., Garces E., Lugliè A., Magnani M. (2006). Monitoring of HAB species in the Mediterranean Sea through molecular methods. *Journal of Plankton Research* 29: 19–38.
- Penna, A., Bertozzini, E., Battocchi C., Giacobbe M. G. , Galluzzi L. , Garces E. , Vila M. , Lugliè A., Magnani M. (2007). Monitoring of HAB species in the Mediterranean Sea through molecular techniques. *J. Plank. Res.* 29:19-38.
- Phillips, N.A. (1957). A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting. *J. Meteorology*, 14, 184-185.
- Plante-Cuny, M. R. 1974. Evaluation par spectrophotométrie des teneurs en chlorophyl-a fonctionnelle et en phaeopigments des substrates meubles marins. ORSTOM Nosy-Bé, 1-45
- Poulain, P.-M., and B. Cushman-Roisin (2001). Circulation, in *Physical oceanography of the Adriatic Sea*, edited by B. Cushman-Roisin et al., 67-109, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Pusceddu, A., Fiordelmondo C., Polymenakou P., Polychronaki T., Tselepides A., Danovaro R. (2005). Impact of bottom trawling on quantity, biochemical composition and bioavailability of sediment organic matter in coastal sediments (Thermaikos Gulf, Greece). *Continental Shelf Research* 25: 2491–2505
- Pusceddu, A., Frascchetti S., Mirto S., Holmer M., Danovaro R. (2007). Effects of intensive mariculture on sediment biochemistry. *Ecological Applications* 17: 1366-1378
- Pusceddu, A., Grémare, A., Escoubeyrou, K. Amouroux, J.M., Fiordelmondo, C., Danovaro, R. (2005). Effects of natural and anthropogenic sediment resuspension on particulate organic matter dynamics in shallow coastal environments. *Continental Shelf Research* 25: 2506–2520
- Pusceddu, A., Dell'Anno, A., and Fabiano, M. (2000). Organic matter composition in coastal sediments at Terra Nova Bay (Ross Sea) during summer 1995. *Polar Biology* 23, 288-293
- Pusceddu, A., Dell'Anno, A., Danovaro, R., Manini, E., Sarà, G., Fabiano, M. (2003). Enzymatically hydrolyzable protein and carbohydrate sedimentary pools as indicators of the trophic state of 'detritus sink' systems: a case study in a Mediterranean coastal lagoon. *Estuaries* 26, 641-650
- Rademaker, M., Reckermann, M., Tillmann, U. *et al.* (1998) *Fibrocapsa japonica* and *Heterosigma akashiwo*: new observations. *Harmful Algae News*, 17, 8–10.

- Redfield, A.C., B.H. Ketchum, F.A. Richards (1963). The influence of organism on the composition of sea water. In: *The Sea*, 2, Wiley Interscience, New York, 26-79 pp.
- Regione Emilia-Romagna (1998-2005). *Eutrofizzazione delle acque costiere dell'Emilia-Romagna, Rapporti annuali*. A cura di: Arpa Struttura Oceanografica Daphne. Pubbl. Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo Sostenibile, Bologna.
- Rhodes, L.L., Haywood, A.J., Ballantine, W.J. *et al.* (1993) Algal blooms and climate anomalies in north-east New Zealand, August–December 1992. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.*, 27, 419–430.
- Rubino, F., Belmonte G., Maglietta A.M., Geraci S. & Boero F. (2000). Resting Stages of Plankton in Recent North Adriatic Sediments. *P.S.Z.N. Mar. Ecol.*, 21 (3-4): 263–284.
- Russo, A., Rabitti S., Bastianini M. (2002). Decadal Climatic Anomalies in the Northern Adriatic Sea Inferred from a New Oceanographic Data Set. *Marine Ecology* 340-351
- Russo, A., and A. Artegiani (1996). Adriatic Sea hydrography, *Sci. Mar.*, 60, Suppl. 2, 33-43.
- Sambrook, J. and Russell, D.W. (2001). *Molecular cloning. A laboratory manual*. CSHL Press, New York, USA terza edizione.
- Savini, D., Occhipinti Ambrogi A. 2006 Consumption rates and prey preference of the invasive gastropod *Rapana venosa* in the Northern Adriatic Sea. *Helgoland Marine Research* 60:153-159.
- Shchepetkin, A. F., J. C. McWilliams (2003). A method for Computing Horizontal Pressure-Gradient Force in an Oceanic Model with a Non-Aligned Vertical Coordinate. *J. Geophys. Res.*, 108 (C3), n. 3090.
- Shchepetkin, A. F., J. C. McWilliams (2005). The Regional Ocean Modelling System: A Split-Explicit, Free-Surface, Topography-Following-Coordinate Oceanic Model. *Ocean Modelling*, 9, 347-404.
- Shikata, T., Nagasoe S., Matsubara T., Yamasaki Y., Shimasaki Y., Oshima Y., Honjo T. (2007). Effects of temperature and light on cyst germination and germinated cell survival of the noxious raphidophyte *Heterosigma akashiwo*. *Harmful Algae*, 6: 700-706.
- Simopoulos, A.P. (2002). Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. *J. Am. Coll. Nutr.* 21, 495–505.
- Smayda, T.J. (1998). Ecophysiology and bloom dynamics of *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae), In: *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms* (Ed. D.M. Anderson, A.D. Cembella, G. M. Hallegraeff), pp. 113-131. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

- Smayda, T.J., Villareal, T. (1989) The 1985 "brown tide" and the open phytoplankton niche in Narragansett Bay during summer. In Cosper, E.M., Bricelj, V.M., Carpenter, E. J. (eds), *Novel Phytoplankton Blooms: Causes and Impacts of Recurrent Brown Tides and Other Unusual Blooms*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 165–187.
- Socal, G., Boldrin A., Bianchi F., Civitarese G., De Lazzari A., Rabitti S., Totti C., Turchetto M.M. (1999) Nutrient, particulate matter and phytoplankton variability in the photic layer of the Otranto strait. *J. Mar. Syst.*, 20: 381-398.
- Solustri, C.; Morello E.B., Frogliola C. (2003). *Musculista senhousia* (Benson in Cantor, 1842) (Bivalvia: Mytilidae) in the coastal waters of the Adriatic Sea (Italy). *Atti Soc. ital. sci. nat. mus. civ. stor. nat. Milano* 144:231-240
- Song, Y. and D.B. Haidvogel (1994). A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography-following coordinate system. *J. Comp. Phys.*, 115 (1): 228-244.
- Sonneman J.A. & Hill D.R.A. (1997). A taxonomic survey of cyst-producing dinoflagellates from recent sediments of Victorian coastal waters, Australia. *Bot.Mar.*, 40: 149-177.
- Styles, R. and S.M. Glenn (2000). Modeling stratified wave and current bottom boundary layers in the continental shelf. *J. of Geophys. Res.*, 105, 24119-24139.
- Subrahmanyam, R. (1954). On the life-history and ecology of *Hornellia marina* gen. et sp. nov., (Chloromonadineae), causing green discoloration of the sea and mortality among marine organism off the Malabar Coast. *Indian J. fish.*, 1: 182-203.
- Taylor, F.J.R. & Haigh R. (1993). The ecology of Fish-kills blooms of the chloromonas flagellate *Heterosigma* in the Strait of Georgia and adjacent waters. In: *Toxic Phytoplankton blooms in the Sea*. (eds. Smayda & Shimizu). Elsevier, Amsterdam: 705-710.
- Tomas C.R. (1978a). *Olisthodiscus luteus* (Chrysophyceae) I. Effect of salinity and temperature on growth, motility and survival. *Journal of Phycology* 14: 309-313.
- Tomas, C.R. (1978b). *Olisthodiscus luteus* (Chrysophyceae) II. Formation and survival of a benthic stage. *Journal of Phycology* 14: 314-319.
- Tomas, C.R. (1982). *Olisthodiscus luteus* (Chrysophyceae) V. Its occurrence, abundance and dynamics in Narragansett Bay, Rhode Island. *Journal of Phycology*, 16: 279-288.
- Tomas, C. R. (1998) Blooms of potentially harmful Raphidophycean flagellates in Florida coastal waters. In Reguera, B., Blanco, J., Fernandez, M.L., Wyatt, T. (eds), *Harmful Algae*. Xunta de Galicia

- and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Santiago de Compostella, Spain pp. 101–103.
- Toriumi, S., Takano H. (1973) *Fibrocapsa*, a new genus in Chloromonadophyceae from Atsumi Bay, Japan. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, 76, 25–35.
- Toyoshima, T., Shimada M., Ozaki H.S., Okaichi T., Murakami T.H. (1989). Histological alterations to gills of the yellowtail *Seriola quinqueradiata*, following exposure to the red tide species *Chattonella antiqua*. In: *Red Tides, Biology, Environmental Science, and Toxicology* (Ed. by T. Okaichi, D.M. Anderson, T. Nemoto), pp. 439-442. Elsevier, Amsterdam.
- Tseng, C.K., Zhou M.J., Zou J.Z. (1993). Toxic phytoplankton studies in Cina. In: Smayda T. J., Shimizu Y. (eds.). *Toxic phytoplankton blooms in the sea*. Elsevier, New York: 347-352.
- Twiner, M.J., Dixon S.J., Trick C.G. (2004). Extracellular organics from specific cultures of *Heterosigma akashiwo* (Raphidophyceae) irreversibly alter respiratory activity in mammalian cells. *Harmful Algae*, 3: 173-182.
- Tyrrell, J.V., Berquist P.R., Berquist P.L., Scholin C.A., (2001). Detection and enumeration of *Heterosigma akashiwo* and *Fibrocapsa japonica* (Raphidophyceae) using rRNA-target oligonucleotide probes. *Phycologia*, 40: 457-467.
- US-EPA. (1993). *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms*. U.S. Environmental protection Agency, Cincinnati, Ohio, Fourth Edition, 293 pp.
- Van Den Hoek, C., Mann D.G., Jahns H.M. (1995). *Algae. An introduction to phycology*. Cambridge University Press, 627 pp.
- Vezzulli, L., Pruzzo C., Fabiano M. (2004). Response of the bacterial community to in situ bioremediation of organic-rich sediments. *Marine Pollution Bulletin* 49: 740-751.
- Vichi, M., May W., Navarra A. (2003). Response of a complex ecosystem model of the northern Adriatic Sea to a regional climate change scenario. *Climate Research* 24:141-159.
- Vollenweider, R.A., F. Giovanardi, G. Montanari, and A. Rinaldi (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. *Environmetrics* 9:329-357.

- Vrieling, E.G., Koeman, R.P.T., Nagasaki K. *et al.* (1995) *Chattonella* and *Fibrocapsa* (Raphidophyceae): first observation of, potentially harmful, red tide organisms in Dutch coastal waters. *Neth. J. Sea Res.*, 33, 183–191.
- Wanninkhof, R. (1992). Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean. *J. Geophys. Res.*, 97(C5), 7373-7382.
- Warner, J.C., C.R. Sherwood, H.G. Arango, and R.P. Signell (2005a). Performance of four Turbulence Closure Methods Implemented using a Generic Length Scale Method. *Ocean Modelling*, 8, 81-113.
- Warner, J.C., C.R. Sherwood, R.P. Signell, C. Harris, and H.G. Arango (2006). Development of a three-dimensional, regional, coupled wave-, current-, and sediment-transport model, submitted.
- Warner, J. C., W. R. Geyer, and J. A. Lerczak (2005b). Numerical modeling of an estuary: A comprehensive skill assessment. *J. Geophys. Res.*, 110, C05001, doi:10.1029/2004JC002691.
- Wilkin, J.L., H.G. Arango, D.B. Haidvogel, C.S. Lichtenwalner, S.M. Durski, and K.S. Hedstrom (2005). A regional Ocean Modeling System for the Long-term Ecosystem Observatory. *J. Geophys. Res.*, 110, C06S91, doi:10.1029/2003JC002218.
- Yamaguchi, H., H. Sakou, K. Fukami, M. Adachi, M. Yamaguchi, T. Nishijima (2005). Utilization of organic phosphorus and production of alkaline phosphatase by the marine phytoplankton, *Heterocapsa circularisquama*, *Fibrocapsa japonica* and *Chaetoceros ceratosporum*. *Plankton Biol. Ecol.*, 52: 67–75.
- Yamamoto, C., Tanaka Y. (1990). Two species of harmful red tide plankton increased in Fukuoka Bay. *Bull. Fukuoka Fish. Exp. Stn* 16: 43-44.
- Yasumoto, T., Underdal, B., Aune, T., Hormazabal, V., Skulberg, O.M., Oshima, Y., (1990). Screening for haemolytic and ichthyotoxic components of *Chrysochromulina polylepis* and *Gyrodinium aureolum* from Norwegian coastal waters. In: Graneli, *et al.* (Eds.), *Toxic Marine Phytoplankton*. Elsevier, Amsterdam, pp. 436–440.
- Yoshimatsu S. (1987). The cysts of *Fibrocapsa japonica* (Raphidiphyceae) found in bottom sediment in HarimaNada, eastern Inland Sea of Japan. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 34: 25-31.
- Zore-Armanda, M. (1956), On gradient currents in the Adriatic Sea, *Acta Adriat.*, 8(6): 1-38.

Allegati

Allegato 1 – transetti da 1 a 19 lungo l'arco costiero marchigiano (Stazioni A 50 m, B 500 m e C 1000 m dalla linea di costa). Misure CTD: denominazione delle stazioni, data di campionamento, coordinate geografiche, profondità del fondale [m] e parametri chimico-fisici: pressione [dbar], temperatura [°C], salinità [PSU], densità [kg m⁻³], torbidità [FTU].

