

OLT Offshore LNG Livorno, Italia

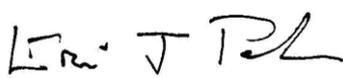
FSRU Livorno Project

Analisi dei Dati Correntometrici
Misurati nell'Area di
Installazione del Terminale,
Primo Anno di Esercizio
(Dicembre 2013 – Ottobre
2014) e Modello di Dispersione

OLT Offshore LNG Livorno, Italia

FSRU Livorno Project

Analisi dei Dati Correntometrici
Misurati nell'Area di
Installazione del Terminale,
Primo Anno di Esercizio
(Dicembre 2013 – Ottobre
2014) e Modello di Dispersione

Preparato da	Firma	Data
Emanuele Terrile		3/02/2015
Controllato da	Firma	Data
Brunella Guida		3/02/2015
Approvato da	Firma	Data
Paolo Ravaschio		3/02/2015
Sottoscritto da	Firma	Data
Eric Parker		3/02/2015

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Sottoscritto da	Data
0	Prima Emissione	ETE	BRG	PRA	EP	Febbraio 2015

INDICE

	<u>Pagina</u>
LISTA DELLE FIGURE	II
1 SCOPO	1
2 VALIDAZIONE E PRESENTAZIONE DEI DATI	2
2.1 INTRODUZIONE	2
2.2 VALIDAZIONE	2
2.3 PRESENTAZIONE DEI DATI	5
3 INTERPRETAZIONE DEI DATI	19
3.1 PUNTO OLT	19
3.2 TRANSETTO T2	20
4 MODELLO DI DISPERSIONE	21
4.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO	21
4.2 ESEMPI DI APPLICAZIONE	22
5 CONCLUSIONI	25

RIFERIMENTI

**APPENDICE A: ANALISI DEI DATI CORRENTOMETRICI MISURATI NELL'AREA DI
INSTALLAZIONE DEL TERMINALE (MISURE MAGGIO-OTTOBRE 2012)", DOC.
NO. 12-982-H2 REV.1**

LISTA DELLE TABELLE

<u>Tabella No.</u>	<u>Pagina</u>
Tabella 2.1: Punti di Campionamento	3
Tabella 2.2: Sintesi dei Campionamenti effettuati nel 2014	5

LISTA DELLE FIGURE

<u>Figura No.</u>	<u>Pagina</u>
Figura 2.1: Posizione dei Punti di Campionamento	4
Figura 2.2: Posizione dei Transetti L1, L2, L3, T1, T2 e T3	4
Figura 2.3: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Dicembre 2013	7
Figura 2.4: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Febbraio 2014	8
Figura 2.5: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Giugno 2014	9
Figura 2.6: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Agosto 2014	10
Figura 2.7: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Settembre 2014	11
Figura 2.8: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Dicembre 2013	12
Figura 2.9: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Febbraio 2014	13
Figura 2.10: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Giugno 2014	14
Figura 2.11: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Agosto 2014	15
Figura 2.12: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Settembre 2014	16
Figura 2.13: Transetto T2 – Settembre 2014 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	17
Figura 2.14: Transetto T2 – Settembre 2014 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	18
Figura 3.1: Esempio di Calibrazione del Modello Idrodinamico Olt su Dati di Velocità della Corrente, Espressi in m/s, Rilevati nei Pressi di Genova nel Periodo Settembre 2003 - Agosto 2004: Q-Qplot tra Velocità della Corrente Ricostruita dal Modello (Asse Y) e Dati Misurati (Asse X)	20
Figura 4.1: Condizioni Ambientali Tipiche della Stagione Invernale	22
Figura 4.2: Condizioni Ambientali Tipiche della Stagione Estiva	22
Figura 4.3: Condizioni Invernali - Near Field, $\Delta T_{IN} = -4.6$ °C – Campo di Dispersione del ΔT (°C) e Profilo di Temperatura Usato per la Simulazione (in blu)	23
Figura 4.4: Condizioni Estive - Near Field, $\Delta T_{IN} = -4.6$ °C – Campo di Dispersione del ΔT (°C) e Profilo di Temperatura Usato per la Simulazione (in blu)	23

ANALISI DEI DATI CORRENTOMETRICI MISURATI NELL'AREA DI INSTALLAZIONE DEL TERMINALE, PRIMO ANNO DI ESERCIZIO (DICEMBRE 2013 – OTTOBRE 2014)

1 SCOPO

Scopo del presente documento è di fornire, attraverso l'analisi di misure appositamente effettuate, le caratteristiche tipiche del campo di corrente e delle masse d'acqua e le loro variazioni spaziali e temporali nell'area di ubicazione del terminale galleggiante OLT per la rigassificazione di GNL denominato "FSRU Toscana" (nel seguito definito **FSRU**).

Il rapporto è basato sulle misure rilevate nel primo anno di esercizio del Terminale (Dic 2013-ottobre 2014), e fa riferimento al rapporto tecnico "Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area di Installazione del Terminale (Misure Maggio-Ottobre 2012)", Doc. No. 12-982-H2 Rev.1 (riportato in Appendice A per semplicità di consultazione, e nel seguito, definito **R2012**), relativo alle misure effettuate nel 2012 considerate rappresentative della situazione esistente prima dell'installazione del terminale (cosiddetto "bianco"). In R2012 è riportata una esauriente descrizione delle caratteristiche essenziali relative alla circolazione delle masse d'acqua e al campo di corrente nell'Arcipelago Toscano, a cui si rimanda al fine di inquadrare le misure effettuate nello scenario oceanografico tipico dell'area in esame.

Le misure, estese a tutta la colonna d'acqua ed effettuate sia in punti adiacenti al punto di ubicazione del terminale (nel seguito definito **Punto OLT**), sia nell'area circostante a differenti profondità, sono state validate, analizzate ed interpretate al fine di documentare in modo completo ed esaustivo il campo di corrente e il campo di massa alle varie quote lungo la colonna d'acqua (in conformità a quanto richiesto dal piano di monitoraggio).

Nell'Appendice A di R2012 si descrivono sinteticamente sia gli strumenti utilizzati per l'esecuzione delle misure che la metodologia di acquisizione seguita.

Nell'Appendice B di R2012 si descrive il modello idrodinamico utilizzato per descrivere le caratteristiche del campo di corrente nell'Arcipelago.

Si sottolinea che tutto quanto effettuato e qui riportato è in totale accordo con quanto contenuto nel Piano di Monitoraggio.

Nel documento si farà spesso riferimento agli studi meteo-marini recentemente effettuati (DEAM, 2012) (D'Appolonia, 2012)*.

* Vedi lista referenze alla fine del testo.

2 VALIDAZIONE E PRESENTAZIONE DEI DATI

2.1 INTRODUZIONE

Le misure di corrente sono state eseguite con il profilatore di corrente Sontek ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) a 250 kHz (per profondità d'acqua fino a 180 m) dotato di 3 trasduttori acustici. Lo strumento è dotato anche di sensore per la temperatura (i cui dati servono per compensare automaticamente le variazioni di velocità del suono) e di "Bottom tracking" per l'utilizzo da natante in moto.

Le misure di salinità, temperatura e densità sono state effettuate mediante la sonda (CDT) Sontek CastAway.

Strumenti utilizzati, metodologia di acquisizione e restituzione dei dati seguono quanto richiesto nel Piano di Monitoraggio.

I dettagli della strumentazione, la fase di collaudo, la metodologia di acquisizione sono descritte in **R2012**, Appendice A, alla quale si rimanda.

Le date di indagine sono:

- 12 DICEMBRE 2013;
- 24 FEBBRAIO 2014;
- 9 MAGGIO 2014;
- 9 GIUGNO 2014;
- 7 AGOSTO 2014;
- 12 AGOSTO 2014;
- 29 SETTEMBRE 2014.

Tali date sono state scelte sulla base delle previsioni dello stato del mare, individuando i giorni in cui era previsto mare piatto oppure, ove non esistesse tale situazione, mare caratterizzato da onde significative inferiori a 0.5 m. Tale scelta è dovuta al fatto che, in caso di onde che inducano un eccessivo rollio dell'imbarcazione, il rapporto segnale/rumore sarebbe tale da inficiare la qualità dei dati rilevati.

2.2 VALIDAZIONE

Come descritto in Appendice A di **R2012**, la qualità del dato rilevato da natante in moto è stata decisamente scarsa e il rapporto segnale/rumore R, che definisce la validità o meno del dato, assumeva spesso valori inferiori a 3, del tutto inaccettabili secondo il manuale dello strumento.

Va infatti sottolineato che la qualità di un profilo eseguito da un'imbarcazione in moto è di gran lunga inferiore rispetto ad un profilo eseguito da un natante fermo o alla deriva perché, pur procedendo a bassa velocità e pur campionando ad alta frequenza, per ogni cella il segnale riflesso dal particolare trasportato dalla corrente marina è di gran lunga inferiore a quella ottenibile da un ADCP immobile o quasi immobile, nonostante l'adozione dell'opzione "bottom tracking".

Per i suddetti motivi e in coerenza con le precedenti indagini (R2012), si è preferito effettuare misure puntuali in posizioni selezionate, in modo da ottenere un “grigliato” intorno al sito di installazione del terminale OLT. I punti sono mostrati in Figura 2.1 e elencati in Tabella 2.1. Si evidenzia che tra i punti in Tabella 2.1, sono stati selezionati quelli di maggior interesse. In particolare, è stata data priorità alla caratterizzazione stagionale dei punti situati nelle immediate vicinanze del terminale (punti O, P e Q) rispetto al transetto T2 (punti D, E, F e G), in quanto uno degli scopi principali è quello di caratterizzare con maggiore dettaglio il campo di correnti nelle vicinanze del terminale

Successivamente, in fase di analisi e post-processing dei dati, si procede con la ricostruzione dell’andamento dei singoli parametri lungo il transetto T2 (Figura 2.2), trasversale alla costa, ed utilizzando i punti O, Q e P come misure sul punto di ancoraggio (OLT) secondo quanto previsto dal piano di monitoraggio (pag 25 del Piano).

L’analisi dei dati misurati in questi punti, con natante alla deriva e motore spento, ha evidenziato rapporti segnale-rumore molto elevati ($R \gg 30$) e il “bottom tracking”, considerata la bassa velocità di deriva dell’imbarcazione, non ha avuto alcuna difficoltà a depurare il segnale dal moto dell’imbarcazione.

Per ciascun punto sono quindi disponibili profili di temperatura, salinità, densità rilevati dal CTD, e velocità e direzione della corrente rilevate dal profilatore ADCP. Ciascuno di questi profili è stato analizzato, graficato e opportunamente validato allo scopo di correggere i dati (ove possibile) e di epurare il database dai dati oggettivamente errati.

Per questo è stata necessaria una ordinata catalogazione dei singoli profili, una visualizzazione preliminare finalizzata ad interpretare eventuali incongruenze, e infine le operazioni di recupero e/o scarto dei dati dubbi di ogni singolo profilo.

Tabella 2.1: Punti di Campionamento

ID	Latitudine [°N]	Longitudine [°E]	Profondità media [m]	ID	Latitudine [°N]	Longitudine [°E]	Profondità media [m]
A	43.73	9.96	100	I	43.61	10.02	100
B	43.73	10.05	50	L	43.61	10.11	53
C	43.73	10.14	24	M	43.61	10.17	28
D	43.68	9.92	130	N	43.64	9.91	145
E	43.68	9.99	100	O	43.64	9.98	112
F	43.68	10.08	50	P	43.64	9.94	140
G	43.68	10.16	20	Q	43.64	10.00	104
H	43.61	9.95	140	S	43.62	9.92	147



Figura 2.1: Posizione dei Punti di Campionamento

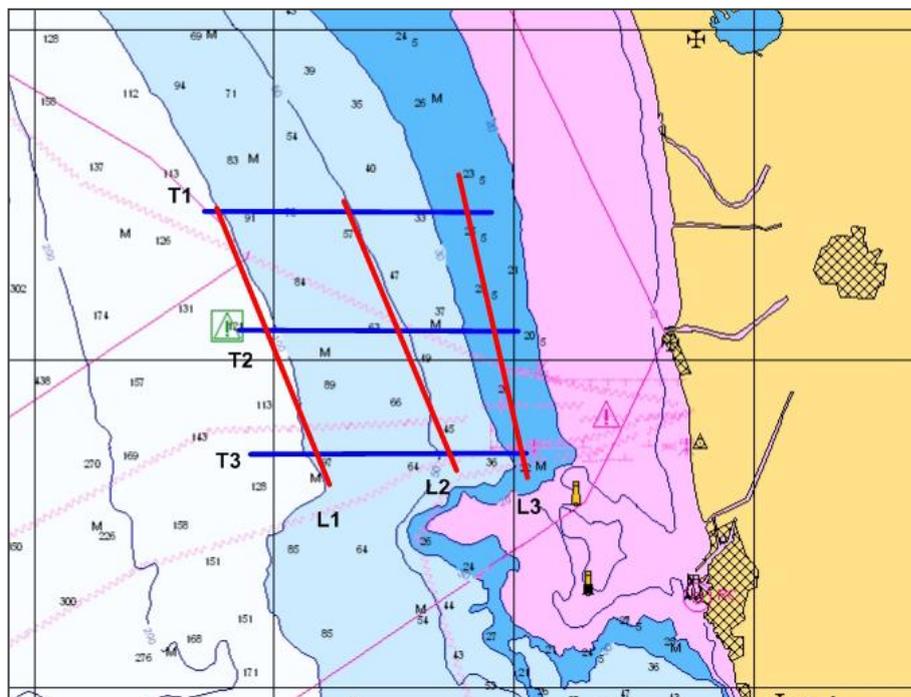


Figura 2.2: Posizione dei Transetti L1, L2, L3, T1, T2 e T3

2.3 PRESENTAZIONE DEI DATI

I dati validati sono presentati in una serie di figure contenenti il singolo profilo rilevato nei vari punti citati e in altre contenenti l'andamento spaziale della corrente, componenti V_x (verso Est) e V_y (verso Nord). In Tabella 2.2 è riportata una sintesi dei campionamenti effettuati nel primo anno di esercizio del Terminale (Dicembre 2013-Ottobre 2014), e dei relativi risultati della validazione effettuata sui dati rilevati.

Tabella 2.2: Sintesi dei Campionamenti effettuati nel 2014

DATA			PUNTO															
Anno	Mese	Giorno	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	S
2013	Dicembre	12	/	/	/	■	■	/	/	■	■	/	/	/	■	■	■	/
2014	Febbraio	24	/	/	/	■	■	/	/	■	■	/	/	/	■	■	■	/
2014	Maggio	9	/	/	/	/	/	/	/	■	/	/	/	/	■	■	■	/
2014	Giugno	9	/	/	/	■	■	/	/	■	■	/	/	/	■	■	■	/
2014	Agosto	7	/	/	/	■	■	/	/	■	■	/	/	/	■	■	■	/
2014	Agosto	12	/	/	/	/	/	/	/	/	■	/	/	/	■	■	■	/
2014	Settembre	29	/	/	/	■	■	■	■	■	■	/	/	/	■	■	■	/

	Dato Validato
	Dato non Valido
	Dato non Rilevato

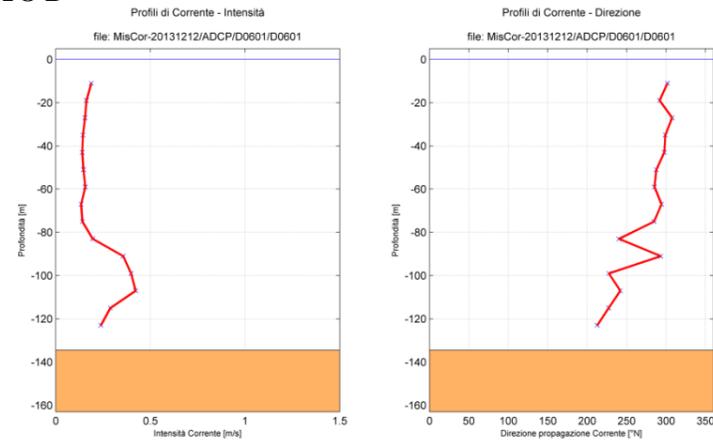
In Figura 2.3-Figura 2.7 sono riportati graficamente, a titolo di esempio, alcuni singoli profili di corrente (velocità e direzione di propagazione) misurati nei punti D, E, P, O, Q, H e I (punti prossimi al terminale OLT): i valori si riferiscono alla media su 10 minuti, come richiesto nel Piano di Monitoraggio e come tradizionalmente richiesto nelle normative relative all'ingegneria offshore. Essendo valori medi sui 10', la variabilità temporale della corrente può essere in alcuni casi notevole: si è quindi ritenuto opportuno considerare non validi i dati caratterizzati da deviazione standard maggiore di 0.2 m/s in un periodo di circa 20 minuti.

Analogamente, nelle Figura 2.8 - Figura 2.12 si riportano alcuni esempi di profili di temperatura, salinità e densità (calcolata dai valori di temperatura e salinità).

Infine, attraverso l'interpolazione 3D delle misure effettuate nei punti fissi (punti D, E, F, e G), è stato definito l'andamento dei parametri lungo il transetto trasversale T2. Come già sottolineato in precedenza la qualità del dato misurato lungo i transetti con natante in moto non era infatti accettabile, come evidenziava il rapporto segnale/rumore. Si ritiene che le misure del transetto T2 ottenute tramite l'interpolazione 3D rispettino a pieno quanto richiesto nel piano di monitoraggio.

In Figura 2.13e Figura 2.14 sono riportati graficamente: componenti V_x (Est) e V_y (Nord) della corrente, temperatura, salinità e densità al variare della profondità lungo il transetto T2. Le scale cromatiche sono state propriamente definite per evidenziare la variabilità spaziale e stagionale di ciascun parametro.

