

ALMA MATER STUDIORUM  
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Scuola di Scienze  
Corso di Laurea in Scienze Ambientali

ANALISI DI DATI  
OCEANOGRAFICI NELLA  
CAMPAGNA DI MISURA SERIOUS  
GAME

Tesi di Laurea in Oceanografia Fisica

Relatore:

Prof.ssa NADIA PINARDI

Presentata da:

MATTEO LISI

II sessione

Anno Accademico 2014/2015



*La più stupefacente meraviglia  
dell'abisso è la sua  
insondabile  
crudeltà.*

Joseph Conrad

# RINGRAZIAMENTI

Il primo riconoscimento è rivolto ai miei genitori, maestri di lezioni di vita. La loro pazienza e i loro insegnamenti mi hanno permesso di crescere e di affrontare i problemi senza arrendersi.

In secondo luogo ringrazio Monica, per la capacità di sapermi ascoltare, di esaltare le mie passioni e di credere sempre in me.

Un ringraziamento particolare lo rivolgo alla Prof.ssa Nadia Pinardi che mi ha dato la possibilità di entrare a contatto con una scienza affascinante e misteriosa come l'oceanografia. Senza di lei la mia passione per il mare sarebbe rimasta un semplice hobby.

Vorrei inoltre elogiare il Prof. Elio Paschini, che grazie alla sua vasta esperienza e alla sua disponibilità mi trasmesso preziose conoscenze durante l'attività di tirocinio.

Esprimo la mia gratitudine ai componenti del gruppo di lavoro del SINCEM, in particolare al Dott. Luca Giacomelli per la costante presenza nel momento del bisogno. Un grazie è di dovere anche alla Dott.ssa Simona Simoncelli per gli utili consigli forniti.

In fine, vorrei ringraziare tutti quelli che mi sono stati vicini e che lo saranno ancora.

## ABSTRACT

Lo studio proposto prende in esame l'analisi di dati raccolti durante la campagna oceanografica Serious Game. Le procedure di calibrazione dei dati e l'applicazione della tecnica di analisi oggettiva agli stessi con l'ausilio del software MatLab, saranno argomenti fondamentali dell'elaborato. In fine, verrà descritta la struttura termalina della zona di mare presa in considerazione.

# SOMMARIO

CAPITOLO 1	INTRODUZIONE.....	6
1.1	STUDIO DEL MARE TRAMITE LE CAMPAGNE OCEANOGRAFICHE. ....	6
1.2	MISURA DELLA STRUTTURA TERMOALINA DEL MARE .....	7
1.3	LA CAMPAGNA OCEANOGRAFICA “SERIOUS GAME” .....	8
1.4	OBBIETTIVI DELLA TESI .....	9
CAPITOLO 2	CALIBRAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI.....	10
2.1	DATI COLLEZIONATI NELLA CAMPAGNA SERIUOS GAME .....	10
2.2	CALIBRAZIONE.....	11
CAPITOLO 3	MAPPE DI SALINITA’ E TEMPERATURA .....	20
3.1	TECNICA DI ANALISI OGGETTIVA PER LA MAPPATURA .....	20
3.2	DESCRIZIONE DEGLI ESPERIMENTI DI MAPPATURA .....	25
3.3	DISTRIBUZIONE DEI CAMPI .....	27
3.3.1	DISTRIBUZIONE DI TEMPERATURA.....	31
3.3.2	DISTRIBUZIONE DI SALINITA’ .....	34
CAPITOLO 4	CONCLUSIONI .....	37
	Bibliografia.....	39

# CAPITOLO 1 INTRODUZIONE

## 1.1 STUDIO DEL MARE TRAMITE LE CAMPAGNE OCEANOGRAFICHE.

I primi studi sull'ambiente marino risalgono al IV secolo a.c. e furono compiuti da Aristotele. L'illustre filosofo, infatti, era convinto che la presenza del vapor acqueo nell'atmosfera fosse dovuta principalmente all'evaporazione dell'acqua di mare. L'interesse per i fenomeni legati al mare aumentò notevolmente durante la cosiddetta Age of the Discoveries. La costruzione di imbarcazioni più resistenti e di maggiori dimensioni permise all'uomo di tracciare rotte sempre più lunghe che nel 1492 portarono all'attraversata dell'Atlantico.

Con l'avvento della rivoluzione scientifica nel XVII secolo, e la fondazione della Royal Society l'interesse nel campo della scienza del mare venne incrementato considerevolmente. Ciò accadde perché l'Inghilterra attribuì molta importanza agli affari marittimi. Questo impose la necessità di implementare le conoscenze sui fenomeni meteo-marini affinché la navigazione fosse più sicura e il rischio in termini di vite umane e in termini economici fosse minimo. Come conseguenza si assistette alla costruzione di strumenti scientifici atti a scandagliare e campionare il mare. La Royal Society cercò di collezionare la maggiore quantità di dati batimetrici in differenti località, campioni d'acqua prelevati a diverse profondità e informazioni sulla distribuzione della salinità. Tra i personaggi italiani che contribuirono alla nascita dell'oceanografia si ricorda il bolognese Marsili al quale si attribuisce la redazione del primo libro in materia "Historie Physique de la Mer".

Lo sviluppo delle scienze marine durante il XVIII secolo non rispecchiò le aspettative del secolo precedente. La ricerca oceanografica richiedeva notevoli investimenti economici in termini di strumentazione e logistica (navi e personale) effettuabili solo con l'aiuto dei governi. Nonostante ciò si verificarono alcuni importanti sviluppi come miglioramenti nella navigazione e nel monitoraggio dal mare. Fondamentale fu la scoperta del metodo che permise il calcolo esatto della posizione in mare aperto tramite la misura della longitudine in mare, in questo modo era possibile scansionare una ben più vasta porzione di oceano.

Il XIX secolo fu caratterizzato dall'esplorazione delle profondità marine resa possibile dall'invenzione della macchina a vapore applicata in campo nautico. La richiesta di condurre questo tipo di ricerca deriva da un miglioramento nel campo delle comunicazioni che permise l'installazione del primo cavo telegrafico sottomarino.

L'oceanografia moderna si sviluppò nel XX secolo con lo scoppio dei due conflitti mondiali. Le scoperte scientifiche e i miglioramenti tecnologici di questo periodo resero possibile un più accurato e preciso studio del mare, immediatamente dopo la fine della seconda guerra mondiale infatti si riuscì a mappare i fondali oceanici (Summerhayes, 1996).

Oggi con oceanografia si intende la scienza che studia l'ambiente marino per quanto riguarda gli aspetti fisici, chimici e biologici. Ne consegue che i limiti di interesse siano molto vasti e che si estendano a tutti gli studi che riguardano il mare, dalla morfologia delle aree oceaniche agli studi sul movimento delle acque fino alle funzioni economiche e geopolitiche. Per attuare questi studi l'oceanografia si avvale della parte sperimentale mirata alla raccolta di dati e campioni. (Mosetti, 1964).

## **1.2 MISURA DELLA STRUTTURA TERMOALINA DEL MARE**

I parametri che forniscono informazioni sullo stato del mare sono molteplici pertanto è necessario poterli misurare simultaneamente e in modo costante per lo stesso campione di acqua direttamente sul campo. Per ovviare al problema occorre un sistema di monitoraggio multiparametrico della colonna d'acqua.

A tal fine vengono impiegati degli strumenti chiamati sonde multiparametriche. In generale le sonde sono equipaggiate con la strumentazione necessaria per misurare temperatura, conduttività, salinità, ossigeno disciolto, pH, torbidità e profondità. Tra i più moderni sistemi di monitoraggio una posizione di prestigio è assunta dalle cosiddette sonde CTD (Conductivity, Temperature and Depth). La funzionalità primaria di questo tipo di dispositivo è quella di determinare la variazione della temperatura e della conduttività in funzione della profondità nel sito in cui avviene la misurazione. Determinati i valori di questi parametri primari è possibile in seguito derivarne altri, come per esempio salinità e densità.

Le sonde CTD più moderne sono dotate di sensori addizionali in base alle esigenze del campionamento, come per esempio un torbidimetro, un pHmetro e quello per l'ossigeno disciolto. Le sonde di dimensioni maggiori sono dotate anche di una memoria integrata alla struttura in modo da stoccare i dati misurati (NOAA Ocean Explorer).

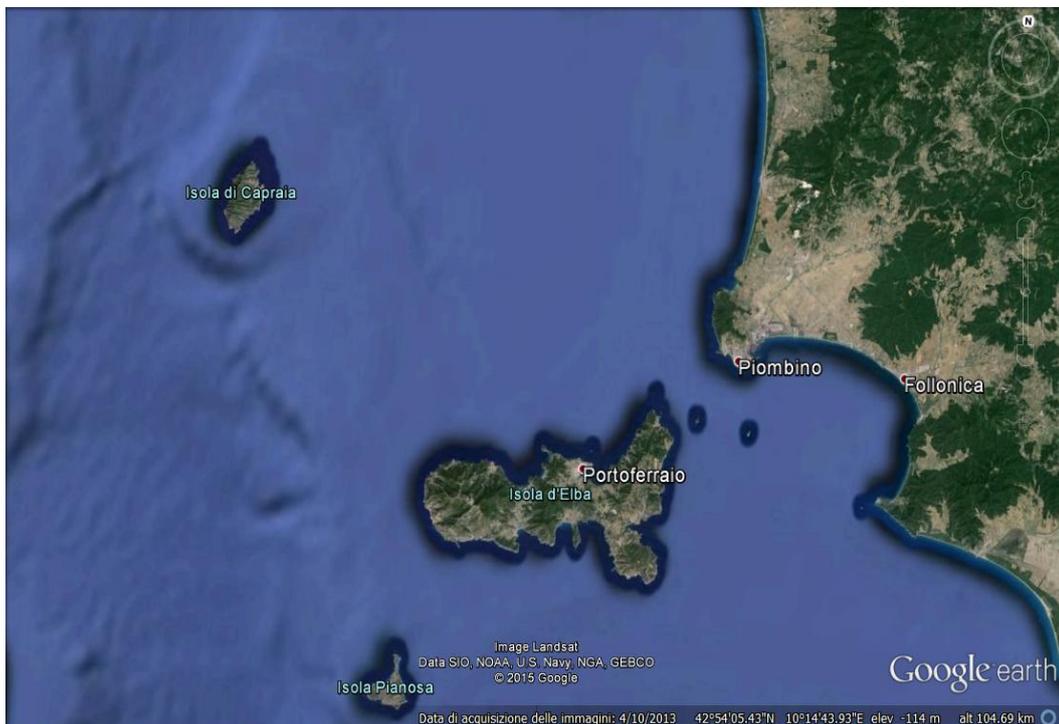
L'uso dei CTD durante le campagne oceanografiche ha permesso un incremento della qualità delle informazioni dei parametri e la possibilità di generare un accurato profilo verticale della colonna d'acqua. La sonda infatti viene calata dall'imbarcazione tramite l'ausilio di un verricello in modo che se ne possa controllare la discesa fino alla profondità desiderata. Il cavo a cui è appesa il dispositivo ha una doppia funzionalità. Funge sia da supporto meccanico sia da

conduttore del segnale elettrico proveniente dalla sonda e diretto all'imbarcazione e contenente i dati delle misurazioni effettuate al variare della profondità (vale per le sonde non dotate di memoria interna). La sonda continua a misurare dal momento in cui viene azionata fino a quando viene disattivata pertanto da una calata risultano due profili, quello della discesa (downcast) e quello della risalita (upcast).

I CTD moderni sono strumenti molto precisi con un'accuratezza di  $\pm 0.002^{\circ}\text{C}$  su un intervallo di temperatura che va da  $-3$  a  $+32^{\circ}\text{C}$ . Una delle problematiche legate a questo tipo di sonde è identificabile con il "time response" ovvero il tempo che la sonda impiega per rispondere ai cambiamenti istantanei di un determinato parametro, come la temperatura per esempio. Bisogna inoltre considerare il cosiddetto effetto ship's roll or pitch. Il beccheggio dell'imbarcazione non consente una discesa uniforme della sonda pertanto le serie di dati ottenuti potrebbero non essere completamente attendibili.

I dati acquisiti verranno analizzati successivamente tramite appositi software.

### 1.3 LA CAMPAGNA OCEANOGRAFICA "SERIOUS GAME"



**Figura 1-1. Contesto geografico della campagna Serious Game con annessa la batimetria.**

La campagna oceanografica Serious Game si è svolta nel maggio del 2014 nelle acque dell'Arcipelago Toscano, tra l'Isola di Capraia e l'Isola d'Elba. In particolare si è articolata in due sottocampagne, la SG14-1 avvenuta il 17 maggio e la SG14-2 il 21 maggio. Serious Game è

stata organizzata dal CNR, dall'INGV e dalla Guardia Costiera italiana con lo scopo di prevedere lo spostamento di una macchia di idrocarburi utilizzando i modelli meteo oceanografici del progetto MEDSS4MS e il rilevamento satellitare. I modelli di MEDSS4MS avrebbero prognosticato gli spostamenti della macchia nera mentre un velivolo la Guardia Costiera aveva il compito di confermare o meno le previsioni. In aggiunta, vennero lanciati diversi drifter con la funzione di seguire il movimento della macchia. Dato l'intenso traffico marittimo l'Arcipelago Toscano si è prospettato come la location migliore per condurre un esperimento di questo tipo.

