

INTEGRAZIONE SIMULAZIONI NUMERICHE



Stazione
Zoologica
Anton Dohrn
Napoli

Maggio 2017

GRUPPO DI LAVORO

Ing. Vincenzo Botte

Dott. Daniele Iudicone

Ing. Francesca Margiotta

In relazione alla richiesta di integrazioni effettuata dalla Commissione Tecnica di Verifica (nota prot. N. 890/CTVA 22/03/2017) si riportano di seguito le integrazioni richieste nel paragrafo

2.2 Modello numerico.

a. Validazione del modello ROMS utilizzato

Come richiesto, è stata effettuata una validazione aggiuntiva del modello tramite confronto con stime di corrente da dati sperimentali.

Come in ogni esercizio di modellistica numerica, il modello di circolazione richiede una validazione dei campi di velocità simulati.

In assenza di misure correntometriche in situ, l'unica possibile validazione è il confronto con stime dei campi di velocità da dati satellitari. La velocità delle correnti superficiali marine può essere stimata dalle misure di elevazione della superficie ottenute con l'altimetria. I radar altimetri forniscono una misura limitata, in quanto possono fornire esclusivamente osservazioni lungo la traccia al suolo del satellite (al nadir) e hanno un ciclo di ripetizione relativamente lungo (10 giorni). L'applicazione dell'approssimazione geostrofica ai dati lungo traccia permette dunque di stimare solo la componente della velocità perpendicolare alla traccia (dalla pendenza della topografia superficiale) per i singoli passaggi del satellite. I dati alle microonde sono inoltre contaminati dalla riflessione del segnale radar lungo le porzioni di traccia vicine a terra e l'intero processamento (correzioni atmosferiche, correzioni mareali, etc.) richiede dunque un trattamento specifico del dato vicino alla costa per poter avere una stima accurata.

Per il nostro confronto sono state utilizzate le stime della topografia superficiale lungo la traccia 120 del satellite Jason-1, ottenute attraverso l'algoritmo X-TRACK, sviluppato dal *Center of Topography of the Ocean and Hydrosphere* di Tolosa, specificamente disegnato per le zone costiere del Mar Mediterraneo (Biol et al., 2016). La traccia taglia da nord a sud il dominio del modello, ed è dunque ottimale per valutare gli scambi costa-largo lungo la costa orientale. Tuttavia per il periodo considerato le uniche misure valide sono limitate alla porzione meridionale della traccia. Il confronto, riportato in figura 1, mostra come gli scambi *cross-shore*, pur caratterizzati da una intensa variabilità temporale, siano correttamente riprodotti dal modello.

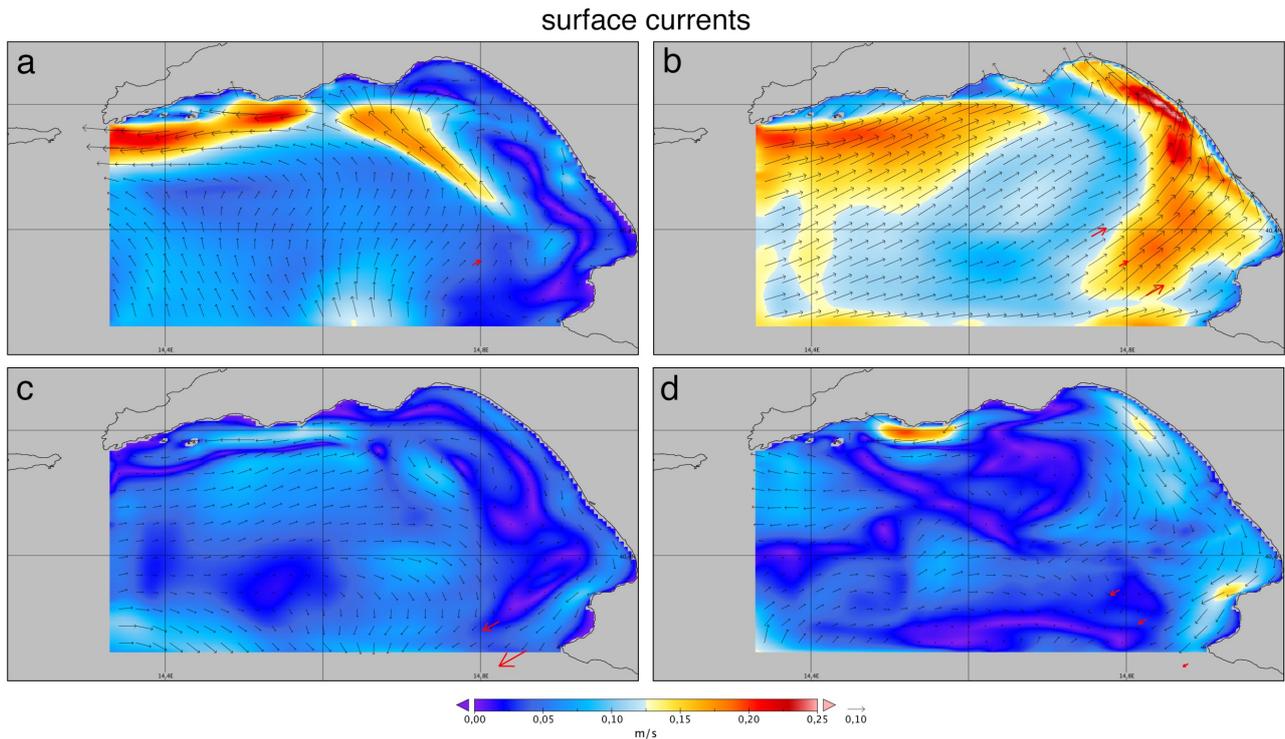


Figura 1 - Confronto tra le correnti superficiali del modello (mappa dell'intensità e frecce nere) e le stime della corrente superficiale perpendicolare alla traccia altimetrica 120 del satellite Jason-1 (frecce rosse) per i giorni: 13 marzo 2004 (a), 23 marzo 2004 (b), 12 aprile 2004, 22 aprile 2004.

b. Clima meteo-marino implementato nel modello

Una delle osservazioni riguarda il suggerimento di effettuare simulazioni climatologiche, ovvero a partire da condizioni al contorno e forzanti mediati nel tempo.