PUNTO D



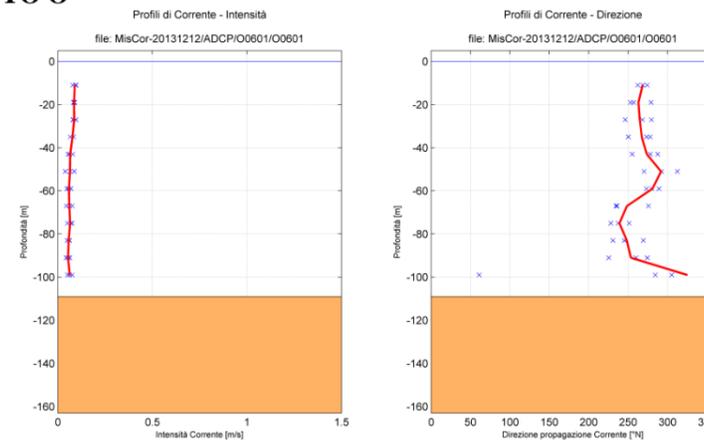
PUNTO E

No Dati Validi

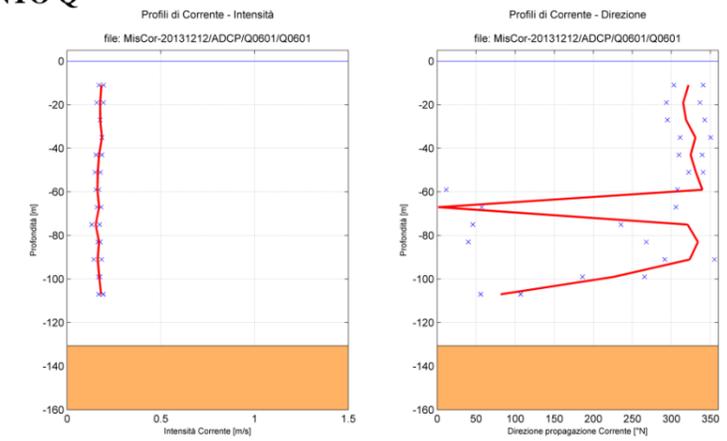
PUNTO P

No Dati Validi

PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H

No Dati Validi

PUNTO I

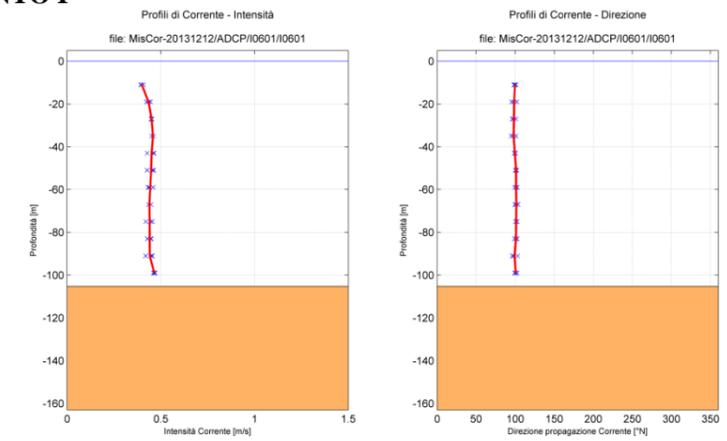
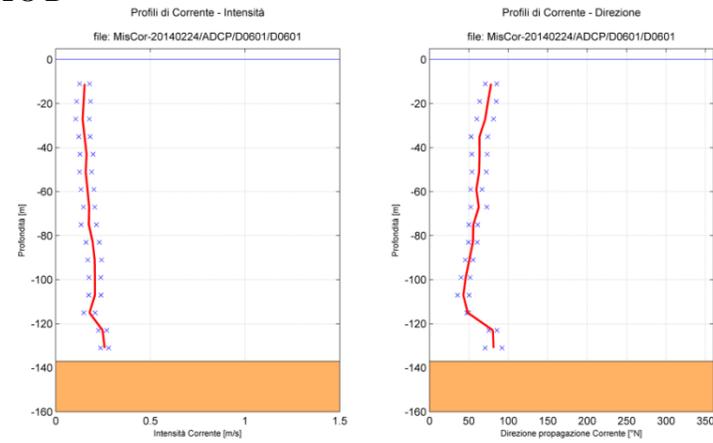
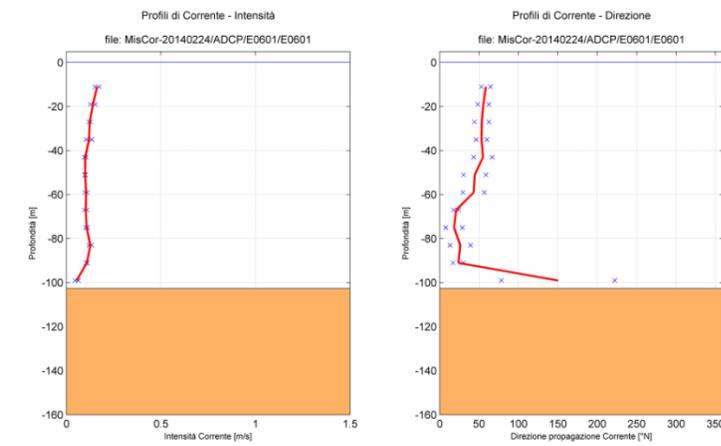


Figura 2.3: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Dicembre 2013

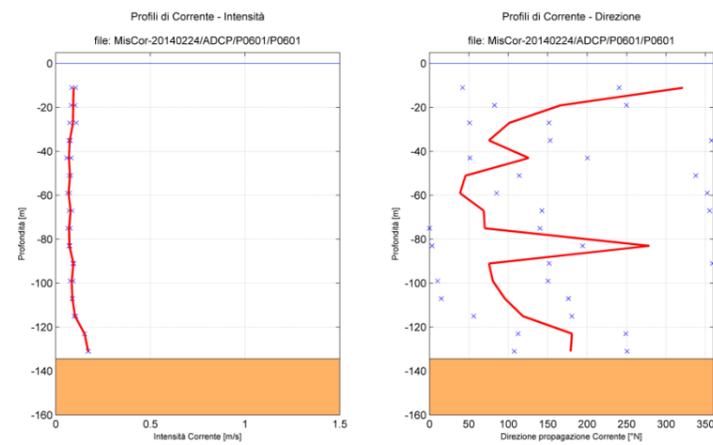
PUNTO D



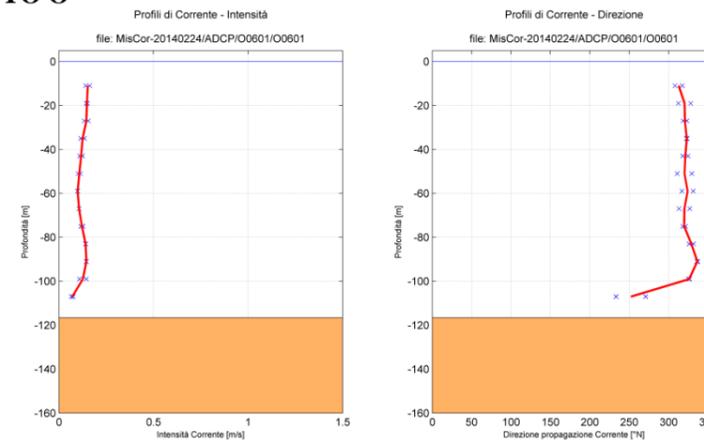
PUNTO E



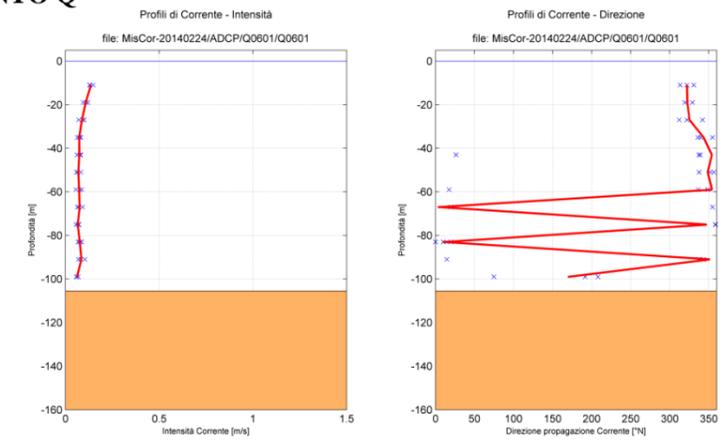
PUNTO P



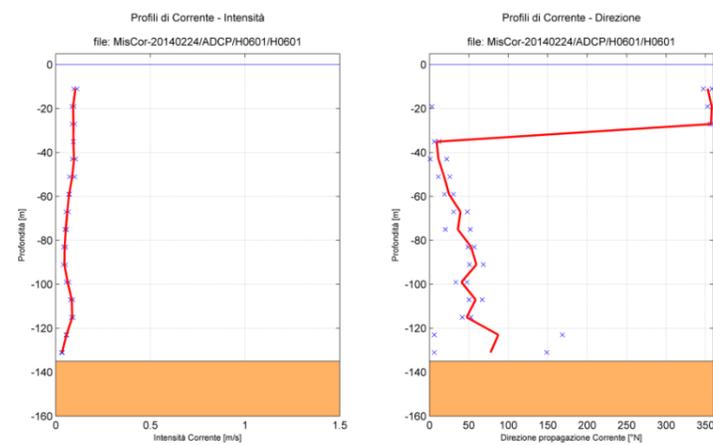
PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H



PUNTO I

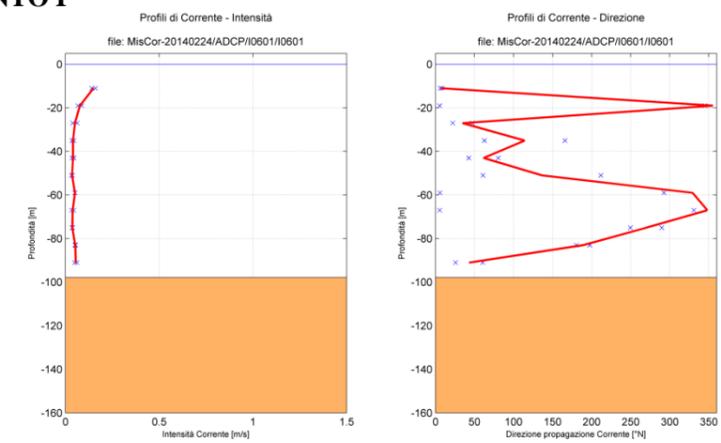
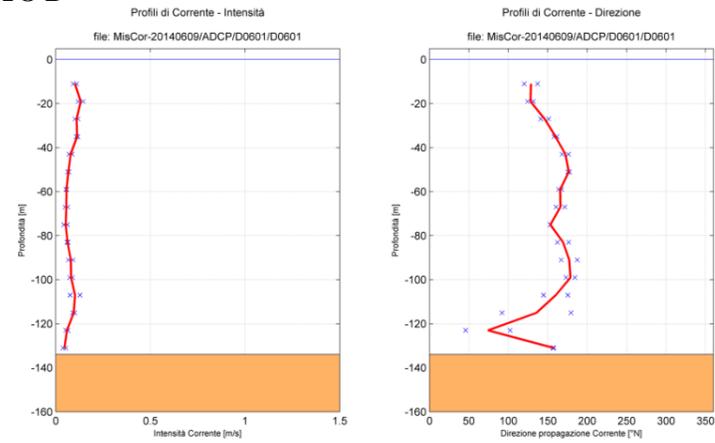
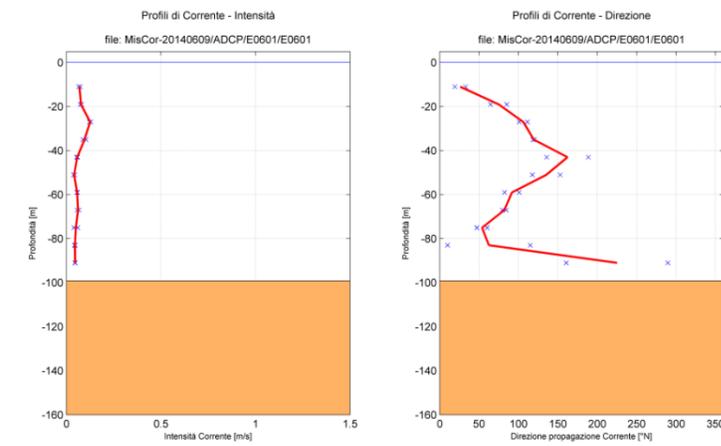


Figura 2.4: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Febbraio 2014

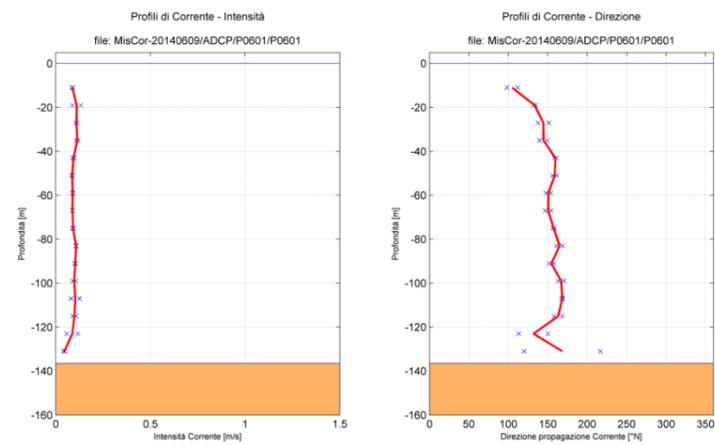
PUNTO D



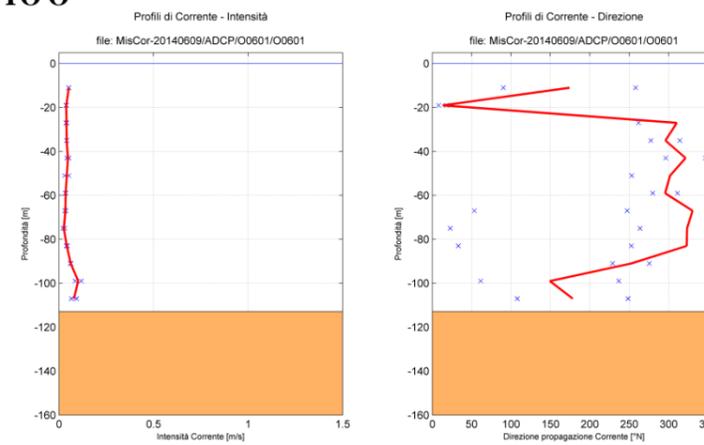
PUNTO E



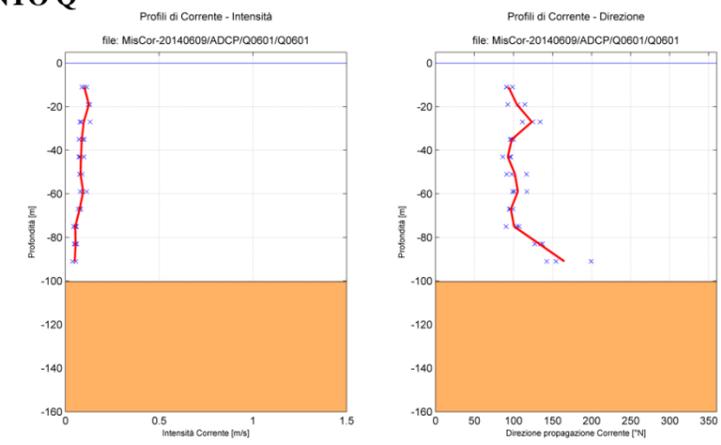
PUNTO P



PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H

No Dati Validi

PUNTO I

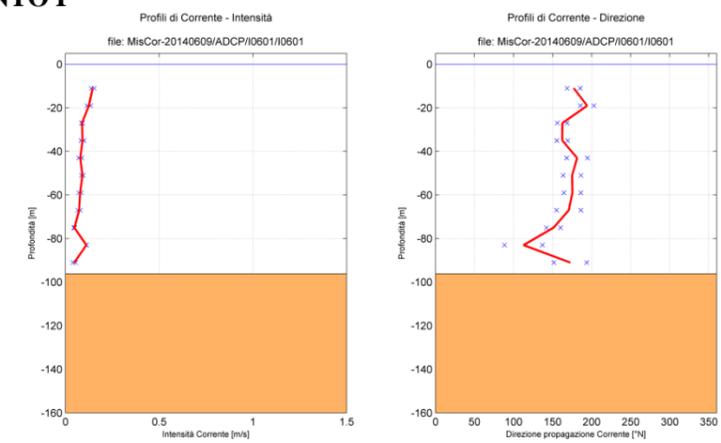
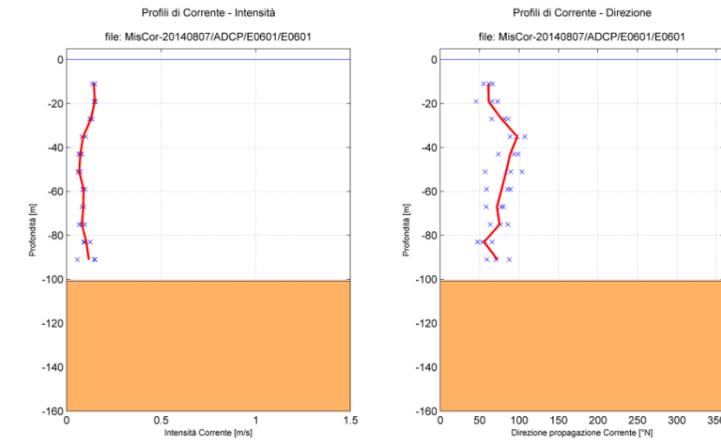


Figura 2.5: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Giugno 2014

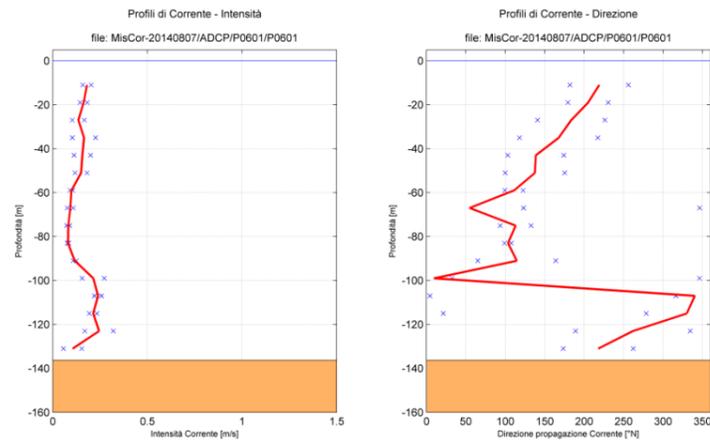
PUNTO D

PUNTO E

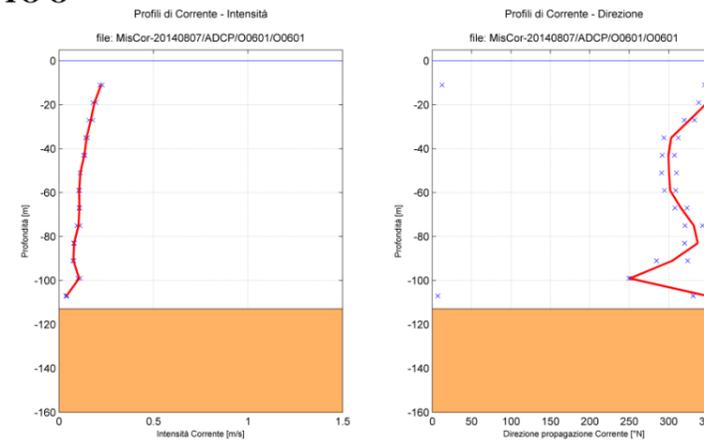
No Dati Validi



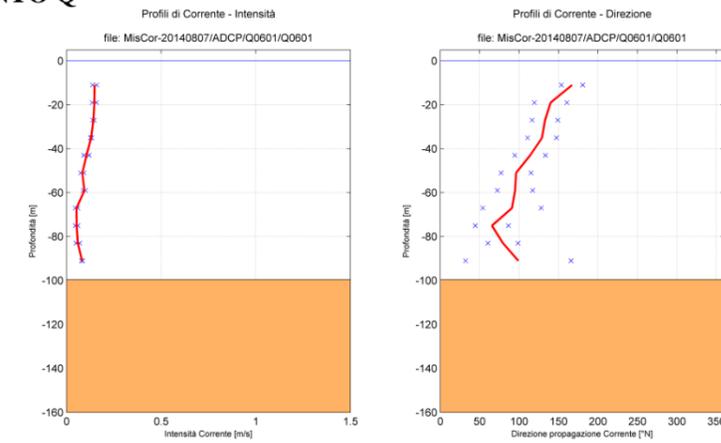
PUNTO P



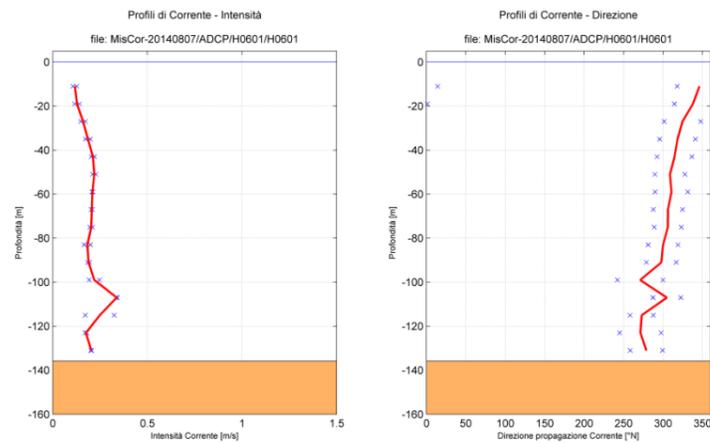
PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H