## **1.4 OBIETTIVI DELLA TESI**

Gli obiettivi di questa tesi sono:

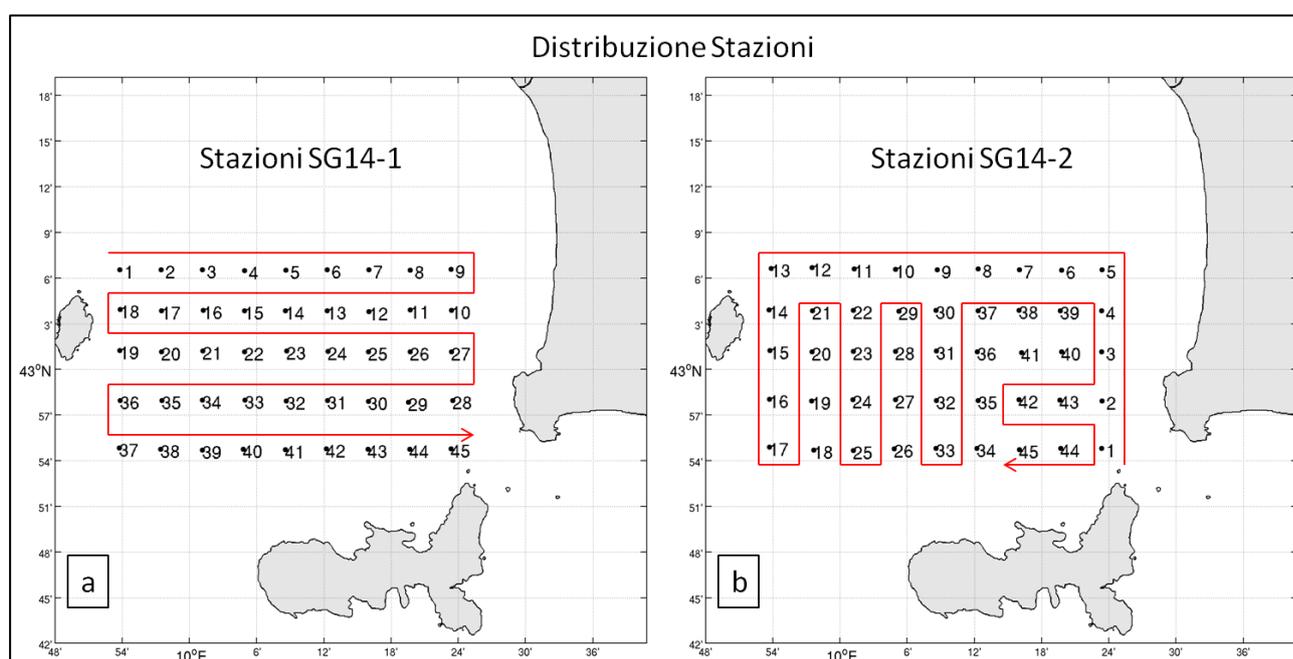
1. l'analisi di dati provenienti da sonde CTD prelevati durante la campagna oceanografica Serious Game.
2. l'applicazione della tecnica di analisi oggettiva agli stessi.
3. Descrizione della struttura termoclinica del mare dell'Arcipelago Toscano.

Lo studio verrà presentato in tre capitoli: il Capitolo 2 mostrerà i dati campionati nella campagna Serious Game e la relativa calibrazione operata attraverso appositi software. Nel Capitolo 3 verranno illustrate le tecniche di analisi oggettiva legate alla mappatura dell'area di interesse e l'analisi delle mappe di salinità e temperatura dell'arcipelago. Infine, il Capitolo 4 concluderà la tesi.

## CAPITOLO 2 CALIBRAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI

### 2.1 DATI COLLEZIONATI NELLA CAMPAGNA SERIUOS GAME

La campagna si è articolata in 45 stazioni di campionamento costituendo così un quadrante avente come limite di coordinate 42.50° e 43.50° di latitudine nord e 9.55° e 10.75° di longitudine est. Il quadrante è composto da cinque transetti orizzontali denominati rispettivamente con le lettere A,B,C,D ed E ciascuno dei quali comprende 9 stazioni.



**Figura 2-1.** In figura viene mostrata la posizione delle stazioni sia per la prima(a) che per la seconda campagna (b). I numeri riportati a fianco di ciascuna stazione (pallino nero) e le frecce rosse indicano l'ordine e il verso con cui è avvenuto il campionamento.

I dati sono stati collezionati con una sonda CTD della casa produttrice SeaBird in particolare il modello SBE 19 plus v2 seaCAT. Questo strumento ha un'alta accuratezza e risoluzione, è di facile uso e utilizzabile in molteplici campi di ricerca e monitoraggio. Le misurazioni vengono svolte con un frequenza di 4Hz ovvero per ogni secondo in cui la sonda è immersa registra 4 valori. I dati vengono immagazzinati in una memoria da 64 Mb. Grazie alle nove batterie alcaline è garantita un' autonomia di oltre 60 ore di profilo. La particolarità delle sonde prodotte dalla SeaBird e' la presenza del TC duct e di una pompa di controllo del flusso di acqua atti a minimizzare la presenza di variazioni indesiderate, *spikes*, relativi alla variazione di salinità. (Sea-Bird Electronics, SBE 19plus V2 SeaCAT Profiler, 2013).

I dati immagazzinati nella memoria della sonda vengono trasferiti ad un computer e si presentano nel formato .HEX ovvero esadecimale. In termini tecnici si chiamano *raw data*, dati grezzi. Si utilizza il formato HEX perché i file ottenuti occupano poca memoria e quindi permette lo scambio tra gli operatori in modo più veloce. Lo svantaggio si manifesta nel fatto che i file esadecimale sono a carattere alfanumerico e quindi non interpretabili da un operatore umano. A questo proposito vengono utilizzati dei software appositi per convertire i file .HEX in file più leggibili. Il procedimento di analisi dei dati, verrà presentato più dettagliatamente nel paragrafo seguente.

## 2.2 CALIBRAZIONE

La calibrazione dei dati ha lo scopo di far in modo che i dati collezionati siano coerenti e che la loro qualità e i loro errori possano essere correttamente visualizzati da un generico utente. In particolare, le procedure che la calibrazione opera sui dati consentono di individuare ed eliminare gli errori casuali o sistematici. Esse si esplicano sia in controlli inerenti alle informazioni legate alla campagna oceanografica come per esempio il nome della crociera, la data e le coordinate che compaiono nell'intestazione del file chiamata *header*; sia in controlli scientifici eseguiti sui parametri campionati. Di seguito verranno descritte le procedure di calibrazione applicate ai dati (Millard, 1993).

Dal punto di vista pratico il controllo dei dati avviene grazie all'ausilio di software forniti dalla casa produttrice della sonda CTD. I software forniti dalla SeaBird sono racchiusi in un unico programma chiamato SBE DATA PROCESSING. Le possibilità a disposizione dell'operatore sono molteplici e spaziano dalla semplice conversione di dati grezzi alla visualizzazione di plot relativi ai dati analizzati. Il manuale rilasciato dalla SBE (Sea-Bird Electronics, Seasoft V2: SBE Data Processing, 2014) presenta in merito una sezione (n°3) in cui viene indicata una sequenza tipica per l'elaborazione dei dati.

Il primo passo riguarda la preparazione di SBE DATA PROCESSING in base al tipo di sonda CTD usata per il campionamento. Ogni sonda ha un suo file di configurazione che si presenterà nel formato .con o .xmlcon. Si apre quindi il pacchetto software, da ora in poi chiamato SBEDP, e si seleziona l'opzione "CONFIGURE"; a questo punto si visualizzerà un elenco in cui sono riportati i nomi di tutte le sonde CTD riconosciute dal programma. Selezionata la sonda interessata si aprirà un finestra in cui cliccando su "OPEN" verrà scelto il file di configurazione .xmlcon. Nella finestra di configurazione è inoltre possibile visualizzare i sensori presenti sulla sonda CTD selezionata.

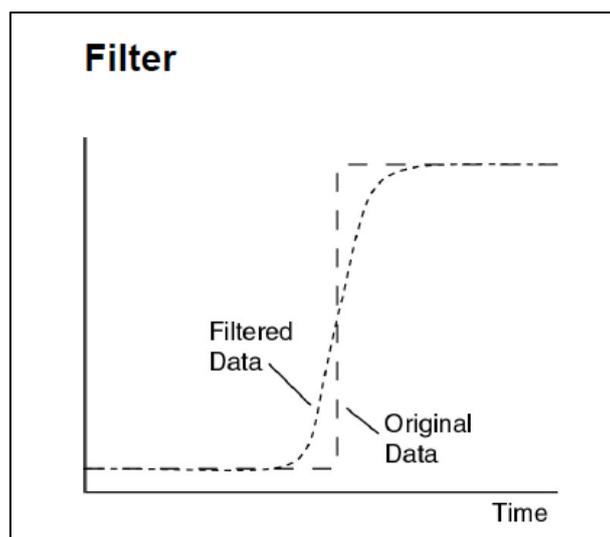
Il secondo passo consiste nell'apportare una modifica ai file grezzi in formato esadecimale. La correzione consiste nell'aggiungere le coordinate, i riferimenti temporali del momento in cui sono stati prelevati i dati, il nome della nave e batimetria della stazione esaminata. Queste informazioni si presentano nel seguente modo:

```
* System UpLoad Time = May 17 2014 08:18:12
  * NMEA Latitude = 43 06.551 N
  * NMEA Longitude= 009 53.781 E
* NMEA UTC (Time) = May 17 2014 07:35:00
  ** Ship: GDP
  ** Cruise: SG14_1
  ** Station: A1
  ** Bottom: 113
```

Le righe di commento dovranno essere posizionate sotto alla stringa del *System UpLoad Time*. Si apre quindi il file esadecimale con il blocco note e si copiano e incollano le linee di commento.

Il motivo per cui è stata compiuta questa modifica a livello dei file grezzi (.HEX) è dato dal fatto che rende più facile l'elaborazione in quanto la modifica persisterà da questo punto in poi. Se queste informazioni venissero immesse nei dati già trattati, nel caso in cui si incorra in un errore bisognerebbe ripetere tutta la procedura di calibrazione dall'inizio.

Ora si passa all'elaborazione vera e propria. Il terzo passo consiste nell'utilizzo del primo strumento del pacchetto SBEDP, il DATA CONVERSION che permette la conversione dei dati grezzi in unità ingegneristiche come per esempio i file con estensione CNV. In particolare estrae le variabili primarie come pressione, temperatura, conduttività, fluorescenza, torbidità. I dati .cnv ottenuti devono essere modificati manualmente, per ogni file è necessario eliminare la testa e la coda della serie di misure rilevate in quella stazione. La modifica consiste nel cancellare tutte le misure che sono state effettuate nell'intervallo di tempo utile alla sonda per stabilizzarsi (a circa 5m sotto la superficie dell'acqua) prima dell'effettiva calata e quelle che si sono registrate a fine calata quando la sonda stanza per un breve lasso di tempo alla profondità stabilita. Inoltre si elide la parte di misurazioni relative alla risalita della sonda, in quando si considera solo la discesa (downcast).

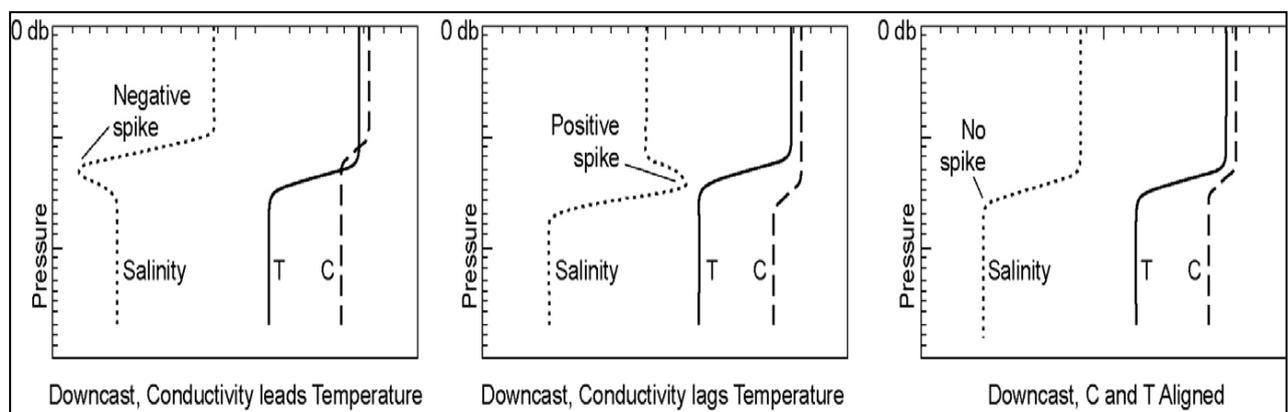


**Figura 2-2. Meccanismo di funzionamento del FILTER.**

A punto si applica un filtro (FILTER) per accoppiare i tempi di risposta di temperatura e conduttività e ridurre il cosiddetto *noise* digitale. In generale ogni strumento impiega un determinato intervallo di tempo per effettuare la misurazione e lo scopo è quello di correggere tale gap. La funzione FILTER applica un *low-pass filter* il cui compito è quello smussare (smoothing) i dati ad alta frequenza ovvero quei dati che presentano un rapido cambiamento. Per eliminare il *time shift* la fase deve essere pari a zero, il filtro infatti dapprima scansiona i dati in verso (forward) e successivamente nel senso opposto (backyard). In questo modo viene rimosso ogni ritardo causato dal filtro stesso. In realtà la funzione FILTER applica due *low-pass filter*, identificati con A e B. A ciascuno dei due è attribuita una costante temporale espressa in secondi che dipenderà dal tipo di parametro che si vuole filtrare e da tipo di sonda CTD che si è utilizzata. Nel caso preso in esame in questo elaborato, il filtro A è stato impostato su 0.5 s e applicato a temperatura e conduttività mentre il filtro è stato utilizzato per la pressione con una costante temporale di 1.0s.

Successivamente al filtraggio è necessario allineare i dati dei parametri nel tempo, relativi alla pressione. Per far ciò il software SBEDP è dotato del comando ALLIGN CTD. L'allineamento assicura che i calcoli di salinità e concentrazione di ossigeno disciolto così come di altri parametri siano realizzati utilizzando le misurazioni della stessa porzione di acqua. Generalmente si allinea temperatura, conduttività e ossigeno. Le cause che principalmente inducono ad un disallineamento sono tre. La prima si esplica con il disallineamento fisico dei sensori mentre la seconda il ritardo intrinseco, indicato da costanti temporali, dei sensori nel compiere una misurazione. La terza causa invece riguarda l'intervallo di tempo, classificato come ritardo, che l'acqua impiega nel passare nelle condutture e giungere ad ogni sensore.

Il corretto allineamento permette di minimizzare gli errori relativi agli spikes di salinità e densità. Per quanto riguarda temperatura e conduttività il loro disallineamento include un disaccoppiamento tra downcas e upcast e la presenza di spikes nella salinità (come verrà mostrato in seguito la salinità è una grandezza derivata e dipende dalla temperatura, dalla conduttività e dalla pressione) data un disallineamento della temperatura e della conduttività con tutti gli altri parametri. Il miglior modo di ottenere un corretto allineamento è quindi l'eliminazione degli spikes di salinità che solitamente coincidono con misure di temperature molto sharp. Se si considera solo il down cast si può osservare che uno spike negativo di salinità significa che il sensore di conduttività compie la misura prima del sensore di temperatura. Uno spike positivo indica la situazione contraria.