La variabilità ad alta frequenza dei venti è la sorgente principale della variabilità delle correnti superficiali (primi 100 m), ovvero delle correnti maggiormente responsabili di eventuali impatti sulle zone costiere. Per questa ragione abbiamo effettuato le simulazioni con forzanti realistici, che includessero l'alta frequenza temporale nei campi di vento.

Lo stesso discorso vale per le condizioni al contorno. In questo caso alla variabilità delle forzanti atmosferiche si aggiunge la variabilità a mesoscala della fisica della colonna d'acqua (correnti, stratificazione). Essendo il modello esterno (il modello che forza la soluzione costiera) un modello già *eddy resolving* (2 km) e quindi altamente non lineare, tale variabilità nella forzante laterale è non trascurabile.

c. Scelta dei dati di vento

Riguardo al suggerimento di utilizzare dati di vento a maggiore risoluzione riteniamo che il suggerimento sia assolutamente condivisibile, come da noi stessi sottolineato nella Relazione.

Al momento, visti i risultati positivi della validazione del modello, non si è ritenuto necessario procedere ad altre simulazioni.

d. Dominio computazionale

Risoluzione orizzontale:

Tale griglia è costituita da 130×120 celle, di dimensione pari circa a 450 m nelle due direzioni. La maniera in cui il Golfo di Salerno è rappresentato a questa risoluzione è presentato nella figura successiva.



Figura 2 - griglia di calcolo per il Golfo di Salerno.

Risoluzione verticale:

L'approccio seguito dal ROMS è quello di seguire in maniera molto accurata l'andamento del fondale: mentre nelle direzioni orizzontali le spazature possono essere grosso modo uniformi, in direzione verticale la distribuzione dipenderà dalla profondità del fondale, con il primo punto posto sul fondo e l'ultimo sulla superficie. Quindi i punti si avvicineranno o allontaneranno tra loro a seconda della profondità. La tabella seguente elenca la posizione dei centri cella nel punto di profondità minimo (h_{min}) e in quello di profondità massimo (h_{max}), mentre la figura 3 mostra la posizione dei centri cella nei primi 100 m.

Tabella I - Posizioni verticali dei centri cella usati dal ROMS per il punto di profondità minimo e per quello di profondità massimo

h min	h max
-0.0735	-0.5615
-0.235	-2.6455
-0.4245	-6.661
-0.6425	-12.633
-0.8895	-20.599
-1.166	-30.6095
-1.474	-42.7265
-1.8135	-57.023
-2.186	-73.582
-2.593	-92.496
-3.0355	-113.866
-3.5155	-137.798
-4.0345	-164.403
-4.594	-193.794
-5.1955	-226.082
-5.841	-261.372
-6.532	-299.76
-7.269	-341.328
-8.053	-386.134
-8.885	-434.213
-9.765	-485.561
-10.692	-540.134
-11.6645	-597.833
-12.68	-658.501
-13.7355	-721.913
-14.827	-787.767
-15.9485	-855.677
-17.093	-925.172
-18.2525	-995.694
-19.4175	-1066.6

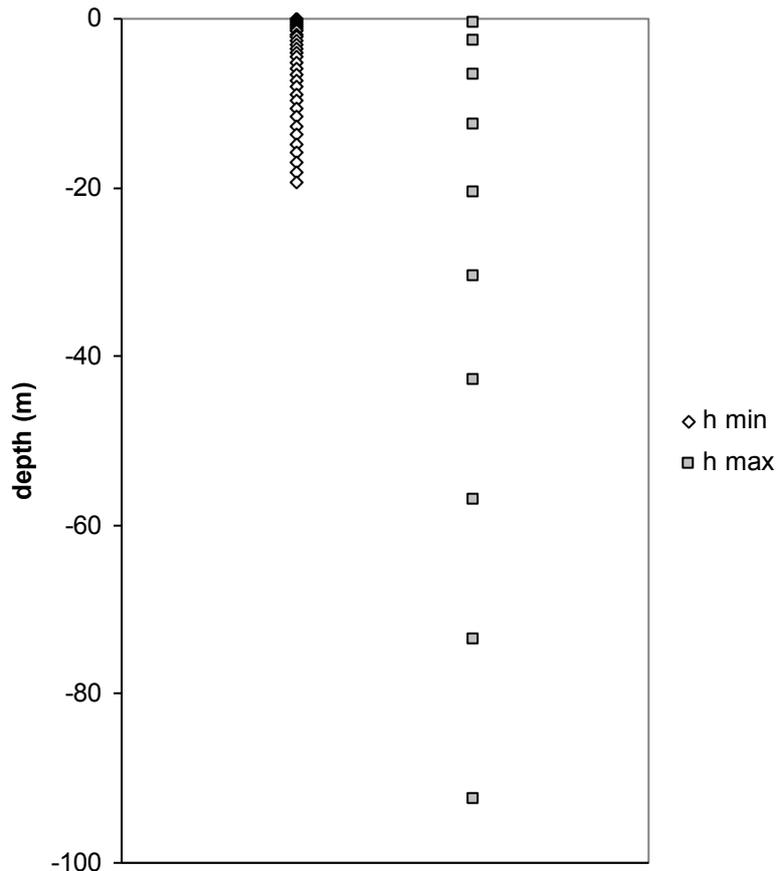


Figura 3 - Posizioni verticali dei centri cella usati dal ROMS per il punto di profondità minimo e per quello di profondità massimo.

e. Processi di stratificazione e circolazione

Riguardo all'assenza di stratificazione nel periodo di studio si evince chiaramente da D'Ortenzio et al. (2005), in cui si riporta il ciclo annuale della profondità del *Mixed Layer* nel Mediterraneo da dati *in situ*. Tale lavoro è chiaramente la referenza sull'argomento e mostra come la restratificazione in queste aree inizi durante la seconda metà del mese di Marzo o ad inizio Aprile, a seconda degli anni. Durante l'inverno le forzanti sono tali da omogeneizzare la colonna d'acqua fino a 100-150 m. In particolare il picco annuale dei flussi di calore verso l'atmosfera si verifica nei mesi di Gennaio/Febbraio.