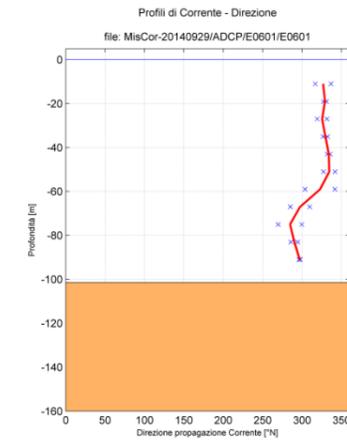
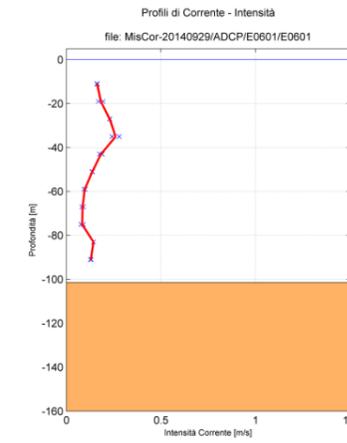
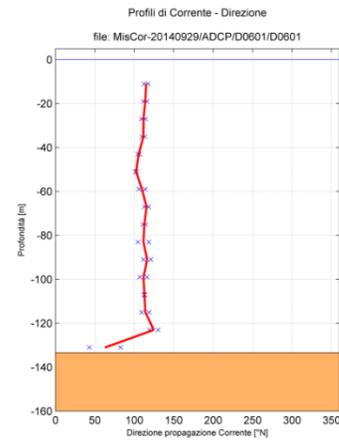
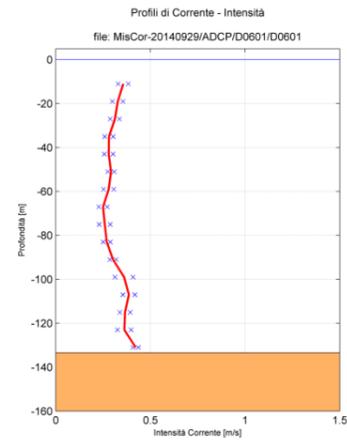
PUNTO I

No Dati

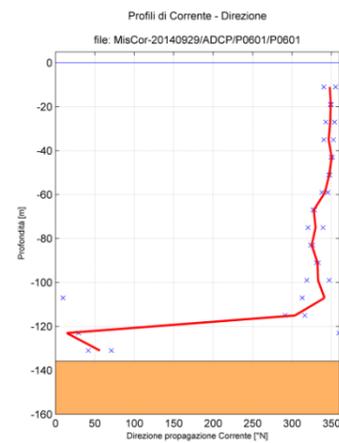
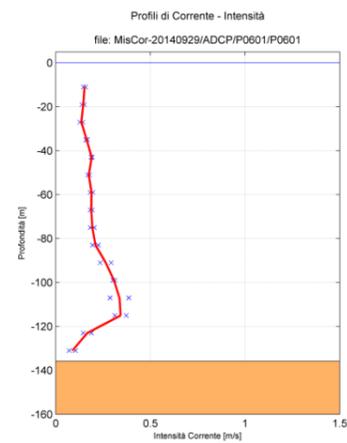
Figura 2.6: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Agosto 2014

PUNTO D

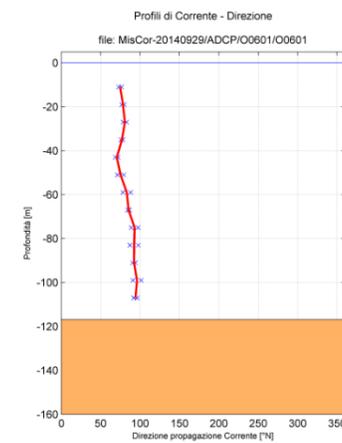
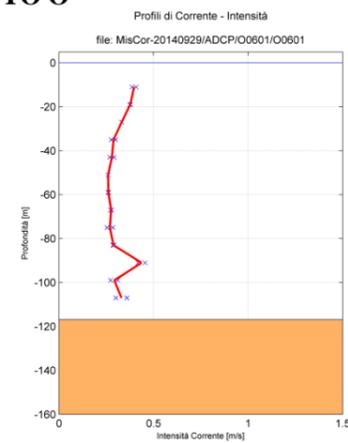
PUNTO E



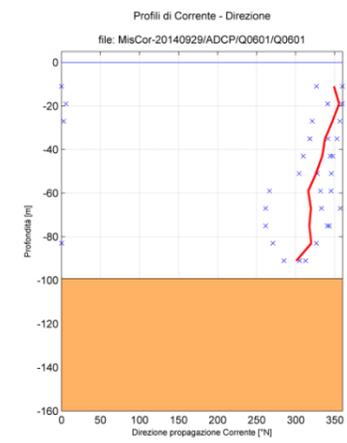
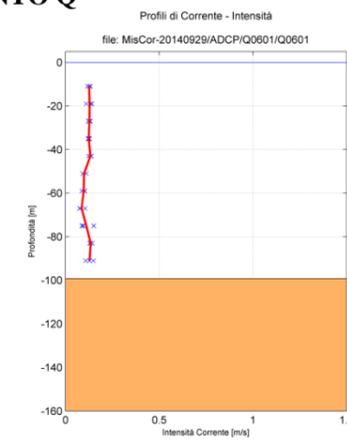
PUNTO P



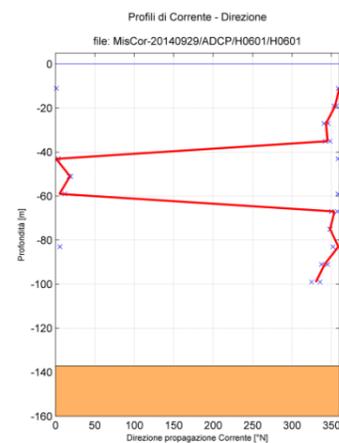
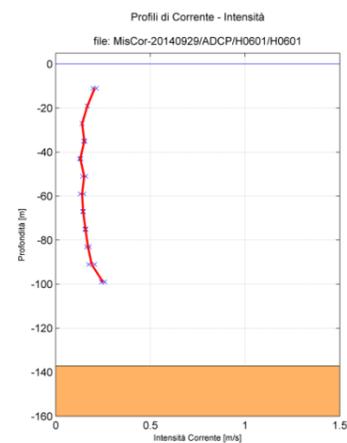
PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H



PUNTO I

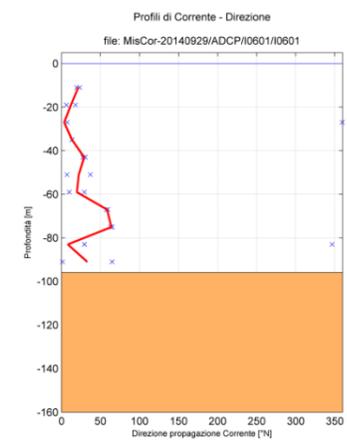
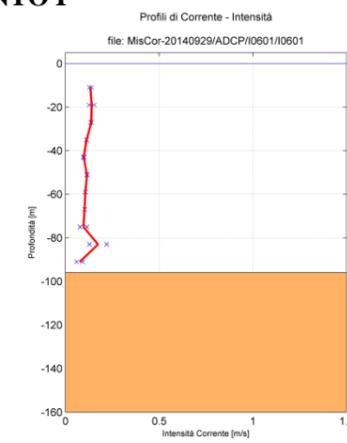
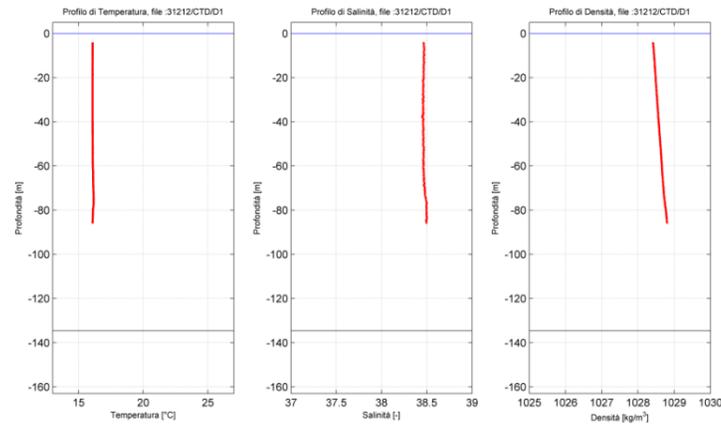
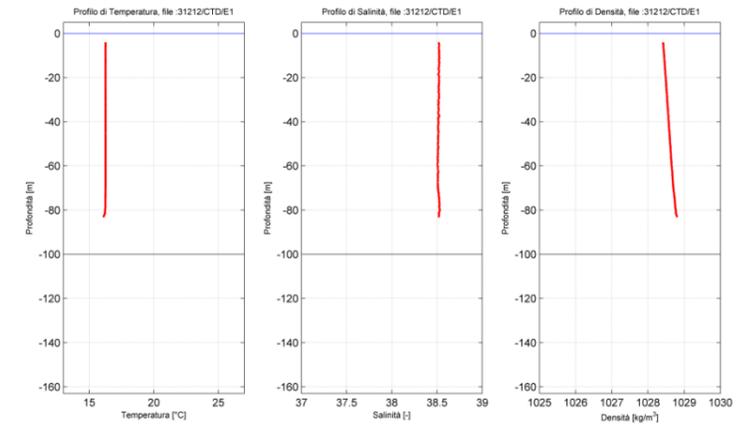


Figura 2.7: Profili di Corrente misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Settembre 2014

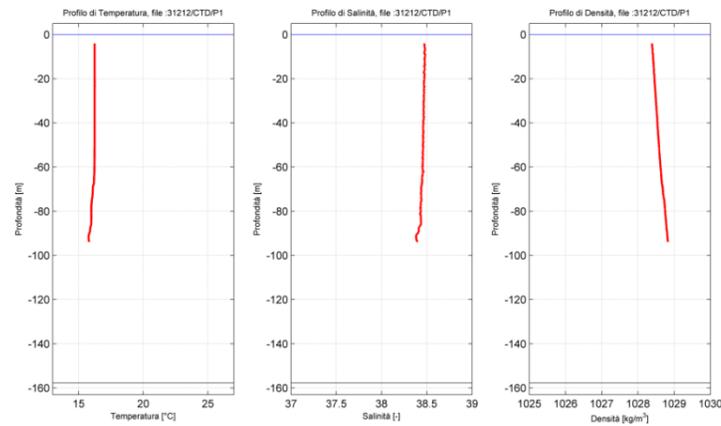
PUNTO D



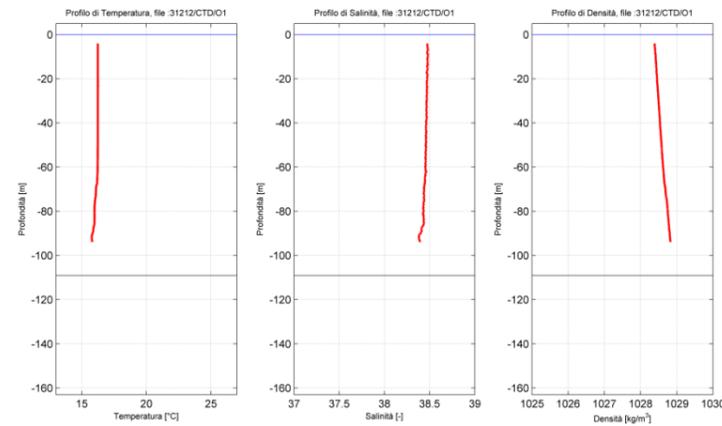
PUNTO E



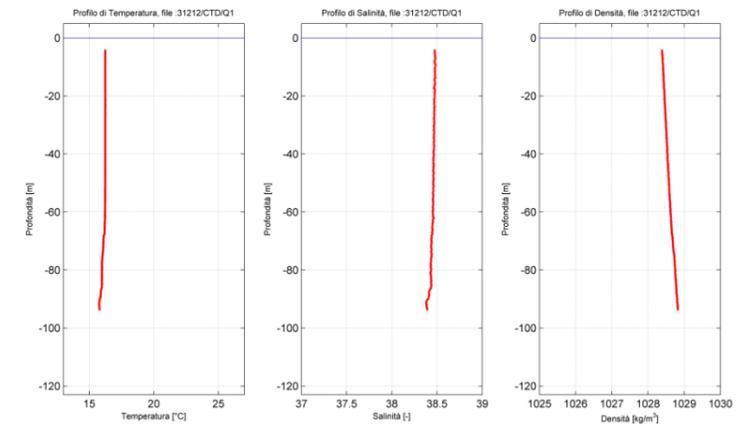
PUNTO P



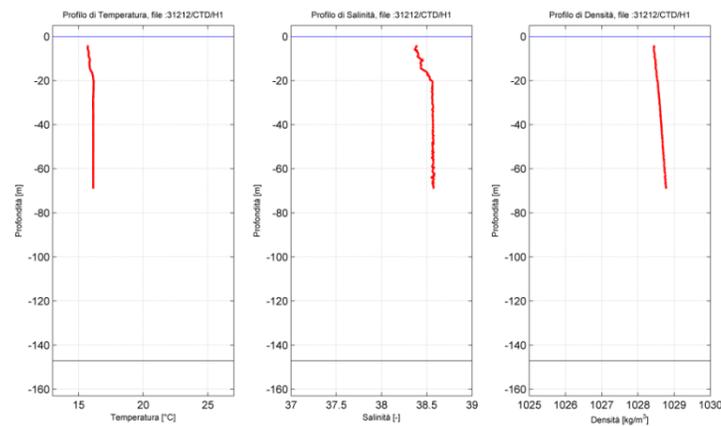
PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H



PUNTO I

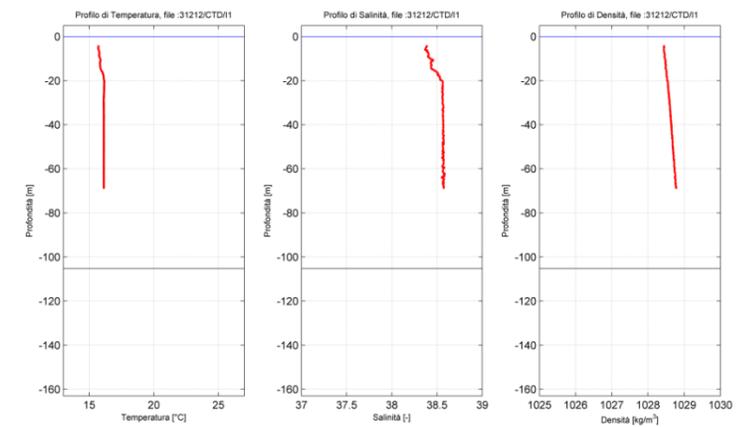
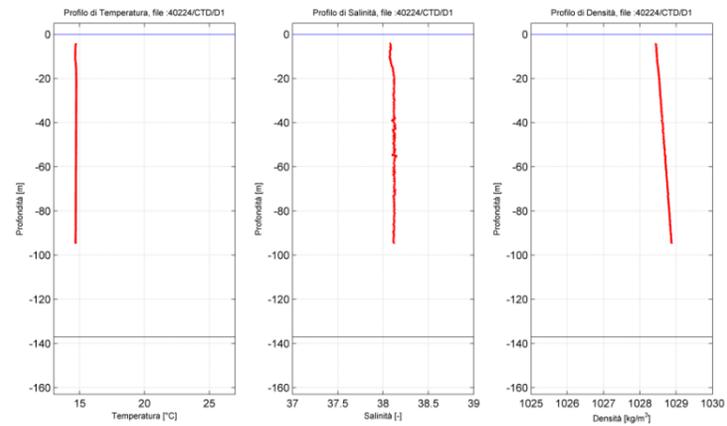
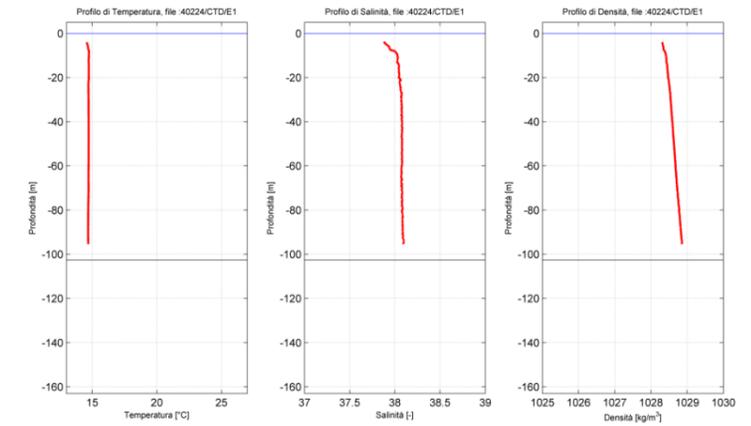