Arco costiero marchigiano												
Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon [°E]	Lat [°N]	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]	
1A	05/08/2007	12 53.4108	43 55.527	2	1.579	1.592	18.6798	4.76422	35.8944	25.7868	0.993	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	1.472	1.5	23.8448	5.420129	36.7772	25.0339	2.564	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	1.96	2	23.693	5.403009	36.7718	25.0749	3.259	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	2.473	2.5	23.6291	5.398211	36.7879	25.106	3.257	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	2.99	3	23.5351	5.39202	36.8184	25.157	3.394	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	3.457	3.5	23.4344	5.384146	36.8416	25.2043	3.569	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	3.971	4	23.4238	5.383352	36.8442	25.2093	3.59	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	4.469	4.5	23.4139	5.382456	36.8454	25.2132	3.504	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	4.957	5	23.4056	5.381736	36.8466	25.2166	3.625	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	5.449	5.5	23.4032	5.381582	36.8472	25.2178	3.657	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	5.958	6	23.4006	5.38135	36.8474	25.2188	3.867	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	6.469	6.5	23.3967	5.381068	36.8483	25.2206	4.145	
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	6.989	7	23.4007	5.381521	36.8483	25.2195	4.186	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	1.961	2	23.7348	5.415712	36.8345	25.11	2.787	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	2.479	2.5	23.6198	5.40342	36.8357	25.145	2.693	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	2.974	3	23.6021	5.401531	36.8357	25.1503	2.696	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	3.464	3.5	23.5965	5.401505	36.84	25.1553	2.486	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	3.969	4	23.5634	5.398485	36.8442	25.1683	2.551	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	4.464	4.5	23.5047	5.392379	36.846	25.187	2.687	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	4.984	5	23.428	5.384812	36.8516	25.2138	3.033	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	5.457	5.5	23.3473	5.377277	36.8607	25.2445	3.66	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	5.942	6	23.2828	5.371585	36.8705	25.2709	4.432	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	6.436	6.5	23.2626	5.369867	36.874	25.2794	4.651	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	6.948	7	23.2525	5.369117	36.8769	25.2846	5	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	7.473	7.5	23.2329	5.367621	36.8812	25.2936	5.314	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	7.945	8	23.2245	5.367119	36.8842	25.2984	5.526	
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	8.439	8.5	23.2159	5.366696	36.8879	25.3038	6.023	
2A	05/08/2007	12 56.07	43 54.204	2	0.749	0.756	19.2989	4.83387	35.9428	25.6649	1.0545	
2B	07/17/2007	12 56.385	43 54.3258	5	1.971	2	24.3385	5.476312	36.7967	24.901	1.724	
2B	07/17/2007	12 56.385	43 54.3258	5	2.481	2.5	24.0721	5.446091	36.7868	24.9734	1.757	
2B	07/17/2007	12 56.385	43 54.3258	5	2.972	3	24.0355	5.442301	36.788	24.9853	1.836	
2B	07/17/2007	12 56.385	43 54.3258	5	3.47	3.5	24.0018	5.438968	36.7903	24.9972	1.79	
2B	07/17/2007	12 56.385	43 54.3258	5	3.976	4	23.9745	5.436367	36.7929	25.0073	1.786	
2B	07/17/2007	12 56.385	43 54.3258	5	4.497	4.5	23.969	5.435938	36.794	25.0098	1.798	
2B	07/17/2007	12 56.385	43 54.3258	5	5.024	5	23.9757	5.436766	36.7946	25.0083	1.771	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	1.926	2	25.0744	5.556309	36.7956	24.6763	0.434	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	2.479	2.5	24.5662	5.500484	36.7921	24.8287	0.442	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	2.983	3	24.439	5.487565	36.7989	24.8723	0.521	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	3.458	3.5	24.3508	5.478608	36.8035	24.9025	0.72	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	3.957	4	24.1996	5.461843	36.8008	24.9459	0.857	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	4.482	4.5	24.1117	5.452299	36.8007	24.9722	1.307	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	4.965	5	24.0834	5.449525	36.8028	24.9823	1.261	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	5.44	5.5	24.0958	5.451204	36.8051	24.9804	1.215	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	5.967	6	24.0673	5.448284	36.8063	24.9899	1.502	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	6.453	6.5	24.0326	5.444757	36.808	25.0015	1.649	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	6.967	7	24.0192	5.443708	36.8109	25.0078	1.832	
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	7.566	7.5	24.0167	5.443751	36.8131	25.0102	2.325	
3A	05/08/2007	12 59.4018	43 51.8412	2	0.969	0.976	20.0756	4.88197	35.6757	25.2573	1.116	
3B	07/17/2007	12 59.7402	43 52.0848	5	1.959	2	25.4811	5.591798	36.7294	24.5008	1.003	
3B	07/17/2007	12 59.7402	43 52.0848	5	2.445	2.5	25.1513	5.555001	36.7231	24.5979	1.09	
3B	07/17/2007	12 59.7402	43 52.0848	5	2.984	3	24.8541	5.522809	36.7242	24.6898	1.506	
3B	07/17/2007	12 59.7402	43 52.0848	5	3.463	3.5	24.7613	5.515115	36.7421	24.7316	1.722	
3B	07/17/2007	12 59.7402	43 52.0848	5	3.984	4	24.6458	5.503623	36.75	24.7727	2.068	
3B	07/17/2007	12 59.7402	43 52.0848	5	4.53	4.5	24.4816	5.485196	36.7455	24.8191	2.226	
3B	07/17/2007	12 59.7402	43 52.0848	5	4.968	5	24.4924	5.487258	36.752	24.8208	2.43	

Allegato 1 – continua

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon [°E]	Lat [°N]	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	1.963	2	25.5884	5.609804	36.7759	24.5026	0.857
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	2.468	2.5	25.264	5.571397	36.7537	24.5863	0.854
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	2.974	3	24.8992	5.528261	36.7283	24.6791	1.066
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	3.462	3.5	24.7088	5.504867	36.708	24.7218	1.066
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	3.97	4	24.6181	5.493735	36.6982	24.7419	1.155
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	4.479	4.5	24.5609	5.487638	36.6989	24.7598	1.2
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	4.955	5	24.5288	5.488235	36.7295	24.7928	1.244
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	5.449	5.5	24.4671	5.484227	36.7497	24.8268	1.27
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	5.954	6	24.3987	5.476019	36.7437	24.8429	1.293
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	6.462	6.5	24.3585	5.471721	36.744	24.8553	1.377
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	6.941	7	24.2662	5.463745	36.7593	24.8947	1.93
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	7.472	7.5	24.027	5.441294	36.7859	24.9865	3.985
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	7.991	8	23.8383	5.424777	36.8159	25.0656	6.884
4A	05/08/2007	13 38.028	43 49.4868	2	0.8	0.808	20.3473	4.918603	35.7454	25.2381	1.348
4B	07/17/2007	13 40.362	43 49.635	5	1.542	1.5	25.7563	5.660709	37.0161	24.6318	1.41
4B	07/17/2007	13 40.362	43 49.635	5	1.891	2	25.6703	5.650847	37.013	24.6563	0.959
4B	07/17/2007	13 40.362	43 49.635	5	2.502	2.5	25.5233	5.631712	36.9908	24.6853	1.586
4B	07/17/2007	13 40.362	43 49.635	5	2.929	3	25.1872	5.591027	36.9623	24.7678	1.886
4B	07/17/2007	13 40.362	43 49.635	5	3.421	3.5	24.4457	5.493476	36.8379	24.8999	2.41
4B	07/17/2007	13 40.362	43 49.635	5	4.029	4	24.2778	5.474463	36.8321	24.9461	2.722
4B	07/17/2007	13 40.362	43 49.635	5	4.475	4.5	24.2255	5.469309	36.836	24.9648	2.679
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	1.967	2	25.6477	5.669559	37.1698	24.7819	0.601
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	2.466	2.5	25.2272	5.603362	37.0218	24.8004	0.665
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	2.959	3	25.0328	5.581283	37.016	24.8559	0.78
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	3.488	3.5	24.9099	5.56729	37.0119	24.8905	0.758
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	3.959	4	24.8713	5.563856	37.0177	24.9067	0.719
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	4.475	4.5	24.8187	5.557227	37.0111	24.9178	0.785
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	4.955	5	24.705	5.542469	36.9935	24.9392	0.931
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	5.471	5.5	24.4552	5.508969	36.9466	24.9794	1.166
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	5.946	6	24.2344	5.48018	36.9107	25.0188	1.395
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	6.449	6.5	24.0186	5.453275	36.8845	25.0637	1.644
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	6.957	7	23.9249	5.443178	36.885	25.0921	2.122
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	7.478	7.5	23.8956	5.445308	36.9255	25.1316	2.149
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	7.917	8	23.8339	5.445953	36.9816	25.1925	2.286
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	8.473	8.5	23.8355	5.452687	37.0317	25.23	5.459
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	8.937	9	23.8915	5.46589	37.0858	25.2544	9.493
5A	05/09/2007	13 7.8558	43 46.5312	2	0.592	0.596	19.0474	4.82492	36.0862	25.8395	1.61
5B	07/17/2007	13 8.1702	43 46.7376	4	1.937	2	26.5454	5.766985	37.156	24.4885	1.513
5B	07/17/2007	13 8.1702	43 46.7376	4	2.482	2.5	25.9188	5.693527	37.1256	24.6637	1.99
5B	07/17/2007	13 8.1702	43 46.7376	4	2.963	3	25.319	5.62405	37.1006	24.8317	2.346
5B	07/17/2007	13 8.1702	43 46.7376	4	3.469	3.5	25.0864	5.598202	37.0984	24.9018	2.986
5B	07/17/2007	13 8.1702	43 46.7376	4	3.968	4	25.0265	5.592769	37.1068	24.9266	3.788
5B	07/17/2007	13 8.1702	43 46.7376	4	4.519	4.5	24.973	5.588541	37.119	24.9523	5.469
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	1.523	1.5	26.3234	5.750127	37.2127	24.6019	1.119
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	1.904	2	25.8628	5.696143	37.1906	24.7304	1.357
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	2.447	2.5	25.5138	5.654916	37.1706	24.8242	1.46
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	2.989	3	25.2947	5.629443	37.1607	24.8847	1.378
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	3.466	3.5	25.1401	5.612678	37.1625	24.9337	1.42
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	3.952	4	25.0275	5.600772	37.1659	24.971	1.466
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	4.472	4.5	24.9159	5.587968	37.1618	25.0022	1.45
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	4.989	5	24.7971	5.575565	37.1666	25.0421	1.454
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	5.45	5.5	24.6136	5.557008	37.1785	25.1071	1.267
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	5.96	6	24.2954	5.524188	37.1943	25.2154	1.264
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	6.436	6.5	24.1018	5.504208	37.2037	25.2807	1.475
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	6.935	7	24.0452	5.497971	37.2032	25.2974	1.633
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	7.484	7.5	23.9964	5.492048	37.1986	25.3085	3.11
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	7.96	8	23.9666	5.488807	37.1987	25.3175	5.247
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	8.46	8.5	23.9517	5.487548	37.2013	25.324	8.622

Allegato 1 – continua

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon [°E]	Lat [°N]	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
6A	05/09/2007	13 12.0582	43 43.8822	2	0.296	0.301	20.8467	4.992315	35.9223	25.2381	1.397
6B	06/07/2007	13 12.3	43 44.052	4	1.483	1.5	21.9198	5.13497	36.1613	25.1232	2.606
6B	06/07/2007	13 12.3	43 44.052	4	1.948	2	21.9056	5.133444	36.161	25.127	2.555
6B	06/07/2007	13 12.3	43 44.052	4	2.446	2.5	21.902	5.133042	36.1606	25.1277	2.603
6B	06/07/2007	13 12.3	43 44.052	4	3.046	3	21.8999	5.132868	36.1608	25.1285	2.583
6B	06/07/2007	13 12.3	43 44.052	4	3.503	3.5	21.9026	5.133191	36.1609	25.1279	2.612
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	1.949	2	21.7748	5.121562	36.1763	25.1754	1.531
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	2.468	2.5	21.7599	5.120011	36.1763	25.1796	1.562
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	3.002	3	21.728	5.116412	36.1743	25.187	1.577
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	3.482	3.5	21.6788	5.111004	36.1725	25.1993	1.6
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	3.95	4	21.5835	5.100617	36.1697	25.2238	1.7
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	4.451	4.5	21.4696	5.088102	36.1655	25.2523	1.444
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	4.951	5	21.432	5.084789	36.1705	25.2666	1.238
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	5.499	5.5	21.426	5.084509	36.1732	25.2703	1.341
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	5.996	6	21.4384	5.086093	36.1752	25.2684	1.37
7A	05/07/2007	13 16.3092	43 41.2092	2	0.498	0.503	20.0861	4.938009	36.1274	25.5991	114.22
7B	06/07/2007	13 16.7112	43 41.5158	4	2.009	2	22.0151	5.132747	36.0639	25.0223	2.303
7B	06/07/2007	13 16.7112	43 41.5158	4	2.394	2.5	21.9979	5.130748	36.0623	25.026	2.299
7B	06/07/2007	13 16.7112	43 41.5158	4	3.044	3	21.9958	5.130543	36.0622	25.0266	2.302
7B	06/07/2007	13 16.7112	43 41.5158	4	3.459	3.5	21.997	5.130738	36.0626	25.0265	2.454
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	1.497	1.5	21.808	5.122475	36.1559	25.1505	1.117
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	1.885	2	21.8002	5.121608	36.1554	25.1523	1.086
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	2.528	2.5	21.7899	5.120508	36.1551	25.155	1.08
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	2.972	3	21.7812	5.119648	36.1554	25.1577	1.09
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	3.427	3.5	21.7706	5.118702	36.1566	25.1616	1.085
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	3.969	4	21.7542	5.117198	36.1582	25.1675	1.147
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	4.473	4.5	21.7417	5.11612	36.16	25.1723	1.088
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	5.032	5	21.7217	5.114448	36.1633	25.1805	1.11
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	5.499	5.5	21.6956	5.112306	36.168	25.1914	1.102
8A	05/07/2007	13 22.1682	43 38.6154	2	1.082	1.097	18.467	4.738301	35.8605	25.8146	75.79
8B	06/08/2007	13 22.6998	43 38.883	4	1.986	2	21.4348	5.03815	35.7963	24.9809	5.567
8B	06/08/2007	13 22.6998	43 38.883	4	2.457	2.5	21.3909	5.038414	35.8349	25.0224	5.141
8B	06/08/2007	13 22.6998	43 38.883	4	2.967	3	21.37	5.038639	35.854	25.0428	4.993
8B	06/08/2007	13 22.6998	43 38.883	4	3.496	3.5	21.3486	5.04024	35.8846	25.072	4.172
8B	06/08/2007	13 22.6998	43 38.883	4	4.082	4	21.3065	5.044332	35.9525	25.1353	2.465
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	2.035	2	21.2623	5.040431	35.9591	25.1524	4.765
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	2.387	2.5	21.2585	5.043147	35.9839	25.1723	4.755
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	2.967	3	21.2527	5.045311	36.006	25.1908	4.678
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	3.452	3.5	21.2555	5.048375	36.028	25.2068	4.246
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	3.914	4	21.2597	5.049648	36.0345	25.2106	4.001
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	4.411	4.5	21.2639	5.050715	36.0394	25.2132	4.115
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	4.843	5	21.269	5.052205	36.0468	25.2175	5.062
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	5.577	5.5	21.2731	5.053423	36.053	25.2211	3.974
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	6.081	6	21.2761	5.054149	36.0561	25.2227	3.969
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	6.489	6.5	21.2768	5.054278	36.0564	25.2227	3.975
9A	05/07/2007	13 27.2118	43 36.7272	2	1.531	1.543	17.5091	4.610199	35.6009	25.8529	2.125
9B	06/08/2007	13 27.513	43 36.8292	4	1.976	2	21.8298	5.103754	35.9889	25.0174	3.176
9B	06/08/2007	13 27.513	43 36.8292	4	2.496	2.5	21.8105	5.101832	35.9896	25.0233	3.106
9B	06/08/2007	13 27.513	43 36.8292	4	2.969	3	21.7972	5.100658	35.9912	25.0283	3.252
9B	06/08/2007	13 27.513	43 36.8292	4	3.597	3.5	21.75	5.096099	35.9942	25.0439	4.755
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	2.456	2.5	21.9143	5.110405	35.971	24.9801	2.383
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	2.968	3	21.8969	5.108532	35.9705	24.9846	2.399
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	3.465	3.5	21.8626	5.104832	35.9696	24.9936	2.517
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	3.906	4	21.8137	5.099717	35.9696	25.0073	2.581
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	4.345	4.5	21.7645	5.094525	35.9693	25.0209	2.717
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	4.986	5	21.7098	5.088841	35.9696	25.0364	2.459
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	5.574	5.5	21.6481	5.082758	35.9726	25.056	2.75
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	5.976	6	21.5792	5.077012	35.9843	25.0841	2.692
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	6.473	6.5	21.5347	5.074048	35.9978	25.1067	2.291