Tale ciclo annuale è confermato anche da misure pluriennali effettuate nell'adiacente Golfo di Napoli (Ribera et al. 2004; Zingone et al. 2009).

Riguardo al possibile effetto del moto ondoso, in condizioni di mare aperto il ruolo del moto ondoso è soprattutto di contribuire ad innalzare la diffusività turbolenta verticale a causa della

rottura delle onde superficiali e dell'effetto del trasporto di Stokes. Il trasporto di Stokes, oltre ad impattare il movimento stesso dei traccianti, crea le cosiddette cellule di Langmuir, che occupano i primi 10-20m della colonna d'acqua e possono essere fortemente turbolente.

In presenza di forti perdite di calore verso l'atmosfera il ruolo di tale circolazione è però fortemente limitato dalla concomitante presenza di forte convezione verticale (per es., Sutherland et al 2014). Si ritiene quindi che l'effetto delle onde su uno scarico in mare aperto in inverno sia secondario.

f 'Semplificazione' del modello.

Il modello è stato implementato tenendo conto di informazioni di maggior dettaglio (caratteristiche della sorgente di scarico). Per quanto concerne le caratteristiche tessiturali del sedimento, i dati granulometrici a nostra disposizione non hanno permesso di apportare alcuna modifica. In particolare, il modello è stato messo a punto per lo scarico puntuale. I risultati ottenuti non differiscono significativamente dal caso continuo (figure 10 e 11). Si riporta una descrizione delle modifiche apportate.

È stata rimossa l'ipotesi semplificativa di scarico continuo in un punto e si è tentato di simulare le singole immersioni a mare eseguiti dalla draga.

In particolare, è stato utilizzato un termine di sorgente diverso per ogni immersione a mare effettuato dalla draga, in maniera tale che tali sorgenti possano essere posizionate in punti diversi all'interno dell'area di scarico, assegnata tramite un punto centrale ed un raggio.

Il problema da risolvere è la possibile incapacità del codice di gestire una sorgente impulsiva, con possibile divergenza o comparsa di valori non fisici. I due parametri che permettono di ridurre tale rischio sono, come detto in precedenza, il *time-step* di integrazione e la diffusione orizzontale, i cui valori sono stati opportunamente settati tramite prove iniziali su casi semplificati.

È stato considerato lo scarico del 2004, con la relativa granulometria. Sono stati considerati solo SABBIA FINE 3 e SILT, supponendo che tutte le altre componenti vadano rapidamente sul fondo.

Tale ipotesi è necessaria per evitare di ridurre troppo il *time-step* a causa delle alte velocità di caduta delle componenti più pesanti.

L'altra ipotesi introdotta qui è che lo scarico di una singola draga avvenga in un ora. Il motivo di questa seconda ipotesi è sia per dare una scala di tempo per eseguire i calcoli, sia per evitare di aumentare eccessivamente la quantità di dati da fornire al codice. Infatti nel ROMS i fiumi e le

sorgenti superficiali condividono la stessa struttura dati, con un'unica variabile comune per assegnare i tempi a cui sono assegnati i dati, per cui la frequenza di assegnazione scelta per le sorgenti deve essere utilizzata anche per i dati di tutti i fiumi.

La draga ha capacità: 12535 m^3 , quindi un singolo scarico (di un ora) corrisponde a:

$$12535 \text{ m}^3 / 3600 \text{ s} = 3.482 \text{ m}^3/\text{s}$$

E quindi le sorgenti saranno:

$$\text{SABBIA FINE 3 : } 3.482 \text{ m}^3/\text{s} \times 2720 \text{ kg/ m}^3 \times 20.16/100 = 1909.36 \text{ kg/s}$$

$$\text{SILT: } 3.482 \text{ m}^3/\text{s} \times 2720 \text{ kg/ m}^3 \times 7.38/100 = 698.96 \text{ kg/s}$$

Da notare come i valori di sorgente per un singolo scarico della draga siano abbastanza elevati, se confrontati a quelli calcolati per lo scarico continuo ($3.482 \text{ m}^3/\text{s}$, rispetto a $0.412 \text{ m}^3/\text{s}$ dell'immersione continuo).

E' molto importante notare che non è possibile assegnare una discontinuità alla sorgente, ossia un valore che cambia di colpo. Questo è dovuto al fatto che il ROMS esegue un'interpolazione lineare sui dati assegnati dall'esterno: facendo riferimento alla figura di seguito e supponendo i dati orari, se si assegna una sorgente nulla dovunque tranne che all'ora i , durante il calcolo ai passi temporali compresi tra l'ora $i-1$ e l'ora i verrà assegnato un valore interpolato linearmente tra i due dati (linea tratteggiata in figura).

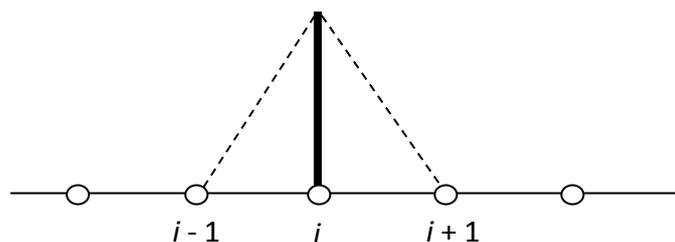


Figura 4 – Schema concettuale di interpolazione temporale effettuata dal codice ROMS.

Quindi, lo scarico assegnato all'ora i durerà in effetti due ore, con un andamento prima crescente e poi decrescente, ma la quantità complessivamente scaricata sarà quella effettivamente prevista per un ora di scarico (poiché in ognuna delle due ore si scarica la metà del valore assegnato).