Figura 2.8: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Dicembre 2013

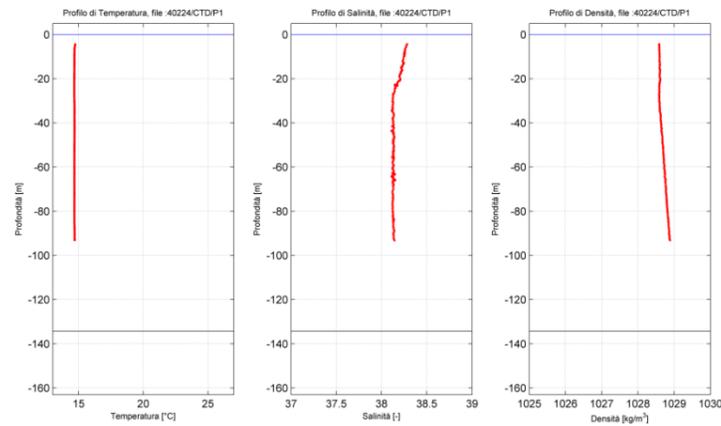
PUNTO D



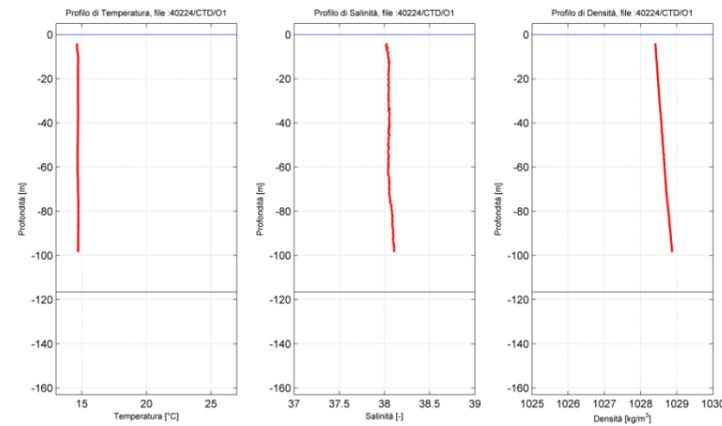
PUNTO E



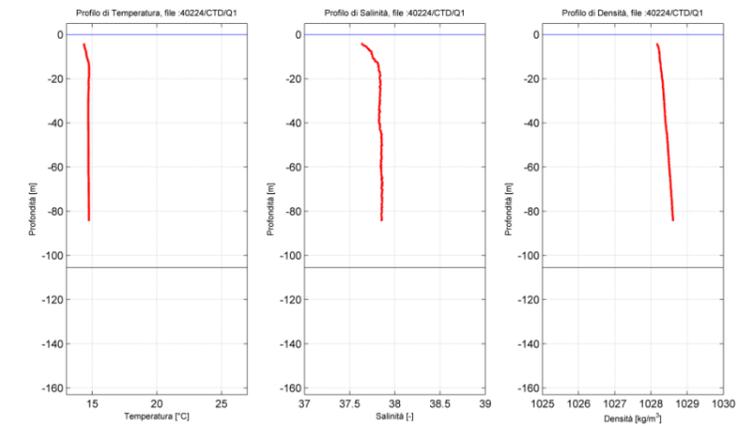
PUNTO P



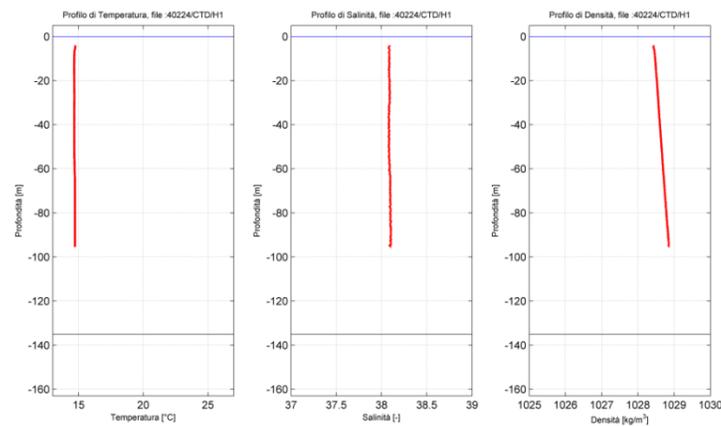
PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H



PUNTO I

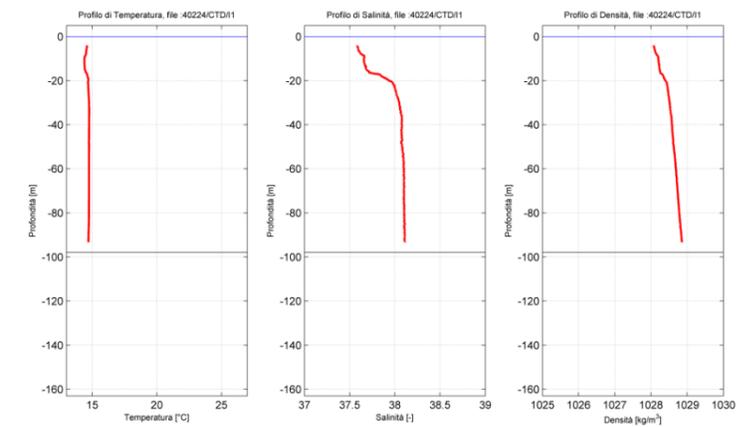
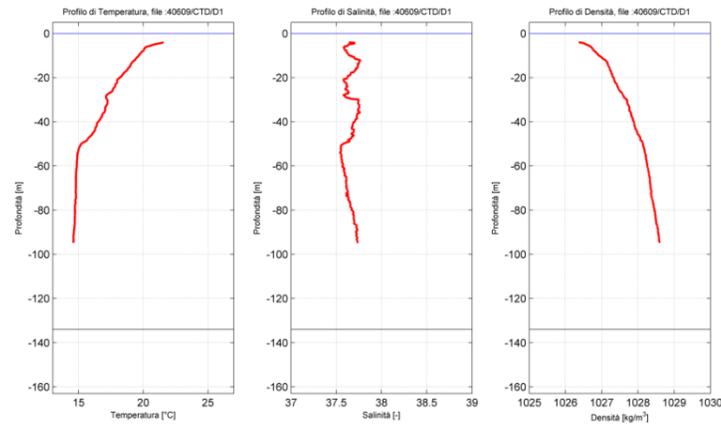
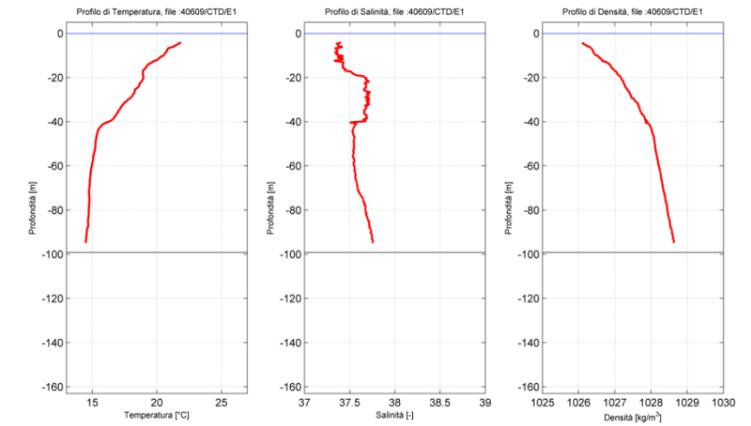


Figura 2.9: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Febbraio 2014

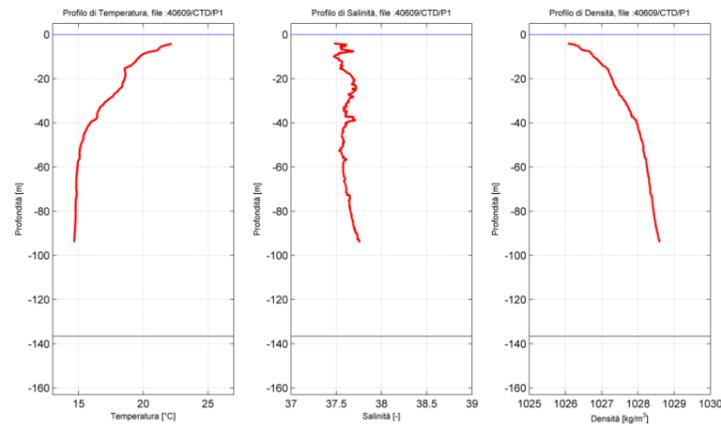
PUNTO D



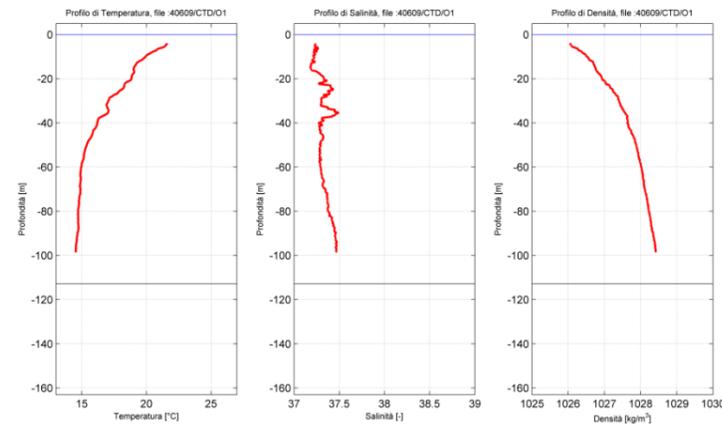
PUNTO E



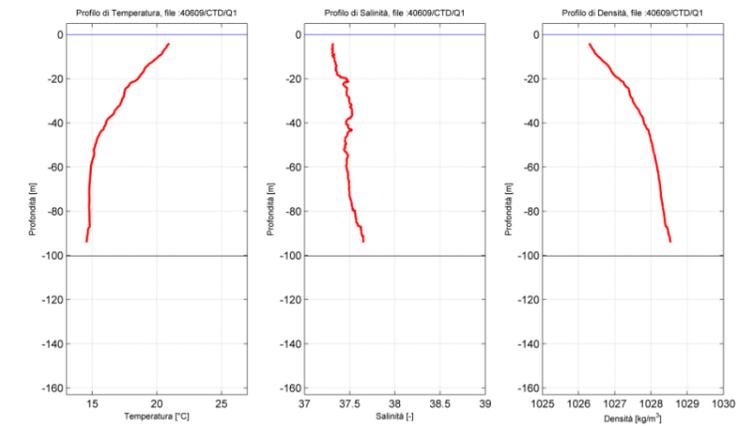
PUNTO P



PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H

No Dati Validi

PUNTO I

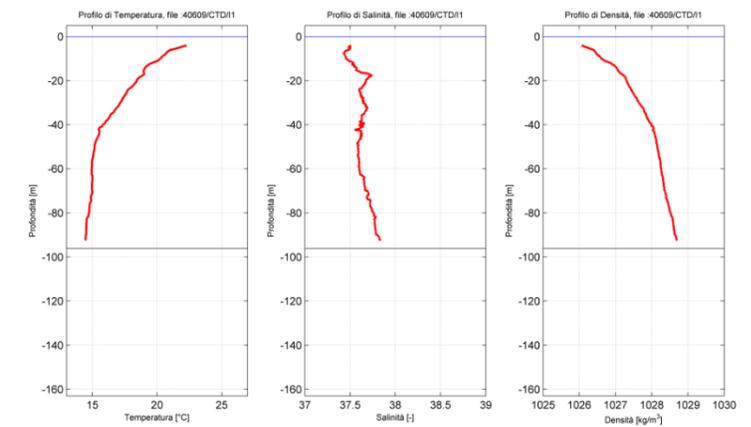
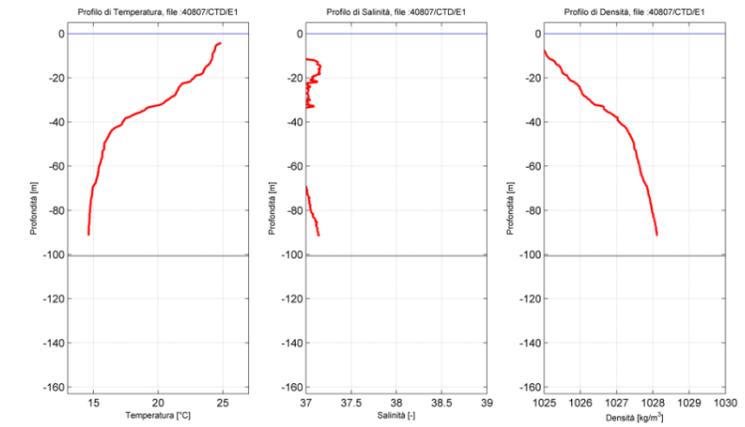


Figura 2.10: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Giugno 2014

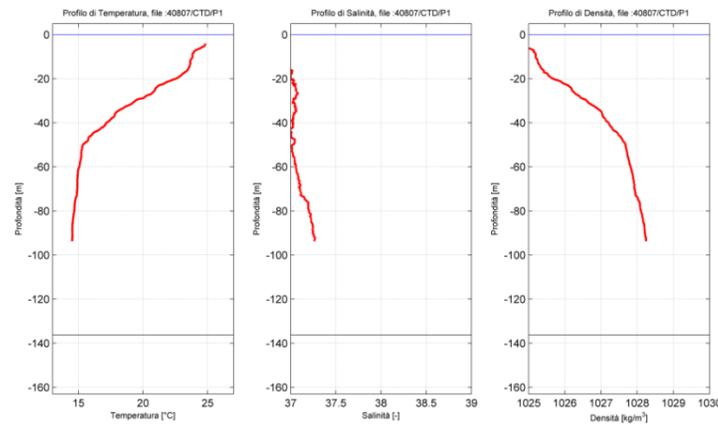
PUNTO D

No Dati Validi

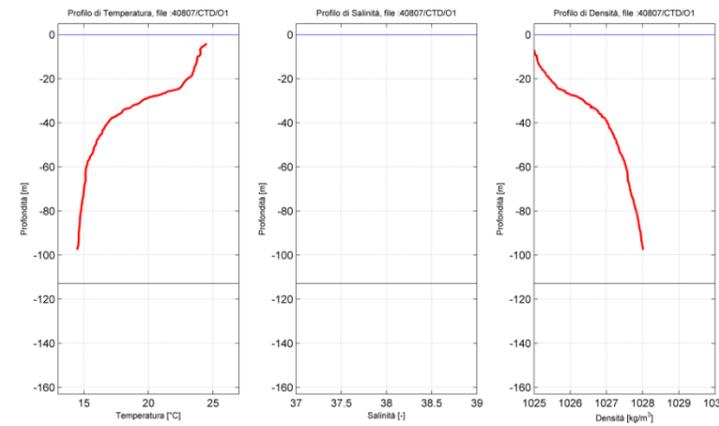
PUNTO E



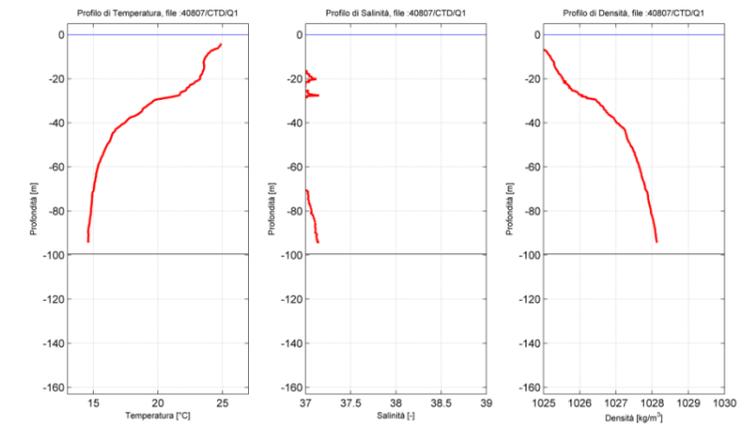
PUNTO P



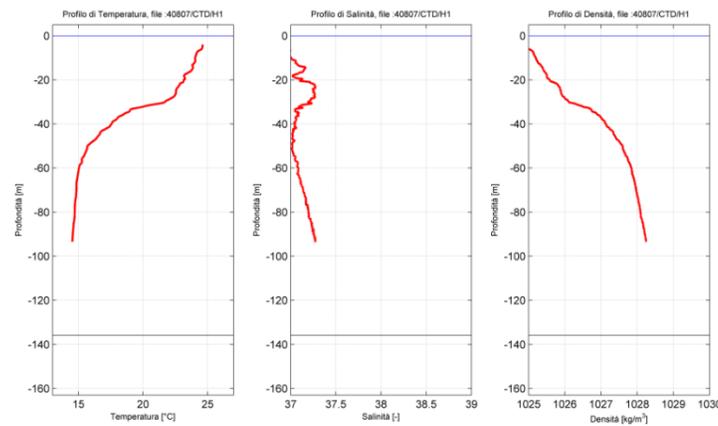
PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H