**Figura 2-3. In questa figura viene mostrato come si la presenza di uno spike e come questo possa influire sull'andamento dei profili di temperatura e di salinità.**

Per minimizzare gli errori a livello di spike di salinità e mantenere comunque una buona risoluzione, la SeaBird ha dotato le sue sonde CTD con particolari dispositivi: il TC-duct e la pompa di controllo di flusso. Per comprendere meglio il motivo per cui sono presenti questi apparati e' necessario fare un passo indietro. Come già descritto nel paragrafo 1.2 una sonda CTD misura in primis conduttività, temperatura e pressione dell' acqua da cui e' possibile derivare altre grandezze come salinità e densità. Affinché quest'ultime siano calcolate e' necessario che conduttività, temperatura e pressione siano relative alla stessa parcella di acqua. Sonde CTD di altre case produttrici non riescono a compiere misurazioni di conduttività e temperatura sullo stesso volume d'acqua in quanto i rispettivi sensori sono montati in posizioni differenti sulla sonda stessa o perché hanno un tempo di risposta differente. Tramite il primo dispositivo la porzione parcella d' acqua giunge sia al sensore della temperatura sia alla cella di conduttività. La pompa invece spinge l'acqua con un flusso costante di  $30\text{cm}^3/\text{s}$  per garantire che il tempo di risposta la conduttività e la temperatura sia costante. Dapprima l'acqua transita nel TC duct permettendo che venga rilevata immediatamente la temperatura, in secondo luogo, dopo

un breve intervallo di tempo pari a 0,073 s, l'acqua giunge alla cella di conduttività. I secondi di ritardo sono costanti in quanto è nota la velocità di pompaggio.

Per quanto riguarda l'ossigeno anch'esso ha un ritardo rispetto alla pressione. In questo caso le cause sono due, la grande costante temporale del relativo sensore e il ritardo derivante dal tempo impiegato dall'acqua per entrare nel condotto della pompa. Allo stesso modo della temperatura e della conduttività si può ovviare a tale ritardo immettendo una costante temporale di correzione rispetto alla pressione. Con la sonda utilizzata tale costante può assumere un valore in secondi compreso tra +3s e +7s.

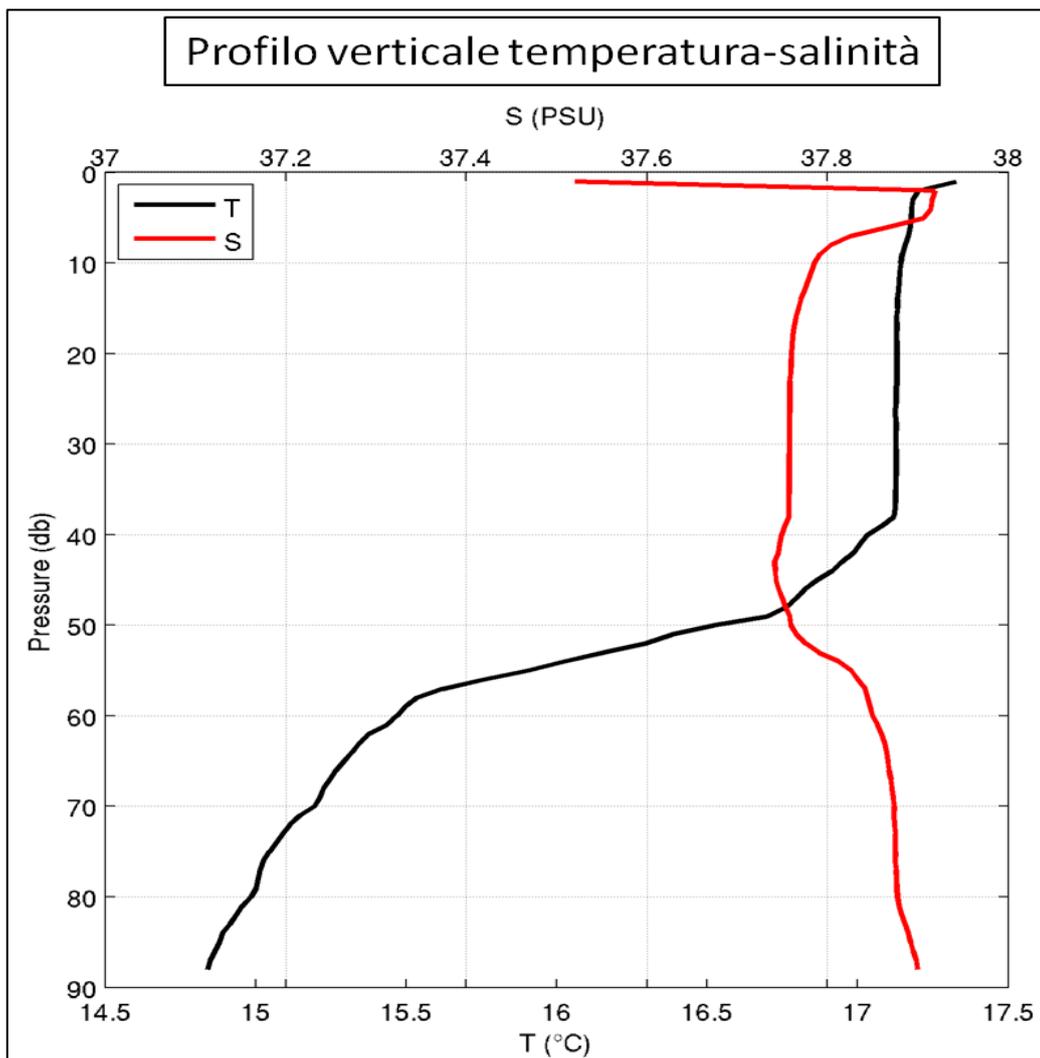
L'operazione successiva consiste nell'applicazione di un filtro ricorsivo per rimuovere gli effetti di massa della cella di conduttività dalla misura (CELL THERMAL MASS). Questo filtro si basa su due sensori (primario e secondario) e su due valori,  $\alpha$  e  $1/\beta$  che sono rispettivamente l'ampiezza dell'anomalia termica e la sua costante. Anche questi valori sono tabulati e variano in base al tipo di CTD usato.

A questo punto si passa al LOOP EDIT che scansiona i dati .cnv in input attribuendo un valore negativo (detto bad flag) ai files che indicano un rallentamento o un'inversione riferiti alla pressione in genere causato dal beccheggio eccessivo della nave. Impostata la velocità minima del CTD in m/s e i parametri relativi alla profondità di immersione del CTD (minima e massima), il comando LOOP EDIT assocerà una bad flag a tutti quei valori che sono inferiori a limiti scelti. Occorre precisare che applicando questo filtro non si opera una rimozione dei dati ma i file marcati come *bad* potranno essere omessi nei plot o nel calcolo della media.

Il filtraggio, l'allineamento e la minimizzazione degli errori legati agli spikes permettono di estrarre dai dati le già citate grandezze derivate. A tal proposito si applica il comando DERIVE che utilizza i parametri di temperatura, pressione e conduttività per calcolare i nuovi parametri oceanografici. Tra quelli che interessano maggiormente ci sono l'ossigeno, la salinità (practical salinity PSU) e la densità.

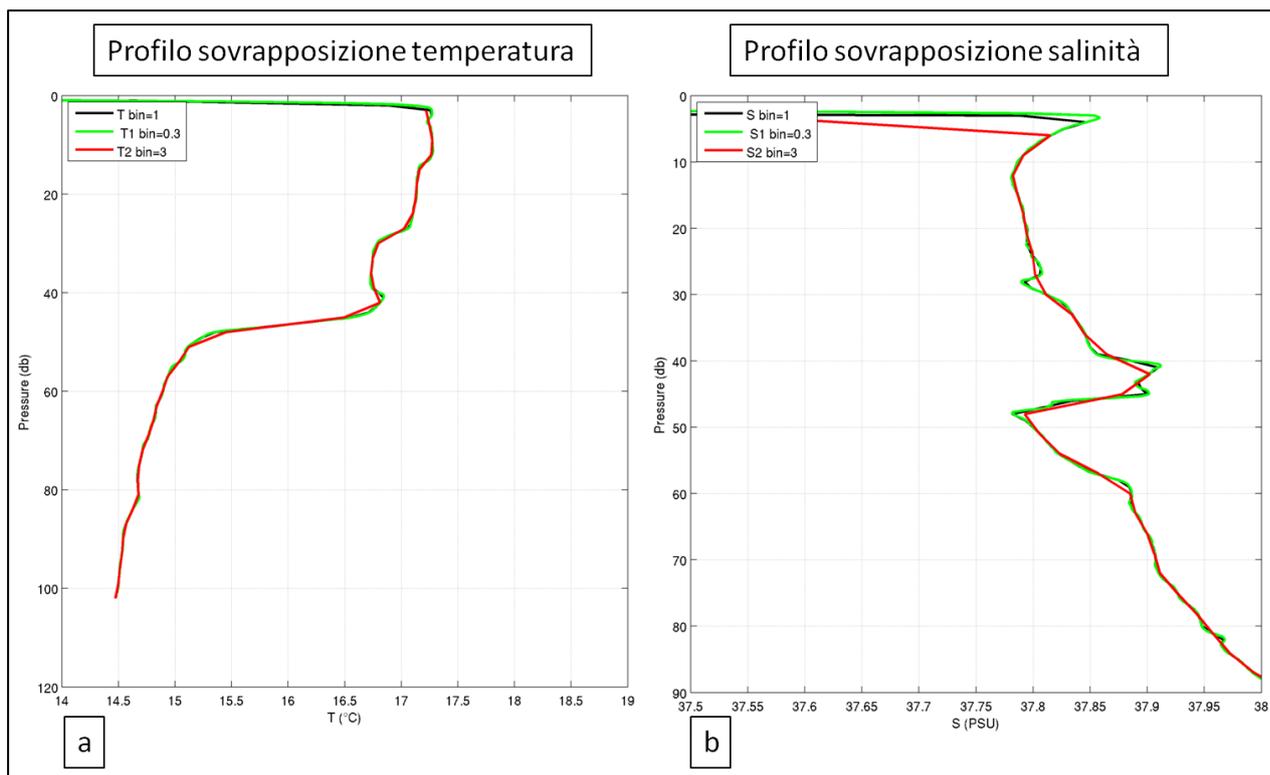
L'ultimo comando si identifica con il BIN AVERAGE. Con questo strumento è possibile effettuare una media dei dati attraverso l'uso di intervalli basati sul range di pressione, sul range di profondità, sull'intervallo di tempo considerato oppure su ogni quanti secondi viene effettuata una misurazione durante la calata. È necessario quindi definire il BIN TYPE in cui si sceglie l'intervallo più consono e il BIN SIZE ovvero ogni quante unità di BIN TYPE viene effettuata la media. Inoltre è possibile decidere se considerare solamente la calata della sonda oppure anche la risalita. Fissato un determinato BIN SIZE il software medierà i dati che sono compresi tra  $BIN\ SIZE/2$  e  $BIN\ SIZE*2$ .

A questo punto, i nuovi file .cnv ottenuti sono pronti per essere plottati e visualizzati. Le immagini seguenti rappresentano i profili verticali di temperatura e salinità derivanti dai dati analizzati e relativi ad alcune stazioni. Lo scopo è quello di fornire un riscontro visivo di come i dati di un campionamento possano costituire un profilo verticale e come un differente BIN SIZE possa influire sulla risoluzione del grafico.



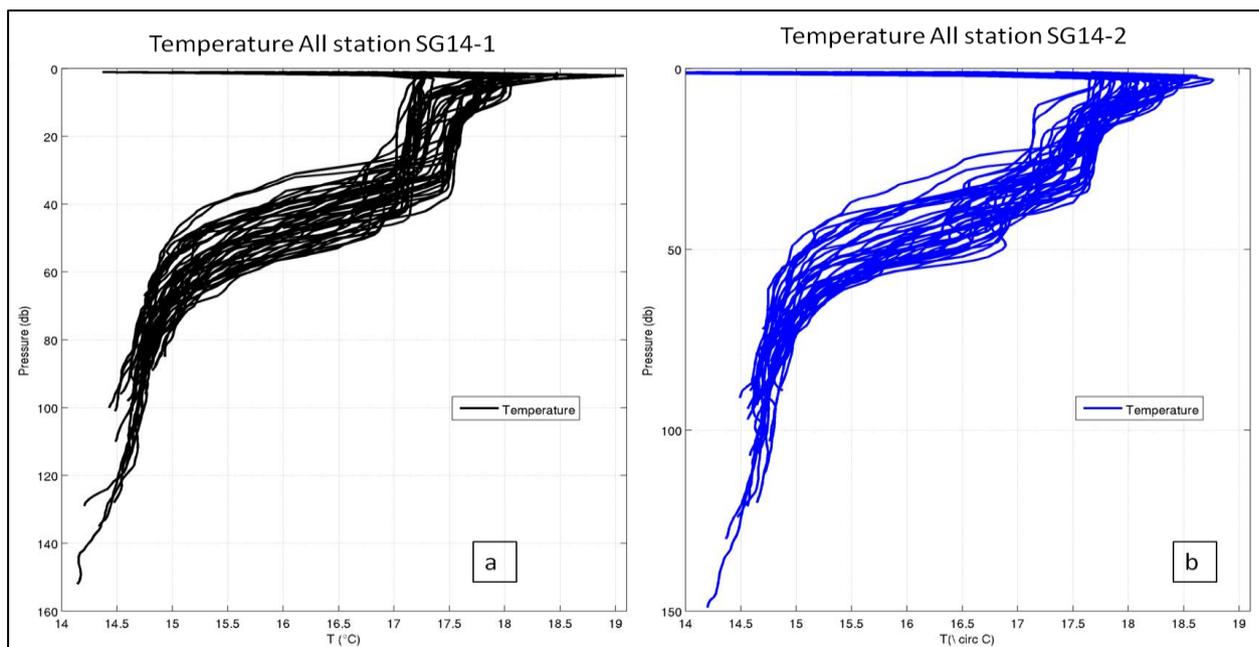
**Figura 2-4. Profilo temperatura-salinità (TS) relativo alla prima stazione della prima campagna.**

La Figura 2-4 mostra un profilo TS relativo alla prima (vedi Figura 2-1 a) delle 45 stazioni che sono state considerate nella prima campagna. Un grafico di questo tipo ha lo scopo di confrontare l'andamento della temperatura con quello della salinità in funzione della pressione e quindi della profondità. Si può notare infatti che i due parametri variano in modo inversamente proporzionale. Un profilo TS inoltre dà la possibilità di compiere una valutazione sul corretto svolgimento della calibrazione in quanto osservando le curve si osserva chiaramente se è presente qualche imperfezione nelle serie dei dati come per esempio la presenza di spikes.