Allegato 1 – continua

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon [°E]	Lat [°N]	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
11A	05/09/2007	13 34.5222	43 34.14	2	1.271	1.281	17.2855	4.666022	36.2852	26.4324	1.051
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	1.507	1.5	21.9133	5.170336	36.4472	25.3425	2.085
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	1.835	2	21.8686	5.166166	36.4517	25.3585	1.925
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	2.563	2.5	21.8432	5.164259	36.4578	25.3703	1.897
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	2.92	3	21.8105	5.160937	36.4589	25.3804	2.06
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	3.459	3.5	21.7683	5.156221	36.4569	25.3907	1.88
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	3.986	4	21.7441	5.15355	36.456	25.3968	1.939
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	4.486	4.5	21.7303	5.152017	36.4553	25.4002	1.83
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	5.007	5	21.7075	5.149529	36.4546	25.406	1.97
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	5.448	5.5	21.6884	5.147529	36.4546	25.4115	2.164
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	5.884	6	21.6845	5.147238	36.4555	25.4132	2.061
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	6.524	6.5	21.686	5.147446	36.4557	25.413	2.037
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	6.864	7	21.6948	5.148521	36.4566	25.4112	2.119
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	1.967	2	22.0466	5.184162	36.4442	25.3026	1.107
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	2.459	2.5	21.9627	5.175058	36.4426	25.3251	1.204
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	2.967	3	21.8994	5.167987	36.4398	25.3408	1.128
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	3.454	3.5	21.8353	5.160637	36.4354	25.3555	1.225
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	3.975	4	21.7686	5.152984	36.4307	25.3707	1.25
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	4.472	4.5	21.7118	5.146297	36.4254	25.3826	1.409
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	4.95	5	21.6684	5.141871	36.4267	25.3957	1.747
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	5.47	5.5	21.6374	5.139556	36.4343	25.4102	1.832
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	5.952	6	21.6068	5.13768	36.4451	25.427	2.076
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	6.461	6.5	21.589	5.136707	36.4522	25.4374	2.09
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	6.948	7	21.5894	5.136893	36.4532	25.4381	2.143
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	7.429	7.5	21.5842	5.136662	36.4556	25.4414	1.992
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	7.945	8	21.5665	5.13553	36.4614	25.4508	2.224
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	8.44	8.5	21.5596	5.135142	36.4639	25.4547	2.357
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	8.927	9	21.5591	5.135243	36.465	25.4556	2.39
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	9.457	9.5	21.534	5.133689	36.4737	25.4693	2.458
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	9.894	10	21.5157	5.132636	36.4807	25.4797	2.65
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	10.442	10.5	21.5171	5.132873	36.4812	25.4797	2.739
12A	05/11/2007	13 37.8312	43 29.3742	2	0.955	0.968	21.7672	5.054512	35.6507	24.7777	8.6
12B	06/04/2007	13 38.1702	43 29.46	6	1.972	2	21.1998	5.07893	36.3212	25.4454	2.287
12B	06/04/2007	13 38.1702	43 29.46	6	2.474	2.5	21.1905	5.078012	36.3215	25.4482	2.339
12B	06/04/2007	13 38.1702	43 29.46	6	2.912	3	21.1768	5.077101	36.3257	25.4552	2.39
12B	06/04/2007	13 38.1702	43 29.46	6	3.505	3.5	21.1543	5.07614	36.3369	25.4699	2.442
12B	06/04/2007	13 38.1702	43 29.46	6	3.984	4	21.1301	5.075641	36.3533	25.4891	2.531
12B	06/04/2007	13 38.1702	43 29.46	6	4.531	4.5	21.1075	5.07604	36.3756	25.5123	2.489
12B	06/04/2007	13 38.1702	43 29.46	6	4.928	5	21.0907	5.077533	36.4018	25.5369	2.344
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	1.471	1.5	21.1348	5.076651	36.3584	25.4915	2.269
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	1.937	2	21.1287	5.076011	36.3582	25.4931	2.136
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	2.456	2.5	21.1251	5.075649	36.3582	25.4941	2.205
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	2.942	3	21.1109	5.074364	36.3597	25.4992	2.375
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	3.475	3.5	21.0706	5.070786	36.3651	25.5144	2.525
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	4.02	4	21.0354	5.069049	36.3809	25.5361	3.044
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	4.425	4.5	20.9939	5.068957	36.4154	25.5738	4.53
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	4.98	5	20.9636	5.071052	36.4581	25.6147	5.654
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	5.495	5.5	20.959	5.072226	36.4713	25.6261	6.318
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	6.025	6	20.9615	5.073226	36.4771	25.6298	6.891
13A	05/11/2007	13 40.1988	43 25.503	2	0.966	0.973	19.7811	4.880568	35.9154	25.5181	2.493
13B	05/25/2007	13 40.6002	43 25.5702	6	1.454	1.5	22.0565	5.273838	37.1467	25.834	0.75
13B	05/25/2007	13 40.6002	43 25.5702	6	1.955	2	22.0288	5.27151	37.1518	25.8458	0.653
13B	05/25/2007	13 40.6002	43 25.5702	6	2.481	2.5	21.9898	5.267818	37.1558	25.86	0.656
13B	05/25/2007	13 40.6002	43 25.5702	6	2.988	3	21.9491	5.264098	37.1611	25.8755	0.671
13B	05/25/2007	13 40.6002	43 25.5702	6	3.44	3.5	21.8915	5.259184	37.1714	25.8997	0.765
13B	05/25/2007	13 40.6002	43 25.5702	6	3.981	4	21.8721	5.2578	37.1769	25.9094	0.748

Allegato 1 – continua

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon [°E]	Lat [°N]	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	1.927	2	21.9136	5.253713	37.1094	25.8462	0.684
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	2.504	2.5	21.8875	5.25114	37.1112	25.8549	0.642
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	3.001	3	21.8547	5.248053	37.1146	25.8668	0.653
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	3.472	3.5	21.809	5.244364	37.1244	25.8872	0.663
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	3.787	4	21.7592	5.240529	37.1366	25.9105	0.673
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	4.483	4.5	21.6575	5.231171	37.1494	25.9489	0.721
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	5.022	5	21.5776	5.223348	37.1557	25.9761	0.699
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	5.501	5.5	21.5462	5.220996	37.1638	25.9911	0.793
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	5.951	6	21.5597	5.225151	37.1853	26.0036	0.743
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	6.384	6.5	21.5531	5.225166	37.1909	26.0098	0.718
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	7.005	7	21.5641	5.227876	37.2029	26.0159	1.336
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	7.469	7.5	21.5753	5.230605	37.2149	26.0219	1.542
14A	05/11/2007	13 42.0912	43 21.216	2	1.125	1.134	19.9969	4.914497	36.0102	25.5334	1.867
14B	05/25/2007	13 42.4092	43 21.2502	6	1.958	2	23.126	5.369657	36.9887	25.4062	1.094
14B	05/25/2007	13 42.4092	43 21.2502	6	2.445	2.5	22.9895	5.355332	36.9923	25.4487	1.048
14B	05/25/2007	13 42.4092	43 21.2502	6	2.981	3	22.6054	5.315209	37.0037	25.5686	0.868
14B	05/25/2007	13 42.4092	43 21.2502	6	3.512	3.5	22.0516	5.284154	37.2321	25.9005	0.983
14B	05/25/2007	13 42.4092	43 21.2502	6	3.954	4	21.8128	5.284928	37.4447	26.1299	0.833
14B	05/25/2007	13 42.4092	43 21.2502	6	4.503	4.5	21.8113	5.288941	37.4779	26.1556	0.818
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	1.913	2	22.5411	5.304358	36.9735	25.5641	0.746
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	2.472	2.5	22.4148	5.290725	36.9735	25.6003	0.762
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	2.967	3	22.1561	5.263835	36.9815	25.6802	0.782
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	3.469	3.5	21.8443	5.23844	37.0468	25.8182	0.767
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	3.987	4	21.662	5.251446	37.308	26.0683	1.041
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	4.438	4.5	21.62	5.269688	37.4905	26.2191	0.987
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	4.983	5	21.6081	5.274153	37.5365	26.2575	0.971
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	5.487	5.5	21.6017	5.275523	37.5529	26.2718	1.012
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	5.889	6	21.593	5.276113	37.5651	26.2835	1.098
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	6.464	6.5	21.542	5.274191	37.5941	26.32	0.994
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	6.975	7	21.4656	5.270786	37.6336	26.3715	0.78
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	7.453	7.5	21.4758	5.276685	37.6719	26.3978	0.782
15A	05/10/2007	13 44.8062	43 17.3922	2	0.961	0.968	21.1368	5.025862	35.948	25.1784	7.465
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	1.461	1.5	26.8065	5.832563	37.4215	24.6054	3.21
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	1.955	2	26.798	5.83149	37.4205	24.6073	3.079
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	2.434	2.5	26.7709	5.828278	37.4189	24.6149	3.364
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	3.037	3	26.6984	5.818967	37.4099	24.6314	4.253
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	3.426	3.5	26.6263	5.810376	37.4058	24.6513	4.736
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	3.983	4	26.5206	5.798194	37.4027	24.6828	4.804
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	4.464	4.5	26.3552	5.779348	37.3995	24.733	5.404
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	5.021	5	26.0172	5.741282	37.396	24.8373	6.815
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	5.437	5.5	25.6125	5.696277	37.3954	24.9637	8.839
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	1.488	1.5	26.96	5.857135	37.4752	24.5965	1.579
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	1.894	2	26.8989	5.846583	37.4481	24.5958	1.544
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	2.507	2.5	26.8883	5.845788	37.4508	24.6013	1.658
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	2.984	3	26.8325	5.841782	37.4668	24.6313	2.001
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	3.495	3.5	26.7211	5.827658	37.4545	24.6578	2.196
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	3.898	4	26.5697	5.803749	37.4033	24.6676	2.329
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	4.515	4.5	26.4795	5.792573	37.395	24.6901	2.769
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	4.905	5	26.3543	5.778024	37.3904	24.7265	3.942
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	5.467	5.5	26.1863	5.758406	37.3835	24.7745	5.32
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	5.999	6	25.8492	5.720256	37.3783	24.8767	6.874
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	6.431	6.5	25.5225	5.686254	37.3948	24.9913	4.649
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	6.925	7	25.0543	5.633936	37.3912	25.1335	3.751
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	7.472	7.5	24.8178	5.60991	37.407	25.218	6.642
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	7.95	8	24.592	5.587992	37.4297	25.3041	8.736
16A	05/10/2007	13 46.9482	43 13.428	2	0.896	0.902	20.4356	4.984135	36.2054	25.5651	4.792
16B	07/24/2007	13 47.2842	43 13.47	5	1.987	2	27.153	5.875414	37.4511	24.5161	2.693
16B	07/24/2007	13 47.2842	43 13.47	5	2.446	2.5	27.147	5.874293	37.4477	24.5155	2.642
16B	07/24/2007	13 47.2842	43 13.47	5	3.019	3	27.1148	5.870268	37.4445	24.5235	3.07
16B	07/24/2007	13 47.2842	43 13.47	5	3.437	3.5	27.0327	5.860734	37.4418	24.548	4.384

Allegato 1 – continua

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon [°E]	Lat [°N]	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
16B	07/24/2007	13 47.2842	43 13.47	5	3.967	4	26.848	5.838202	37.428	24.5971	5.962
16B	07/24/2007	13 47.2842	43 13.47	5	4.515	4.5	26.4751	5.793373	37.4044	24.6986	8.968
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	1.964	2	27.2346	5.890237	37.492	24.5205	1.535
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	2.407	2.5	27.1677	5.878547	37.4616	24.5193	1.225
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	3.036	3	27.0929	5.869379	37.4557	24.5391	1.479
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	3.414	3.5	27.0379	5.863295	37.4561	24.5571	1.45
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	3.973	4	26.8885	5.845084	37.4451	24.597	1.996
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	4.501	4.5	26.5883	5.808634	37.4236	24.677	3.035
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	4.966	5	26.1786	5.76039	37.4045	24.7928	4.651
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	5.438	5.5	25.7558	5.710774	37.385	24.9111	5.839
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	5.983	6	25.3574	5.665331	37.3754	25.0279	5.473
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	6.845	6.5	25.0407	5.63137	37.3834	25.1317	6.342
17A	05/10/2007	13 48.8478	43 9.3192	2	1.111	1.12	20.4362	5.056774	36.7988	26.0177	21.918
17B	07/24/2007	13 49.1148	43 9.3702	5	1.456	1.5	27.2644	5.89178	37.4792	24.5012	2.352
17B	07/24/2007	13 49.1148	43 9.3702	5	1.996	2	27.2485	5.889585	37.4761	24.504	1.671
17B	07/24/2007	13 49.1148	43 9.3702	5	2.44	2.5	27.2325	5.888546	37.4814	24.5132	1.372
17B	07/24/2007	13 49.1148	43 9.3702	5	3.001	3	27.1693	5.8797	37.4685	24.524	1.561
17B	07/24/2007	13 49.1148	43 9.3702	5	3.471	3.5	27.1092	5.87199	37.4613	24.538	1.979
17B	07/24/2007	13 49.1148	43 9.3702	5	4.045	4	27.0402	5.86363	37.4565	24.5567	3.035
17B	07/24/2007	13 49.1148	43 9.3702	5	4.427	4.5	26.9275	5.849925	37.4484	24.587	5.096
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	1.438	1.5	27.3392	5.900412	37.481	24.4782	1.08
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	1.936	2	27.3292	5.8993	37.4809	24.4815	0.53
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	2.506	2.5	27.3261	5.898965	37.4809	24.4824	0.392
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	2.981	3	27.3238	5.898717	37.4808	24.4832	0.4
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	3.442	3.5	27.31	5.89725	37.4812	24.488	0.419
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	4.007	4	27.2463	5.889487	37.4765	24.5052	0.501
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	4.444	4.5	27.1849	5.882317	37.4743	24.5234	0.577
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	5.037	5	27.0804	5.869575	37.4666	24.5515	0.999
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	5.488	5.5	26.9905	5.85896	37.4624	24.5774	1.197
18A	05/10/2007	13 51.957	43 50.76	2	0.819	0.824	21.5091	5.127433	36.4479	25.4561	4.925
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	1.471	1.5	28.2144	5.99125	37.4282	24.1513	0.609
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	1.979	2	27.6949	5.929602	37.4044	24.3045	0.496
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	2.455	2.5	27.4159	5.898313	37.404	24.3953	0.713
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	3.011	3	27.2324	5.879345	37.4151	24.4633	1.06
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	3.456	3.5	27.0976	5.867123	37.4355	24.5224	1.35
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	3.991	4	26.8775	5.84342	37.4419	24.5981	2.033
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	4.488	4.5	26.585	5.808982	37.4288	24.682	4.676
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	5.043	5	26.4772	5.794113	37.4079	24.7006	27.311
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	1.372	1.5	29.2361	6.118158	37.51	23.8704	1.36
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	2.046	2	28.4147	6.017196	37.4521	24.1028	0.267
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	2.427	2.5	27.4997	5.905264	37.3866	24.3549	0.454
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	3.013	3	27.3768	5.891823	37.3887	24.3965	0.485
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	3.452	3.5	27.232	5.876245	37.393	24.4468	0.596
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	3.982	4	26.9938	5.851552	37.4067	24.5342	0.989
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	4.393	4.5	26.8416	5.836835	37.4231	24.5955	1.293
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	5.085	5	26.6437	5.815362	37.4274	24.6622	1.813
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	5.525	5.5	26.3244	5.77806	37.4149	24.7545	3.027

Allegato 1 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon [°E]	Lat [°N]	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
19A	05/10/2007	13 55.2258	42 53.502	2	0.919	0.927	19.7979	4.953336	36.5032	25.9625	3.01
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	1.493	1.5	27.8812	5.987963	37.671	24.4442	0.976
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	1.932	2	26.7864	5.831495	37.4299	24.6182	0.891
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	2.449	2.5	26.6806	5.820382	37.4348	24.6558	0.932
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	3.027	3	26.6016	5.811352	37.4331	24.6798	0.948
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	3.39	3.5	26.5628	5.807112	37.4336	24.6926	1.025
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	4.047	4	26.493	5.798857	37.43	24.7122	1.45
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	4.337	4.5	26.2482	5.774092	37.4483	24.8038	2.175
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	4.986	5	25.6898	5.70854	37.4229	24.9603	3.881
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	5.526	5.5	25.3912	5.67687	37.4336	25.0614	5.735
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	5.86	6	25.137	5.649988	37.4432	25.1473	7.158
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	6.589	6.5	25.0055	5.635692	37.445	25.1892	10.746
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	6.876	7	24.9791	5.634228	37.4558	25.2055	11.747
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	7.599	7.5	24.9591	5.633231	37.4648	25.2184	16.106
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	1.956	2	27.38	5.911835	37.53	24.5019	0.781
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	2.404	2.5	27.2764	5.893587	37.4822	24.4996	0.719
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	3.024	3	27.2156	5.884941	37.4689	24.5093	0.732
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	3.409	3.5	27.1064	5.872515	37.4673	24.5435	0.766
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	4.062	4	26.9716	5.856521	37.4606	24.5819	0.811
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	4.345	4.5	26.8554	5.84395	37.4635	24.6215	0.86
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	4.996	5	26.5844	5.811429	37.447	24.6959	1.315
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	5.479	5.5	26.3069	5.778869	37.4351	24.7752	1.537
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	5.867	6	26.2215	5.769979	37.4395	24.8057	1.538
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	6.476	6.5	26.1687	5.764791	37.4444	24.8261	1.57
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	6.947	7	25.7956	5.724741	37.4551	24.9516	2.872
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	7.39	7.5	25.4076	5.683031	37.4653	25.0804	4.563
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	8.099	8	25.2746	5.671738	37.491	25.1411	5.67
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	8.219	8.5	25.2074	5.667851	37.5175	25.182	5.81
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	8.972	9	25.0459	5.654562	37.5521	25.258	7.284
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	9.505	9.5	24.9492	5.647528	37.5798	25.3086	8.912
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	9.881	10	24.8903	5.643958	37.6019	25.3435	10.669
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	10.359	10.5	24.8681	5.642737	37.6111	25.3573	11.404
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	11.021	11	24.8699	5.643641	37.6163	25.3607	13.267

Allegato 2 – area AERCA: transetti oleodotto (stazioni 1 – 8), futura nuova condotta (stazioni A – F) e refluo termico impianto IGCC (stazioni RF 1 – 6). Misure CTD: stazioni, data di campionamento, coordinate geografiche, profondità del fondale [m] e variabili fisiche: profondità [m], pressione [dbar], temperatura [°C], salinità [PSU], densità [kg m⁻³], torbidità [FTU].