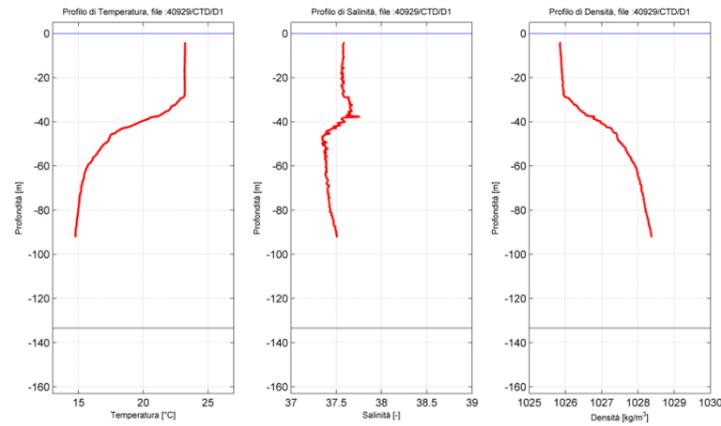


PUNTO I

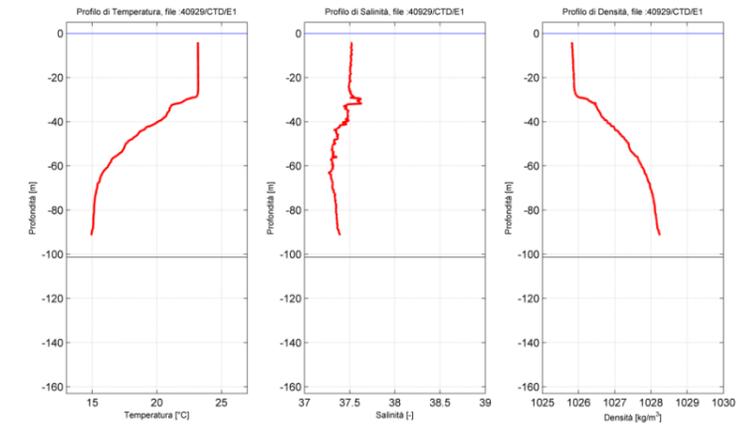
No Dati

Figura 2.11: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Agosto 2014

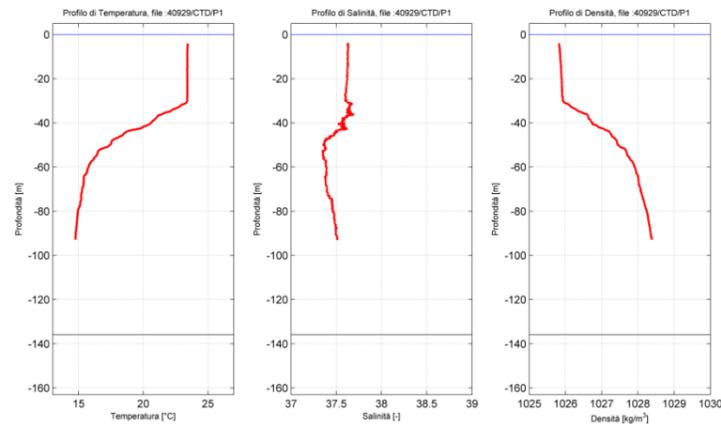
PUNTO D



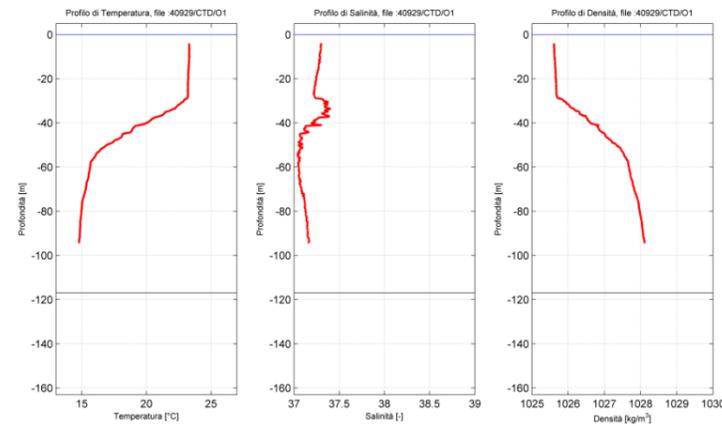
PUNTO E



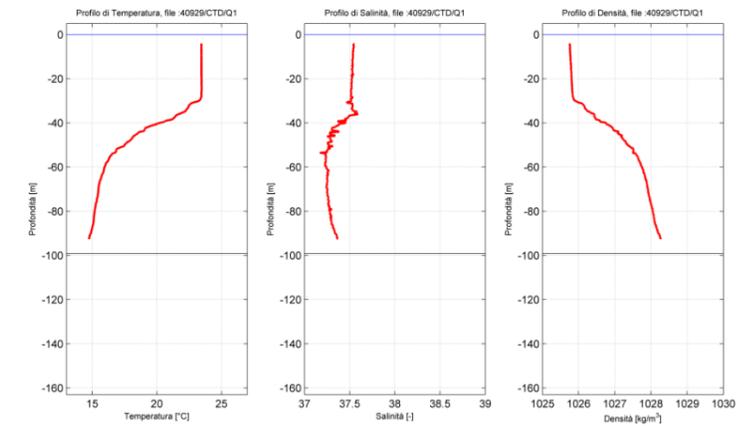
PUNTO P



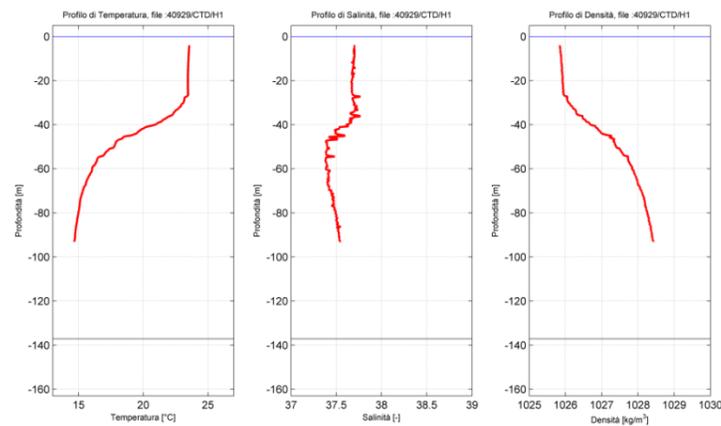
PUNTO O



PUNTO Q



PUNTO H



PUNTO I

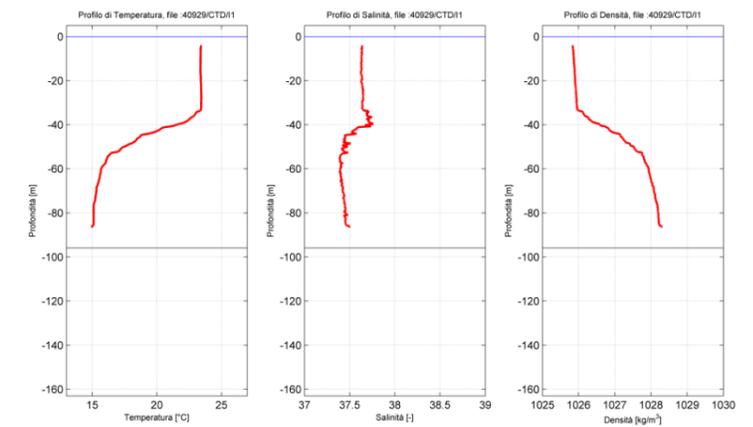


Figura 2.12: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, P, O, Q, H e I in Settembre 2014

TRANSETTO: T2 - MESE: 09 - ANNO: 2014

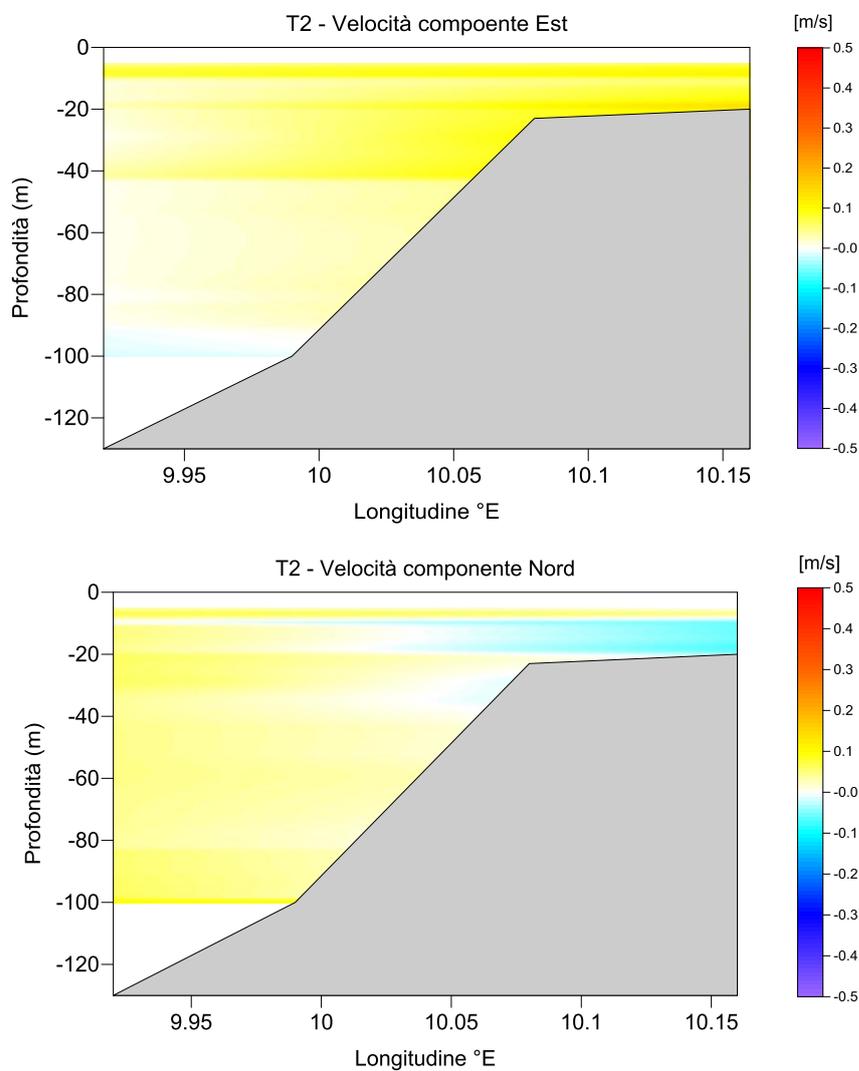


Figura 2.13: Transetto T2 – Settembre 2014 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T2 - MESE: 09 - ANNO: 2014

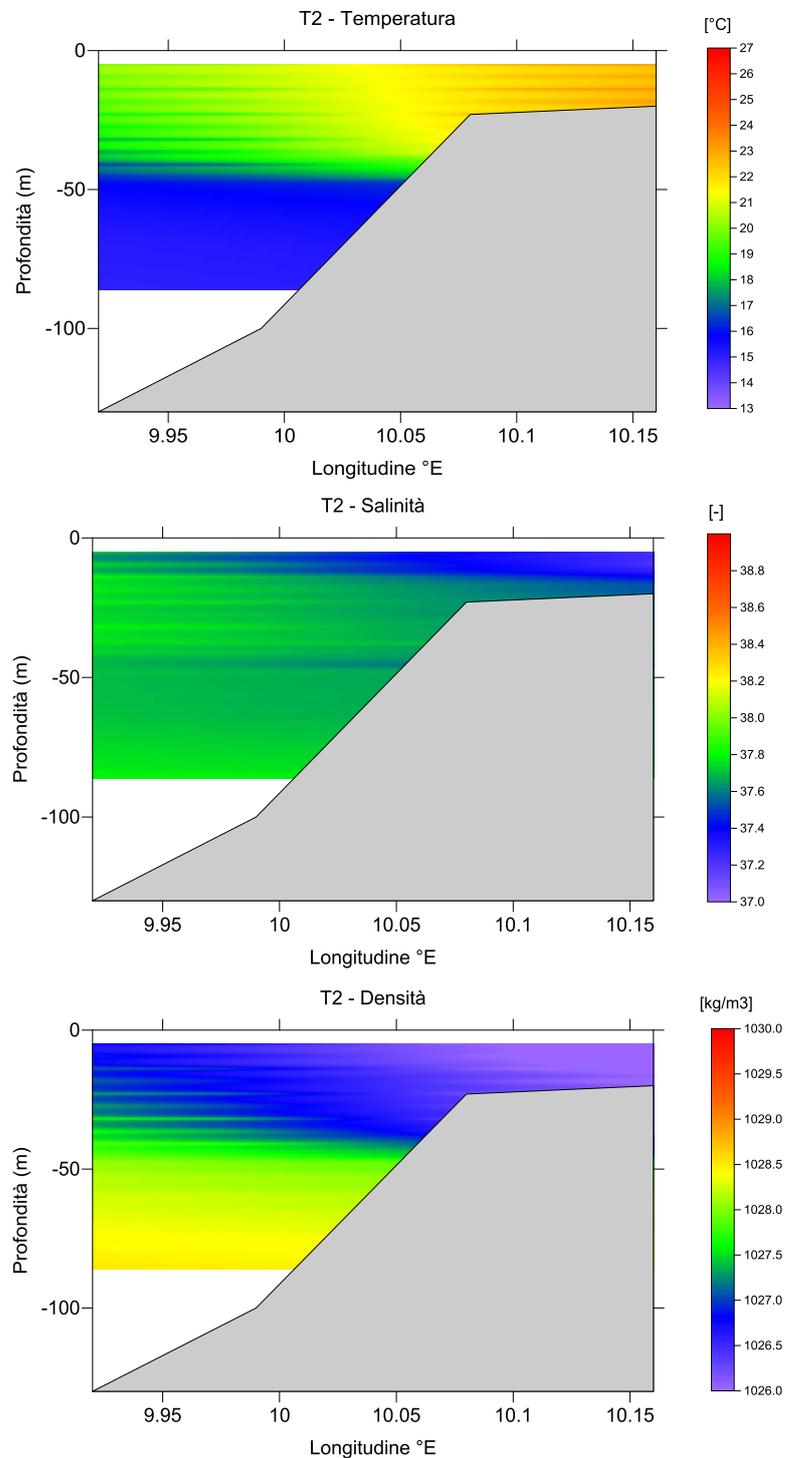


Figura 2.14: Transetto T2 – Settembre 2014 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

3 INTERPRETAZIONE DEI DATI

I dati descritti nel presente rapporto si riferiscono alla campagna di misure correntometriche adiacenti al punto di installazione del terminale FSRU e nella aree adiacenti effettuate nel corso del primo anno di esercizio del terminale (Dicembre 2013 – Ottobre 2014). E' quindi stato possibile disporre di preziose informazioni relative alla variabilità spaziale del campo di corrente, all'andamento di velocità e direzione lungo la colonna d'acqua e verificare la congruenza dei valori misurati con la fenomenologia tipica dell'area.

3.1 PUNTO OLT

Nei profili caratteristici di temperatura e salinità (Figura 2.8- Figura 2.12), calcolati a partire dai dati rilevati con la sonda CTD, è possibile individuare la presenza, come atteso, di una stratificazione delle acque, visibile da Giugno a Settembre, con pycnoclino particolarmente evidente nel mese di Agosto tra i 20 e 35 m di profondità.

Le misure effettuate con il profilatore ADCP mostrano in generale velocità della corrente apparentemente modeste, e questo è dovuto alla necessità di effettuare le misure in condizioni di mare calmo: manca quindi il contributo del vento che, per l'area OLT e per tutto l'Arcipelago Toscano, rappresenta il termine forzante principale, come descritto in R2012. Non è stato pertanto possibile correlare direttamente il vento locale con la corrente, ma i valori misurati, che si riferiscono quindi essenzialmente al contributo della marea, agli effetti perturbativi nel "far field" (si veda cap. 3.3 del R2012) e alla circolazione stazionaria, sono comunque tali da garantire una buona dinamica generale su tutta la colonna d'acqua anche nel periodo estivo.

Si osserva inoltre che generalmente le correnti misurate sono dirette verso Sud-Sud Ovest negli strati superficiale e intermedio, con una graduale rotazione verso Ovest-Nord Ovest a mano a mano che si procede verso il fondo. Ciò è ovviamente dovuto alle caratteristiche del campo di densità e alla presenza della stratificazione della colonna d'acqua, che ha caratterizzato praticamente tutti i mesi di misura, e che giustifica appieno l'utilizzo di un modello idrodinamico baroclinico per la simulazione del campo di corrente dell'Arcipelago. Più precisamente, il modello idrodinamico messo a punto per OLT può essere utilizzato sia in condizioni barotropiche, cioè con densità dell'acqua costante sulla colonna d'acqua, situazione tipicamente invernale dell'area di ubicazione del terminale OLT, sia in condizioni barocliniche, in presenza cioè di due strati di acqua di differente densità separati da un pycnoclino, situazione tipicamente estiva nell'area in esame.

Il modello idrodinamico simula il campo di corrente su una vasta area, ed è costituito da 3824 maglie quadrate di lato 2.5 Km: la griglia è orientata secondo le direzioni nord-sud, est-ovest (orientata dunque parallelamente e trasversalmente alla costa), in accordo con il quadro dinamico emerso dall'analisi dei dati. I limiti sono all'incirca 9°E -12°E e 42°- 44°N, e ogni maglia è caratterizzata dalla profondità reale, ottenuta attraverso un'accurata procedura di "gridding" dalla carte nautiche. Si sottolinea che tale modello è stato più volte calibrato in varie aree, compreso il Mar Ligure: in Figura 3.1 si riporta – a titolo di esempio – un confronto grafico *Q-Q plot* tra le correnti ricostruite e misurate al largo di Genova nel periodo Settembre 2003 – Agosto 2004. Si noti la buona corrispondenza tra i valori fino a circa 25 cm/s e la leggera sottostima del modello che avveniva per valori superiori, che sono stati quindi opportunamente "corretti" nella fase di calibrazione.

Le misure correntometriche effettuate da OLT, nell'anno precedente all'installazione del terminale (si veda R2012) e in questo primo anno di esercizio, mostrano un generale buon accordo con quanto riprodotto dal modello idrodinamico. La disponibilità di un modello calibrato, applicato a una vasta area intorno al terminale con tempi di calcolo ridotti, permetterà di stimare in tempo quasi reale le condizioni idrodinamiche nelle aree circostanti il terminale e, di conseguenza, l'impatto del terminale stesso durante le sue fasi di esercizio.

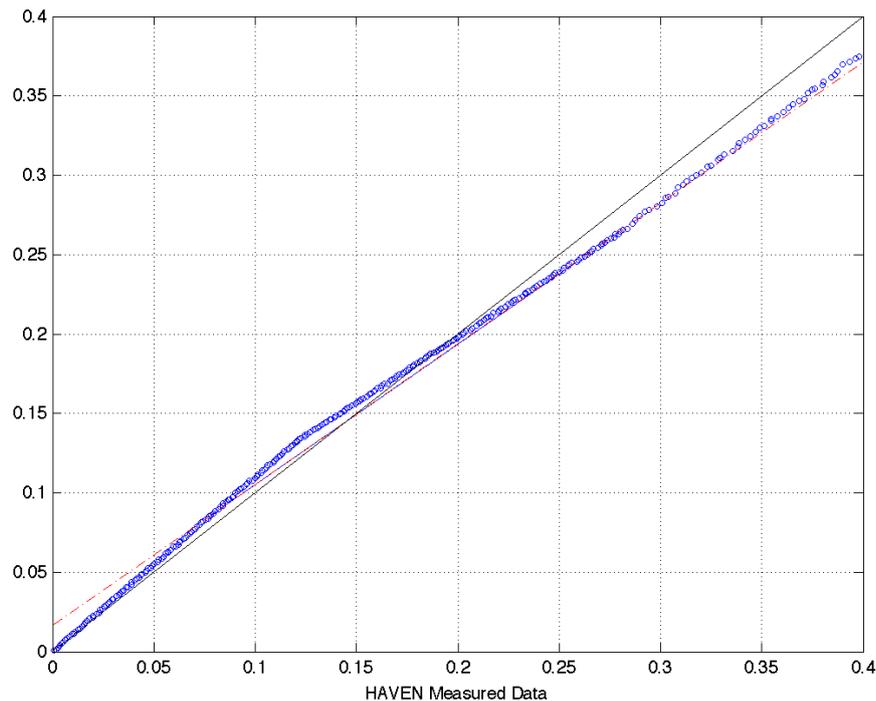


Figura 3.1: Esempio di Calibrazione del Modello Idrodinamico Olt su Dati di Velocità della Corrente, Espresi in m/s, Rilevati nei Pressi di Genova nel Periodo Settembre 2003 - Agosto 2004: Q-Qplot tra Velocità della Corrente Ricostruita dal Modello (Asse Y) e Dati Misurati (Asse X)

3.2 TRANSETTO T2

Come già precedentemente evidenziato, in questo primo anno di esercizio, è stata data maggiore priorità alla caratterizzazione delle condizioni idrodinamiche stagionali presso il punto OLT, ragione per cui l'andamento dei valori del transetto trasversale T2 (Figura 2.13 - Figura 2.14), è stato ricostruito solo per il mese di Settembre. Si nota che in tale data sono stati rilevati valori molto bassi di salinità e densità, specie negli strati superficiali, rispetto ai valori medi attesi, probabilmente dovuti alle frequenti piogge che nel 2014 hanno caratterizzato questo stesso periodo.

4 MODELLO DI DISPERSIONE

L'impatto termico in mare dell'acqua di rigassificazione, scaricata a regime dalla tubazione principale a valle dei vaporizzatori (10800 m³/h) dell'FSRU, è stato valutato da OLT mediante l'applicazione di un modello numerico. In questa sezione si descrive brevemente il modello e si riporta un esempio di applicazione.

Si ritiene opportuno sottolineare che il modello non è stato ancora calibrato, per cui **i risultati devono essere considerati come un'analisi di sensibilità preliminare dei possibili scenari conseguenti a variazioni del ΔT_{in}** , definito come la differenza tra la temperatura dell'acqua rilevata all'uscita dello scarico e quella dello strato superficiale dove avviene il prelievo. Tuttavia, gli scenari attesi nelle diverse stagioni dell'anno risultano ben riprodotti.

4.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO

Il modello numerico simula la dispersione in due differenti regioni di spazio contigue, la *near field* e la *far field*. La prima (*near field*) è la zona immediatamente prossima allo scarico di dimensioni più ridotte rispetto alla seconda, in cui la dispersione in temperatura è prevalentemente guidata dai moti turbolenti generati dallo scarico sull'ambiente circostante e dipendenti a loro volta dalle caratteristiche dello scarico stesso (dimensione, portata, profondità, etc). Nella seconda invece (*far field*) l'effetto del moto turbolento tende a smorzarsi venendo sopraffatto dal moto delle correnti marine che di fatto in queste regioni condizionano la dispersione termica. I risultati relativi al *near field* servono dunque per modellare correttamente il *far field*, perché rappresenta la condizione "iniziale" dello scarico per il *far field* stesso.

Il modello riceve in input i seguenti parametri che l'utente può variare in base alle caratteristiche dell'impianto di scarico che intende simulare:

- ΔT_{in} (°C), differenza iniziale di temperature tra l'acqua in uscita dallo scarico e quella del mare in superficie, che coincide con il livello di prelievo;
- Profondità dello scarico (m);
- Portata dello scarico (m³/s);
- Diametro dello scarico (m).

Nel caso specifico della FSRU Toscana, i parametri sopra descritti sono stati posti uguali a:

- Profondità dello scarico = -12 m;
- Portata dello scarico = 3 m³/s (= 10800 m³/h);
- Diametro dello scarico = 1.93 m;
- ΔT_{in} = variabile nel range di esercizio.