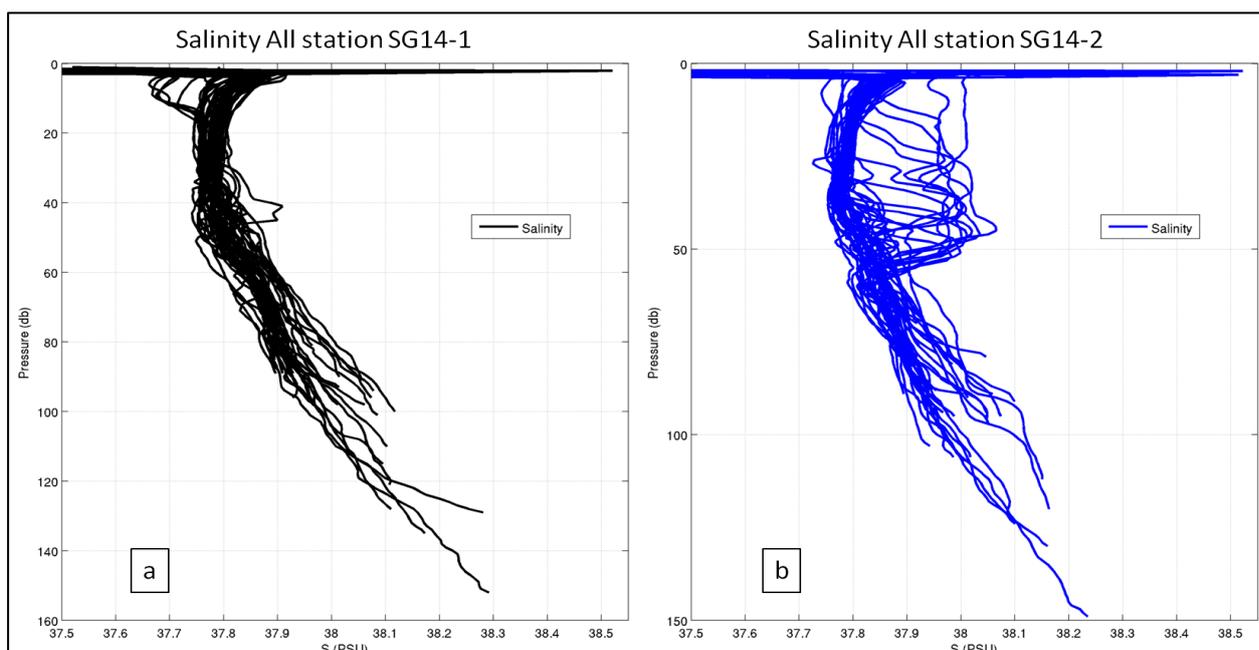
**Figura 2-5. Sovrapposizione di tre curve di temperatura (a) e tre curve di salinità(b) ciascuna per un differente BIN SIZE per la stazione n°5 della prima campagna.**

La Figura 2-5 propone un profilo TS diviso in due. L'immagine di sinistra infatti è relativa alla sola temperatura mentre quella di destra si riferisce alla salinità. In ogni profilo è stata effettuata la sovrapposizione di diverse curve di temperatura e di salinità utilizzando diversi BIN SIZE, in particolare la linea nera è relativa alla media dei dati per ogni metro, quella verde per ogni 0,3m mentre la linea rossa per ogni 3m. Con questo esperimento si è voluto vedere con quale delle tre medie era possibile ottenere dei profili privi di rumore senza perdere in risoluzione. I risultati ottenuti suggeriscono che i profili migliori sono quelli mediati su 1m. Si può constatare infatti che la media sui 3m produce un andamento troppo smussato e quindi non realistico mentre l'altra media genera una curva con troppa variabilità.



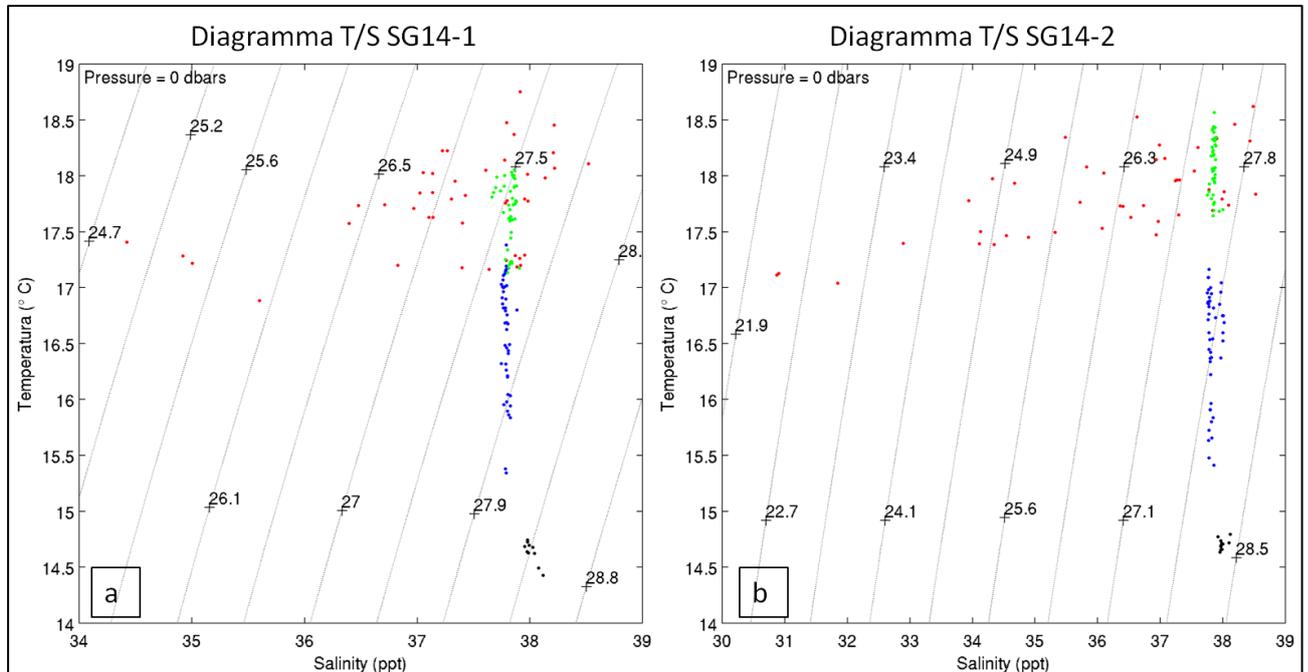
**Figura 2-6. Confronto profili di temperatura.**

Nel momento in cui si uniscono tutti i profili verticali di temperatura relativi alle singole stazioni, se ne ottiene uno unico che esprime l'andamento generale. La Figura 2-6 mette a confronto l'andamento della temperatura della prima campagna con quello della seconda. Come ci si aspettava il risultato è pressoché lo stesso. In entrambe si osserva la presenza di un primo termoclino che attorno a 10m circa e di un secondo che riguarda la fascia dei 40-60m.



**Figura 2-7. Confronto profili di salinità.**

La Figura 2-7 propone lo stesso tipo di confronto della figura precedente ma considerando la salinità. Anche in questo caso si può osservare che l'andamento è molto simile. Le differenze si riscontrano nella porzione di profilo che interessa i primi 50m. La spiegazione più plausibile è la presenza di alcuni spikes nella serie di dati che non sono stati omessi dal processo di calibrazione.



**Figura 2-8. Diagrammi T/S.**

Infine dai dati è possibile ricavare anche diagrammi di questo tipo, chiamati diagrammi T/S. La loro funzione è quella di permettere lo svolgimento di un'analisi riguardante le masse d'acqua e osservare come la densità di queste cambi in funzione della relativa temperatura e salinità. Di norma questa analisi si applica a masse d'acqua collocate in diverse zone geografiche di campionamento mentre in questo caso si è voluto osservare la variabilità verticale. I diversi colori dei punti indicano i diversi livelli di profondità considerati che, come si vedrà nel capitolo successivo, sono i medesimi presi in esame dall'analisi spaziale con la tecnica dell'analisi oggettiva. In particolare, i punti rossi indicano la profondità di 2m, quelli verdi 5m mentre i punti blu e neri si riferiscono a 40m e a 100m. Ne risulta che alla superficie (2m) temperatura e salinità sono molto variabili e di conseguenza lo è anche la densità che assume valori compresi tra  $\sim 24.7\sigma$  e  $\sim 27.9\sigma$  nella prima campagna e valori compresi tra  $\sim 21.9\sigma$  e  $\sim 27.8\sigma$  per la seconda. Da 5m fino a 100m l'andamento della densità è piuttosto costante passando da  $\sim 27.5\sigma$  a  $\sim 28\sigma$  nella prima campagna e da  $\sim 27.4\sigma$  a  $\sim 28.5\sigma$  nella seconda.

## CAPITOLO 3 MAPPE DI SALINITA' E TEMPERATURA

### 3.1 TECNICA DI ANALISI OGGETTIVA PER LA MAPPATURA

Questa fase prevede l'utilizzo della tecnica di analisi spaziale dei dati attraverso l'impiego dell'analisi oggettiva. Si tratta di una procedura di stima matematica e in oceanografia fisica la forma più utilizzata di analisi oggettiva è l'interpolazione mediante il metodo dei minimi quadrati, ideato da Gauss e comunemente chiamata *Gauss-Markov smoothing*. In particolare si tratta di un'applicazione della tecnica di regressione lineare. Dal momento che l'analisi oggettiva così definita viene usata per generare mappe di campi oceanografici stimati su una griglia regolare ma partendo da misure distribuite irregolarmente, è più corretto parlare di *Gauss-Markov mapping*. Alla base si trova il teorema di Gauss-Markov introdotto inizialmente con lo scopo di fornire un metodo per generare mappe relative a parametri meteorologici. L'adattamento di questi concetti all'oceanografia fu promosso da Bretherton attorno agli anni '70. Per ottenere un'interpolazione ottimale è necessario considerare alcune assunzioni. Il campo infatti, deve essere assunto stazionario ed omogeneo ovvero non deve cambiare nel periodo di campionamento e deve avere le stesse caratteristiche per tutta la sua estensione. Un'ulteriore assunzione vuole che la funzione di covarianza sia isotropica quindi la struttura deve essere la stessa in ogni direzione (Emery, 2001).

Di seguito è proposta una digressione dove verrà illustrato il metodo dei minimi quadrati per giungere poi all'algoritmo che permette di usufruire della tecnica di analisi oggettiva.

I campi che si stimano con l'analisi spaziale devono risultare continui e generalmente sono quelli relativi a temperatura e salinità, due parametri fondamentali per comprendere la struttura dell'oceano. L'analisi spaziale è associata alla scienza delle previsioni dato che senza una corretta analisi dei dati prevedere le variabili di stato dell'oceano o dell'atmosfera in un futuro prossimo non è possibile. Al fine delle previsioni è necessario conoscere lo stato presente del sistema nel modo più accurato e conoscere le cosiddette leggi prognostiche. Un approccio di questo tipo viene chiamato deterministico.

A questo punto è fondamentale avere un sistema osservativo che permette di compiere le osservazioni ovvero le misure. Ancora oggi, infatti, la misura rappresenta una stima molto attendibile della realtà. Per quanto possano essere accurate e abbondanti, le sole osservazioni non sono sufficienti pertanto si reputa necessario avere una componente diagnostica ed una prognostica. Quest'ultima è la modellistica che compie le previsioni ma questo aspetto non verrà trattato nel presente studio. Ciò che invece verrà preso in esame è la componente diagnostica il

cui scopo è quello di rendere i dati rilevati dal sistema osservativo compatibili con una griglia regolare attraverso l'applicazione di algoritmi statistici. Tale componente altro non è che l'analisi spaziale.

Quando si lavora con le misure bisogna sempre tenere in considerazione l'errore e adottare delle metodologie che ne permettono la minimizzazione. Gli errori non sono tutti uguali ed è possibile dividerli in due tipologie, l'errore di base e l'errore naturale. Il primo è identificabile con un malfunzionamento dello strumento di misura che per esempio può essere relativo alla fase di calibrazione o alla cattiva trasmissione dei dati. In presenza dell'errore di base l'unica soluzione da adottare è eliminare la misura. Il secondo errore invece si identifica con un errore di campionamento o rappresentatività dove per rappresentatività si intende operare un campionamento in maniera sufficiente. L'errore naturale è quello che viene preso in considerazione dall'analisi spaziale che ne compie una stima per calcolare i valori sulla griglia regolare menzionata in precedenza. Si ricorda che un valore di una misura senza la presenza del relativo errore non fornisce alcun tipo di indicazione.

Si supponga ora che ci siano N osservazioni della variabile S ottenute da strumenti diversi o N osservazioni ripetute a tempi diversi e da persone diverse. Le misure si avvicineranno alla realtà, identificata con S, in base al loro errore  $\epsilon_n$ . In altre parole una misura differisce dalla realtà tanto quanto è grande il suo errore considerato un errore di campionamento.

Bisogna inoltre assumere che l'errore in questione abbia una media uguale a zero e che quindi sia casuale e con una distribuzione gaussiana. La probabilità che l'errore ricada in un intervallo  $\epsilon_n$  e  $\epsilon_n + d\epsilon_n$  è pari a:

$$p(\epsilon_n) = \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\epsilon_n^2}{2\sigma_n^2}\right]$$

dove  $\epsilon_n = S_n - S$  e con  $\sigma_n^2$  si intende la varianza dell'errore ovvero il valore atteso su tutti i casi possibili.

$$\sigma_n^2 = \langle (s_n - s)^2 \rangle = \langle \epsilon_n^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \epsilon_n^2 p(\epsilon_n) d\epsilon_n$$

Il valore atteso è quindi una media pesata dalla probabilità dell'errore elevato al quadrato. In altre parole data una variabile x, il suo valore atteso è uguale alla somma delle misure della variabile moltiplicate ciascuna per la propria probabilità, il tutto normalizzato per la probabilità totale.

$$E(x) = \langle x \rangle = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \dots}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots}$$

Se ogni misura avesse la medesima probabilità di accadere si possono effettuare dei raccoglimenti e delle semplificazioni che come risultato hanno:

$$E(x) = \langle x \rangle = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots}{N}$$

Se ne deduce che il valore atteso E è una media. Partendo dal calcolo della probabilità congiunta di tutte le misure, il metodo dei minimi quadrati permette di ricavarne il massimo.

$$p(\varepsilon_1) \dots p(\varepsilon_n) = \left[ \prod_{n=1}^N \frac{1}{\sigma_n \sqrt{2\pi}} \right] \exp \left[ - \sum_{n=1}^N \frac{\varepsilon_n^2}{2\sigma_n^2} \right]$$

Il massimo della probabilità di tutti gli errori, ovvero il massimo dell'esponenziale è pari al minimo del suo argomento:

$$\text{MIN} \left[ I = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^N \frac{(s_n - s)^2}{\sigma_n^2} \right]$$

Per trovare il minimo della funzione esponenziale si pone uguale zero la derivata rispetto alla variabile S.

$$\left. \frac{dI}{ds} \right|_{s=s_a} = 0$$

Il valore minimo raggiunto viene chiamato  $S_a$ . Differenziando rispetto ad S, ponendo la derivata uguale a zero e riorganizzando si ottiene la stima migliore della variabile date le misure e la varianza dei loro errori.

$$S_a = \frac{\sum_{n=1}^N \sigma_n^{-2} s_n}{\sum_{n=1}^N \sigma_n^{-2}}$$

Dal momento che la stima migliore  $S_a$  è calcolata tenendo in considerazione gli errori delle misure, avrà anch'essa un suo errore.