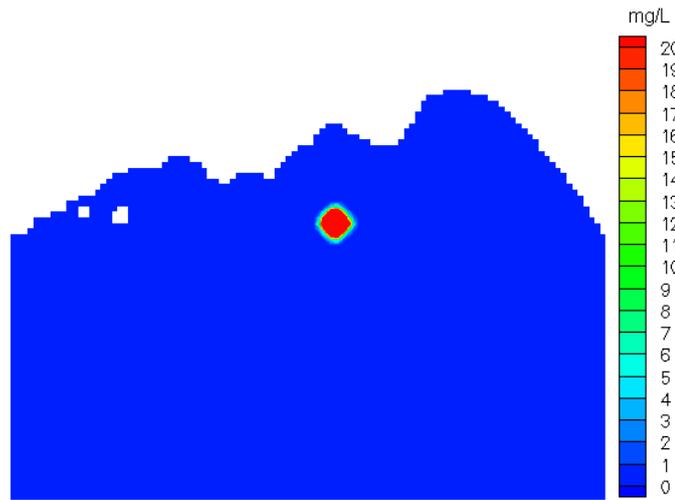
La durata effettiva dello scarica dipende quindi dalla spaziatura o frequenza dei dati assegnati. Assegnando i dati con una frequenza maggiore, ad esempio ogni 10 minuti, si otterrebbe un controllo migliore della durata dell'immersione. Va però ricordato che la stessa frequenza va utilizzata per i dati dei fiumi, che condividono la stessa struttura dati.

Simulazione di un singolo scarico

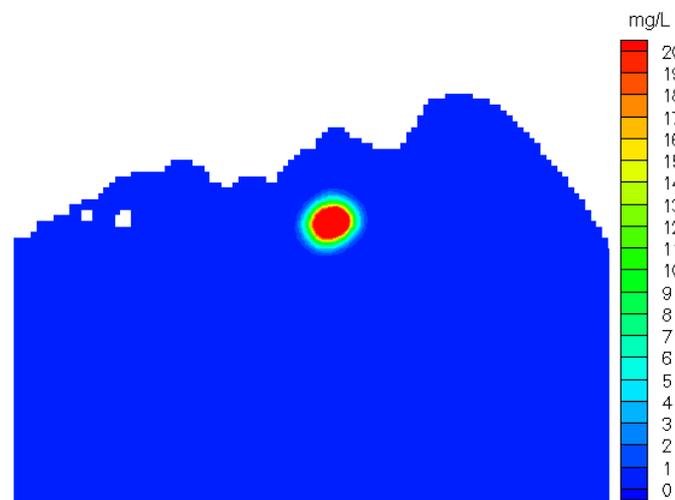
Nella prima simulazione fatta c'è un singolo scarico della draga, che è stato assegnato a 3 ore dall'inizio (lo scarico inizierà quindi dopo 2 ore, e terminerà dopo 4 ore), il giorno 10/03/2004, con *time-step* abbastanza basso ($dt = 10$ s) e diffusione orizzontale uguale a quella usata finora ($20 \text{ m}^2/\text{s}$).

L'uso di un *time-step* basso sembra scongiurare un eventuale instabilità. Infatti nei risultati, presentati nelle pagine seguenti, non si notano valori negativi (non fisici). E' interessante notare come il materiale scaricato da una singola draga impieghi più di un giorno per depositarsi completamente sul fondo. Infatti, a 40 ore dalla fine dell'immersione c'è ancora materiale in sospensione.

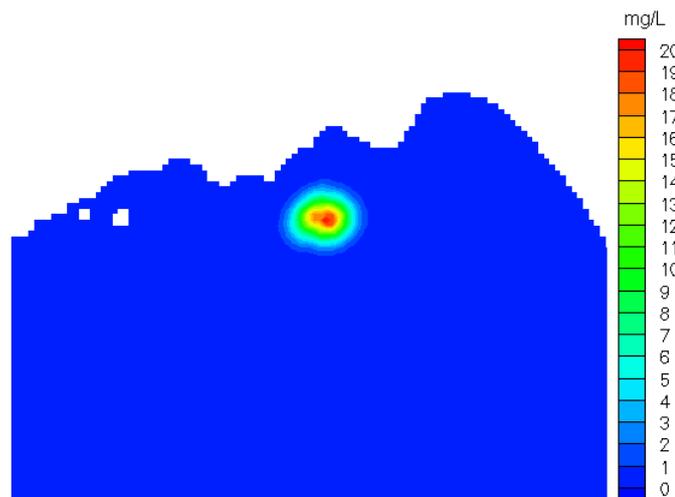
Integrazione simulazioni numeriche



4h di simulazione (termine dell'immersione)

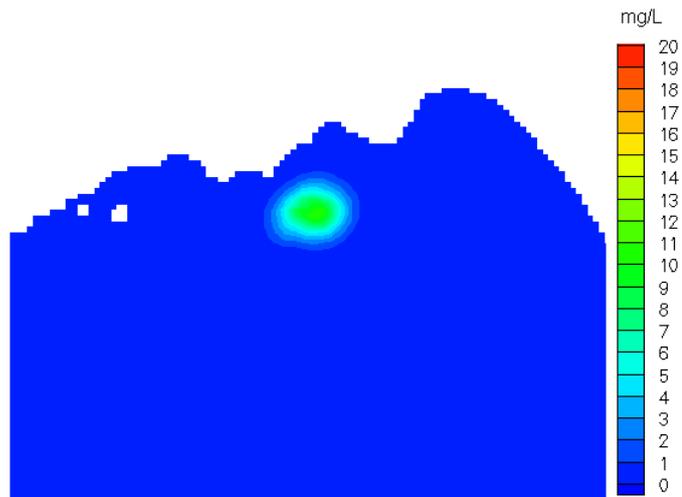


9h di simulazione (5h dal termine dell'immersione)

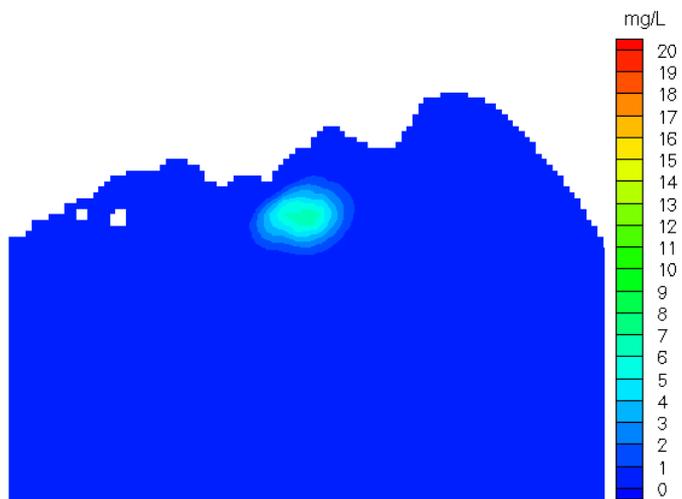


14h di simulazione (10h dal termine dell'immersione)