Area AERCA												
Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	2.464	2.5	23.6033	5.413013	36.9232	25.2163	0.879	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	2.939	3	23.5837	5.410626	36.921	25.2204	0.807	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	3.456	3.5	23.5623	5.408228	36.9203	25.2262	0.86	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	4.001	4	23.5476	5.406836	36.9217	25.2317	0.861	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	4.419	4.5	23.4683	5.398256	36.9217	25.2551	0.874	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	5.008	5	23.4238	5.393655	36.9233	25.2695	0.919	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	5.335	5.5	23.4097	5.39229	36.9244	25.2745	0.969	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	6.023	6	23.4054	5.391804	36.9241	25.2755	0.903	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	6.439	6.5	23.397	5.390977	36.9246	25.2784	0.962	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	6.996	7	23.3804	5.389191	36.9245	25.2832	0.917	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	1.965	2	24.7562	5.58746	37.291	25.1486	0.299	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	2.454	2.5	24.5391	5.562446	37.2825	25.2083	0.318	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	2.977	3	24.444	5.551898	37.2817	25.2365	0.352	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	3.472	3.5	24.4181	5.549243	37.283	25.2454	0.363	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	3.957	4	24.4063	5.548182	37.2847	25.2502	0.361	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	4.488	4.5	24.393	5.546711	37.2844	25.2541	0.362	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	4.973	5	24.3826	5.545638	37.2848	25.2575	0.358	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	5.424	5.5	24.383	5.546243	37.2889	25.2605	0.369	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	5.97	6	24.3855	5.547269	37.2944	25.264	0.397	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	6.446	6.5	24.3964	5.54968	37.3034	25.2676	0.451	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	6.948	7	24.3948	5.549844	37.3058	25.2699	0.423	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	7.416	7.5	24.3859	5.548974	37.3065	25.2731	0.419	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	7.927	8	24.3743	5.547734	37.3066	25.2768	0.409	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	8.452	8.5	24.3605	5.545952	37.3044	25.2793	0.438	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	8.959	9	24.347	5.544496	37.3045	25.2835	0.49	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	9.413	9.5	24.3406	5.545141	37.3145	25.2931	0.449	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	9.917	10	24.3346	5.546054	37.3263	25.3038	0.479	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	10.412	10.5	24.2882	5.541594	37.3311	25.3215	0.498	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	10.922	11	24.1558	5.524767	37.3136	25.3481	0.528	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	11.398	11.5	23.9579	5.501629	37.3028	25.3993	0.598	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	11.909	12	23.8296	5.488773	37.312	25.4446	0.679	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	12.404	12.5	23.7148	5.478098	37.3266	25.4898	0.846	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	12.901	13	23.0821	5.41681	37.3887	25.7234	1.839	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	13.356	13.5	22.1504	5.3301	37.5078	26.0827	3.745	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	13.928	14	21.8075	5.301538	37.5783	26.2337	6.038	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	14.428	14.5	21.7265	5.29679	37.6109	26.2814	6.548	

Allegato 2 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	1.445	1.5	24.9317	5.597732	37.2231	25.0435	0.52
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	1.964	2	24.8842	5.592566	37.2234	25.0583	0.658
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	2.482	2.5	24.7429	5.577407	37.2262	25.1036	0.918
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	2.983	3	24.5352	5.553355	37.2169	25.1597	0.467
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	3.457	3.5	24.45	5.543638	37.214	25.1834	0.197
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	3.987	4	24.419	5.540189	37.2135	25.1924	0.432
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	4.451	4.5	24.4015	5.538525	37.2153	25.1991	0.364
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	4.954	5	24.3918	5.537864	37.2182	25.2043	0.363
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	5.463	5.5	24.3788	5.536504	37.2185	25.2085	0.285
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	5.965	6	24.3718	5.535968	37.2201	25.2119	0.41
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	6.428	6.5	24.3687	5.536137	37.2238	25.2156	0.338
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	6.949	7	24.3583	5.535127	37.2246	25.2194	0.259
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	7.442	7.5	24.3375	5.532527	37.222	25.2238	0.307
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	7.932	8	24.3248	5.530979	37.2207	25.2266	0.326
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	8.443	8.5	24.3167	5.530256	37.2218	25.2299	0.335
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	8.95	9	24.2888	5.527346	37.2228	25.2391	0.314
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	9.396	9.5	24.2281	5.521152	37.2262	25.26	0.351
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	9.928	10	24.1739	5.517429	37.2429	25.289	0.414
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	10.405	10.5	24.1322	5.515639	37.264	25.3176	0.441
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	10.944	11	23.9964	5.501574	37.2702	25.363	0.431
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	11.38	11.5	23.7377	5.476159	37.2927	25.4573	0.467
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	11.911	12	23.2723	5.433991	37.3607	25.6463	0.486
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	12.412	12.5	22.8783	5.402996	37.4552	25.8332	1.285
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	12.889	13	22.3398	5.357388	37.5601	26.0684	2.124
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	13.393	13.5	22.0479	5.333948	37.6274	26.2029	3.241
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	13.884	14	21.9716	5.330466	37.666	26.254	4.152
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	14.409	14.5	21.952	5.330434	37.6827	26.2723	4.309
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	14.935	15	21.9506	5.331547	37.6926	26.2802	4.295
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	1.471	1.5	24.613	5.531293	36.9863	24.9615	0.127
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	1.962	2	24.576	5.527486	36.9879	24.974	0.138
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	2.477	2.5	24.4177	5.510206	36.9879	25.0219	0.139
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	2.96	3	24.2637	5.493144	36.9859	25.0668	0.129
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	3.487	3.5	24.2442	5.492	36.9932	25.0783	0.143
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	3.969	4	24.2312	5.491388	36.9992	25.0867	0.159
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	4.455	4.5	24.2135	5.489554	36.9997	25.0925	0.138
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	4.963	5	24.1937	5.487501	37.0004	25.099	0.14
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	5.465	5.5	24.1814	5.486683	37.0042	25.1056	0.164
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	5.962	6	24.1686	5.48579	37.0079	25.1123	0.179
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	6.435	6.5	24.1579	5.484907	37.0099	25.117	0.151
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	6.955	7	24.1475	5.483751	37.0095	25.1199	0.149
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	7.44	7.5	24.135	5.48234	37.009	25.1233	0.157
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	7.96	8	24.1299	5.482122	37.0114	25.1267	0.148
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	8.422	8.5	24.1203	5.481607	37.0153	25.1325	0.19
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	8.926	9	24.1474	5.48996	37.0562	25.1554	0.198
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	9.435	9.5	24.2087	5.509481	37.1536	25.2108	0.277
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	9.89	10	24.1397	5.508534	37.2038	25.2696	0.308
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	10.434	10.5	24.0224	5.495044	37.1987	25.301	0.347
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	10.902	11	23.9235	5.482411	37.1848	25.32	0.391
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	11.416	11.5	23.8267	5.47474	37.207	25.3658	0.393
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	11.89	12	23.6693	5.47491	37.3406	25.5139	0.343
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	12.426	12.5	23.5978	5.50009	37.595	25.7282	0.39
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	12.881	13	23.6102	5.522425	37.7566	25.8471	0.368
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	13.382	13.5	23.5638	5.523232	37.8024	25.8956	0.337
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	13.867	14	23.4746	5.517709	37.8359	25.9476	0.355
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	14.407	14.5	23.1358	5.479064	37.827	26.0406	1.495
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	14.893	15	22.8032	5.440146	37.8099	26.1247	2.585
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	15.375	15.5	22.5447	5.410605	37.8016	26.1933	5.939
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	15.869	16	22.3027	5.383928	37.8012	26.2626	5.366
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	16.376	16.5	22.1018	5.362932	37.8098	26.3266	6.486

Allegato 2 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	1.45	1.5	24.4294	5.514121	37.0082	25.0337	0.128
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	1.936	2	24.4443	5.515972	37.0097	25.0304	0.13
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	2.481	2.5	24.452	5.516819	37.0096	25.028	0.132
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	2.987	3	24.4395	5.515657	37.011	25.0328	0.124
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	3.47	3.5	24.3204	5.502045	37.0063	25.0652	0.111
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	3.952	4	24.2577	5.495256	37.0066	25.0844	0.115
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	4.472	4.5	24.2467	5.494669	37.0111	25.0911	0.144
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	4.968	5	24.2599	5.498413	37.0284	25.1003	0.118
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	5.441	5.5	24.2684	5.50136	37.0435	25.1092	0.115
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	5.966	6	24.2397	5.498357	37.0444	25.1186	0.133
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	6.447	6.5	24.2126	5.495146	37.0423	25.1252	0.123
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	6.939	7	24.1864	5.492603	37.0446	25.1348	0.131
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	7.439	7.5	24.1714	5.49246	37.0558	25.1478	0.143
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	7.935	8	24.144	5.490515	37.0636	25.162	0.12
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	8.443	8.5	24.0991	5.485262	37.0608	25.1734	0.12
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	8.929	9	24.0695	5.482359	37.0631	25.184	0.124
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	9.395	9.5	24.0583	5.482205	37.0711	25.1935	0.141
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	9.958	10	24.078	5.489088	37.107	25.2148	0.138
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	10.395	10.5	24.0432	5.487922	37.127	25.2404	0.153
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	10.923	11	24.0027	5.490241	37.1784	25.2915	0.16
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	11.423	11.5	23.8642	5.477834	37.1993	25.3487	0.164
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	11.881	12	23.6336	5.455132	37.2185	25.4319	0.196
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	12.402	12.5	23.5626	5.460932	37.3229	25.5321	0.184
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	12.894	13	23.702	5.493801	37.458	25.5933	0.23
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	13.386	13.5	23.7403	5.502047	37.4888	25.6053	0.233
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	13.891	14	23.7423	5.503527	37.4983	25.612	0.214
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	14.406	14.5	23.7545	5.509466	37.5335	25.635	0.24
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	14.878	15	23.7918	5.52503	37.6213	25.6906	0.261
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	15.377	15.5	23.7785	5.533905	37.7006	25.7548	0.273
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	15.838	16	23.6804	5.527843	37.7374	25.8119	0.268
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	16.385	16.5	23.5912	5.521347	37.7633	25.8581	0.258
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	16.866	17	23.5272	5.517181	37.7857	25.8941	0.259
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	17.346	17.5	23.3478	5.49902	37.7987	25.957	0.434
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	17.867	18	22.6031	5.417028	37.8006	26.1758	2.734
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	18.393	18.5	21.989	5.34977	37.803	26.3536	6.474
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	18.904	19	21.7886	5.32856	37.8091	26.4151	10.646

Allegato 2 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	1.478	1.5	24.8151	5.574502	37.1449	25.02	0.65
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	1.923	2	24.8102	5.573893	37.1442	25.021	0.308
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	2.481	2.5	24.7905	5.571723	37.144	25.0269	0.617
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	3.027	3	24.6989	5.561137	37.1399	25.0517	0.28
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	3.461	3.5	24.4371	5.530554	37.1256	25.1204	0.257
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	3.931	4	24.3792	5.524768	37.1297	25.141	0.249
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	4.459	4.5	24.3692	5.524882	37.1387	25.1509	0.169
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	4.945	5	24.3596	5.526155	37.1561	25.167	0.086
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	5.463	5.5	24.353	5.529673	37.1882	25.1933	0.093
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	5.968	6	24.3273	5.532576	37.2314	25.2339	0.197
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	6.433	6.5	24.2921	5.531573	37.253	25.2609	0.141
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	6.948	7	24.2679	5.529988	37.261	25.2743	0.198
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	7.429	7.5	24.2556	5.529174	37.2649	25.281	0.137
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	7.948	8	24.2302	5.527115	37.2703	25.2927	0.234
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	8.467	8.5	24.2014	5.523972	37.2703	25.3014	0.2
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	8.88	9	24.1877	5.522401	37.2696	25.305	0.254
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	9.452	9.5	24.1811	5.521754	37.27	25.3074	0.22
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	9.934	10	24.1726	5.520633	37.2684	25.3088	0.215
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	10.405	10.5	24.1551	5.51824	37.2647	25.3112	0.197
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	10.951	11	24.1435	5.516981	37.2646	25.3147	0.242
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	11.339	11.5	24.1412	5.517204	37.2681	25.318	0.225
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	11.906	12	24.1439	5.518162	37.2729	25.3209	0.254
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	12.416	12.5	24.1412	5.518776	37.2797	25.3269	0.229
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	12.867	13	24.1346	5.518616	37.2838	25.332	0.219
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	13.418	13.5	24.1246	5.518007	37.2874	25.3378	0.217
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	13.866	14	24.1073	5.51704	37.2943	25.3483	0.234
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	14.393	14.5	24.0564	5.516756	37.3347	25.3941	0.277
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	14.91	15	23.9696	5.518646	37.4219	25.4863	0.316
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	15.365	15.5	23.894	5.511877	37.4337	25.5178	0.253
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	15.848	16	23.632	5.47817	37.3958	25.5671	0.239
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	16.372	16.5	23.208	5.42515	37.3451	25.6537	0.17
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	16.885	17	22.5226	5.358023	37.406	25.8989	0.298
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	17.391	17.5	21.9171	5.307583	37.5298	26.166	0.234
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	17.816	18	21.6399	5.28698	37.6068	26.3028	0.224
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	18.378	18.5	21.4717	5.270633	37.6228	26.3621	0.238
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	18.837	19	21.1496	5.237338	37.6372	26.4628	0.346
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	19.336	19.5	20.8961	5.213701	37.6693	26.5573	1.326
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	19.874	20	20.734	5.200523	37.7055	26.6294	2.342