La varianza dell'errore della stima migliore è uguale alla somma delle varianze degli errori di ciascuna misura ovvero:

$$\langle \epsilon_a^2 \rangle = \left\langle \left[ \frac{\sum_{n=1}^N \sigma_n^{-2} (s_n - s)}{\sum_{n=1}^N \sigma_n^{-2}} \right]^2 \right\rangle = \left\langle \left[ \sum_{n=1}^N \sigma_n^{-2} \right]^{-1} \right\rangle$$

Con  $\epsilon_a = S_a - S$ . Nel momento in cui le misure sono soggette allo stesso tipo di errore si ha che  $\sigma_n^2 = \sigma^2$ .

Se ne deduce che la stima migliore equivale ad una media cioè:

$$s_a = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N s_n$$

Pertanto l'errore della stima migliore è:  $\langle \epsilon_a^2 \rangle = \frac{\sigma^2}{N}$  dove  $\sigma$  è la deviazione standard.

Ora che sono stati definiti gli strumenti è possibile applicare il metodo dei minimi quadrati all'analisi oggettiva. L'obiettivo di questa tecnica stimare una variabile scalare  $\theta_x$ , che nel nostro caso si identifica con la temperatura o la salinità, su una serie di punti griglia  $x = (x, y)$  distribuiti regolarmente. Il punto di partenza è costituito dalle misure  $\phi_r$  che sono state effettuate in punti  $x_r = (x_r, y_r)$ . In altre parole, partendo da  $\phi_r$  si vuole stimare  $\theta_x$ . Si supponga di conoscere l'errore delle misure:

$$\sigma_\phi^2 = \langle \epsilon_\phi^2(x_r) \rangle = \langle \epsilon_r^2 \rangle$$

e che questi errori non siano correlati.

In questo caso  $N$ , che in precedenza è stato usato per definire un numero generico di osservazioni, viene posto uguale a 2, dove con due si intendono due diverse stime identificabili con  $S_b$  e  $S_0$ .  $S_b$  si può identificare con il campo climatologico che è una stima del campo che si vuole misurare mentre  $S_0$  comprende le osservazioni effettuate, cioè tutte le  $\phi_r$ . La scelta di usare  $S_b$  e  $S_0$  è limitata al fatto che semplificano i calcoli, successivamente verranno sostituiti con le proprie identità reali.

A questo punto si utilizza la formula della stima migliore e si attua la sostituzione con le variabili appena descritte, risulta che:

$$s_a = \frac{\sigma_o^{-2} s_o + \sigma_b^{-2} s_b}{\sigma_o^{-2} + \sigma_b^{-2}} = \frac{\sigma_b^2 s_o + \sigma_o^2 s_b}{\sigma_o^2 + \sigma_b^2} = s_b + \frac{\sigma_b^2}{\sigma_o^2 + \sigma_b^2} (s_o - s_b)$$

Per rendere questa stima più veritiera è necessario aggiungere la varianza del campo, identificata con  $\sigma_f^2$ , l'equazione precedente viene modificata nell'equazione successiva:

$$s_a = s_b + \frac{\sigma_b^2 / \sigma_f^2}{\sigma_o^2 / \sigma_f^2 + \sigma_b^2 / \sigma_f^2} (s_o - s_b)$$

Si può asserire che gli errori della misura climatologica sono tra loro correlati tramite una funzione di correlazione. In particolare due misure risultano tanto più correlate tanto più la distanza tra loro è piccola e questa relazione dipende dall'errore. Utilizzando le seguenti uguaglianze è possibile compiere la sostituzione delle variabili della precedente equazione, in particolare:

$$s_a = \theta_x; s_b = \tilde{\theta}_x; s_o = \varphi_r$$

$$\frac{\sigma_b^2}{\sigma_f^2} = C(x_s, x_r); \frac{\sigma_o^2}{\sigma_f^2} = E_o I$$

e allora l'equazione sarà uguale a :

$$\theta_x = \tilde{\theta}_x + \frac{C(x_s, x_r)}{E_o I + C(x_s, x_r)} (\varphi_r - \tilde{\theta}_x)$$

che tradotta in algoritmo:

$$\theta_x = \tilde{\theta}_x + \sum_r C(x, x_r) \sum_s [C(x_r, x_s) + IE_o]^{-1} (\varphi_r - \tilde{\theta}_r)$$

Questa è la formula sviluppata da Bretherton et al.(1976) per la stima dei campi assumendo che la climatologia sia:

$$\tilde{\theta}_x = \sum_r [C(x, x_r) + IE]^{-1} \phi_r$$

Queste due equazioni costituiscono il cuore dell'analisi oggettiva. Il problema ora è specificare la funzione di correlazione dell'errore del campo che solitamente è uguale a quella del campo stesso identificabile con la seguente equazione.

$$C(x_s, x_r) = F(x_r - x_s)$$

Le misure che vengono in considerazione sono solo quelle più vicine al punto di griglia in cui si vuole conoscere il campo. In particolare si ha che:

$$F(x_r - x_s) = \left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) e^{-\left(\frac{r^2}{2b^2}\right)}, \quad r^2 = x^2 + y^2$$

Dove  $r$  è la distanza tra le misure che determina una correlazione più o meno forte.  $a$  e  $b$  sono rispettivamente il punto di *zero crossing*, cioè il punto in cui la funzione si azzerava, e la scala di decadimento.

Nel prossimo paragrafo verranno descritti gli esperimenti cui è stata applicata la tecnica di analisi oggettiva.

### 3.2 DESCRIZIONE DEGLI ESPERIMENTI DI MAPPATURA

a	b	TIM	IFLAG	ITLIM	RLIM	LIMIT	DIST	e	DATE	ZDEPTH	NPTINF
60	30	0	0	0	3	5	25	0.3	0	1	5

Tabella 3-1. Parametri di partenza con i relativi valori.

L'analisi spaziale descritta nel paragrafo precedente viene svolta utilizzando MatLab, un linguaggio di alto livello per il calcolo numerico, l'analisi e la visualizzazione dei dati. Per ottenere le mappe dei campi desiderati Matlab si basa sugli algoritmi di Bretherton e sulla funzione di correlazione. I parametri che influenzano la significatività dei campi generati non sono solo  $a, b$  ed  $r$  e possono essere riassunti nella Tabella 3-1.

Per poter osservare come la variazione dei parametri possa influenzare la generazione di mappe per i campi di temperatura e salinità, è stato necessario attuare degli esperimenti di sensitività.

n° esperimento	LATITUDINE (gradi)		LONGITUDINE (gradi)		PASSO (gradi)	PASSO (km)	a (km)	b (km)	DIST (km)	LIMIT
	1	42,50	43,50	9,55	10,75	0,014	1,5	60	30	25
2	42,50	43,50	9,55	10,75	0,007	0,7	60	30	25	5
3	42,50	43,50	9,55	10,75	0,028	3,1	60	30	25	5
4	42,50	43,50	9,55	10,75	0,007	0,7	40	20	25	5
5	42,50	43,50	9,55	10,75	0,007	0,7	90	45	25	5
6	42,50	43,50	9,55	10,75	0,007	0,7	60	30	50	5
7	42,50	43,50	9,55	10,75	0,007	0,7	60	30	25	10
8	42,50	43,50	9,55	10,75	0,007	0,7	60	30	25	2

**Tabella 3-2. Tabella riassuntiva degli esperimenti condotti.**

Gli esperimenti effettuati sono 8, in ognuno dei quali si modifica un parametro alla volta in modo da poter osservare con chiarezza le variazioni prodotte. Nei prime tre è stato modificato il passo griglia, questo parametro non compare nella Tabella 3-1 per il semplice fatto che non si trova nel medesimo script su Matlab. L'esperimento n°4 e n°5 mostrano invece come variano i campi nel caso in cui i parametri a e b vengano incrementati o decrementati rispetto alla situazione originaria. Il punto di zero crossing e la scala di decadimento possono essere considerati come la distanza di de-correlazione e la distanza di decadimento spaziale (Montanari, 2006). Nel test n.6 è stato modificato il parametro DIST mentre negli ultimi due esperimenti si è voluto mostrare cosa succederebbe se a variare fosse il numero di punti influenzali considerati. Con DIST si indica il raggio influenzale ovvero quel raggio, espresso in chilometri, entro il quale si considerano il numero di punti indicati da LIMIT. Gli 8 esperimenti sono stati ripetuti per diverse profondità, in particolare è stata considerata la situazione a 2m, 5m, 40m e 100m di profondità. Le prove di sensitività sono state svolte sia per la temperatura sia per la salinità di entrambe le campagne. Di seguito verranno mostrate le immagini relative ad ogni esperimento con lo scopo di fornirne un riscontro visivo.

### 3.3 DISTRIBUZIONE DEI CAMPI

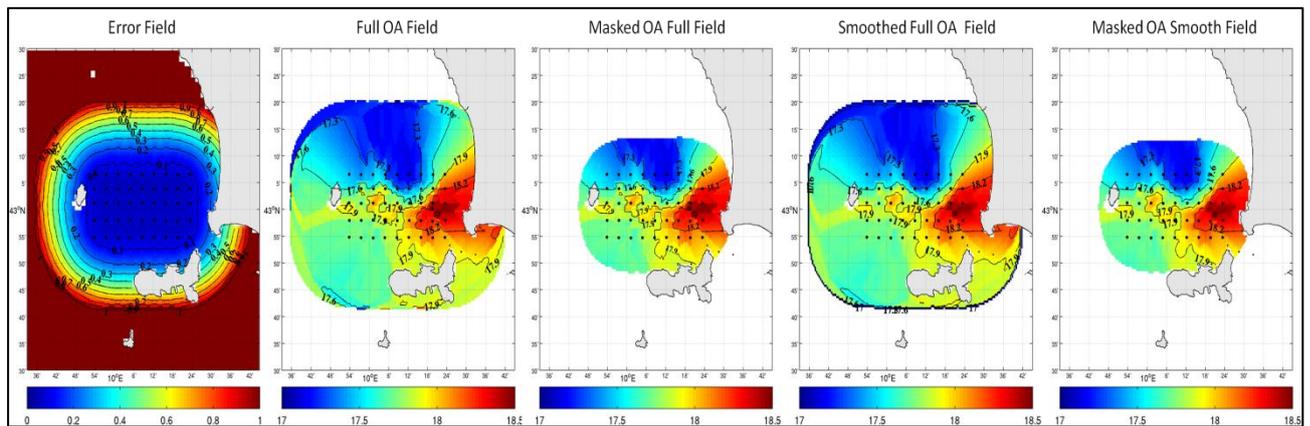


Figura 3-1. Immagini ottenute.

Prima di presentare i dei campi di temperatura e salinità è opportuno mostrare le cinque differenti tipologie di immagini che sono state ottenute per ogni singolo esperimento e per ogni livello di profondità considerato. In particolare l'ERROR FIELD esprime il campo dell' errore relativo alle misure e quindi indica la varianza dell'errore. Il FULL OA FIELD invece permette di visualizzare il campo totale relativo al parametro preso in esame considerando l'estensione del campo d'errore. Lo SMOOTHED FULL OA FIELD fornisce indicazioni sul campo derivante dall'analisi oggettiva e soggetto allo smoothing che in altre parole si traduce con l'applicazione di un filtro. Infine il MASKED OA FULL FIELD e il MASKED OA SMOOTH FIELD sono il risultato di un mascheramento del campo FULL e SMOOTHED considerando un errore al 30 %. Un confronto tra evidenzia l'applicazione del filtro.

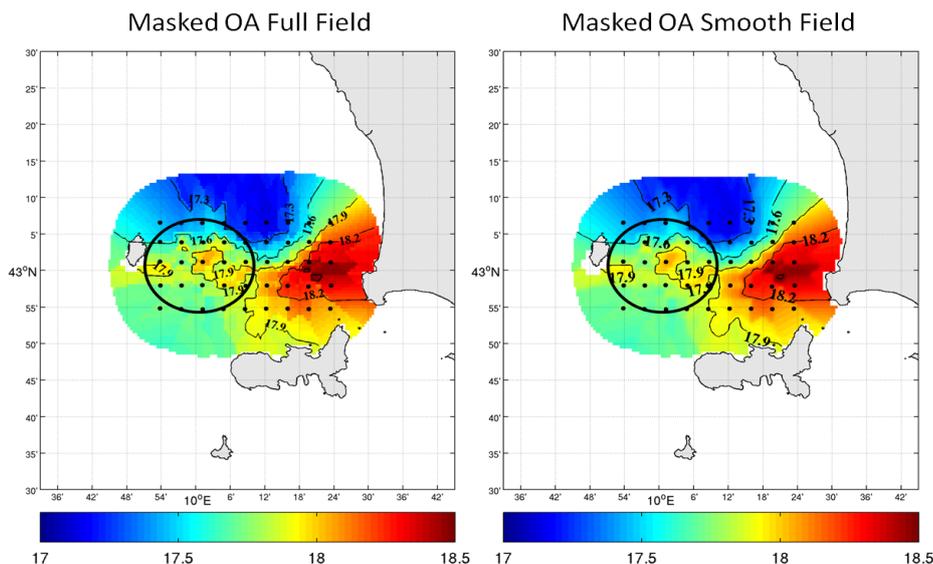


Figura 3-2. Confronto tra il mascheramento del campo FULL e quello del campo SMOOTHED. Le zone cerchiato indicano i punti in cui è più facile individuare le differenze.

Osservando i campi di Figura 3-2 si può osservare con facilità come le isolinee del campo FULL abbiano un andamento più secco rispetto a quello del campo SMOOTHED, questo è reso possibile dal filtro. I campi che verranno presi in considerazione nei prossimi due sottoparagrafi, saranno solo quelli della tipologia MASKED OA SMOOTH FIELD.

Il passo successivo si esplica in un confronto tra le immagine ottenute relative alla variazione dei parametri riassunti in Tabella 3-2. La finalità consiste nell'individuazione dell'esperimento migliore che sarà considerato la miglior stima della distribuzione di temperatura e salinità. Le immagini si riferiscono alla temperatura a 2m di profondità. La scelta è basata sul fatto che tali mappe risultano essere quelle più chiare e che il tipo di variazioni che si osserveranno è il medesimo alle altre profondità.