Gli scenari ambientali simulati coincidono con una tipica situazione invernale (Figura 4.1) ed una estiva (Figura 4.2) misurati nell'area in oggetto mediante sonda multiparametrica CTD (Conductivity, Temperature and Depth) e profilatore verticale di corrente del tipo ADCP (Acoustic Doppler Current Profile) che misurano, lungo tutta la colonna d'acqua, rispettivamente i valori di salinità e temperatura il primo e di corrente con le direzioni di propagazione relative alle diverse profondità, il secondo.

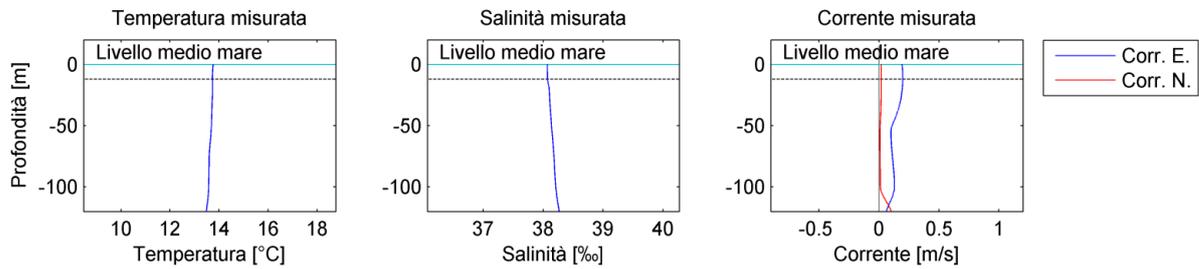


Figura 4.1: Condizioni Ambientali Tipiche della Stagione Invernale

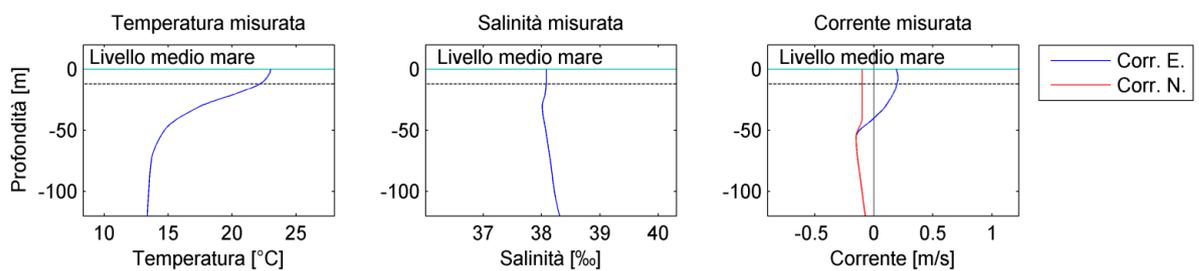


Figura 4.2: Condizioni Ambientali Tipiche della Stagione Estiva

Quello che si nota abbastanza indistintamente mettendo a confronto i profili di temperatura relativi ai due scenari stagionali è la presenza di un marcato “termoclino” in estate situato tra i -20 m e i -50 m di profondità. Per termoclino si intende uno strato della colonna in cui la temperatura cambia sensibilmente diminuendo per effetto della progressiva diminuzione dell’irraggiamento solare esplorando gli strati più profondi della colonna d’acqua. La presenza del termoclino è ben evidente nel periodo estivo, ed è visibile anche nelle misure effettuate nel primo anno di esercizio del terminale mostrate nel capitolo precedente.

4.2 ESEMPI DI APPLICAZIONE

A titolo d’esempio, vengono presentati i campi di dispersione del $\Delta T(^{\circ}C)$ per ΔT_{in} di $-4.6^{\circ}C$, risultanti dalle simulazioni effettuate in condizioni invernali (Figura 4.3) ed estive (Figura 4.4). In ogni figura viene riportato anche il profilo della temperatura ambiente (profilo blu) la cui scala è posta sull’asse x in alto (“Sea Temperature”). Per la stagione invernale, si è osservato che l’impatto termico nelle regioni di far field è del tutto insignificante, dunque si è omesso di graficare i relativi scenari lasciando soltanto quelli relativi al near field.

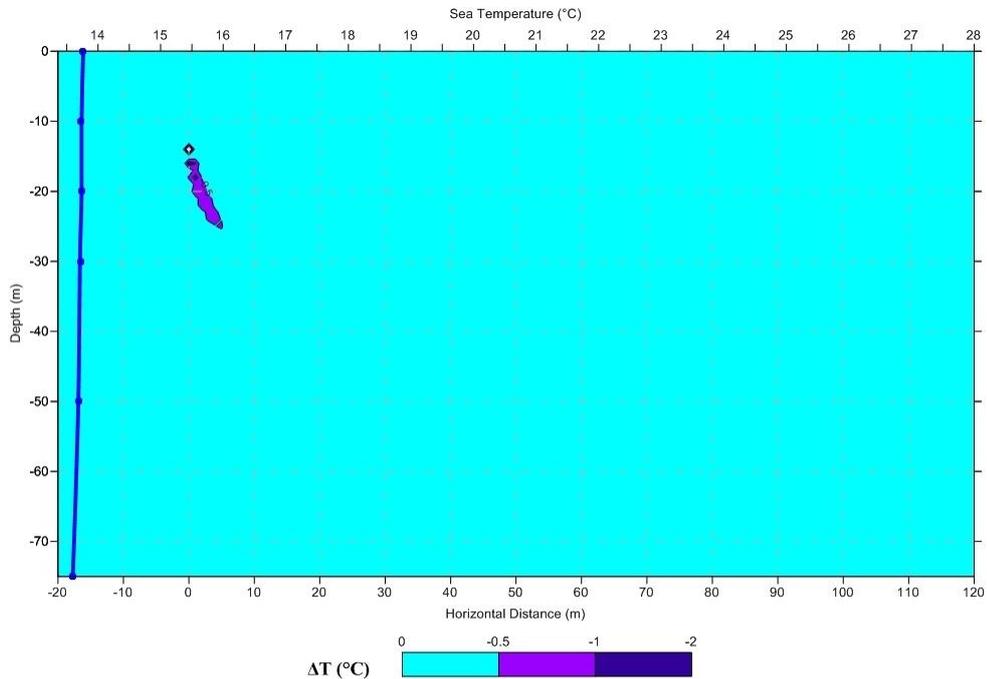


Figura 4.3: Condizioni Invernali - Near Field, $\Delta T_{IN} = -4.6 \text{ }^\circ\text{C}$ – Campo di Dispersione del $\Delta T(^\circ\text{C})$ e Profilo di Temperatura Usato per la Simulazione (in blu)

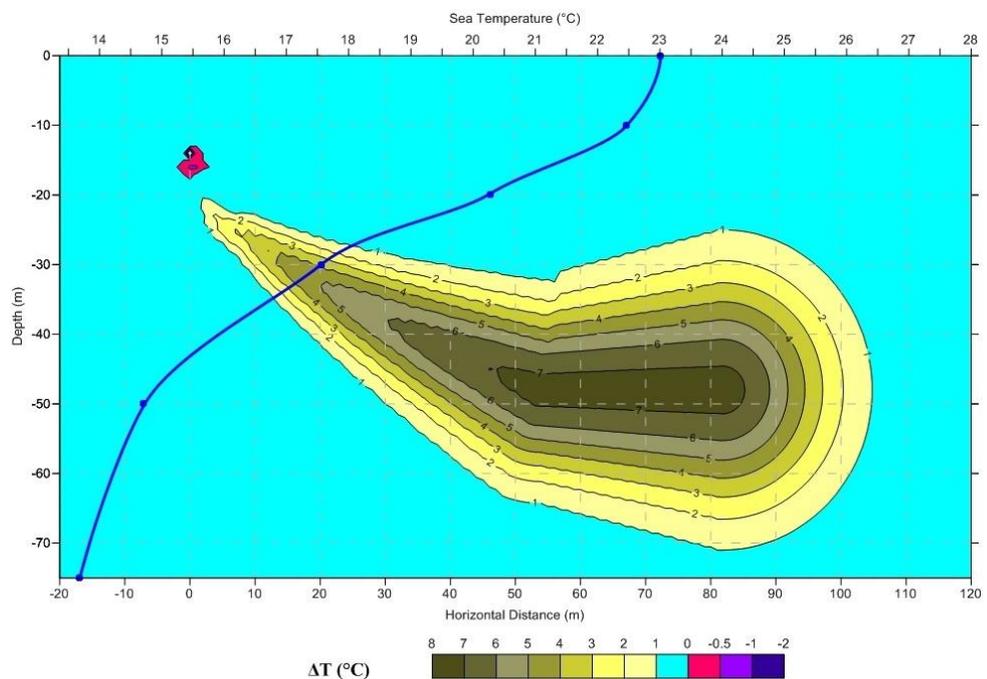


Figura 4.4: Condizioni Estive - Near Field, $\Delta T_{IN} = -4.6 \text{ }^\circ\text{C}$ – Campo di Dispersione del $\Delta T(^\circ\text{C})$ e Profilo di Temperatura Usato per la Simulazione (in blu)

Il modello numerico evidenzia che nello scenario invernale l'area interessata dalle acque di scarico, prendendo a riferimento l'isoterma relativa ad un $\Delta T = -1^{\circ}\text{C}$, è confinata al massimo entro i 22 m di profondità ed a circa 3 m dalla verticale passante per il punto di scarico.

Al contrario dello scenario invernale, durante il quale il valore di ΔT rimane sempre negativo andando progressivamente annullandosi man mano che il getto penetra in profondità, in quello estivo il ΔT parte da valori negativi nelle immediate vicinanze dello scarico per poi annullarsi ad una profondità pari a circa -20 m e dunque passare a valori positivi muovendosi verso profondità maggiori. Questo avviene per la presenza del termoclino; nel profilo utilizzato esso è posto tra -20 m e -50 m di profondità. L'iniziale ΔT_{in} va rapidamente annullandosi per effetto della termalizzazione dell'acqua scaricata con quella dell'ambiente e per la contestuale diminuzione della temperatura esterna.

5 CONCLUSIONI

La presente relazione tecnica riporta i risultati della validazione e analisi delle misure appositamente effettuate nell'area di ubicazione del terminale FSRU nel suo primo anno di esercizio. Tali risultati dimostrano che i dati sono sufficientemente rappresentativi delle caratteristiche tipiche del campo di corrente e delle masse d'acqua e le loro variazioni spaziali e temporali nell'area di riferimento, alle varie quote lungo la colonna d'acqua.

Il rapporto è basato, quindi, sulle misure rilevate nel periodo Dicembre 2013-Ottobre 2014, e fa inoltre riferimento al rapporto tecnico "Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area di Installazione del Terminale (Misure Maggio-Ottobre 2012)", Doc. No. 12-982-H2 Rev.1 (riportato in allegato1), relativo alle misure effettuate nel 2012 considerate rappresentative della situazione esistente prima dell'installazione del terminale (cosiddetto "bianco").

Tutte le misure correntometriche effettuate mostrano un generale buon accordo con la fenomenologia attesa, e con quanto riprodotto dal modello idrodinamico messo a punto per OLT, brevemente descritto nella Sezione 3.1.

La disponibilità di un modello calibrato, applicato a una vasta area intorno al terminale con tempi di calcolo ridotti, permetterà di stimare in tempo quasi reale le condizioni idrodinamiche nelle aree circostanti il terminale e, di conseguenza, l'impatto del terminale stesso durante le sue fasi di esercizio. A tale scopo, OLT si è anche dotata di un modello numerico semplificato di dispersione (come richiesto dal piano di monitoraggio) per la descrizione dell'evoluzione nello spazio dello scarico termico nell'intorno dell'impianto offshore. Il modello viene brevemente descritto nel Capitolo 4, dove si riportano alcuni esempi di applicazione.

Si sottolinea che tutto quanto effettuato e qui riportato è in totale accordo con quanto contenuto nel Piano di Monitoraggio.

ETE/BRG/PRA/EP:mcs

RIFERIMENTI

CIBM, 2011 – Terminale Galleggiante di Rigassificazione FSRU Toscana -“Piano di Monitoraggio dell’Ambiente Marino”, Rev. 2

DEAM, 2012 – “Specifica Tecnica per l’Esecuzione di Misure CTD e ADCP – Fase di Collaudo”, Rev. 0

D’Appolonia, 2012 – “Validazione della Metodologia di Acquisizione delle Misure Correntometriche”, Doc. no. 12-982-H1 Rev 0, Novembre 2012

D’Appolonia, 2013 – “Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell’Area di Installazione del Terminale (Misure Maggio-Ottobre 2012)”, Doc. No. 12-982-H2 Rev.1, Febbraio 2013

APPENDICE A

**ANALISI DEI DATI CORRENTOMETRICI MISURATI NELL'AREA DI INSTALLAZIONE
DEL TERMINALE (MISURE MAGGIO-OTTOBRE 2012)", DOC. NO. 12-982-H2 REV.1**

OLT Offshore LNG Livorno, Italia

FRSU Livorno Project

Analisi dei Dati
Correntometrici
Misurati nell'Area di
Installazione del
Terminale (Misure
Maggio- Ottobre 2012)

OLT Offshore LNG Livorno, Italia

FRSU Livorno Project

Analisi dei Dati
Correntometrici
Misurati nell'Area di
Installazione del
Terminale (Misure
Maggio-Ottobre 2012)

Preparato da	Firma	Data
Maria Fruzzetti		12/02/2013
Emanuele Terrile		12/02/2013
Controllato da	Firma	Data
Brunella Guida		12/02/2013
Approvato da	Firma	Data
Gianluigi De Filippi		12/02/2013
Eric J. Parker		12/02/2013
Sottoscritto da	Firma	Data
Roberto Carpaneto		12/02/2013

Rev.	Descrizione	Preparato da	Controllato da	Approvato da	Sottoscritto da	Data
1	Emissione dopo commenti	MFI/ETE	BRG	GDF/EP	RC	Febbraio 2013
0	Prima Emissione	MFI/ETE	BRG	GDF/EP	RC	Dicembre 2012

INDICE

	<u>Pagina</u>
LISTA DELLE TABELLE	II
LISTA DELLE FIGURE	II
1 SCOPO	1
2 CARATTERISTICHE DELLA CIRCOLAZIONE NELL'ARCIPELAGO TOSCANO	3
2.1 CICLOGENESI	3
2.2 CARATTERISTICHE GENERALI DELLE MASSE D'ACQUA	6
2.2.1 Salinità	6
2.2.2 Temperatura	6
2.3 CIRCOLAZIONE GENERALE DEL MEDITERRANEO	9
2.4 CIRCOLAZIONE NELL'ARCIPELAGO TOSCANO	10
3 CARATTERISTICHE DELLA CIRCOLAZIONE LOCALE (PUNTO OLT)	16
3.1 BATIMETRIA	16
3.2 VENTI TIPICI	17
3.3 CIRCOLAZIONE LOCALE	20
3.3.1 Corrente da Vento	21
3.3.2 Corrente di Marea	23
3.3.3 Corrente Stazionaria	23
3.3.4 Corrente ad Alta Frequenza	23
3.4 REGIME TIPICO NEL PUNTO OLT	24
3.4.1 Introduzione	24
3.4.2 Modello Idrodinamico e Correlazione delle Correnti Secondo i Fattori Forzanti	24
4 VALIDAZIONE E PRESENTAZIONE DEI DATI	29
4.1 INTRODUZIONE	29
4.2 VALIDAZIONE	29
4.3 PRESENTAZIONE DEI DATI	32
5 INTERPRETAZIONE DEI DATI	86
6 CONCLUSIONI	87
RIFERIMENTI	
APPENDICE A	
APPENDICE B	

LISTA DELLE TABELLE

<u>Tabella No.</u>	<u>Pagina</u>
Tabella 3.1: Distribuzione della Velocità del Vento per Direzione di Provenienza nel Punto OLT	18
Tabella 3.2: Persistenza del Vento Sopra Vari Valori di Velocità: Numero di Eventi Caratterizzati da Durate (Ore) Minori o Uguali a Varie Soglie Temporalì e Durate Medie	19
Tabella 3.3: Distribuzione della Velocità della Corrente Superficiale per Direzione di Propagazione nel Punto OLT	27
Tabella 3.4: Distribuzione della Velocità della Corrente in Prossimità del Fondo per Direzione di Propagazione nel Punto OLT	28
Tabella 4.1: Punti di Campionamento	31

LISTA DELLE FIGURE

<u>Figura No.</u>	<u>Pagina</u>
Figura 2.1: Esempio di Mappa di Pressione a Livello del Mare (Dati: ECMWF , Fonte: Lamma)	4
Figura 2.2: Esempio di Campo di Vento e Stato del Mare in una Situazione di "Ritorno di Maestrale" 25 Dicembre 2010 ore 6 UTC (Fonte: NETTUNO Wave Forecast System [rif. 4])	5
Figura 2.3: Esempio delle Variazioni di Pressione Atmosferica nell'Area di Studio nel Periodo Gennaio-Giugno 2004	5
Figura 2.4: Profili Verticali Medi di Salinità nel Corso dei Mesi	7
Figura 2.5: Profili Verticali Medi di Temperatura nel Corso dei Mesi	8
Figura 2.6: Circolazione Superficiale Generale [rif. 5]	9
Figura 2.7: Circolazione Intermedia Generale [rif. 5]	9
Figura 2.8: Esempio di Circolazione nello Strato Superficiale (Destra) e nello Strato Profondo (Sinistra) con Vento da 60°N (Simulata con Modello Idrodinamico)	12
Figura 2.9: Esempio di Circolazione nello Strato Superficiale (Destra) e nello Strato Profondo (Sinistra) con Vento da 150°N (Simulata con Modello Idrodinamico)	13
Figura 2.10: Esempio di Circolazione nello Strato Superficiale (Destra) e nello Strato Profondo (Sinistra) con Vento da 240°N (Simulata con Modello Idrodinamico)	14
Figura 2.11: Esempio di Circolazione nello Strato Superficiale (Destra) e nello Strato Profondo (Sinistra) con Vento da 330°N (Simulata con Modello Idrodinamico)	15
Figura 3.1: Batimetria Generale Dell'area	16
Figura 3.2: Rosa Dei Venti Nel Punto Olt	17
Figura 3.3: Esempio Di Correlazione Tra Le Componenti Longitudinali e Trasversali di Vento e Corrente Nell'area Di Interesse	22
Figura 3.4: Esempio di Ellisse Di Marea Nell'area Di Interesse	23
Figura 3.5: Rosa delle Correnti Superficiali nel Punto OLT	25
Figura 3.6: Rosa delle Correnti nello Strato di Fondo nel Punto OLT	26
Figura 4.1: Posizione dei Transetti L1, L2, L3, T1, T2 e T3	30
Figura 4.2: Posizione dei Punti di Campionamento	31
Figura 4.3: Profili di Corrente Misurati in A (Sopra) e D (Sotto) in Data 3 Agosto 2012	33
Figura 4.4: Profili di Corrente Misurati in H in Data 3 Agosto 2012	34
Figura 4.5: Profilo di Corrente Misurato in O in Data 3 Agosto 2012	35