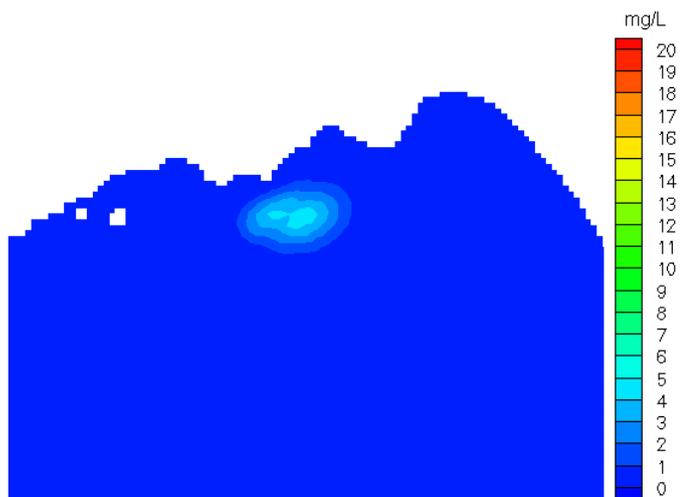
Figura 5 - Valore massimo di concentrazione di sedimenti predetto dal modello utilizzando un singolo scarico della draga in differenti intervalli temporali.



19h di simulazione (15h dal termine dell'immersione)



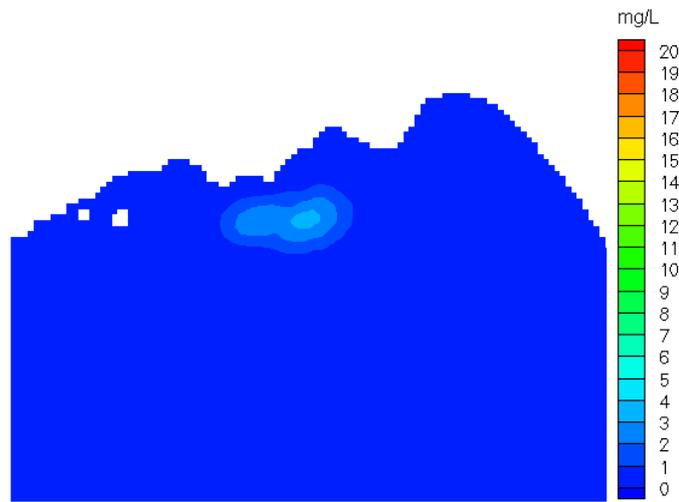
24h di simulazione (20h dal termine dell'immersione)



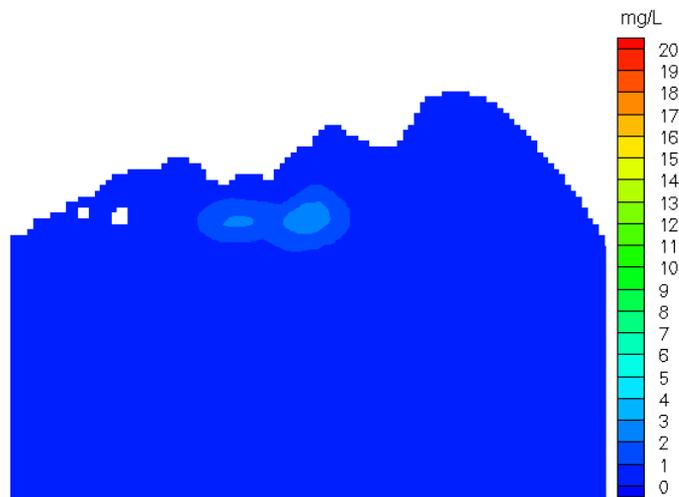
29h di simulazione (25h dal termine dell'immersione)

Figura 6 - Valore massimo di concentrazione di sedimenti predetto dal modello utilizzando un singolo scarico della draga in differenti intervalli temporali.

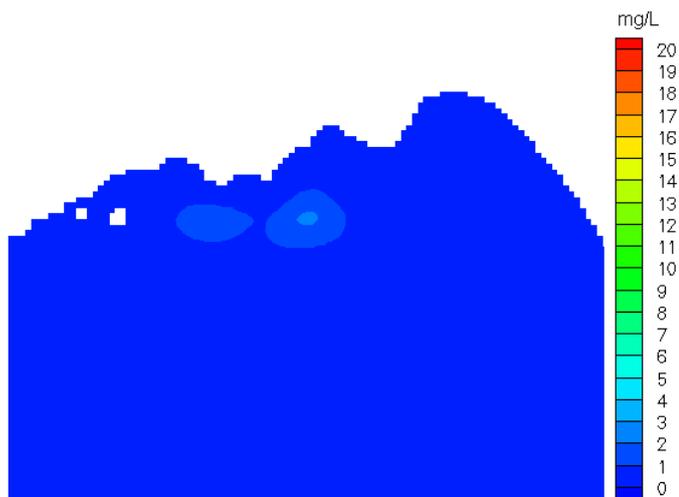
Integrazione simulazioni numeriche



34h di simulazione (30h dal termine dell'immersione)



39h di simulazione (35h dal termine dell'immersione)



44h di simulazione (40h dal termine dell'immersione)

Figura 7 - Valore massimo di concentrazione di sedimenti predetto dal modello utilizzando un singolo scarico della draga in differenti intervalli temporali.

Simulazione di tre scarichi consecutivi

Nella seconda simulazione sono stati utilizzati tre scarichi consecutivi, a distanza di tre ore uno dall'altro.

Ogni scarico avviene in un punto diverso, scelto in maniera random all'interno di un cerchio centrato nel punto teorico di scarico e raggio pari ad 1 miglio nautico (=1852 m). Il codice utilizza una sorgente diversa per ogni scarico della draga.