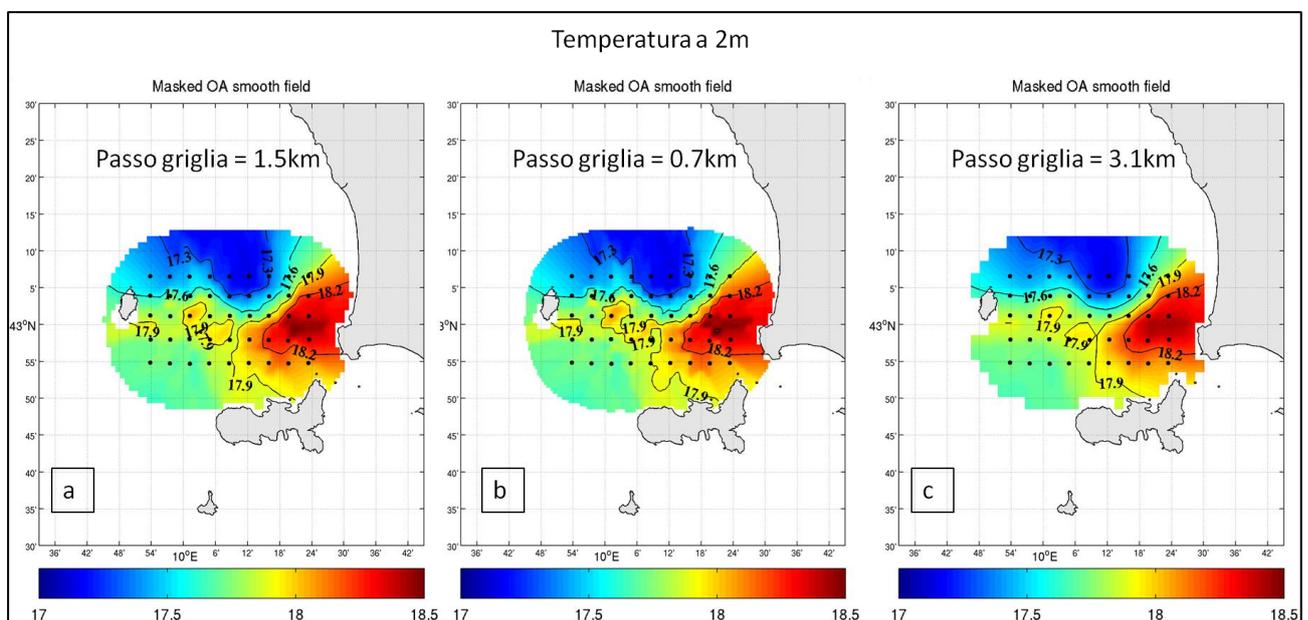


Figura 3-3. Esperimento n° 1 (a)-2 (b)-3 (c) (vedi Tabella 3-2).

Nella Figura 3-3 si può osservare come il decremento o l'incremento del **passo di griglia** considerato vada ad influire sulla distribuzione del campo. Nella Figura 3-3a il passo griglia è pari a 1,5 km mentre nei due casi successivi è stato dapprima ridotto a 0,7 km e successivamente aumentato a 3,1 km. Un passo griglia così grande produce isolinee troppo smussate e un effetto di omogeneizzazione del campo con la conseguenza del fatto che non è possibile apprezzare tutte le variazioni dello stesso. Viceversa, con un passo griglia piccolo si possono prendere in considerazione strutture più precise. La scelta quindi ricadeva su uno dei primi due casi. Dal momento che le differenze visibili dall'applicazione di un passo pari a 1,5km o pari a 0,7km non sono notevoli, si è deciso che l'esperimento migliore per questi tre esperimento fosse il caso b.

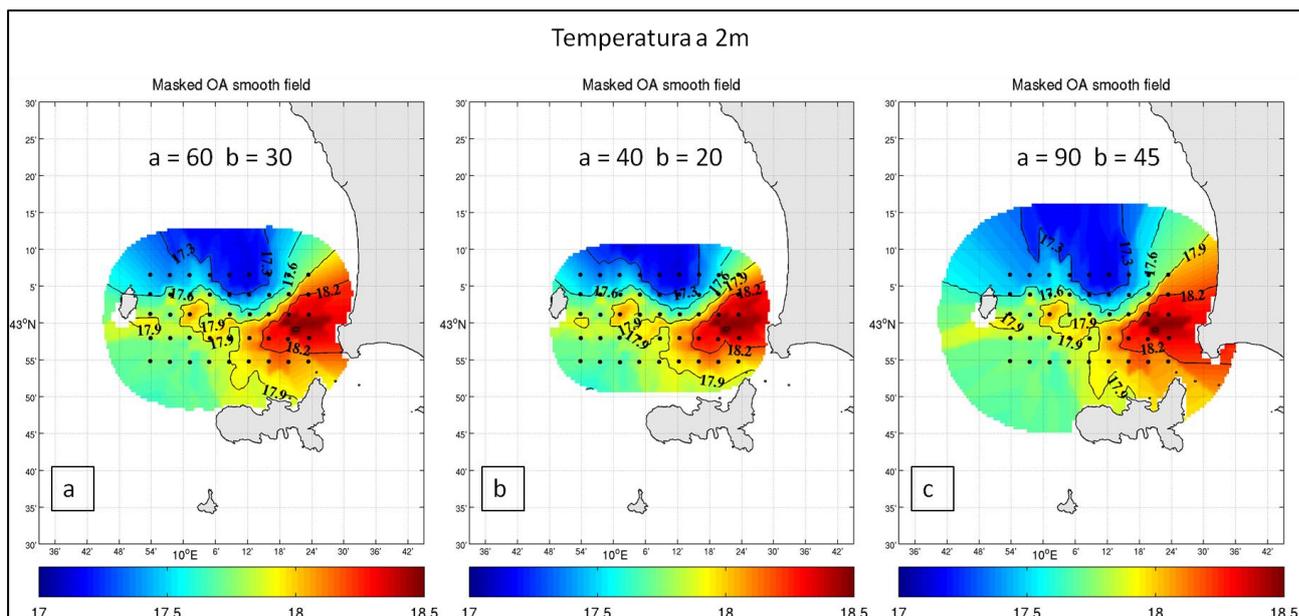


Figura 3-4. Esperimento n°4 (b)-5(c) (vedi Tabella 3-2).

In questa figura compaiono gli esperimenti n° 4 e n°5 che riguardano la variazione dei parametri  $a$  e  $b$ . La Figura 3-4a rappresenta il caso di partenza. Nel caso b invece i parametri sono stati decrementati con una conseguente diminuzione delle dimensioni del campo. Questo produce un aumento del cosiddetto rumore dato che le isolinee si trovano una più vicina all'altra. Un incremento invece genera un campo con dimensioni maggiori perdendo così la risoluzione della struttura. Il caso che è stato considerato più significativo è il primo.

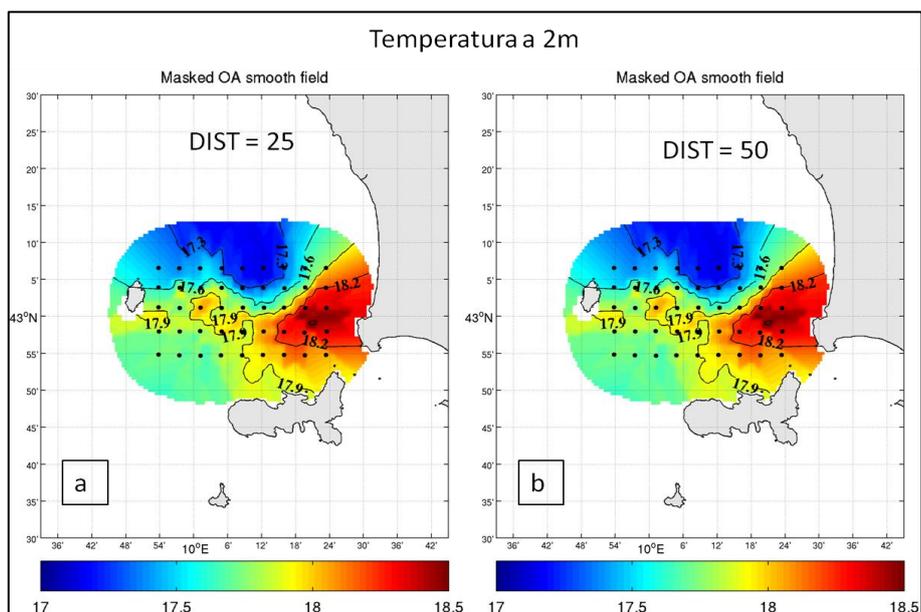


Figura 3-5. Esperimento n° 6(b) (vedi Tabella 3-2).

La Figura 3-5 mostra l'esperimento n°6 in cui è stato variato il parametro **DIST** in particolare con un incremento da 25km, considerata come condizione iniziale, a 50km. Da questo

esperimento non risultano variazioni della struttura del campo; in quanto i parametri LIMIT e NPTINF sono rimasti costanti. Dato che quest'ultimi due indicano rispettivamente il numero di punti influenzali da considerare e il numero di osservazioni e che LIMIT deve essere minore o al massimo uguale a NPTINF, allora aumentando l'area di osservazione ma mantenendo il numero di punti e il numero di osservazioni invariato, verranno considerati comunque lo stesso numero di misure. Un decremento del raggio influenzale invece causerebbe una riduzione dell'area in cui vengono visualizzate le isolinee ma senza alterarle. Si avrebbe un campo ridotto che non risulterebbe significativo. Il caso migliore è quello con un DIST pari a 25km.

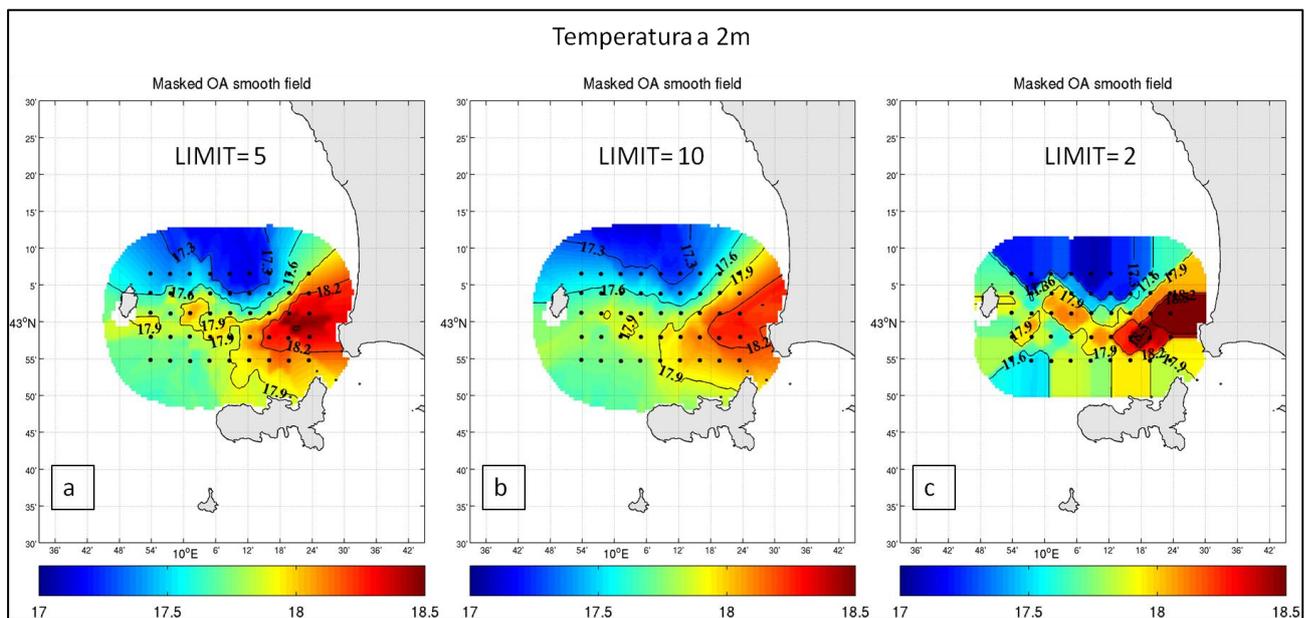


Figura 3-6. Esperimento n°7(b)-8(c) (vedi Tabella 3-2).

L'ultima serie di esperimenti vuole studiare l'effetto di una variazione del numero di punti influenzali. Allo stesso modo degli esperimenti precedenti il caso a identifica la situazione di partenza. L'aumento del numero di punti considerati (caso b) si traduce con una omogeneizzazione del campo, le isolinee infatti risultano più distanziate l'una dall'altra. Al contrario, (caso c) con un LIMIT troppo basso si ottiene un addensamento delle isolinee con un aumento del rumore. Il caso migliore rimane quello dettato dalle condizioni di partenza (caso a). Il set di parametri che meglio esprime la distribuzione del campo è riassunta nella seguente tabella.

Passo griglia(km)	a(km)	b(km)	DIST(km)	LIMIT
0.7	60	30	25	5

Tabella 3-3. Tabella riassuntiva della condizione che descrive l'esperimento migliore.

### 3.3.1 DISTRIBUZIONE DI TEMPERATURA

Le immagini che seguono mostrano come si evolve il campo di temperatura al variare della profondità rispettivamente nella prima e nella seconda campagna.

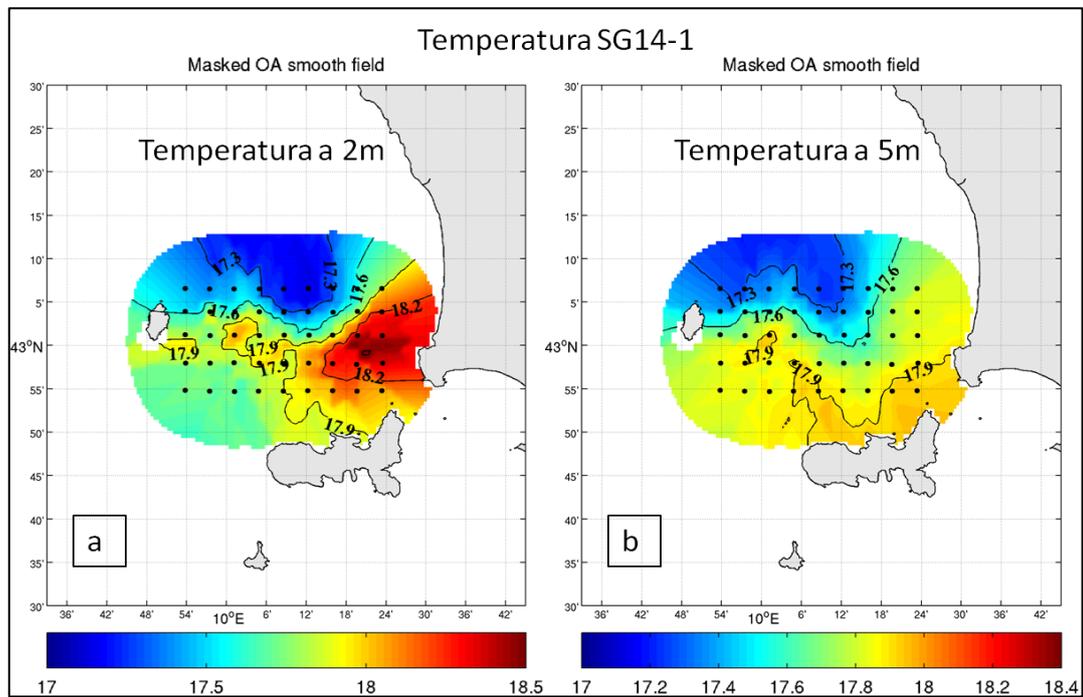


Figura 3-7. Campo di temperatura a 2m (a) e a 5m (b) della prima campagna.