Figura 4.6: Profili di Corrente Misurati in H (Sopra) e O (Sotto) in Data 10 Agosto 2012	36
Figura 4.7: Profilo di Corrente Misurato in H in Data 5 Ottobre 2012	37
Figura 4.8: Profili di Corrente Misurati in A in data 12 Ottobre 2012	38
Figura 4.9: Profili di Corrente Misurati in D in Data 12 Ottobre 2012	39
Figura 4.10: Profili di Corrente Misurati in O in Data 12 Ottobre 2012	40
Figura 4.11: Profili di Temperatura (Sinistra), Salinità (Centro) e Densità Misurati in D(Sopra) e O (Sotto) in Data 3 Agosto 2012	41
Figura 4.12: Profili di Temperatura (Sinistra), Salinità (Centro) e Densità Misurati in H(Sopra) e O (Sotto) in Data 10 Agosto 2012	42
Figura 4.13: Profili di Temperatura (Sinistra), Salinità (Centro) e Densità Misurati in D(Sopra) e O (Sotto) in Data 12 Ottobre 2012	43
Figura 4.14: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto E Giugno 2012	44
Figura 4.15: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto O Giugno 2012	45
Figura 4.16: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto D Agosto 2012	46
Figura 4.17: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto H Agosto 2012	47
Figura 4.18: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto P Agosto 2012	48
Figura 4.19: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto A Ottobre 2012	49
Figura 4.20: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto E Ottobre 2012	50
Figura 4.21: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto H Ottobre 2012	51
Figura 4.22: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto O Ottobre 2012	52
Figura 4.23: Transetto L1 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	53
Figura 4.24: Transetto L2 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	54
Figura 4.25: Transetto L3 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	55
Figura 4.26: Transetto L1 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	56
Figura 4.27: Transetto L2 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	57
Figura 4.28: Transetto L3 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	58
Figura 4.29: Transetto T1 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	59
Figura 4.30: Transetto T2 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	60
Figura 4.31: Transetto T3 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	61

Figura 4.32: Transetto T1 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	62
Figura 4.33: Transetto T2 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	63
Figura 4.34: Transetto T3 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	64
Figura 4.35: Transetto L1 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	65
Figura 4.36: Transetto L1 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	66
Figura 4.37: Transetto T2 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	67
Figura 4.38: Transetto T3 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (sopra) e Nord (sotto) della Velocità di Corrente	68
Figura 4.39: Transetto T2 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	69
Figura 4.40: Transetto T3 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	70
Figura 4.41: Transetto L1 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	71
Figura 4.42: Transetto L1 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	72
Figura 4.43: Transetto T1 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	73
Figura 4.44: Transetto T2 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	74
Figura 4.45: Transetto T3 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	75
Figura 4.46: Transetto T1 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	76
Figura 4.47: Transetto T2 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	77
Figura 4.48: Transetto L2 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	78
Figura 4.49: Transetto L1 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	79
Figura 4.50: Transetto L2 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	80
Figura 4.51: Transetto T1 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	81
Figura 4.52: Transetto T2 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	82
Figura 4.53: Transetto T1 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	83
Figura 4.54: Transetto T2 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	84
Figura 4.55: Transetto T3 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	85

MISURE CORRENTOMETRICHE NELL'AREA DI INSTALLAZIONE DEL TERMINALE OLT OFFSHORE LIVORNO RAPPORTO ANNUALE 2012

1 SCOPO

Scopo del presente documento è quello di fornire, attraverso l'analisi di opportune misure, le caratteristiche tipiche del campo di corrente e delle masse d'acqua e le loro variazioni spaziali e temporali nell'area interessata dalla futura presenza del terminale galleggiante OLT per la rigassificazione di GNL (nel seguito definito **FSRU**).

Le misure riguardano cioè la situazione esistente prima dell'installazione del terminale e sono quindi da considerare come i dati di base a cui fare riferimento per valutare e quantificare le eventuali variazioni alla circolazione dopo la realizzazione del terminale.

In particolare, secondo il Piano di Monitoraggio dell'Ambiente Marino [rif. 1] *, gli obiettivi principali delle misure sono:

- verificare la variabilità spaziale del campo di corrente;
- correlare le misure nei vari punti per individuarne le eventuali differenti caratteristiche in funzione dei termini forzanti principali (vento, marea, livello, gradienti barici).

Le misure, estese a tutta la colonna d'acqua ed effettuate sia in corrispondenza del punto di futura ubicazione del terminale (nel seguito definito **Punto OLT**), sia nell'area circostante a differenti profondità, sono state validate, analizzate ed interpretate al fine di documentare in modo completo ed esaustivo il campo di corrente e il campo di massa alle varie quote lungo la colonna d'acqua.

Nel presente rapporto, prima di analizzare i dati e discutere i risultati, si è ritenuto opportuno descrivere le caratteristiche essenziali relative alla circolazione delle masse d'acqua e al campo di corrente nell'Arcipelago Toscano, caratterizzato, come ben noto, da fenomeni di ciclogenesi, al fine di inquadrare le misure effettuate nello scenario oceanografico tipico dell'area in esame. Tali informazioni sono state desunte dalla letteratura scientifica di settore e dai numerosi studi precedentemente effettuati nel bacino ligure-tirrenico. E' stato anche utilizzato, per maggiori dettagli relativi alle variazioni spaziali, un modello idrodinamico al quale sono stati forniti in input i campi di venti tipici dell'Arcipelago.

Si è inoltre ritenuto opportuno dedicare un intero capitolo al campo di corrente nel Punto Olt, dedotto dalle simulazioni effettuate mediante opportuno modello idrodinamico nella fase di progetto del terminale, che hanno permesso di ricostruire l'andamento della corrente locale alle varie quote lungo la colonna d'acqua dall'1/7/1992 al 30/6/2007 e di definirne le caratteristiche essenziali.

Successivamente sono stati presentate le misure effettuate con i risultati, ponendo particolare attenzione alla validazione dei dati rilevati nei vari punti indagati.

Infine i risultati ottenuti vengono messi a confronto con la fenomenologia tipica nota e si pone l'accento sull'interpretazione dei risultati.

Nell'Appendice A si descrivono sinteticamente sia gli strumenti utilizzati per l'esecuzione delle misure che la metodologia di acquisizione seguita.

* I riferimenti sono riportati alla fine del testo

Nell'Appendice B si descrive il modello idrodinamico utilizzato per descrivere le caratteristiche del campo di corrente nell'Arcipelago.

Si sottolinea che tutto quanto effettuato e qui riportato è in totale accordo con quanto contenuto nel Piano di Monitoraggio.

Nel documento si farà spesso riferimento agli studi meteo-marini recentemente effettuati da DEAM [rif. 2-3].

2 CARATTERISTICHE DELLA CIRCOLAZIONE NELL'ARCIPELAGO TOSCANO

Nel presente capitolo si evidenziano i lineamenti principali del clima meteo-marino, le caratteristiche delle massa d'acqua e gli aspetti principali della circolazione generale nell'Arcipelago Toscano.

2.1 CICLOGENESI

Il punto OLT è influenzato direttamente dalla presenza di un clima peculiare, che comporta notevoli variabilità spaziali e temporali dei principali parametri meteo-marini.

La principale caratteristica topografica del Bacino Ligure è infatti la presenza di importanti rilievi, quali le Alpi a nord e gli Appennini ad est.

Anche la presenza di un'isola con alte catene montuose come la Corsica, può avere effetti importanti, che si ripercuotono sul clima dell'Arcipelago Toscano.

La variabilità delle condizioni meteo-marine è dominata dalla presenza di una delle regioni di maggiore ciclogenesi del Mediterraneo, che ha sede nel Golfo di Genova.

Infatti, le perturbazioni atmosferiche provenienti dall'Oceano Atlantico e che si propagano sul Mediterraneo non mantengono in generale la loro struttura originaria, ma evolvono con la formazione e lo sviluppo di un minimo di pressione in qualche zona preferenziale: questo processo è denominato Ciclogenesi Mediterranea.

I cicloni del Golfo di Genova sono quindi sistemi di bassa pressione che si sviluppano a sud delle Alpi e si posizionano sul Mar Ligure, valle del Po e nord Adriatico.

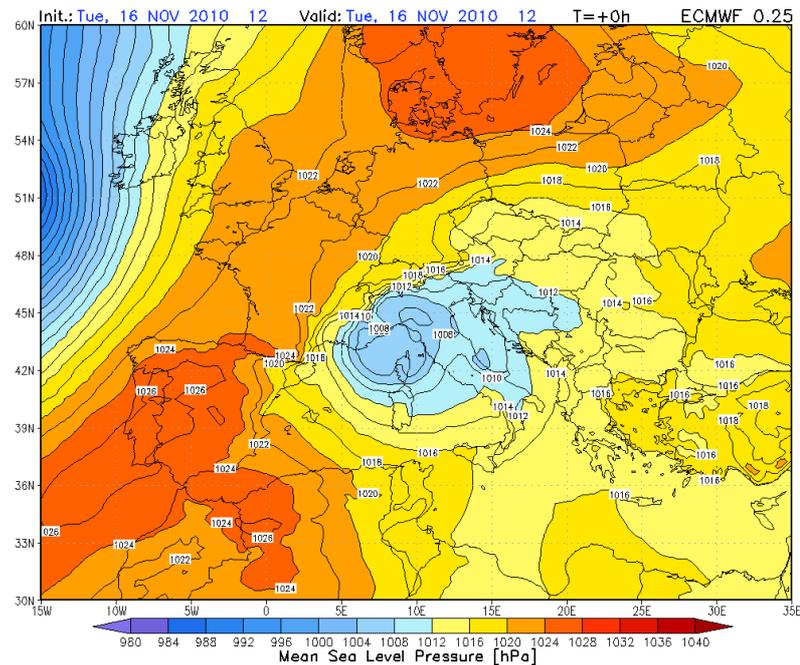
La mappa delle isobare a livello dal mare durante un evento di ciclogenesi sul Mar Ligure è mostrata come esempio in Figura 2.1.

La ciclogenesi del golfo ligure può verificarsi durante tutte le stagioni, anche se raggiunge la sua massima frequenza nei mesi invernali, quando l'anticiclone delle Azzorre tende a muoversi verso nord lasciando il Bacino Mediterraneo.

Il centro depressionario può muoversi in due direzioni: la prima, associata a forti venti sud-orientali di "Libeccio" corre verso nord-est lungo l'arco alpino invadendo la Pianura Padana, la seconda verso sud-est lungo il margine nord del Mediterraneo è invece associata alla presenza di un forte anticiclone sui Balcani.

Il movimento della perturbazione verso sud-est è inoltre associato a forti venti orientali che spirano dagli Appennini verso il mare.

Uno dei principali fenomeni associati alla bassa pressione ligure è il "mistral" o maestrale. Il maestrale è un vento fresco, di forte intensità che spira da nord-ovest sul Golfo del Leone e occasionalmente può estendersi a tutto il Bacino Mediterraneo; è associato ad un cielo pulito lungo la costa sud della Francia e sul Golfo del Leone e nuvolosità lungo la costa occidentale italiana.



**Figura 2.1: Esempio di Mappa di Pressione a Livello del Mare (Dati: ECMWF ,
Fonte: Lamma)**

A causa dell'interazione tra il flusso occidentale e l'orografia Corsa, il vento ai bassi livelli può essere deviato verso il Golfo Ligure prendendo il nome di "ritorno di Mistral" o "falso Libeccio", fenomeno che interessa maggiormente il settore orientale del Mar Ligure. Il risultato è un moto ondoso lungo e ventilazione proveniente dal terzo quadrante con intensità però minori rispetto alle reali condizioni di Libeccio. Un esempio di tale fenomeno è mostrato in Figura 2.2.

L'altra situazione meteo-marina possibile per il Mar Ligure-Alto Tirreno è una corrente sud-orientale associata a cicloni nord africani, in genere frequente in autunno. Sul Mar Ligure questo fenomeno è associato a venti di "Scirocco" da sud o sud-est che possono avere forte intensità; tali venti, causa la presenza delle isole dell'Arcipelago Toscano, sono associati ad altezze d'onda inferiori, almeno per il settore meridionale del levante ligure, rispetto alle onde provenienti dai settori occidentali.

Va infine sottolineato che l'area è interessata dalla presenza di forti gradienti barici, come mostrato in Figura 2.3 , dove è riportato un esempio dell'andamento della pressione atmosferica nei pressi del Punto O per il periodo Gennaio-Giugno 2004.

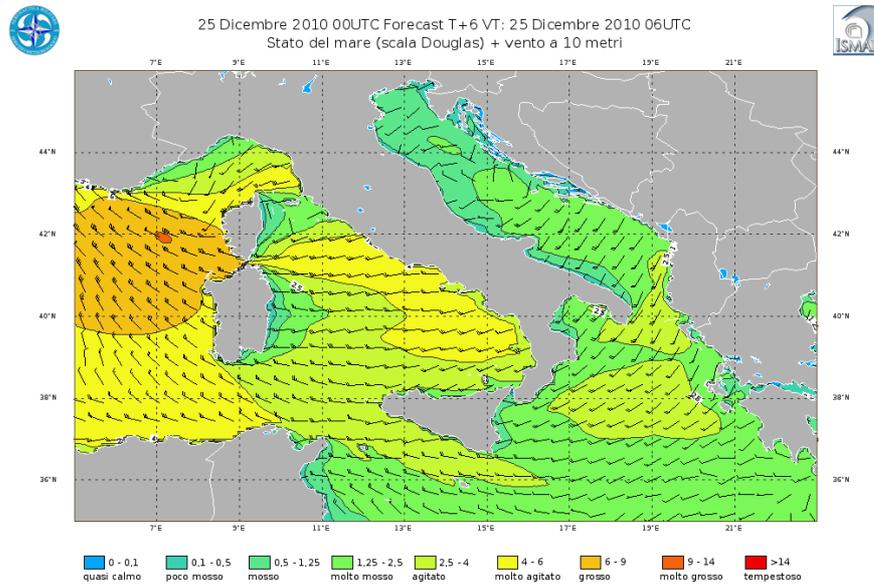


Figura 2.2: Esempio di Campo di Vento e Stato del Mare in una Situazione di “Ritorno di Maestrale” 25 Dicembre 2010 ore 6 UTC (Fonte: NETTUNO Wave Forecast System [rif. 4])

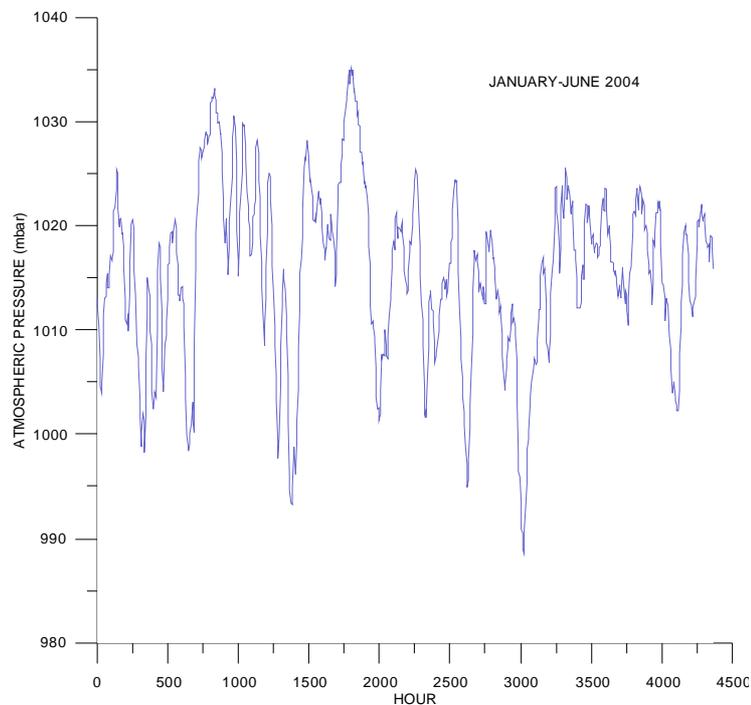


Figura 2.3: Esempio delle Variazioni di Pressione Atmosferica nell'Area di Studio nel Periodo Gennaio-Giugno 2004

2.2 CARATTERISTICHE GENERALI DELLE MASSE D'ACQUA

Per la sua posizione, le acque dell'Arcipelago Toscano sono soggette all'influenza di diversi fattori, tra i quali può essere considerata prevalente l'influenza esercitata dai due bacini adiacenti, il Ligure e il Tirreno, che, avendo proprietà fisiche ben differenziate, sono in grado di scambiare le caratteristiche delle masse d'acqua. In tale scambio giocano un ruolo preponderante i Canali di Corsica e dell'Elba a causa della loro posizione all'interfaccia dei due bacini.

Un altro effetto importante è quello introdotto dalla batimetria: la piattaforma continentale, molto ridotta lungo quasi tutta l'estensione dell'arco ligure, si allarga nei pressi di La Spezia fino a formare una pianura costiera che, all'altezza di Capraia, è ampia più di 60 Km. Lungo il bordo di questa pianura, canyons trasversali la collegano ad una terrazza intermedia (Terrazza di La Spezia) caratterizzata da profondità dell'ordine dei 500 m.

Nella sua parte più meridionale la Terrazza di La Spezia si solleva leggermente fino a formare la soglia Corso-Toscana, tra Capo Corso e l'isola di Capraia, ad una profondità di poco superiore ai 400 metri. E' proprio attraverso questa soglia che si verifica il collegamento con l'elemento fisiografico più settentrionale del bacino tirrenico, vale a dire la Fossa Toscana, che costituisce il prolungamento della Terrazza di La Spezia tra la piattaforma continentale corsa e quella toscana.

L'analisi dei dati storici esistenti indica che:

- i due bacini differiscono sostanzialmente per le loro proprietà termiche: ne segue che la densità ha un andamento analogo a quello della temperatura;
- l'acqua del Mar Ligure si mantiene generalmente a temperature medie sensibilmente inferiori a quelle del Tirreno: il gradiente termico tra i due bacini raggiunge il massimo nella stagione invernale. In tale stagione, considerato che la salinità si mantiene su valori abbastanza simili nei due bacini, è anche massimo il gradiente di densità.

La contemporanea presenza di due masse d'acqua, con proprietà molto diverse tra di loro, genera una certa complessità di situazioni e induce intensi processi di mescolamento.

2.2.1 Salinità

I profili medi di salinità nel corso dei mesi sono mostrati in Figura 2.4. Si noti che in estate è presente un moderato picnoclino a profondità di 30-50 m, mentre a profondità inferiori le variazioni della salinità sono modeste.

2.2.2 Temperatura

I profili medi di temperature dell'acqua nel corso dei mesi sono riportati in Figura 2.5. Si noti la presenza di un termocline da Maggio a Ottobre, mentre Aprile e Novembre rappresentano i mesi di transizione tra la situazione estiva e quella invernale.