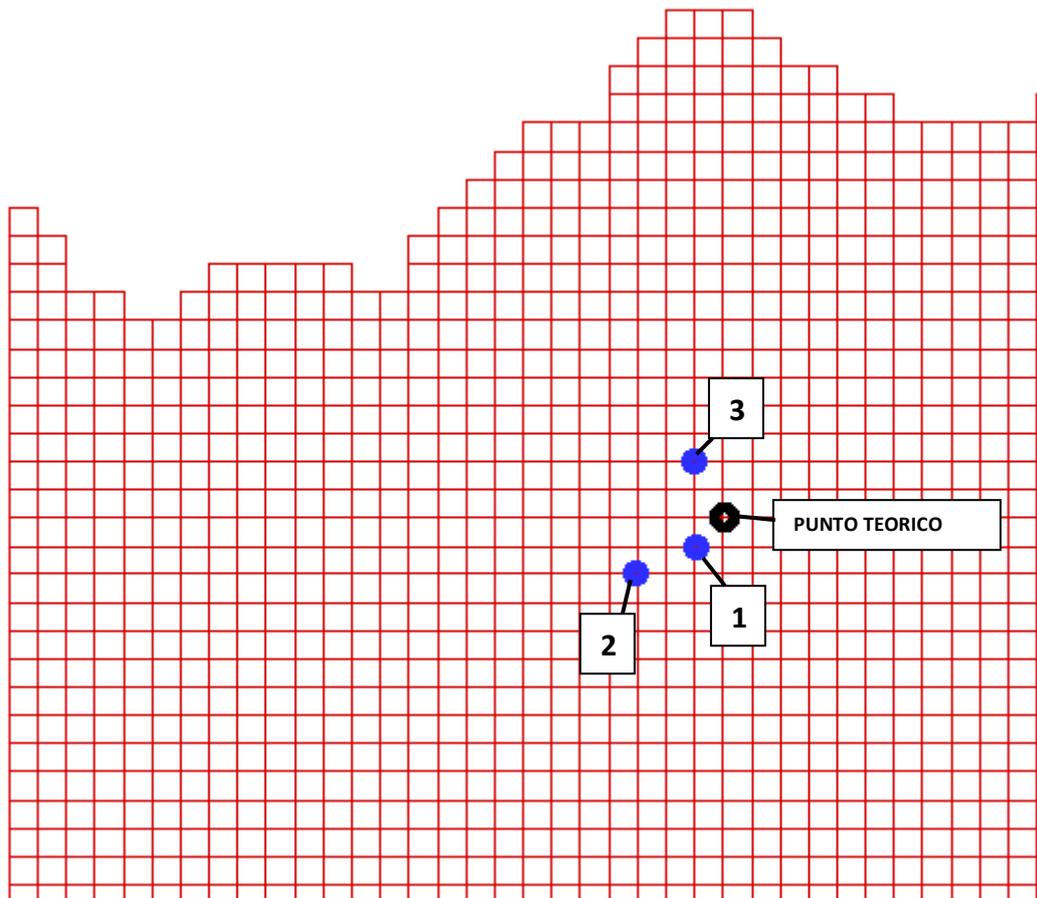


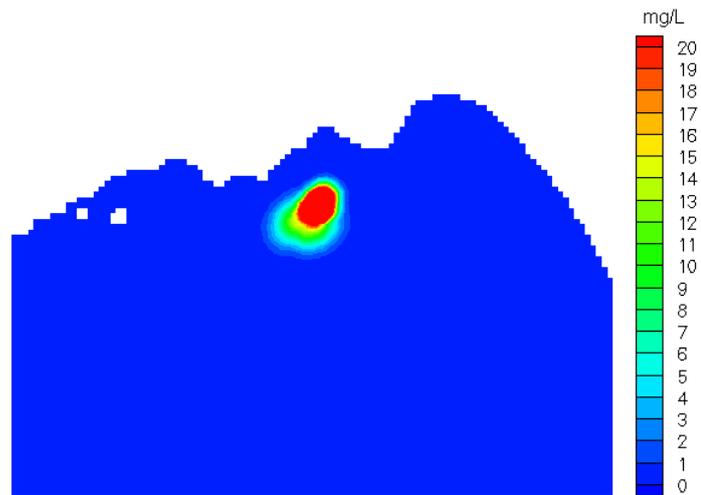
Figura 8- Schema della sequenza di scarichi.

Nelle simulazioni, riportate di seguito, si vedono chiaramente i tre scarichi in sequenza.
Non si nota nessuna instabilità (nessun numero negativo).

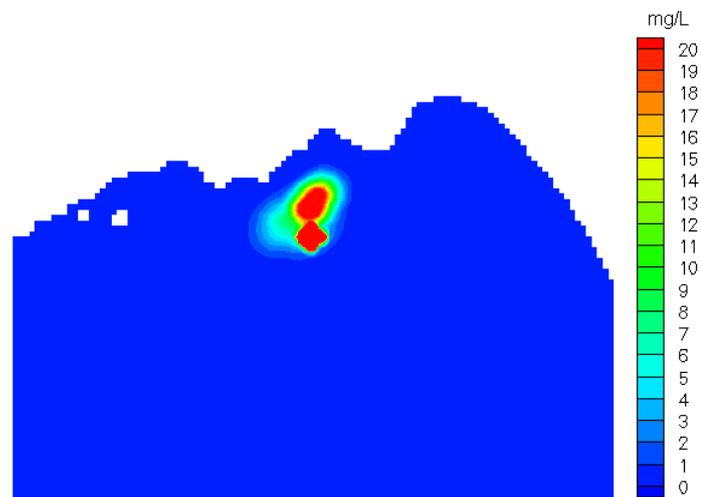
Primo scarico: inizio a 2h, fine a 4h;

Secondo scarico: inizio a 10h, fine a 12h;

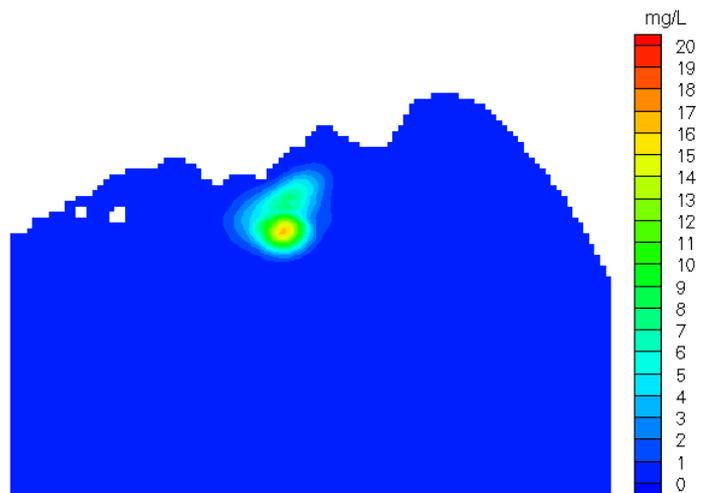
Terzo scarico: inizio a 18h, fine a 20h.