Allegato 2 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	1.454	1.5	25.0039	5.601871	37.1945	24.9997	0.666
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	1.943	2	24.9632	5.597342	37.1939	25.0118	0.902
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	2.474	2.5	24.8228	5.5807	37.1848	25.0479	0.337
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	2.985	3	24.5724	5.550176	37.1619	25.1069	0.226
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	3.5	3.5	24.4526	5.53668	37.1591	25.1411	0.201
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	3.966	4	24.4326	5.535381	37.1657	25.1522	0.155
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	4.459	4.5	24.4321	5.536281	37.1728	25.1577	0.23
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	5.031	5	24.4258	5.536525	37.1797	25.1649	0.162
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	5.38	5.5	24.4104	5.535813	37.187	25.1751	0.153
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	5.95	6	24.3911	5.533575	37.1859	25.1801	0.21
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	6.442	6.5	24.3731	5.532033	37.189	25.1879	0.223
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	6.951	7	24.3514	5.530857	37.198	25.2013	0.164
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	7.441	7.5	24.3202	5.528944	37.2093	25.2193	0.199
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	7.91	8	24.2924	5.527309	37.2198	25.2358	0.165
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	8.427	8.5	24.2672	5.525866	37.2297	25.2509	0.159
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	8.97	9	24.2408	5.524004	37.2374	25.2647	0.181
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	9.433	9.5	24.2039	5.521004	37.2453	25.2818	0.189
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	9.894	10	24.1741	5.518498	37.2509	25.295	0.199
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	10.396	10.5	24.1405	5.515372	37.255	25.3083	0.213
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	10.927	11	24.1003	5.512292	37.265	25.3279	0.227
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	11.402	11.5	24.0651	5.510632	37.2817	25.3511	0.241
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	11.918	12	24.034	5.509707	37.3005	25.3748	0.269
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	12.405	12.5	23.9828	5.5079	37.3295	25.4121	0.272
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	12.892	13	23.9488	5.512427	37.3926	25.4701	0.277
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	13.385	13.5	23.9299	5.519992	37.4662	25.5317	0.365
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	13.893	14	23.8838	5.521475	37.5164	25.5835	0.315
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	14.359	14.5	23.8246	5.521467	37.5663	25.639	0.334
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	14.896	15	23.787	5.521871	37.6011	25.6767	0.324
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	15.395	15.5	23.7637	5.523076	37.63	25.7056	0.252
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	15.852	16	23.7421	5.52416	37.6565	25.7321	0.262
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	16.348	16.5	23.7128	5.524299	37.6823	25.7605	0.339
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	16.887	17	23.6588	5.527659	37.7541	25.831	0.261
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	17.372	17.5	23.6337	5.530102	37.7942	25.8689	0.283
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	17.872	18	23.6059	5.529252	37.8112	25.8902	0.264
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	18.329	18.5	23.4994	5.519401	37.8262	25.9331	0.33
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	18.841	19	22.9365	5.453106	37.7947	26.0746	0.266
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	19.325	19.5	22.0554	5.345436	37.7101	26.264	0.233
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	19.861	20	21.7851	5.314878	37.7024	26.3348	0.261
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	20.361	20.5	21.7279	5.309093	37.706	26.3537	0.286
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	20.823	21	21.6581	5.301146	37.7034	26.3714	0.252
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	21.305	21.5	21.5487	5.287958	37.6934	26.3945	0.238
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	21.829	22	21.4768	5.280415	37.6957	26.4165	0.254
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	22.345	22.5	21.3223	5.262235	37.685	26.4515	0.252
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	22.819	23	21.0577	5.231904	37.6729	26.5156	0.266
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	23.328	23.5	20.5548	5.173073	37.6389	26.6277	0.283
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	23.808	24	20.3541	5.149863	37.6269	26.673	0.332
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	24.312	24.5	20.2277	5.136183	37.6269	26.7071	0.486
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	24.851	25	20.0751	5.120866	37.6366	26.7556	0.569

Allegato 2 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	1.968	2	25.1402	5.620723	37.223	24.9794	0.166
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	2.466	2.5	25.0644	5.613654	37.2325	25.0099	0.165
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	2.962	3	24.8922	5.593121	37.2206	25.0538	0.178
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	3.456	3.5	24.7424	5.575462	37.2116	25.0928	0.198
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	3.995	4	24.6673	5.567027	37.2101	25.1146	0.217
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	4.423	4.5	24.63	5.562972	37.2103	25.1261	0.182
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	4.969	5	24.5972	5.559096	37.2081	25.1344	0.19
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	5.474	5.5	24.5602	5.554667	37.2052	25.1435	0.174
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	5.972	6	24.5194	5.550171	37.2049	25.1557	0.187
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	6.391	6.5	24.4843	5.546168	37.2036	25.1654	0.164
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	6.972	7	24.4588	5.543144	37.2017	25.1717	0.196
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	7.398	7.5	24.4209	5.539171	37.203	25.1842	0.171
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	7.975	8	24.2582	5.521877	37.2071	25.2364	0.196
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	8.449	8.5	24.1082	5.510621	37.2465	25.3114	0.229
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	8.978	9	24.0332	5.507704	37.2869	25.3645	0.233
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	9.43	9.5	23.977	5.505589	37.3177	25.4047	0.264
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	9.929	10	23.9524	5.503709	37.3238	25.4168	0.292
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	10.412	10.5	23.9319	5.504896	37.35	25.4427	0.29
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	10.889	11	23.9025	5.50969	37.4113	25.498	0.273
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	11.425	11.5	23.7912	5.506295	37.4791	25.5827	0.248
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	11.949	12	23.6433	5.493226	37.5036	25.6453	0.253
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	12.336	12.5	23.5773	5.491726	37.5479	25.6985	0.279
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	12.895	13	23.626	5.510288	37.6495	25.7612	0.289
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	13.427	13.5	23.6615	5.518078	37.6791	25.7731	0.333
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	13.858	14	23.6893	5.52405	37.7013	25.7817	0.33
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	14.42	14.5	23.731	5.534727	37.7478	25.8046	0.29
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	14.841	15	23.7429	5.539233	37.7721	25.8196	0.302
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	15.411	15.5	23.6972	5.534274	37.7728	25.8337	0.297
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	15.831	16	23.6515	5.52963	37.7758	25.8497	0.299
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	16.419	16.5	23.6457	5.532173	37.8002	25.8699	0.341
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	16.832	17	23.6608	5.5365	37.8205	25.8809	0.317
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	17.355	17.5	23.64	5.534085	37.8195	25.8863	0.31
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	17.845	18	23.6048	5.529597	37.8148	25.8932	0.295
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	18.391	18.5	23.5576	5.523448	37.8076	25.9018	0.306
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	18.845	19	23.5939	5.523755	37.8482	25.9218	0.31
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	19.353	19.5	23.5996	5.538373	37.8865	25.9493	0.395
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	19.81	20	23.497	5.526746	37.8845	25.9782	0.348
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	20.377	20.5	23.3373	5.50785	37.8752	26.0183	0.421
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	20.822	21	23.1608	5.486887	37.8641	26.0618	0.363
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	21.291	21.5	22.7304	5.433634	37.8195	26.1535	0.279
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	21.86	22	22.2586	5.375625	37.7717	26.2531	0.32
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	22.277	22.5	21.8155	5.323715	37.7455	26.3592	0.346
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	22.838	23	21.4002	5.275229	37.721	26.4572	0.293
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	23.313	23.5	21.0596	5.237849	37.7193	26.5505	0.343
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	23.811	24	20.8482	5.214963	37.7204	26.6096	0.346
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	24.282	24.5	20.5938	5.18677	37.7161	26.676	0.278
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	24.808	25	20.2123	5.140952	37.6798	26.7517	0.268
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	25.297	25.5	19.9574	5.110482	37.656	26.8019	0.399
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	25.775	26	19.8349	5.096374	37.6486	26.829	0.407
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	26.355	26.5	19.7036	5.084086	37.6643	26.8759	1.071
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	26.763	27	19.4762	5.063406	37.6966	26.9607	2.139
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	27.283	27.5	19.2049	5.04	37.7459	27.0696	2.411
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	27.824	28	19.0191	5.023427	37.7751	27.1404	2.84

Allegato 2 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
A	06/29/2007	13 22.6758	43 38.5842	3	1.908	2	24.1995	5.423185	36.5081	24.7241	5.537
A	06/29/2007	13 22.6758	43 38.5842	3	2.47	2.5	24.0903	5.425152	36.6124	24.8359	9.57
A	06/29/2007	13 22.6758	43 38.5842	3	3.03	3	24.064	5.424502	36.629	24.8563	11.281
A	06/29/2007	13 22.6758	43 38.5842	3	3.464	3.5	24.0615	5.425076	36.6352	24.8618	14.521
B	06/29/2007	13 22.7028	43 38.6292	4	1.455	1.5	24.1481	5.400061	36.3748	24.6385	4.79
B	06/29/2007	13 22.7028	43 38.6292	4	1.956	2	24.0855	5.407196	36.48	24.7369	9.43
B	06/29/2007	13 22.7028	43 38.6292	4	2.478	2.5	24.0108	5.41536	36.6033	24.8527	15.248
B	06/29/2007	13 22.7028	43 38.6292	4	3.055	3	23.9965	5.416081	36.6204	24.8699	14.491
B	06/29/2007	13 22.7028	43 38.6292	4	3.42	3.5	24.0002	5.416785	36.6225	24.8705	14.94
C	06/29/2007	13 22.7352	43 38.673	4	1.964	2	24.0167	5.416996	36.6111	24.8568	3.556
C	06/29/2007	13 22.7352	43 38.673	4	2.441	2.5	23.9881	5.414792	36.6177	24.8703	4.082
C	06/29/2007	13 22.7352	43 38.673	4	2.993	3	23.9647	5.412411	36.6186	24.8781	8.389
C	06/29/2007	13 22.7352	43 38.673	4	3.48	3.5	23.9497	5.410651	36.6174	24.8816	10.627
C	06/29/2007	13 22.7352	43 38.673	4	3.988	4	23.9383	5.409488	36.6177	24.8853	11.101
D	06/29/2007	13 22.7658	43 38.715	4	1.447	1.5	23.8877	5.404368	36.6212	24.9029	3.5
D	06/29/2007	13 22.7658	43 38.715	4	1.942	2	23.8707	5.402299	36.6193	24.9065	4.278
D	06/29/2007	13 22.7658	43 38.715	4	2.479	2.5	23.8693	5.402205	36.6195	24.9071	4.001
D	06/29/2007	13 22.7658	43 38.715	4	3.006	3	23.8687	5.402141	36.6194	24.9072	4.086
D	06/29/2007	13 22.7658	43 38.715	4	3.491	3.5	23.8612	5.401289	36.6189	24.9091	5.61
E	06/29/2007	13 22.851	43 38.8362	6	1.962	2	23.8074	5.398491	36.6424	24.9429	1.644
E	06/29/2007	13 22.851	43 38.8362	6	2.434	2.5	23.8084	5.398642	36.6426	24.9427	1.672
E	06/29/2007	13 22.851	43 38.8362	6	2.972	3	23.7889	5.39624	36.6401	24.9467	2.473
E	06/29/2007	13 22.851	43 38.8362	6	3.487	3.5	23.7469	5.390768	36.6328	24.9536	3.56
E	06/29/2007	13 22.851	43 38.8362	6	3.983	4	23.729	5.388552	36.6305	24.9572	4.79
E	06/29/2007	13 22.851	43 38.8362	6	4.507	4.5	23.7322	5.388992	36.631	24.9567	4.276
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	1.962	2	23.9051	5.406068	36.6197	24.8966	2.201
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	2.451	2.5	23.6387	5.371287	36.5733	24.9404	1.74
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	2.99	3	23.631	5.371546	36.5814	24.9489	1.76
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	3.471	3.5	23.6184	5.372104	36.596	24.9637	1.752
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	3.955	4	23.5959	5.372453	36.6171	24.9864	1.744
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	4.463	4.5	23.56	5.371788	36.6416	25.0156	2.018
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	4.987	5	23.5104	5.368361	36.6562	25.0413	2.823
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	5.435	5.5	23.4646	5.365786	36.6742	25.0685	3.579
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	5.952	6	23.429	5.365384	36.7006	25.099	5.586
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	6.44	6.5	23.4079	5.368218	36.7398	25.135	7.926
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	7.046	7	23.4031	5.37201	36.7729	25.1616	8.219
RF1	07/09/2007	13 22.9668	43 38.4828	4	1.912	2	24.9999	5.582382	37.0516	24.8928	3.149
RF1	07/09/2007	13 22.9668	43 38.4828	4	2.461	2.5	24.9841	5.58087	37.0531	24.8988	2.985
RF1	07/09/2007	13 22.9668	43 38.4828	4	3.017	3	24.9052	5.573557	37.063	24.9305	3.385
RF1	07/09/2007	13 22.9668	43 38.4828	4	3.463	3.5	24.678	5.551458	37.084	25.0158	3.746
RF1	07/09/2007	13 22.9668	43 38.4828	4	4.023	4	24.3091	5.511282	37.0856	25.1288	28.345
RF2	07/09/2007	13 23.055	43 38.5956	4	0.969	1	24.8657	5.569186	37.0634	24.9428	7.154
RF2	07/09/2007	13 23.055	43 38.5956	4	1.466	1.5	24.9012	5.574996	37.0776	24.9427	2.867
RF2	07/09/2007	13 23.055	43 38.5956	4	1.976	2	24.8918	5.574741	37.0833	24.9499	2.718
RF2	07/09/2007	13 23.055	43 38.5956	4	2.48	2.5	24.8213	5.570166	37.1068	24.9893	2.768
RF2	07/09/2007	13 23.055	43 38.5956	4	3.019	3	24.7398	5.563263	37.1221	25.0258	2.769
RF2	07/09/2007	13 23.055	43 38.5956	4	3.486	3.5	24.6332	5.553257	37.1346	25.0678	3.527
RF2	07/09/2007	13 23.055	43 38.5956	4	4.01	4	24.4225	5.53205	37.1489	25.1425	2.662
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	0.84	1	24.8058	5.563692	37.0715	24.9672	2.943
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	1.482	1.5	24.7978	5.562606	37.0697	24.9684	2.744
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	1.965	2	24.7894	5.561399	37.0674	24.9692	2.719
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	2.472	2.5	24.78	5.560521	37.0684	24.9728	2.727
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	2.959	3	24.7631	5.559702	37.076	24.9838	2.781
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	3.44	3.5	24.7535	5.559478	37.0821	24.9913	2.759
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	4.08	4	24.7399	5.559091	37.0902	25.0017	2.787
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	4.402	4.5	24.7203	5.55809	37.0987	25.0141	2.782
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	5.027	5	24.6489	5.550911	37.1034	25.0395	3.001
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	0.972	1	24.9346	5.567377	36.9931	24.8685	3.432