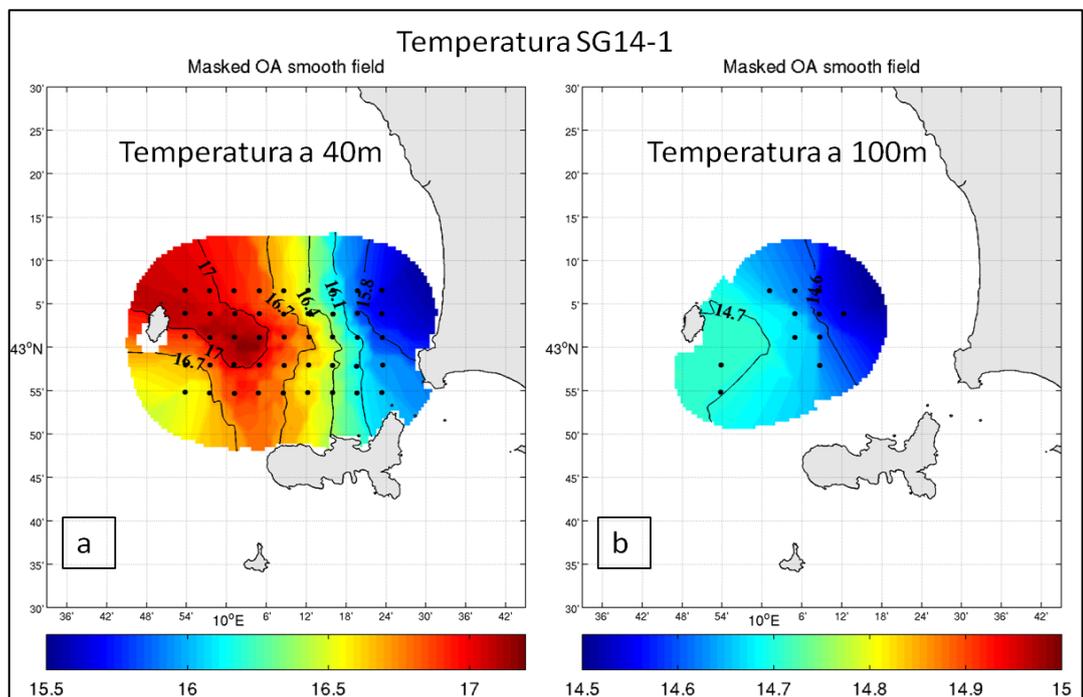
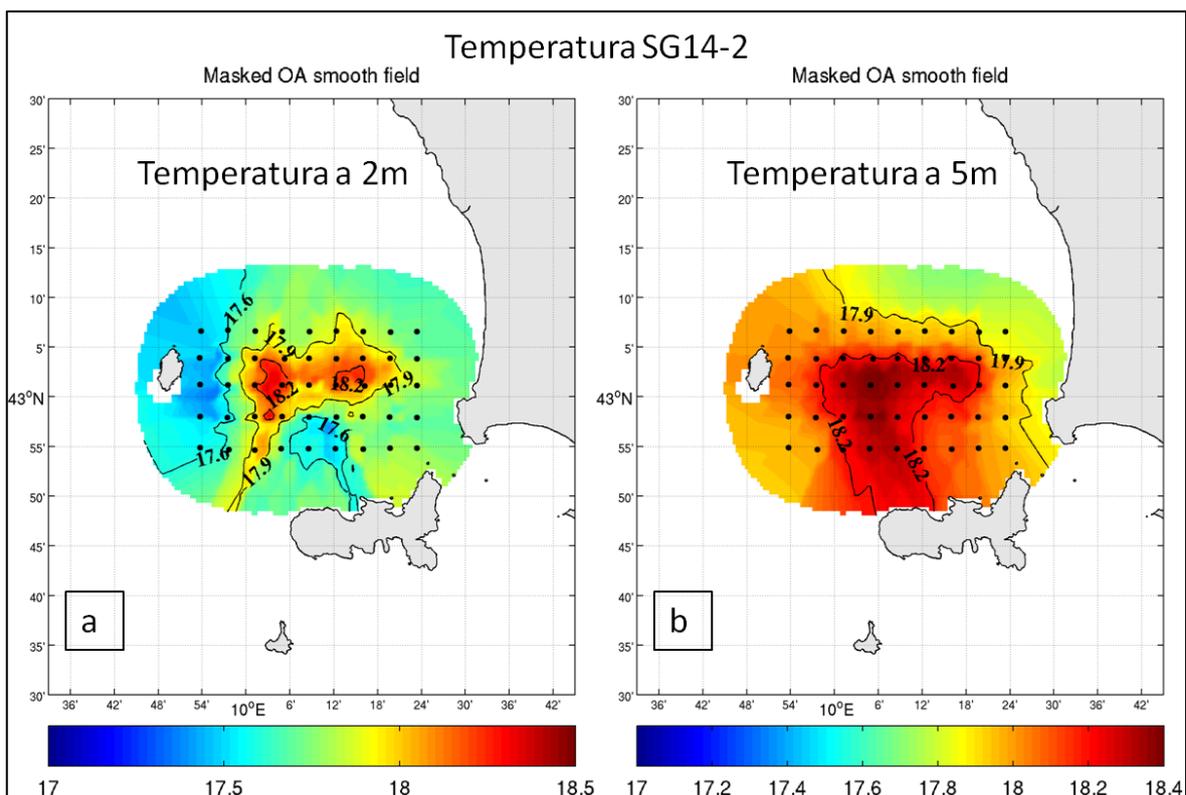


Figura 3-8. Campo di temperatura a 40m (a) e a 100m (b) della prima campagna.

Le Figura 3-7 e Figura 3-8 forniscono la distribuzione del campo di temperatura per ogni singolo livello di profondità considerato. Si osserva che la distribuzione del campo cambia in base alla profondità. Alla superficie (Figura 3-7a) la temperatura assume un gradiente meridionale presentando un picco massimo nella zona antistante al promontorio della città di Piombino. Temperature inferiori caratterizzano invece la porzione superiore del campo raggiungendo valori di  $\sim 17$  °C. A 5m di profondità la distribuzione non subisce variazioni sostanziali. Le zone a maggiore e minore temperatura sono pressoché le stesse del livello precedente.

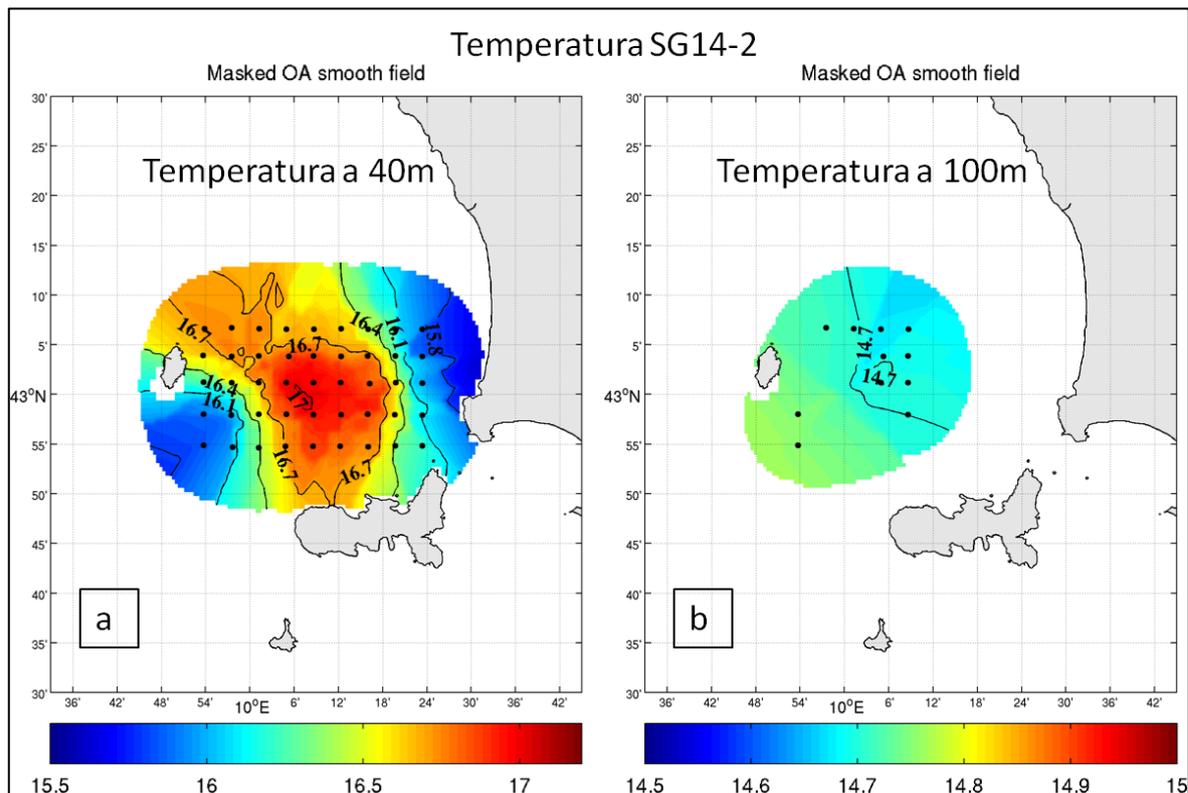
Per quanto riguarda la struttura del campo a profondità maggiori (Figura 3-8), la temperatura ha un gradiente zonale).A 40m l'andamento è decrescente spostandosi da sinistra (a Est dell'Isola di Capraia) verso destra (costa della regione Toscana) . Alla profondità di 100m le caratteristiche dimensionali del campo sono molto differenti rispetto a quanto descritto fino ad ora. Ciò è dovuto al fatto che la limitata batimetria non ha permesso un campionamento a tale profondità per tutte le stazioni. Si ha comunque una variazione con le stesse modalità descritte per i 40m.



**Figura 3-9. Campo di temperatura a 2m (a) e a 5m (b) della seconda campagna.**

La tipologia di confronto utilizzata per la prima campagna è stata adottata anche per la seconda descritta dalla Figura 3-9 e dalla Figura 3-10. In questo caso alla superficie le temperature massime si concentrano al centro del campo con valori di  $\sim 18.2$  °C. Temperature più basse contornano la struttura centrale. Il livello successivo (Figura 3-9b) si articola allo stesso modo,

l'unica differenza risiede nella conformazione assunta dall'area a temperatura maggiore che ora si estende fino a lambire il versante nord dell'Isola d'Elba.



**Figura 3-10. Campo di temperatura a 40m (a) e a 100m (b) della seconda campagna.**

Alla profondità di 40m il campo è caratterizzato da una struttura termica centrale che presenta i valori maggiori; al suo interno si colloca il picco massimo, ~17 °C. Ad ambo i lati di tale disposizione è possibile osservare due minimi termici, ~ 15.8 °C e 16 °C. Per quanto riguarda i 100m le isolinee assumono carattere differente in base a se si guarda la parte inferiore del campo o quella superiore. In entrambi i campi descritti, si ha un gradiente zonale che a 40m risulta maggiore rispetto a quello dei 100m.

In conclusione, dall'analisi delle distribuzioni di temperatura si può asserire che, alla superficie la variabilità è maggiore rispetto ai livelli più profondi. Un intervallo di tempo breve, come quello trascorso tra le due campagne, è sufficiente per apportare delle modifiche al campo.

Emerge inoltre la presenza di una struttura persistente verticalmente che si estende dai 2m fino ai 40m. Nella prima campagna la si può individuare al margine superiore del campo ed è caratterizzata da temperature basse, in più a 40m non è del tutto visibile. Nella seconda campagna invece appare nitidamente nella parte centrale del campo e interessa i valori più alti di temperatura.

### 3.3.2 DISTRIBUZIONE DI SALINITA'

La distribuzione della salinità verrà esaminata con le stesse modalità utilizzate per la temperatura.

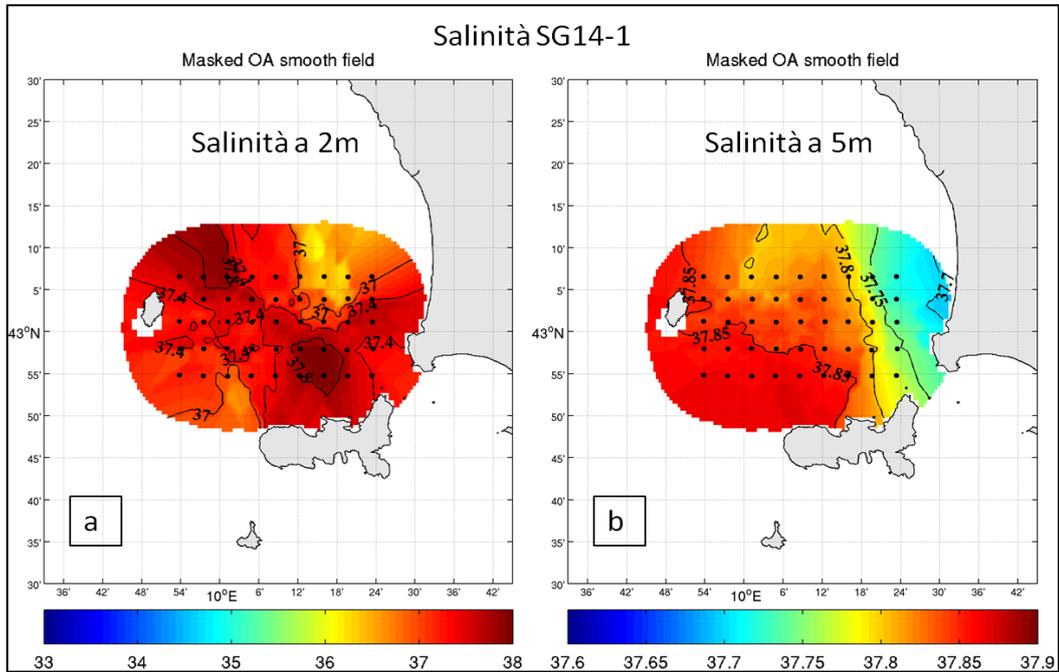


Figura 3-11. Campo di salinità a 2m (a) e a 5m (b) della prima campagna.