15h di simulazione – sovrapposizione dei primi due scarichi



20h di simulazione – aggiunta del terzo scarico sui primi due



30h di simulazione – 10h dal termine dei tre scarichi

Figura 9 - Valore massimo di concentrazione di sedimenti predetto dal modello utilizzando tre scarichi consecutivi della draga in differenti intervalli temporali.

Simulazione dell'intero scarico del 2004

Lo scarico del 2004 richiede:

$1138607 \text{ m}^3 / 12535 \text{ m}^3 \approx 91$ scarichi della draga.

Supponendo per semplicità gli scarichi uniformemente distribuiti (anche se il codice adesso permette di assegnare ogni singolo scarico ad un preciso istante di tempo), otteniamo:

32 giorni = 768 ore / 91 scarichi \approx uno scarico ogni 8 ore.

Quindi assegniamo 91 scarichi, ogni 8 ore a partire dalle 0:00 del 26/03/2004, ogni scarico avverrà in un punto preso a random all'interno del raggio di scarico assegnato (1 miglia nautica = 1852 m).

La simulazione viene fatta partire il giorno 10/03/2004 per permettere alla soluzione dinamica di assestarsi ("*spin off*" della griglia più piccola).

La soluzione, riportata di seguito, è molto simile a quella ottenuta con lo scarico continuo eseguito sempre nello stesso punto (riportata nuovamente in seguito).

Va detto che la presente soluzione sembra più stabile del caso precedente, dove le previsioni tendevano ad esplodere al termine dell'immersione, ma è probabile che questo sia principalmente dovuto all'abbassamento del *time-step*.

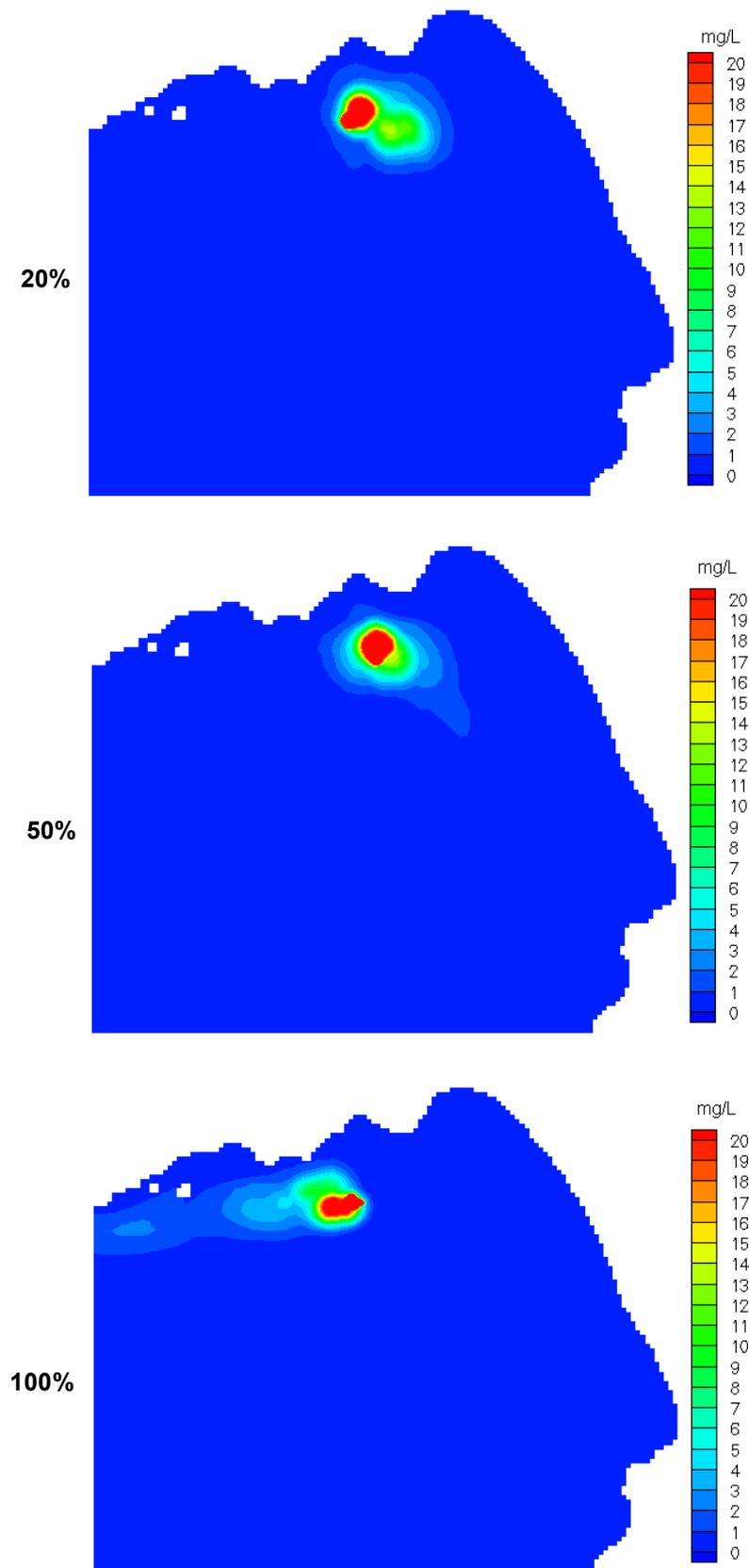


Figura 10 - Simulazione completa dello sversamento del 2004
(91 SCARICHI IN PUNTI DIVERSI)