Allegato 2 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Profondità [m]	Pressione [dbar]	Temperatura [°C]	Conducibilità [S/m]	Salinità [PSU]	Densità [Kg m ⁻³]	Torbidità [FTU]
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	1.473	1.5	24.9464	5.569086	36.9961	24.8672	2.917
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	1.992	2	24.952	5.570118	36.9991	24.8678	2.929
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	2.492	2.5	24.9554	5.570878	37.0018	24.8688	2.929
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	2.959	3	24.9503	5.571256	37.0087	24.8756	2.919
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	3.435	3.5	24.8006	5.562314	37.0646	24.9637	3.085
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	3.972	4	24.4229	5.535454	37.1743	25.1616	2.954
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	4.493	4.5	23.9909	5.49717	37.2434	25.3439	2.138
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	5.033	5	23.4539	5.442907	37.2783	25.5299	1.62
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	5.446	5.5	23.1861	5.414445	37.2845	25.6134	3.517
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	5.956	6	23.1245	5.407039	37.2791	25.6273	6.932
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	0.495	0.5	25.0091	5.592311	37.1189	24.9408	3.172
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	0.96	1	25.1088	5.608266	37.1561	24.9384	3.414
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	1.489	1.5	25.109	5.607698	37.1515	24.9349	3.496
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	1.981	2	25.0956	5.606579	37.154	24.9409	3.372
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	2.439	2.5	24.912	5.589914	37.1803	25.0172	3.291
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	2.975	3	24.456	5.544675	37.217	25.1839	2.768
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	3.477	3.5	24.0935	5.507314	37.2353	25.307	2.667
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	3.938	4	23.9454	5.492681	37.2474	25.3605	2.511
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	4.528	4.5	23.6166	5.458472	37.2612	25.4688	1.908
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	4.88	5	23.3187	5.427038	37.2699	25.5634	2.13
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	5.44	5.5	23.1434	5.40917	37.2797	25.6223	3.572
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	6.054	6	23.0405	5.398049	37.2805	25.6529	3.542
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	6.349	6.5	22.9971	5.393543	37.2821	25.6668	3.626
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	7.025	7	22.9657	5.389137	37.2743	25.6701	3.374
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	7.49	7.5	22.9642	5.390328	37.2847	25.6784	2.824
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	0.559	0.5	25.0517	5.606075	37.1869	24.9792	1.567
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	0.926	1	25.0403	5.605141	37.1891	24.9844	3.659
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	1.437	1.5	25.041	5.605702	37.1926	24.9869	3.169
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	1.977	2	24.9662	5.59863	37.2011	25.0163	3.18
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	2.574	2.5	24.6051	5.561185	37.2181	25.1395	2.744
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	2.907	3	24.2153	5.518948	37.2223	25.2605	2.688
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	3.452	3.5	23.9161	5.48783	37.235	25.3599	2.509
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	4.003	4	23.642	5.45878	37.2423	25.4469	2.398
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	4.466	4.5	23.404	5.435004	37.2596	25.5304	1.846
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	4.944	5	23.2247	5.416134	37.265	25.5873	1.767
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	5.468	5.5	23.1087	5.40339	37.2643	25.6207	1.678
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	5.975	6	22.9828	5.391977	37.2823	25.6711	1.441
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	6.406	6.5	22.9138	5.386454	37.2978	25.703	1.426
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	7.021	7	22.8821	5.382766	37.2958	25.7107	1.289
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	7.316	7.5	22.8607	5.380183	37.2937	25.7154	1.397
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	7.97	8	22.8392	5.377554	37.2913	25.7198	1.416
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	8.494	8.5	22.7914	5.371557	37.285	25.7289	2.268
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	8.926	9	22.6809	5.356823	37.2637	25.7447	4.203

Allegato 3 – area AERCA (area antistante la raffineria API di Falconara Marittima), misure di velocità e direzione delle correnti marine presso la stazione COR 1, a Sud dei tracciati della futura nuova condotta e del refluo termico dell'impianto IGCC; denominazione della stazione, data, ora, coordinate geografiche, velocità [cm s⁻¹] e direzione di corrente [°M], temperatura [°C] (dati mediati ogni 30 min. di misurazione).

Area AERCA						
Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Ora [hh:mm:ss]	Lon [°E]	Lat [°N]	Velocità di corrente [cm s ⁻¹]	Direzione di corrente [°M]
COR1	09/07/2007	09:10:06	13 23.303	43 38.632	5.3874	46.0596
COR1	09/07/2007	09:40:06	13 23.303	43 38.632	4.1902	19.6896
COR1	09/07/2007	10:10:06	13 23.303	43 38.632	5.986	61.8816
COR1	09/07/2007	10:40:06	13 23.303	43 38.632	7.4825	28.8312
COR1	09/07/2007	11:10:06	13 23.303	43 38.632	6.5846	322.4172
COR1	09/07/2007	11:40:06	13 23.303	43 38.632	8.3804	297.102
COR1	09/07/2007	12:10:06	13 23.303	43 38.632	9.5776	296.7504
COR1	09/07/2007	12:40:06	13 23.303	43 38.632	5.6867	316.0884
COR1	09/07/2007	13:10:06	13 23.303	43 38.632	7.4825	305.1888
COR1	09/07/2007	13:40:06	13 23.303	43 38.632	6.5846	326.6364
COR1	09/07/2007	14:10:06	13 23.303	43 38.632	6.5846	322.7688
COR1	09/07/2007	14:40:06	13 23.303	43 38.632	7.7818	304.4856
COR1	09/07/2007	15:10:06	13 23.303	43 38.632	6.2853	329.0976
COR1	09/07/2007	15:40:06	13 23.303	43 38.632	8.0811	339.9972
COR1	09/07/2007	16:10:06	13 23.303	43 38.632	4.1902	316.0884
COR1	09/07/2007	16:40:06	13 23.303	43 38.632	6.5846	322.4172
COR1	09/07/2007	17:10:06	13 23.303	43 38.632	1.4965	151.188
COR1	09/07/2007	17:40:06	13 23.303	43 38.632	3.5916	111.1056
COR1	09/07/2007	18:10:06	13 23.303	43 38.632	7.1832	125.5212
COR1	09/07/2007	18:40:06	13 23.303	43 38.632	10.4755	99.8544
COR1	09/07/2007	19:10:06	13 23.303	43 38.632	13.4685	112.8636
COR1	09/07/2007	19:40:06	13 23.303	43 38.632	9.2783	127.9824
COR1	09/07/2007	20:10:06	13 23.303	43 38.632	10.1762	130.4436
COR1	09/07/2007	20:40:06	13 23.303	43 38.632	11.0741	118.8408
COR1	09/07/2007	21:10:06	13 23.303	43 38.632	8.979	124.1148
COR1	09/07/2007	21:40:06	13 23.303	43 38.632	8.0811	135.366
COR1	09/07/2007	22:10:06	13 23.303	43 38.632	9.2783	138.882
COR1	09/07/2007	22:40:06	13 23.303	43 38.632	8.0811	105.1284
COR1	09/07/2007	23:10:06	13 23.303	43 38.632	5.3874	151.8912
COR1	09/07/2007	23:40:06	13 23.303	43 38.632	5.3874	164.1972
COR1	10/07/2007	00:10:30	13 23.303	43 38.632	1.7958	211.6632
COR1	10/07/2007	00:40:30	13 23.303	43 38.632	4.7888	244.0104
COR1	10/07/2007	01:10:30	13 23.303	43 38.632	0.8979	250.6908
COR1	10/07/2007	01:40:30	13 23.303	43 38.632	0.2993	14.7672
COR1	10/07/2007	02:10:30	13 23.303	43 38.632	0.8979	26.0184
COR1	10/07/2007	02:40:30	13 23.303	43 38.632	3.2923	157.1652
COR1	10/07/2007	03:10:30	13 23.303	43 38.632	2.0951	71.0232
COR1	10/07/2007	03:40:30	13 23.303	43 38.632	3.2923	206.7408
COR1	10/07/2007	04:10:30	13 23.303	43 38.632	0.8979	285.8508
COR1	10/07/2007	04:40:30	13 23.303	43 38.632	2.6937	152.946
COR1	10/07/2007	05:10:30	13 23.303	43 38.632	5.6867	184.59
COR1	10/07/2007	05:40:30	13 23.303	43 38.632	4.4895	174.3936
COR1	10/07/2007	06:10:30	13 23.303	43 38.632	2.993	102.3156
COR1	10/07/2007	06:40:30	13 23.303	43 38.632	6.5846	92.4708
COR1	10/07/2007	07:10:30	13 23.303	43 38.632	8.979	125.1696
COR1	10/07/2007	07:40:30	13 23.303	43 38.632	12.5706	132.2016
COR1	10/07/2007	08:10:30	13 23.303	43 38.632	7.7818	133.608
COR1	10/07/2007	08:40:30	13 23.303	43 38.632	13.7678	144.156

Allegato 4 – Area AERCA (area antistante la raffineria API di Falconara Marittima), misure di velocità e direzione delle correnti marine presso la stazione COR 2, a Nord dei tracciati della futura nuova condotta e del reflu termico dell'impianto IGCC; denominazione della stazione, data, ora, coordinate geografiche, velocità [cm s⁻¹] e direzione di corrente [°M], temperatura [°C] (dati mediati ogni 30 min. di misurazione).

Area AERCA						
Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Ora [hh:mm:ss]	Lon [°E]	Lat [°N]	Velocità di corrente [cm s ⁻¹]	Direzione di corrente [°M]
COR2	16/07/2007	07:35:00	13 22.645	43 38.83	11.972	279.522
COR2	16/07/2007	08:05:00	13 22.645	43 38.83	13.1692	294.9924
COR2	16/07/2007	08:35:00	13 22.645	43 38.83	15.5636	296.7504
COR2	16/07/2007	09:05:00	13 22.645	43 38.83	12.5706	304.4856
COR2	16/07/2007	09:35:00	13 22.645	43 38.83	8.3804	297.4536
COR2	16/07/2007	10:05:00	13 22.645	43 38.83	3.5916	298.1568
COR2	16/07/2007	10:35:00	13 22.645	43 38.83	1.7958	107.5896
COR2	16/07/2007	11:05:00	13 22.645	43 38.83	2.993	52.3884
COR2	16/07/2007	11:35:00	13 22.645	43 38.83	1.1972	206.7408
COR2	16/07/2007	12:05:00	13 22.645	43 38.83	0.2993	22.1508
COR2	16/07/2007	12:35:00	13 22.645	43 38.83	3.8909	341.052
COR2	16/07/2007	13:05:00	13 22.645	43 38.83	2.0951	250.6908
COR2	16/07/2007	13:35:00	13 22.645	43 38.83	7.1832	293.586
COR2	16/07/2007	14:05:00	13 22.645	43 38.83	10.4755	294.2892
COR2	16/07/2007	14:35:00	13 22.645	43 38.83	7.4825	292.1796
COR2	16/07/2007	15:05:00	13 22.645	43 38.83	14.6657	296.7504
COR2	16/07/2007	15:35:00	13 22.645	43 38.83	14.6657	294.2892
COR2	16/07/2007	16:05:00	13 22.645	43 38.83	19.7538	309.7596
COR2	16/07/2007	16:35:00	13 22.645	43 38.83	21.2503	292.8828
COR2	16/07/2007	17:05:00	13 22.645	43 38.83	19.4545	299.5632
COR2	16/07/2007	17:35:00	13 22.645	43 38.83	21.2503	300.618
COR2	16/07/2007	18:05:00	13 22.645	43 38.83	17.958	297.8052
COR2	16/07/2007	18:35:00	13 22.645	43 38.83	17.6587	294.6408
COR2	16/07/2007	19:05:00	13 22.645	43 38.83	14.0671	300.2664
COR2	16/07/2007	19:35:00	13 22.645	43 38.83	14.6657	300.2664
COR2	16/07/2007	20:05:00	13 22.645	43 38.83	11.6727	308.3532
COR2	16/07/2007	20:35:00	13 22.645	43 38.83	5.986	295.344
COR2	16/07/2007	21:05:00	13 22.645	43 38.83	4.4895	334.3716
COR2	16/07/2007	21:35:00	13 22.645	43 38.83	1.1972	26.0184
COR2	16/07/2007	22:05:00	13 22.645	43 38.83	1.7958	98.0964
COR2	16/07/2007	22:35:00	13 22.645	43 38.83	2.6937	179.6676
COR2	16/07/2007	23:05:00	13 22.645	43 38.83	4.1902	84.384
COR2	16/07/2007	23:35:00	13 22.645	43 38.83	9.2783	130.092
COR2	17/07/2007	00:05:24	13 22.645	43 38.83	14.3664	120.2472
COR2	17/07/2007	00:35:24	13 22.645	43 38.83	17.0601	121.6536
COR2	17/07/2007	01:05:24	13 22.645	43 38.83	16.4615	126.9276
COR2	17/07/2007	01:35:24	13 22.645	43 38.83	15.2643	126.2244
COR2	17/07/2007	02:05:24	13 22.645	43 38.83	15.2643	135.7176
COR2	17/07/2007	02:35:24	13 22.645	43 38.83	12.8699	125.5212
COR2	17/07/2007	03:05:24	13 22.645	43 38.83	8.979	126.576
COR2	17/07/2007	03:35:24	13 22.645	43 38.83	7.1832	136.7724
COR2	17/07/2007	04:05:24	13 22.645	43 38.83	2.993	142.7496
COR2	17/07/2007	04:35:24	13 22.645	43 38.83	1.4965	147.672
COR2	17/07/2007	05:05:24	13 22.645	43 38.83	6.5846	266.1612
COR2	17/07/2007	05:35:24	13 22.645	43 38.83	8.3804	268.974
COR2	17/07/2007	06:05:24	13 22.645	43 38.83	6.8839	286.2024
COR2	17/07/2007	06:35:24	13 22.645	43 38.83	5.986	286.2024
COR2	17/07/2007	07:05:24	13 22.645	43 38.83	8.0811	299.5632
COR2	17/07/2007	07:35:24	13 22.645	43 38.83	8.6797	307.65
COR2	17/07/2007	08:05:24	13 22.645	43 38.83	10.7748	335.0748
COR2	17/07/2007	08:35:24	13 22.645	43 38.83	7.7818	305.5404
COR2	17/07/2007	09:05:24	13 22.645	43 38.83	8.0811	305.5404
COR2	17/07/2007	09:35:24	13 22.645	43 38.83	5.3874	306.2436
COR2	17/07/2007	10:05:24	13 22.645	43 38.83	2.3944	343.5132
COR2	17/07/2007	10:35:24	13 22.645	43 38.83	5.3874	302.7276
COR2	17/07/2007	11:05:24	13 22.645	43 38.83	3.2923	302.376
COR2	17/07/2007	11:35:24	13 22.645	43 38.83	2.3944	10.1964

Allegato 4 – continua.

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Ora [hh:mm:ss]	Lon [°E]	Lat [°N]	Velocità di corrente [cm s ⁻¹]	Direzione di corrente [°M]
COR2	17/07/2007	12:05:24	13 22.645	43 38.83	3.5916	27.0732
COR2	17/07/2007	12:35:24	13 22.645	43 38.83	4.1902	336.1296
COR2	17/07/2007	13:05:24	13 22.645	43 38.83	0.8979	335.4264
COR2	17/07/2007	13:35:24	13 22.645	43 38.83	3.5916	46.0596
COR2	17/07/2007	14:05:24	13 22.645	43 38.83	5.3874	4.5708
COR2	17/07/2007	14:35:24	13 22.645	43 38.83	4.4895	0.7032
COR2	17/07/2007	15:05:24	13 22.645	43 38.83	6.8839	327.6912
COR2	17/07/2007	15:35:24	13 22.645	43 38.83	7.1832	312.2208
COR2	17/07/2007	16:05:24	13 22.645	43 38.83	8.979	312.924
COR2	17/07/2007	16:35:24	13 22.645	43 38.83	12.8699	311.5176
COR2	17/07/2007	17:05:24	13 22.645	43 38.83	11.0741	315.0336
COR2	17/07/2007	17:35:24	13 22.645	43 38.83	11.6727	302.0244
COR2	17/07/2007	18:05:24	13 22.645	43 38.83	13.1692	313.2756
COR2	17/07/2007	18:35:24	13 22.645	43 38.83	9.8769	293.586
COR2	17/07/2007	19:05:24	13 22.645	43 38.83	7.1832	310.1112
COR2	17/07/2007	19:35:24	13 22.645	43 38.83	9.8769	302.0244
COR2	17/07/2007	20:05:24	13 22.645	43 38.83	9.2783	305.1888
COR2	17/07/2007	20:35:24	13 22.645	43 38.83	7.1832	302.0244
COR2	17/07/2007	21:05:24	13 22.645	43 38.83	4.7888	274.248
COR2	17/07/2007	21:35:24	13 22.645	43 38.83	2.0951	266.8644
COR2	17/07/2007	22:05:24	13 22.645	43 38.83	1.1972	0.7032
COR2	17/07/2007	22:35:24	13 22.645	43 38.83	0.2993	43.5984
COR2	17/07/2007	23:05:24	13 22.645	43 38.83	5.6867	92.1192
COR2	17/07/2007	23:35:24	13 22.645	43 38.83	6.5846	130.092
COR2	18/07/2007	00:05:24	13 22.645	43 38.83	8.3804	121.6536
COR2	18/07/2007	00:35:24	13 22.645	43 38.83	8.979	120.2472
COR2	18/07/2007	01:05:24	13 22.645	43 38.83	14.6657	119.1924
COR2	18/07/2007	01:35:24	13 22.645	43 38.83	15.5636	121.302
COR2	18/07/2007	02:05:24	13 22.645	43 38.83	16.1622	122.7084
COR2	18/07/2007	02:35:24	13 22.645	43 38.83	13.7678	117.4344
COR2	18/07/2007	03:05:24	13 22.645	43 38.83	11.0741	122.3568
COR2	18/07/2007	03:35:24	13 22.645	43 38.83	10.7748	124.818
COR2	18/07/2007	04:05:24	13 22.645	43 38.83	7.7818	138.882
COR2	18/07/2007	04:35:24	13 22.645	43 38.83	5.0881	133.9596
COR2	18/07/2007	05:05:24	13 22.645	43 38.83	3.8909	149.7816
COR2	18/07/2007	05:35:24	13 22.645	43 38.83	3.8909	169.1196
COR2	18/07/2007	06:05:24	13 22.645	43 38.83	6.2853	260.5356
COR2	18/07/2007	06:35:24	13 22.645	43 38.83	5.986	274.9512
COR2	18/07/2007	07:05:24	13 22.645	43 38.83	8.3804	273.1932
COR2	18/07/2007	07:35:06	13 22.645	43 38.83	6.2853	262.997

Allegato 5 – Transetti da 1 a 19 lungo l'arco costiero marchigiano (Stazioni A 50 m, B 500 m e C 1000 m dalla linea di costa); parametri fisici del sedimento; denominazione delle stazioni, data di campionamento, coordinate geografiche, profondità del fondale [m] e parametri fisici: profondità della zona di discontinuità redox (RPD) [cm] espressa come media di tre repliche e deviazione standard dalla media [cm], potenziale di ossidoriduzione (Eh) [mv] misurato negli strati 0-0.5 cm, 0.5-1 cm e 1-2 cm al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento.