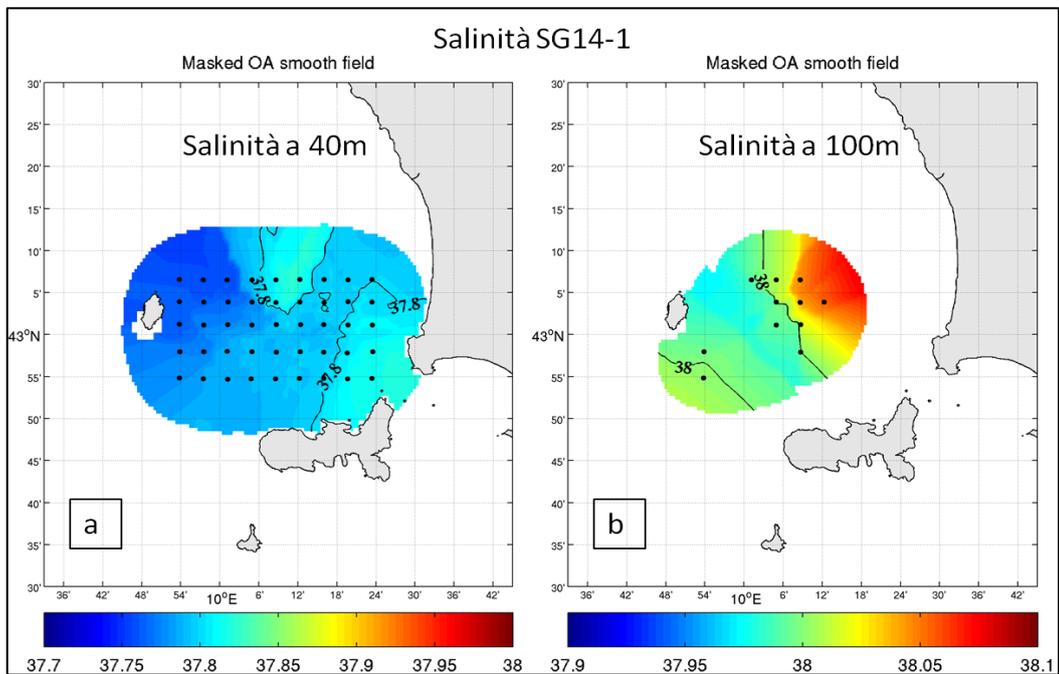
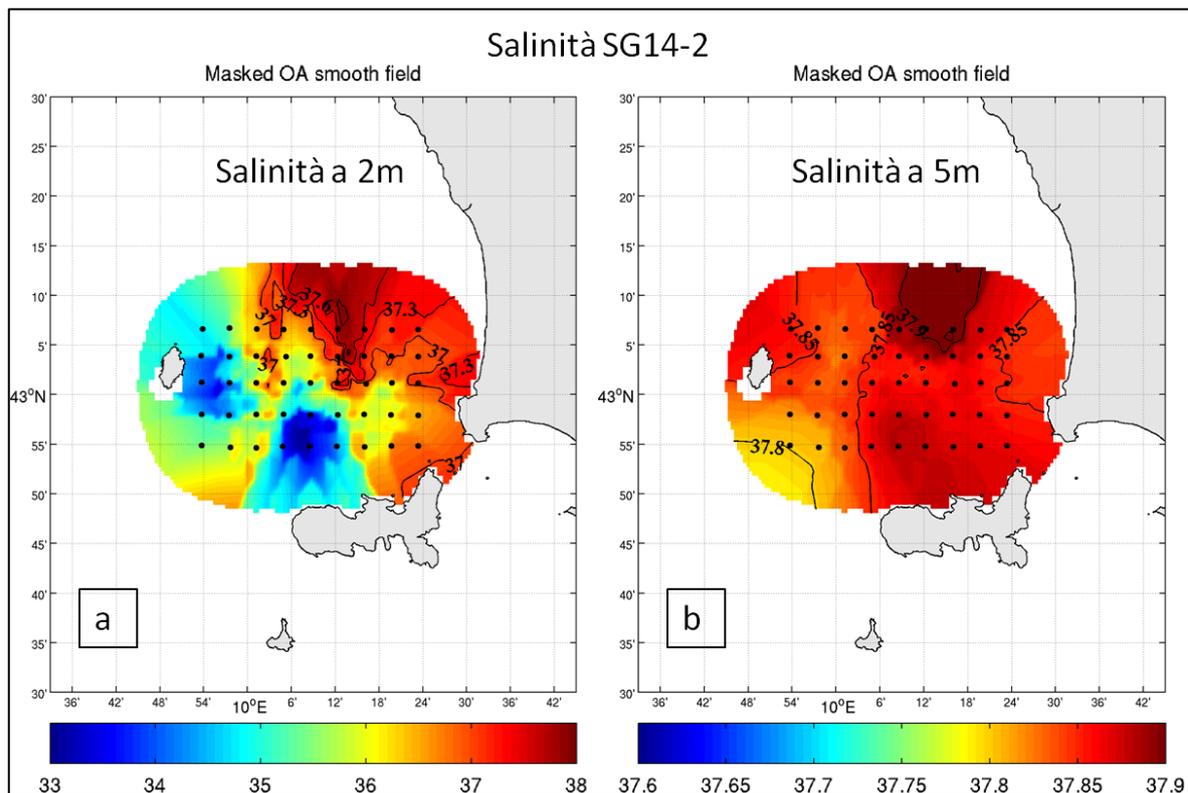


Figura 3-12. Campo di salinità a 40m (a) e a 100m (b) della prima campagna.

In figura Figura 3-11 è visibile la distribuzione di salinità ai due livelli di profondità più superficiali. A 2m si possono distinguere con facilità i picchi massimi di salinità, ~38 PSU, contornati da aree che presentano valori intermedi. A nord-est e a sud-ovest del campo si trovano le zone a salinità minore con valori compresi tra 36.2 PSU e 36.8 PSU. Il livello dei 5m presenta un gradiente zonale mostrando un massimo a longitudini comprese tra 9.48°E e 10.12°E, ed un minimo a ~10.30°E.

La distribuzione del campo a profondità superiori è mostrata in Figura 3-12. A 40m (caso a) si ha una situazione opposta a quella rilevata a 5m, con un valore maggiore vicino alla costa toscana ed un minimo nell'area soprastante all'Isola di Capraia. Il campo che si viene a generare giungendo alla profondità di 100m mostra una distribuzione con un picco salino massimo nella zona a nord est, punto in cui la temperatura presenta i valori più bassi (Figura 3-8b).



**Figura 3-13. Campo di salinità a 2m (a) e a 5m (b) della seconda campagna.**

Proseguendo con la seconda campagna, la Figura 3-13 prende in esame la situazione a 2m e a 5m. Nel primo caso (caso a) la zona a salinità più elevata si colloca nella porzione superiore del campo. I minimi invece si posizionano uno a destra dell'Isola di Capraia e l'altro davanti al versante nord dell'Isola d'Elba con valori pari o inferiori a 34 PSU. I 5m mantengono inalterata la zona di massimo salino osservata a 2m e ne aggiungono un secondo che si estende dal centro del campo e interessa il versante superiore dell'Isola d'Elba (~37.86 PSU). Le zone a più bassa salinità si possono identificare con il colore acquamarina a sud dell'Isola di Capraia

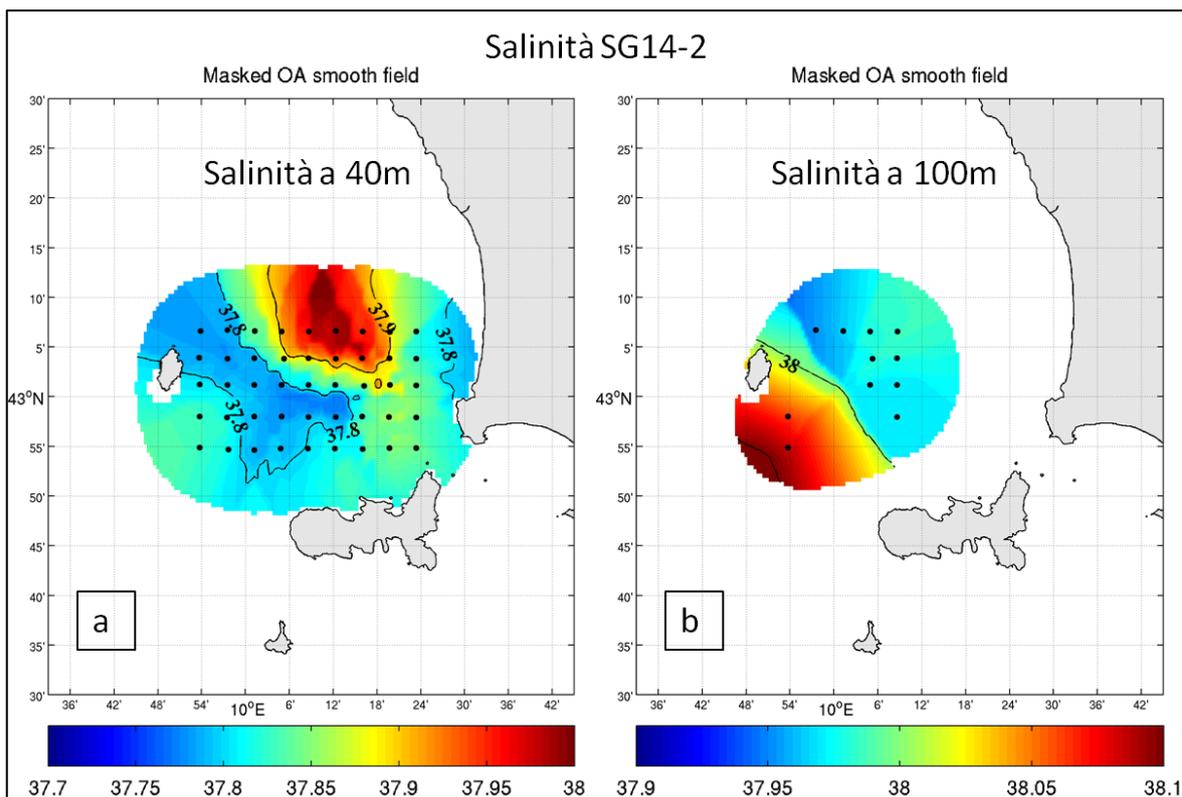


Figura 3-14. Campo di salinità a 40m (a) e a 100m (b) della seconda campagna .

La Figura 3-14 mostra la condizione negli ultimi due livelli di profondità. La struttura a salinità più elevata descritta nei i livelli soprastanti persiste anche a 40m ed è ben visibile. Al contorno si riscontra una zona con valori inferiori. A 100m il campo può essere diviso in due parti il cui confine è determinato dall'isolinea corrispondente a 38 PSU. A sinistra di questo valore il campo varia fino al raggiungimento di un massimo pari a ~38.1 PSU mentre a destra si ha una distribuzione pressoché omogenea.

Anche per la salinità, come per la temperatura, la variabilità è massima alla superficie. Inoltre si può altresì identificare la presenza di una struttura persistente verticalmente più visibile nelle mappe relative alla seconda campagna rispetto che in quelle della prima. Il range di profondità rimane lo stesso descritto per la temperatura, ovvero, dai 2m ai 40m. Tale struttura si posiziona all'estremità superiore del campo per quanto riguarda la seconda campagna; a 2m è delimitata dall'isolinea con il valore di 37.5 PSU mentre a 5m da quella dei 37.9 PSU. I 40m invece demarcano la zona in questione con l'isolinea dei 37.98 PSU.

## CAPITOLO 4 CONCLUSIONI

Lo studio svolto in questa tesi ha permesso di analizzare i dati provenienti dalla campagna oceanografica Serious Game e l'applicazione della tecnica di analisi oggettiva agli stessi. Dalle informazioni così ricavate è stato possibile descrivere come salinità e temperatura si distribuiscano nella zona di mare dell'arcipelago toscano.

In particolare attraverso tale studio è stato possibile osservare il processo che permette di trasformare una serie di dati, da caratteri alfanumerici, come per esempio sono i dati grezzi in formato esadecimale, in mappe attraverso le quali è possibile esaminare una determinata condizione. In primis vi è la sonda CTD che, durante la sua immersione fino ad una profondità stabilita, raccoglie informazioni relative a temperatura, conduttività e altri parametri propri dell'acqua di mare. I dati sensibili vengono successivamente scaricati su un computer e subiscono il cosiddetto processo di calibrazione. Il risultato di tale procedura è una serie di dati coerente e priva di errori casuali e sistematici. Attraverso l'applicazione della tecnica di analisi oggettiva i dati vengono trattati dal punto di vista statistico con lo scopo di poter osservare la distribuzione di un determinato parametro, come la temperatura, anche in quei punti in cui non è avvenuto fisicamente il campionamento.

Dall'analisi delle distribuzioni dei campi così ottenuti è emerso che entrambi i parametri presentino una variabilità maggiore alla superficie piuttosto che in profondità. Anche a distanza di soli quattro giorni infatti la struttura che il campo assume è differente se si confronta la prima con la seconda campagna. A 100m invece il campo di temperatura è pressoché costante, segno che un lasso di tempo così breve non possa generare variazioni sostanziali. Per quanto riguarda la salinità a 100m il campo della prima campagna ha una struttura discorde con quello della seconda. Un esito di questo tipo non soddisfa le aspettative che prevedevano una situazione analoga a quella della temperatura. La ricerca di una motivazione plausibile ha portato ad un ulteriore controllo dei dati per entrambe le campagne e sono emersi valori di salinità sufficientemente diversi per generare tale discrepanza tra i campi osservati. La ragione per cui si manifestano queste differenze è attualmente sconosciuta e la problematica rimane, per ora, irrisolta.

Indipendentemente dal parametro e dalla campagna considerata, si può notare la formazione di una struttura persistente verticalmente che interessa i primi tre livelli di profondità (2m, 5m e 40m).

Lo studio presentato in questa tesi non può essere considerato esaustivo per quanto riguarda l'analisi di un sistema complesso come lo è quello marino. Le variabili che prendono parte alle

dinamiche in questione sono molteplici, tra cui, la circolazione marina ed atmosferica e la componente biotica inscindibile da quella fisica. In conclusione l'elaborato proposto vuole fornire una presentazione generale di una delle più affascinanti scienze ambientali, l'oceanografia.

## Bibliografia

- Emery, W. a. (2001). *Data Analysis Methods in physical oceanography*. Elsevier.
- Millard, R. a. (1993). *CTD Calibration and Processing Methods used at Woods Hole Oceanographic Institution*.
- Montanari, G. R. (2006). *Le correnti costiere in Emilia-Romagna nel periodo 1995/2002*. Bologna: Arpa.
- Mosetti, F. (1964). *Oceanografia*. Udine: Del Bianco.
- NOAA Ocean Explorer. (s.d.). Tratto il giorno ottobre 2015 da <http://oceanexplorer.noaa.gov/technology/tools/sondectd/sondectd.html>
- Sea-Bird Electronics, I. (2013). SBE 19plus V2 SeaCAT Profiler. Bellevue, Washigton, USA: Sea-Bird Electronics.
- Sea-Bird Electronics, I. (2014). Seasoft V2: SBE Data Processing. Bellevue, Washington, USA.
- Summerhayes, C. a. (1996). *Oceanography: An Illustrate Guide*. Southampton: MANSON PUBLISHING.