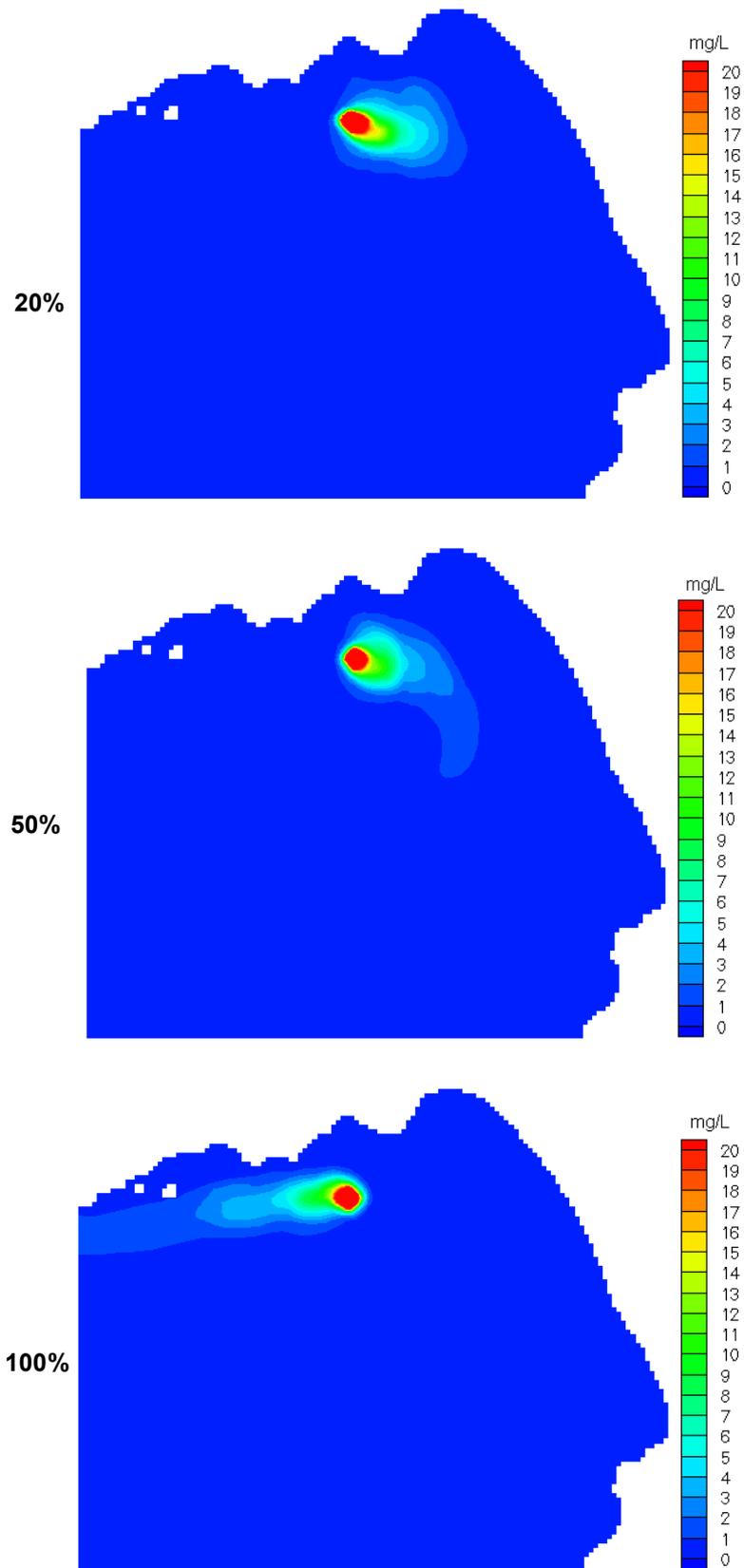


Figura 11 - Simulazione completa dello sversamento del 2004
(SCARICO CONTINUO IN UN SOLO PUNTO)

g. Scelta del parametro di diffusività.

Quanto scritto nella relazione descrive in maniera esaustiva le motivazioni della scelta del parametro di diffusività orizzontale. Data l'alta risoluzione orizzontale del modello è generalmente consigliabile tenere al minimo possibile la diffusione laterale al fine di ridurre lo *smoothing* dei processi non-lineari su quelle scale (filamenti, *submesoscale instabilities* etc). Allo stesso tempo un abbassamento eccessivo del valore può portare a instabilità numeriche.

La diffusività verticale, come scritto nella relazione, è ottenuto dal modello di turbolenza KPP, uno dei modelli di chiusura turbolenta più usati, nella sua versione standard. Il valore di diffusività verticale è quindi altamente variabile nel tempo e nello spazio, a seconda delle forzanti e delle condizioni di stratificazione e di *shear*.

Bibliografia

Birol, F., N. Fuller, F. Lyard, M. Cancet, F. Niño, C. Delebecque, S. Fleury, et al. 2016. "Coastal Applications from Nadir Altimetry: Example of the X-TRACK Regional Products." *Advances in Space Research*, November. doi:10.1016/j.asr.2016.11.005.

D'Ortenzio, F., D. Iudicone, C. de Boyer Montegut, P. Testor, D. Antoine, S. Marullo, R. Santoleri, and G. Madec (2005), Seasonal variability of the mixed layer depth in the Mediterranean Sea as derived from in situ profiles, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12605, doi:10.1029/2005GL022463.

Ribera d'Alcalà, M., F. Conversano, F. Corato, P. Licandro, O. Mangoni, D. Marino, M. G. Mazzocchi, M. Modigh, M. Montresor, M. Nardella, V. Saggiomo, D. Sarno, and A. Zingone (2004). Seasonal patterns in plankton communities in a pluriannual time series at a coastal Mediterranean site (Gulf of Naples): an attempt to discern recurrences and trends. *Scientia Marina* 68:65-83.

Sutherland, G., K. H. Christensen, and B. Ward (2014), Evaluating Langmuir turbulence parameterizations in the ocean surface boundary layer, *J. Geophys. Res. Oceans*, 119, 1899–1910, doi:10.1002/2013JC009537.

Zingone, A., L. Dubroca, D. Iudicone, F. Margiotta, F. Corato, M. Ribera d'Alcalà, V. Saggiomo, and D. Sarno (2010). Coastal Phytoplankton Do Not Rest in Winter. *Estuaries and Coasts* 33:342-361