Arco costiero marchigiano									
Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Media RPD [cm]	Std [cm]	Eh (0-0.5 cm) [mv]	Eh (0.5-1 cm) [mv]	Eh (1-2 cm) [mv]
1A	05/08/2007	12 53.4108	43 55.527	2	2.67	0.24	172.00	136.60	127.30
1B	07/17/2007	12 54.0162	43 55.7496	7	1.50	0.00	232.00	225.20	216.40
1C	07/17/2007	12 53.85	43 55.9998	10	2.00	0.00	167.00	166.00	164.60
2A	05/08/2007	12 56.07	43 54.204	2	12.00	0.41	160.60	130.20	90.80
2B	07/17/2007	12 56.385	43 54.3258	5	3.00	0.00	151.70	150.60	149.10
2C	07/17/2007	12 56.736	43 54.4848	8	0.50	0.00	101.00	115.80	101.40
3A	05/08/2007	12 59.4018	43 51.8412	2	16.50	0.00	154.00	119.30	76.60
3B	07/17/2007	12 59.7402	43 52.0848	5	0.50	0.00	160.30	154.70	141.50
3C	07/17/2007	13 13.02	43 52.2498	8	1.00	0.00	147.40	139.10	124.30
4A	05/08/2007	13 38.028	43 49.4868	2	20.00	0.00	147.30	46.60	46.30
4B	07/17/2007	13 40.362	43 49.635	5	3.00	0.00	136.00	131.10	127.10
4C	07/17/2007	13 44.31	43 49.8	10	1.50	0.00	19.50	12.20	21.00
5A	05/09/2007	13 7.8558	43 46.5312	2	20.00	0.00	153.60	109.90	61.30
5B	07/17/2007	13 8.1702	43 46.7376	4	2.00	0.00	90.60	48.10	28.30
5C	07/17/2007	13 8.631	43 47.0052	8	1.67	0.24	153.00	147.40	145.10
6A	05/09/2007	13 12.0582	43 43.8822	2	20.00	0.41	161.40	137.80	54.60
6B	06/07/2007	13 12.3	43 44.052	4	3.67	0.24	153.30	148.00	144.00
6C	06/07/2007	13 12.7398	43 44.2002	7	3.83	0.62	260.00	230.00	231.60
7A	05/07/2007	13 16.3092	43 41.2092	2	20.00	0.00	183.80	130.30	79.90
7B	06/07/2007	13 16.7112	43 41.5158	4	2.25	0.25	178.20	149.60	136.10
7C	06/07/2007	13 17.1102	43 41.7768	6	1.83	0.24	178.20	149.60	136.10
8A	05/07/2007	13 22.1682	43 38.6154	2	10.83	0.00	232.30	178.90	88.80
8B	06/08/2007	13 22.6998	43 38.883	4	0.50	0.00	112.50	100.60	89.40
8C	06/08/2007	13 22.9158	43 39.1158	9	0.50	0.00	107.00	60.00	52.00
9A	05/07/2007	13 27.2118	43 36.7272	2	20.00	0.00	211.80	122.30	81.90
9B	06/08/2007	13 27.513	43 36.8292	4	1.50	0.00	115.20	108.80	99.60
9C	06/08/2007	13 27.6978	43 37.0902	8	1.83	0.24	182.20	171.10	165.40
11A	05/09/2007	13 34.5222	43 34.14	2	20.00	0.62	132.60	104.10	11.80
11B	06/04/2007	13 34.8	43 34.4328	8	1.67	0.24	121.60	121.50	122.10
11C	06/04/2007	13 35.0502	43 34.6332	11	1.50	0.00	76.40	31.00	43.00
12A	05/11/2007	13 37.8312	43 29.3742	2	20.00	0.00	146.80	121.60	83.20
12B	06/04/2007	13 38.1702	43 29.46	6	2.17	0.24	186.90	187.60	202.40
12C	06/04/2007	13 38.5032	43 29.6088	7	2.17	0.24	226.00	150.00	145.40
13A	05/11/2007	13 40.1988	43 25.503	2	20.00	0.00	166.10	84.30	63.00
13B	05/25/2007	13 40.6002	43 25.5702	6	3.00	0.00	51.10	18.80	23.30
13C	05/25/2007	13 40.9962	43 25.68	9	2.33	0.24	87.40	62.90	166.40
14A	05/11/2007	13 42.0912	43 21.216	2	20.00	0.00	155.70	105.20	75.90
14B	05/25/2007	13 42.4092	43 21.2502	6	3.33	0.24	187.30	136.70	92.50
14C	05/25/2007	13 42.822	43 21.3528	9	4.17	0.24	246.50	243.90	149.60
15A	05/10/2007	13 44.8062	43 17.3922	2	20.00	0.00	180.80	167.90	89.90
15B	07/24/2007	13 44.976	43 17.8668	6	2.50	0.41	92.00	93.00	94.00
15C	07/24/2007	13 45.3	43 17.9832	9	1.17	0.24	156.50	156.10	155.20
16A	05/10/2007	13 46.9482	43 13.428	2	20.00	0.00	159.30	86.40	54.80
16B	07/24/2007	13 47.2842	43 13.47	5	1.17	0.24	207.60	207.70	207.20
16C	07/24/2007	13 47.6898	43 13.5162	7	2.67	0.24	184.30	184.20	184.00
17A	05/10/2007	13 48.8478	43 9.3192	2	20.00	0.00	166.80	144.30	98.50
17B	07/24/2007	13 49.1148	43 9.3702	5	3.50	0.41	177.70	177.10	177.40
17C	07/24/2007	13 49.5018	43 9.4572	7	3.00	0.41	167.00	166.00	165.00
18A	05/10/2007	13 51.957	43 50.76	2	11.83	0.62	156.70	74.60	14.90
18B	07/24/2007	13 52.2498	43 7.578	5	2.17	0.24	168.20	168.10	168.00
18C	07/24/2007	13 52.5978	43 8.28	6	1.00	0.00	164.30	164.40	165.10
19A	05/10/2007	13 55.2258	42 53.502	2	20.00	0.00	191.80	126.30	58.50
19B	07/24/2007	13 55.7112	42 53.721	8	1.00	0.00	152.50	152.40	152.40
19C	07/24/2007	13 56.1672	42 53.8998	12	1.00	0.00	85.00	86.00	85.00

Allegato 6 – Transetti area AERCA: transetto vecchia condotta (stazioni 1 – 8); transetto futura nuova condotta (stazioni A – F); transetto refluo termico impianto IGCC (stazioni RF 1 – 6); parametri fisici del sedimento; denominazione delle stazioni, data di campionamento, coordinate geografiche, profondità del fondale [m] e parametri fisici: profondità della zona di discontinuità redox (RPD) [cm] espressa come media di tre repliche e deviazione standard dalla media [cm], potenziale di ossidoriduzione (Eh) [mv] misurato negli strati 0-0.5 cm, 0.5-1 cm e 1-2 cm al di sotto dell'interfaccia acqua-sedimento.

Area AERCA										
Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon (°E)	Lat (°N)	Profondità fondo [m]	Media RPD [cm]	Std [cm]	Eh (0-0.5 cm) [mv]	Eh (0.5-1 cm) [mv]	Eh (1-2 cm) [mv]	
1	06/28/2007	13 23.8038	43 39.1722	11	2.83	0.24	246.60	241.10	239.00	
2	07/16/2007	13 24.831	43 39.9642	14	1.50	0.00	-87.10	-83.80	-83.40	
3	07/16/2007	13 25.839	43 40.7562	16	2.00	0.00	-60.60	-73.50	-80.80	
4	07/16/2007	13 27.0018	43 41.4642	18	2.00	0.00	-94.70	-97.00	-99.70	
5	07/16/2007	13 28.0542	43 42.1962	20	0.50	0.00	-62.60	-77.50	-80.90	
6	07/16/2007	13 29.0952	43 42.9588	22	0.50	0.00	-77.20	-79.10	-83.80	
7	07/16/2007	13 30.147	43 43.833	26	1.25	0.25	-90.40	-100.10	-102.50	
8	07/16/2007	13 31.1118	43 44.6118	31	1.67	0.24	-88.00	-90.00	-92.20	
A	06/29/2007	13 22.6758	43 38.5842	3	1.50	0.00	187.60	170.00	150.00	
B	06/29/2007	13 22.7028	43 38.6292	4	8.00	1.00	177.50	157.90	138.00	
C	06/29/2007	13 22.7352	43 38.673	4	3.50	0.50	-188.00	-177.70	-173.50	
D	06/29/2007	13 22.7658	43 38.715	4	3.33	0.47	80.00	79.50	70.30	
E	06/29/2007	13 22.851	43 38.8362	6	1.33	0.24	112.20	84.60	65.40	
F	06/29/2007	13 22.965	43 38.9358	6	3.75	0.25	115.60	-49.10	-41.50	
RF1	07/09/2007	13 22.9668	43 38.4828	4	1.00	0.00	219.80	194.00	192.60	
RF2	07/09/2007	13 23.055	43 38.5956	4	1.00	0.00	-50.80	-64.10	-79.10	
RF3	07/09/2007	13 23.1342	43 38.709	5	1.33	0.24	-64.60	-71.10	-75.00	
RF4	07/09/2007	13 23.232	43 38.823	8	0.20	0.00	-68.20	-89.40	-98.10	
RF5	07/09/2007	13 23.3328	43 38.9442	9	0.50	0.00	-57.20	-97.90	-102.80	
RF6	07/09/2007	13 23.4228	43 39.0462	10	1.67	0.24	-112.00	-118.90	-120.80	

Allegato 7 - Concentrazioni di pigmenti clorofilliani in acqua lungo l'arco costiero marchigiano

Stazione	Data [mm/gg/aaaa]	Lon [°E]	Lat [°N]	Profondità fondo [m]	Stazione	Chl-a µg/L	dev.st.	Feo µg/L	dev.st.	CPE µg/L	dev.st.	IDP %	dev.st.
1A	05/08/2007	12.89018	43.92545	2	1A	1.30	0.04	2.35	0.12	3.65	0.08	35.60	1.74
1B	07/17/2007	12.90027	43.92916	7	1B	1.36	0.08	2.15	0.05	3.51	0.13	38.66	0.79
1C	07/17/2007	12.8975	43.93333	10	1C	2.04	0.08	3.36	0.08	5.40	0.15	37.72	0.36
2A	05/08/2007	12.9345	43.9034	2	2A	2.26	0.10	3.87	0.24	6.13	0.34	36.88	0.45
2B	07/17/2007	12.93975	43.90543	5	2B	0.75	0.00	1.16	0.00	1.91	0.00	39.33	0.00
2C	07/17/2007	12.9456	43.90808	8	2C	0.54	0.00	0.84	0.01	1.38	0.01	38.99	0.58
3A	05/08/2007	12.99003	43.86402	2	3A	1.90	0.35	3.97	0.33	5.87	0.03	32.34	5.83
3B	07/17/2007	12.99567	43.86808	5	3B	0.74	0.00	1.52	0.08	2.26	0.08	32.76	1.10
3C	07/17/2007	13.00217	43.87083	8	3C	0.80	0.08	1.26	0.12	2.07	0.20	38.90	0.17
4A	05/08/2007	13.06338	43.82478	2	4A	0.28	0.04	0.76	0.10	1.04	0.14	27.11	1.23
4B	07/17/2007	13.06727	43.82725	5	4B	0.86	0.03	1.43	0.01	2.29	0.04	37.65	0.51
4C	07/17/2007	13.07385	43.83	10	4C	1.90	0.15	4.07	0.02	5.97	0.13	31.84	1.76
5A	05/09/2007	13.13093	43.77552	2	5A	0.82	0.02	1.18	0.06	2.00	0.08	40.92	0.47
5B	07/17/2007	13.13617	43.77896	4	5B	0.78	0.09	1.04	0.14	1.82	0.23	42.81	0.21
5C	07/17/2007	13.14385	43.78342	8	5C	0.83	0.01	1.21	0.05	2.05	0.06	40.76	0.51
6A	05/09/2007	13.20097	43.73137	2	6A	1.01	0.11	1.48	0.09	2.49	0.19	40.43	1.60
6B	06/07/2007	13.205	43.7342	4	6B	1.21	0.16	1.98	0.25	3.19	0.40	37.83	0.98
6C	06/07/2007	13.21233	43.73667	7	6C	1.08	0.08	1.57	0.20	2.65	0.27	40.78	1.69
7A	05/07/2007	13.27182	43.68682	2	7A	3.62	0.72	5.01	1.07	8.63	1.79	42.02	1.30
7B	06/07/2007	13.27852	43.69193	4	7B	1.53	0.17	2.54	0.37	4.06	0.54	37.67	0.86
7C	06/07/2007	13.28517	43.69628	6	7C	1.10	0.08	1.69	0.15	2.79	0.23	39.51	0.35
8A	05/07/2007	13.36947	43.64359	2	8A	0.97	0.04	4.27	0.35	5.25	0.34	18.62	1.66
8B	06/08/2007	13.37833	43.64805	4	8B	1.21	0.13	1.89	0.21	3.10	0.33	39.05	0.76
8C	06/08/2007	13.38193	43.65193	9	8C	1.09	0.15	1.52	0.16	2.61	0.31	41.82	0.65
9A	05/07/2007	13.45353	43.61212	2	9A	0.67	0.08	3.53	0.68	4.20	0.75	16.17	1.24
9B	06/08/2007	13.45855	43.61382	4	9B	1.25	0.09	1.86	0.07	3.10	0.16	40.15	0.81
9C	06/08/2007	13.46163	43.61817	8	9C	1.17	0.17	2.38	0.01	3.55	0.18	32.84	3.22
11A	05/09/2007	13.57537	43.569	2	11A	3.13	0.26	8.58	0.67	11.70	0.41	26.78	3.17
11B	06/04/2007	13.58	43.57388	8	11B	0.96	0.04	1.32	0.06	2.29	0.10	42.20	0.18
11C	06/04/2007	13.58417	43.57722	11	11C	0.60	0.04	2.59	0.27	3.19	0.22	18.84	2.64
12A	05/11/2007	13.63052	43.48957	2	12A	2.49	0.66	3.59	0.52	6.08	1.19	40.65	2.96
12B	06/04/2007	13.63617	43.491	6	12B	0.42	0.06	0.63	0.00	1.05	0.06	39.69	3.67
12C	06/04/2007	13.64172	43.49348	7	12C	0.24	0.05	1.17	0.17	1.41	0.22	16.79	1.70
13A	05/11/2007	13.66998	43.42505	2	13A	0.69	0.03	1.26	0.09	1.94	0.12	35.42	0.77
13B	05/25/2007	13.67667	43.42617	6	13B	0.67	0.02	0.84	0.04	1.51	0.06	44.29	0.71
13C	05/25/2007	13.68327	43.428	9	13C	0.48	0.03	1.90	0.12	2.38	0.14	20.06	0.80
14A	05/11/2007	13.70152	43.3536	2	14A	0.65	0.03	0.97	0.08	1.62	0.10	40.28	1.09
14B	05/25/2007	13.70682	43.35417	6	14B	0.46	0.02	0.69	0.09	1.15	0.11	40.03	2.26
14C	05/25/2007	13.7137	43.35588	9	14C	0.36	0.05	1.44	0.23	1.80	0.28	20.33	1.04
15A	05/10/2007	13.74677	43.28987	2	15A	0.86	0.07	1.47	0.17	2.33	0.25	36.80	0.79
15B	07/24/2007	13.7496	43.29778	6	15B	2.49	0.15	4.57	0.68	7.06	0.84	35.41	2.01
15C	07/24/2007	13.755	43.29972	9	15C	1.66	0.06	7.41	0.51	9.07	0.45	18.37	1.58
16A	05/10/2007	13.78247	43.2238	2	16A	0.32	0.03	0.67	0.01	0.99	0.04	31.84	1.92
16B	07/24/2007	13.78807	43.2245	5	16B	0.99	0.05	1.76	0.76	2.75	0.81	37.24	9.07
16C	07/24/2007	13.79483	43.22527	7	16C	0.93	0.07	4.10	0.16	5.03	0.23	18.39	0.55
17A	05/10/2007	13.81413	43.15532	2	17A	1.04	0.04	1.32	0.02	2.36	0.06	44.08	0.55
17B	07/24/2007	13.81858	43.15617	5	17B	1.70	0.17	2.43	0.22	4.13	0.39	41.14	0.27
17C	07/24/2007	13.82503	43.15762	7	17C	0.30	0.10	2.02	0.55	2.32	0.46	13.73	6.93
18A	05/10/2007	13.86595	43.00846	2	18A	0.67	0.03	1.12	0.04	1.79	0.07	37.59	0.22
18B	07/24/2007	13.87083	43.01263	5	18B	0.90	0.09	1.50	0.18	2.39	0.27	37.51	0.57
18C	07/24/2007	13.87663	43.0138	6	18C	0.37	0.02	1.92	0.06	2.30	0.04	16.27	1.18
19A	05/10/2007	13.92043	42.8917	2	19A	0.44	0.07	0.91	0.14	1.35	0.21	32.26	0.47
19B	07/24/2007	13.92852	42.89535	8	19B	0.87	0.05	1.28	0.10	2.15	0.15	40.54	0.33
19C	07/24/2007	13.93612	42.89833	12	19C	0.54	0.12	3.60	0.96	4.14	1.08	13.20	0.46

Allegato 8 - Carichi organici sedimentari lungo l'arco costiero marchigiano

Stazione	Clorofilla-a µg/g	dev.st.	Feopigmenti µg/g	dev.st.	Pigmenti totali µg/g	dev.st.	Frazionea ttiva %	dev.st.	Materia organica totale mg/g	dev.st.
1A	0.57	0.00	0.90	0.10	1.47	0.10	38.86	2.39	1.97	0.60
2A	0.23	0.06	0.33	0.07	0.57	0.12	41.10	1.79	2.67	0.15
3A	1.15	0.07	1.35	0.10	2.50	0.17	46.07	0.46	1.51	0.15
4A	0.50	0.09	0.80	0.05	1.30	0.14	37.99	3.21	1.53	0.25
5A	0.70	0.14	0.75	0.12	1.45	0.25	48.19	1.40	1.65	0.55
6A	1.86	0.43	1.91	0.44	3.76	0.86	49.30	2.16	45.43	12.82
7A	0.60	0.03	0.66	0.04	1.26	0.07	47.54	0.52	63.27	5.63
8A	0.18	0.03	0.43	0.05	0.61	0.08	29.63	1.95	68.62	1.58
9A	2.26	0.06	2.87	0.26	5.12	0.19	44.10	2.87	142.91	22.53
11A	0.79	0.16	5.70	1.24	6.48	1.40	12.17	0.17	169.73	7.72
12A	0.56	0.04	0.80	0.02	1.36	0.06	41.49	1.30	9.43	3.52
13A	1.24	0.06	3.87	0.05	5.11	0.02	24.21	1.16	12.44	1.96
14A	0.12	0.05	0.18	0.06	0.30	0.11	38.39	2.22	6.50	0.83
15A	0.39	0.13	0.64	0.09	1.03	0.22	37.69	4.22	3.68	0.90
16A	0.12	0.03	0.74	0.30	0.86	0.27	15.05	7.83	8.60	2.45
17A	0.30	0.10	0.57	0.02	0.87	0.12	33.66	6.72	8.62	1.80
18A	0.30	0.07	0.42	0.08	0.72	0.15	41.52	2.48	6.23	0.43
19A	0.27	0.01	0.44	0.07	0.72	0.08	38.43	2.76	4.42	0.82
1B	0.87	0.20	1.93	0.66	2.80	0.45	32.14	12.44	7.89	1.13
2B	1.07	0.24	2.39	0.39	3.46	0.61	30.71	2.75	57.09	14.17
3B	0.94	0.12	2.38	0.22	3.32	0.35	28.13	0.75	33.28	2.43
4B	1.64	0.23	3.56	0.58	5.20	0.81	31.55	0.53	8.13	0.96
5B	1.12	0.09	2.23	0.26	3.35	0.30	33.48	2.66	8.51	0.11
6B	1.58	0.16	1.81	0.18	3.39	0.34	46.55	0.49	6.56	1.26
7B	1.70	0.34	1.88	0.16	3.58	0.50	47.22	3.10	73.17	9.40
8B	1.33	0.15	1.76	0.04	3.10	0.19	42.93	2.31	16.04	3.98
9B	1.44	0.51	1.97	0.85	3.41	1.35	42.70	2.15	7.52	1.39
11B	0.79	0.18	2.45	0.05	3.25	0.13	24.38	4.51	8.46	0.08
12B	0.58	0.06	1.49	0.19	2.07	0.13	27.99	4.48	8.10	1.18
13B	0.80	0.10	1.86	0.47	2.66	0.44	30.82	6.64	9.20	0.42
14B	0.70	0.10	1.36	0.17	2.06	0.07	34.16	6.01	5.00	0.43
15B	1.36	0.34	3.98	0.69	5.34	0.35	25.80	8.05	32.17	5.34
16B	1.99	0.76	3.11	0.77	5.10	1.53	38.57	3.33	14.46	3.70
17B	1.59	0.08	2.32	0.13	3.90	0.05	40.64	2.49	11.67	1.35
18B	1.51	0.00	2.55	0.80	4.06	0.80	37.83	7.53	18.15	5.32
19B	0.95	0.18	1.86	0.33	2.80	0.48	33.70	3.21	16.28	0.29
1C	0.40	0.14	3.49	0.12	3.89	0.02	10.37	3.55	28.57	8.27
2C	1.28	0.55	4.94	1.07	6.22	1.62	20.09	3.67	67.62	16.17
3C	1.52	0.07	5.38	0.38	6.90	0.45	22.11	0.45	97.56	5.80
4C	3.16	0.58	12.14	1.58	15.30	2.15	20.59	0.87	40.09	11.51
5C	1.27	0.26	5.60	1.01	6.87	1.17	18.63	2.68	139.68	77.60
6C	1.46	0.25	3.90	0.14	5.36	0.11	27.18	4.11	113.29	14.43
7C	0.70	0.25	2.85	1.05	3.55	1.30	19.87	0.25	74.07	13.87
8C	4.59	0.66	22.49	2.93	27.08	3.58	16.93	0.24	69.44	5.72
9C	1.26	0.27	3.08	0.63	4.34	0.84	29.05	3.46	32.40	13.03
11C	5.17	0.31	29.01	4.51	34.18	4.78	15.23	1.32	62.41	8.31
12C	1.63	0.75	5.80	0.97	7.44	1.72	21.37	5.17	28.96	3.39
13C	3.08	0.01	16.12	1.29	19.20	1.30	16.09	1.03	21.61	5.36
14C	1.22	0.18	3.82	0.21	5.04	0.38	24.05	1.66	8.46	0.92
15C	0.49	0.23	2.41	0.32	2.90	0.55	16.44	4.85	6.18	1.71
16C	1.08	0.30	3.42	0.46	4.50	0.74	23.71	3.07	4.23	1.24
17C	0.49	0.08	1.84	0.23	2.32	0.29	20.87	1.97	8.73	0.37
18C	1.90	0.11	5.04	1.05	6.94	1.15	27.67	3.02	8.47	1.65
19C	3.43	0.72	13.42	4.06	16.86	4.78	20.58	1.58	29.05	4.60

Allegato 9 - Pigmenti clorofilliani nelle acque dell'area AERCA

	Stazione	Lat. N	Lon. E	Clorofilla-a ($\mu\text{g L}^{-1}$)	dev.st.	Feopigmenti ($\mu\text{g L}^{-1}$)	dev.st.	Pigmenti clorofilliani ($\mu\text{g L}^{-1}$)	dev.st.	Frazione attiva (%)	dev.st.
Condotta Futura	A	43°38,584'	13°22,676'	1.05	0.04	1.50	0.04	2.54	0.08	41.13	0.25
	B	43°38,629'	13°22,703'	1.03	0.06	1.35	0.13	2.38	0.19	43.32	0.79
	C	43°38,673'	13°22,735'	1.25	0.00	1.61	0.00	2.87	0.00	43.67	0.09
	D	43°38,715'	13°22,766'	1.27	0.02	1.59	0.10	2.86	0.13	44.31	1.12
	E	43°38,836'	13°22,851'	1.41	0.03	1.90	0.04	3.31	0.08	42.70	0.02
	F	43°38,936'	13°22,965'	1.14	0.03	1.55	0.07	2.69	0.10	42.41	0.43
Condotta IGCC	RF1	43°38,483'	13°22,967'	1.14	0.04	1.53	0.06	2.67	0.10	42.65	0.03
	RF2	43°38,596'	13°23°055'	1.36	0.05	1.67	0.10	3.03	0.15	44.96	0.70
	RF3	43°38,709'	13°23,134'	1.29	0.04	1.69	0.10	2.97	0.15	43.33	0.73
	RF4	43°38,823'	13°23,232'	1.28	0.05	1.64	0.04	2.92	0.09	43.73	0.21
	RF5	43°38,944'	13°23,333'	0.86	0.00	1.14	0.11	1.99	0.11	42.95	2.16
	RF6	43°39,046'	13°23,423'	1.15	0.14	1.45	0.06	2.61	0.20	44.13	2.02
Oleodotto	1	43°39,172'	13°23,804'	0.95	0.03	1.35	0.04	2.30	0.01	41.18	1.47
	2	43°39,964'	13°24,831'	0.90	0.00	1.48	0.00	2.38	0.00	37.75	0.12
	3	43°40,756'	13°25,839'	0.54	0.00	0.78	0.00	1.31	0.01	40.88	0.09
	4	43°41,464'	13°27,002'	0.40	0.02	0.51	0.05	0.91	0.08	44.16	1.26
	5	43°42,196'	13°28,054'	0.45	0.04	0.84	0.28	1.29	0.31	35.45	5.77
	6	43°42,959'	13°29,095'	0.60	0.08	0.71	0.10	1.31	0.18	45.56	0.17
	7	43°43,833'	13°30,147'	0.79	0.04	1.20	0.09	1.99	0.13	39.82	0.58
	8	43°44,612'	13°31,112'	1.05	0.00	1.42	0.07	2.47	0.07	42.60	1.39

Allegato 10 - Pigmenti clorofilliani e carichi organici sedimentari nell'area AERCA

	Stazione	Lat. N	Lon. E	Clorofilla-a 8g/g	dev.st.	Feopigmenti 8g/g	dev.st.	Pigmenti totali µg/g	dev.st.	Frazione attiva (%)	dev.st.	Materia organica totale mg/g	dev. st.
Eventuale futura condotta	A	43°38,584'	13°22,676'	0.46	0.11	1.79	0.40	2.25	0.50	20.54	1.66	9.51	2.63
	B	43°38,629'	13°22,703'	0.51	0.10	1.88	0.51	2.39	0.61	21.59	1.19	45.96	6.65
	C	43°38,673'	13°22,735'	0.49	0.11	1.44	0.27	1.93	0.37	25.38	2.03	16.14	1.40
	D	43°38,715'	13°22,766'	1.69	0.44	6.02	0.66	7.71	1.03	21.69	3.22	32.66	3.91
	E	43°38,836'	13°22,851'	1.05	0.09	3.74	0.43	4.79	0.52	21.93	0.55	50.88	15.45
	F	43°38,936'	13°22,965'	0.45	0.01	1.81	0.12	2.27	0.10	20.01	1.42	72.94	8.15
Condotta impianto IGCC	RF1	43°38,483'	13°22,967'	0.96	0.20	4.58	1.25	5.54	1.45	17.48	1.15	6.71	1.90
	RF2	43°38,596'	13°23°055'	1.53	0.23	5.77	1.75	7.30	1.98	21.31	2.59	7.15	1.68
	RF3	43°38,709'	13°23,134'	0.46	0.09	1.43	0.13	1.89	0.22	24.00	2.07	12.06	1.79
	RF4	43°38,823'	13°23,232'	3.86	0.40	24.47	7.31	28.33	7.46	14.09	3.17	51.76	2.76
	RF5	43°38,944'	13°23,333'	0.65	0.14	3.67	0.12	4.32	0.26	14.93	2.29	7.16	0.81
	RF6	43°39,046'	13°23,423'	0.97	0.09	4.09	0.40	5.05	0.32	19.25	2.91	28.93	0.73
Vecchio oleodotto	1	43°39,172'	13°23,804'	1.56	0.13	6.37	0.95	7.93	0.82	19.92	3.72	57.60	16.98
	2	43°39,964'	13°24,831'	0.37	0.12	4.10	1.68	4.47	1.80	8.31	0.63	70.88	10.54
	3	43°40,756'	13°25,839'	0.33	0.09	4.11	0.24	4.45	0.34	7.43	1.50	17.24	1.48
	4	43°41,464'	13°27,002'	2.69	0.73	14.27	1.68	16.96	2.42	15.70	2.08	10.14	0.00
	5	43°42,196'	13°28,054'	2.45	0.44	14.36	2.17	16.81	1.72	14.80	4.16	47.96	13.82
	6	43°42,959'	13°29,095'	1.61	0.36	14.63	2.05	16.23	2.42	9.86	0.77	11.50	0.81
	7	43°43,833'	13°30,147'	1.29	0.26	17.85	2.21	19.15	1.95	6.86	2.07	14.52	2.12
	8	43°44,612'	13°31,112'	1.23	0.01	2.10	0.49	3.32	0.50	37.31	5.21	11.98	2.32