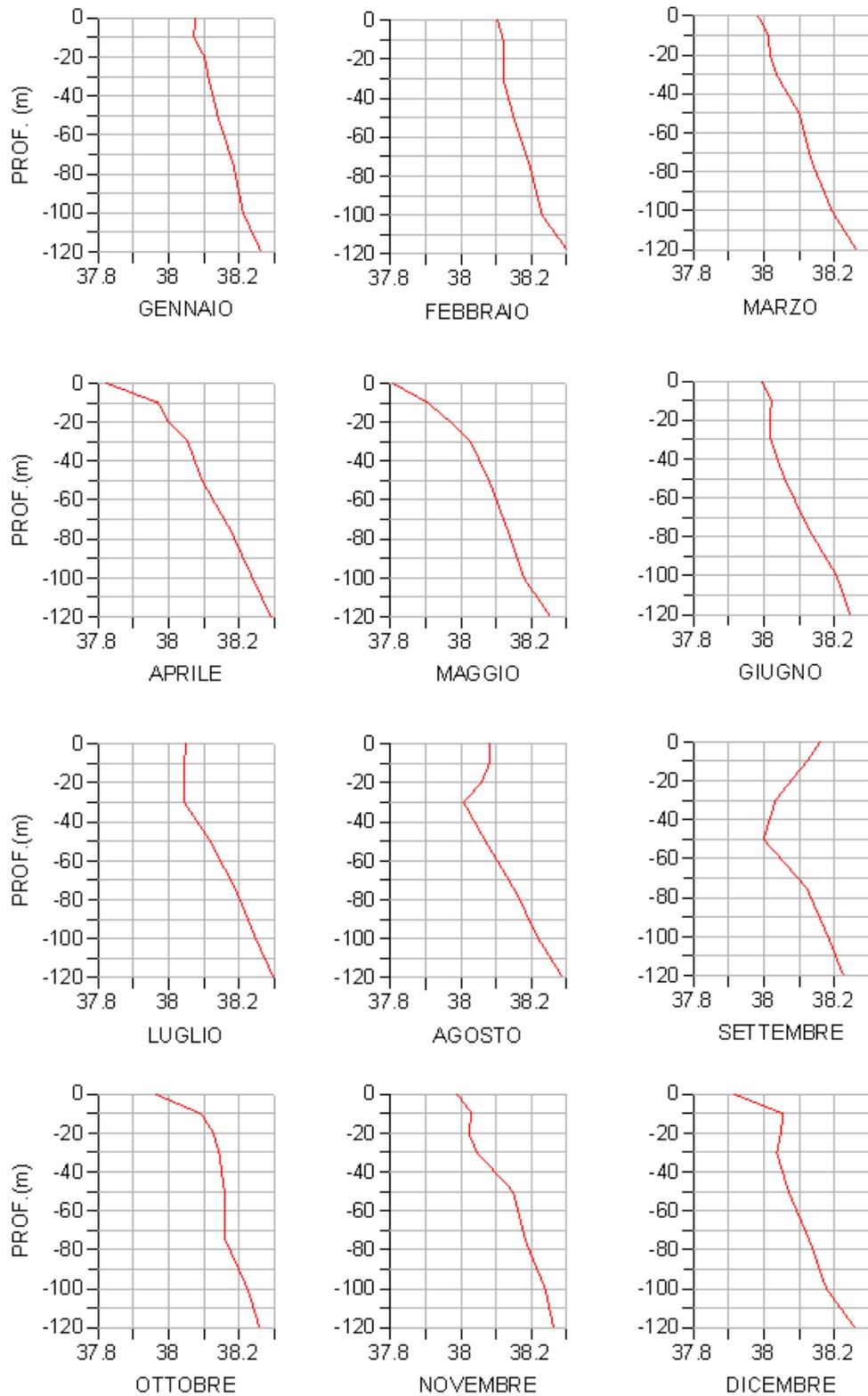


Figura 2.4: Profili Verticali Medi di Salinità nel Corso dei Mesi

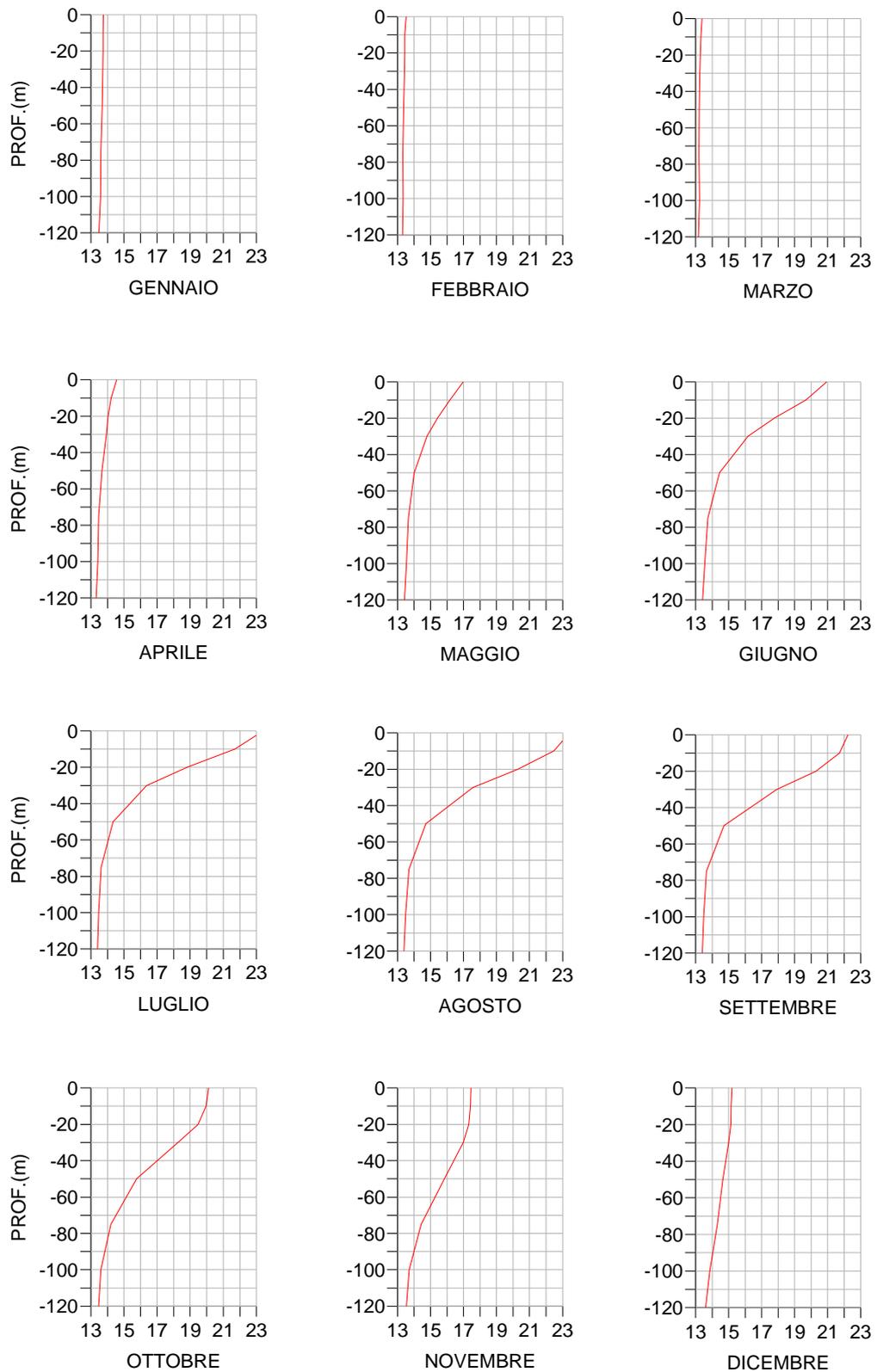


Figura 2.5: Profili Verticali Medii di Temperatura nel Corso dei Mesi

2.3 CIRCOLAZIONE GENERALE DEL MEDITERRANEO

La circolazione generale nell'area [rif. 5] è caratterizzata dalla presenza, nello strato superficiale, della cosiddetta AW (Atlantic Water), cioè dell'acqua atlantica che entra dallo Stretto di Gibilterra e fluisce lungo la costa africana. Parte del flusso, che ha attraversato il Canale di Sardegna, continua attraverso il Canale di Sicilia e fluisce verso il Mediterraneo Orientale; un'altra parte, e cioè la vena tirrenica, fluisce in senso antiorario intorno al Mar Tirreno lungo la Sicilia e risale la penisola italiana fino a congiungersi con la vena proveniente dalla Corsica occidentale, continuando poi a fluire verso l'arco ligure e lungo la costa francese (Figura 2.6).

Lo strato intermedio è caratterizzato dalla presenza della cosiddetta LIW (Levantine Intermediate Water), cioè l'acqua che si forma nel Mediterraneo Orientale e che, attraversando il Canale di Sicilia, fluisce verso il Tirreno dove assume un verso antiorario andando ad interessare il Canale di Corsica, dove fluisce tra i 200 e i 600 m di profondità, verso il bacino ligure.

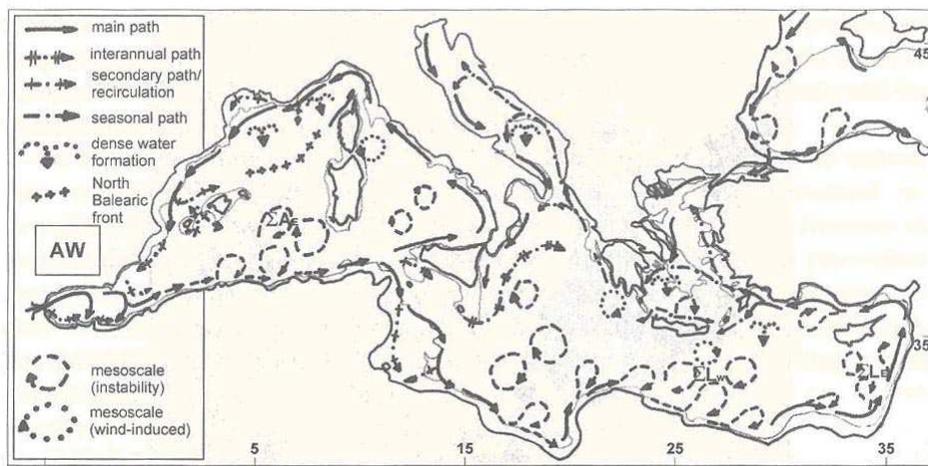


Figura 2.6: Circolazione Superficiale Generale [rif. 5]

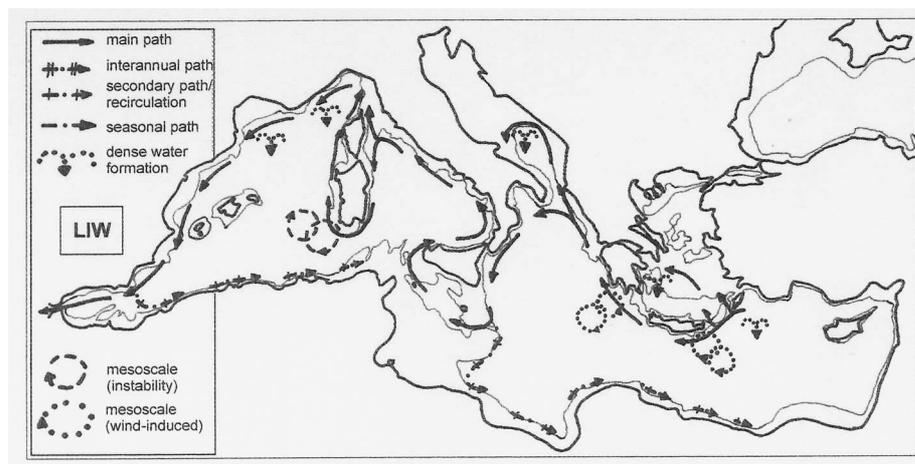


Figura 2.7: Circolazione Intermedia Generale [rif. 5]

2.4 CIRCOLAZIONE NELL'ARCIPELAGO TOSCANO

Per quanto concerne la circolazione generale nell'Arcipelago Toscano, sono disponibili dati frammentari relativi ad aree particolari [rif. 6] o studi a scala di bacino (Elliot 1978), ma un'analisi dettagliata della circolazione non risulta sia mai stata effettuata. Le informazioni ad oggi disponibili si riferiscono ancora alle misure effettuate dal luglio 1985 al settembre 1988 mediante due catene correntometriche che hanno permesso di rilevare velocità e direzione della corrente a 4 livelli su fondali di 460 m e 1250 m. Una sintesi dei risultati principali ottenuti è stata pubblicata [rif. 6].

Come evidenziato nel cap. precedente, l'Arcipelago è situato all'interfaccia di due bacini che differiscono principalmente per le loro caratteristiche termiche: a causa della sua esposizione ai venti settentrionali, il Mar Ligure possiede infatti una temperatura sensibilmente più bassa rispetto a quella del Tirreno, con un gradiente che tende ad accentuarsi in inverno. Dal momento che il passaggio della corrente tra i due bacini è determinato dal gradiente di densità che così si viene a creare, gli scambi tra i due mari avvengono quasi sempre in direzione del Mar Ligure e sono concentrati per la massima parte durante le stagioni invernale e primaverile.

Nell'area del Canale di Corsica la batimetria esercita una forte influenza sulla corrente che, in genere, si muove allineata all'asse del canale dalla superficie al fondo. Il flusso della corrente è prevalentemente diretto dal Mar Tirreno al Mar Ligure con un'intensità variabile con le stagioni e con la profondità.

Durante l'estate, e fino a dicembre, esso è molto debole (2-5 cm/s) ed in qualche caso può anche rovesciarsi. A partire dall'inizio della stagione invernale, il flusso aumenta rapidamente fino a raggiungere i valori più alti (50-60 cm/s in superficie) nei mesi di gennaio/febbraio.

Il confronto dei valori del flusso nel canale con l'andamento del vento nel Golfo del Leone ha permesso di verificare che tra i due parametri esiste una stretta corrispondenza: infatti, l'inizio della fase di maggior flusso nel canale avviene circa una settimana dopo l'aumento dell'attività del vento sul bacino, mentre il massimo del flusso si verifica circa un mese dopo. Inoltre tutti i picchi della corrente nel canale trovano corrispondenza in altrettanti picchi del vento che in genere corrispondono ad eventi di mistral. Il passaggio invernale della corrente nel canale è quindi regolato dal vento sul bacino. Sono quindi essenzialmente quattro gli aspetti principali che la letteratura specialistica di settore mette in luce:

- il campo di corrente presenta valori sufficientemente elevati a tutte le profondità indagate, soprattutto nelle stagioni fredde. La variabilità spaziale è tuttavia notevole;
- la batimetria gioca un ruolo fondamentale: i vari canyons rappresentano le vie preferenziali per l'ingresso delle masse d'acqua nell'Arcipelago;
- le condizioni meteorologiche influenzano decisamente il regime dinamico, sia per l'effetto diretto dello "stress" del vento sulla superficie, sia per l'azione indiretta che il vento esercita sui flussi di calore e quindi sulla densità superficiale dei bacini;
- i gradienti barici, che si verificano soprattutto durante il passaggio delle perturbazioni, inducono oscillazioni di livello con conseguenti modifiche del campo di corrente.

Alcuni esempi grafici della circolazione generale indotta appunto dal vento, derivati dall'applicazione del modello idrodinamico baroclinico disponibile presso la nostra società, sono evidenziati nelle Figure 2.8-2.11, dove il punto rosso indica la posizione indicativa del Punto OLT, le frecce indicano velocità e direzione di propagazione della corrente.

Il pannello di destra si riferisce alla velocità, mediata sulla verticale, dello strato superficiale, cioè sopra il picnoclino (negli esempi è stato posto a -50 m dalla superficie, mentre il pannello di sinistra si riferisce alla velocità mediata sulla verticale, relativa allo strato profondo, cioè sotto il picnoclino. Nelle figure è stata riportata una freccia ogni due maglie

Le maglie del modello sono quadrate, con ampiezza di 2.5 Km. In input al modello, che opera ovviamente sulla batimetria reale dell'arcipelago, è stato fornito solamente il campo di vento, costante sull'area, la cui intensità e durata è stata dedotta dalle Tabelle 3.1-3.2. Per le direzioni principali, è stato utilizzato il valore di velocità che ha una probabilità del 15% di essere superato. In particolare sono stati forniti in input i seguenti valori:

Direzione provenienza (°N)	Velocità vento 85% (m/s)	Durata (ore)
60	9	30
150	8	30
240	11	24
330	7	36

Dalle figure si nota come direzioni di vento diverse inducano circolazioni differenti, anche complesse e come lo strato sotto il picnoclino presenti velocità notevolmente meno intense e aventi direzioni spesso opposte a quelle dello strato superficiale.

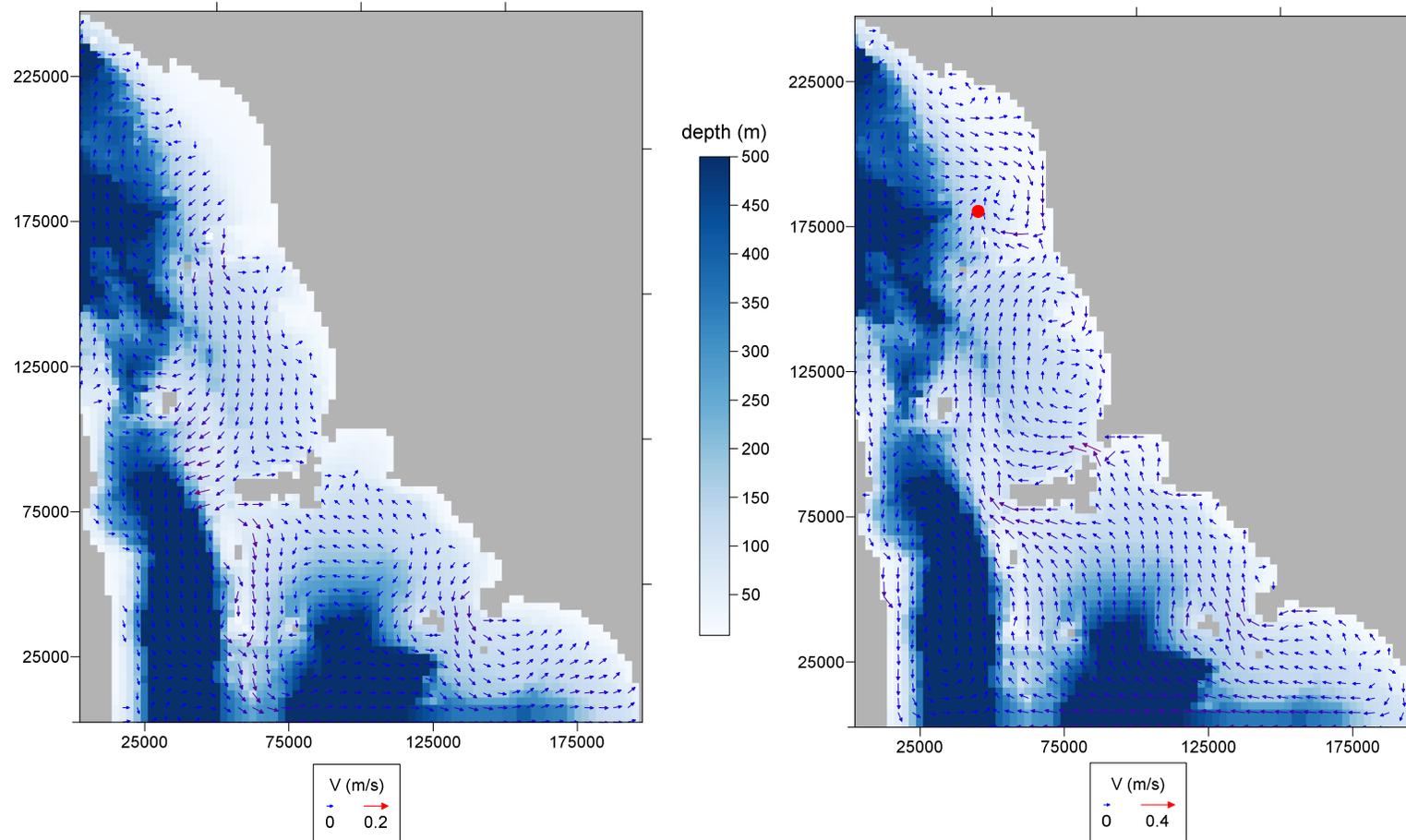


Figura 2.8: Esempio di Circolazione nello Strato Superficiale (Destra) e nello Strato Profondo (Sinistra) con Vento da 60°N (Simulata con Modello Idrodinamico)

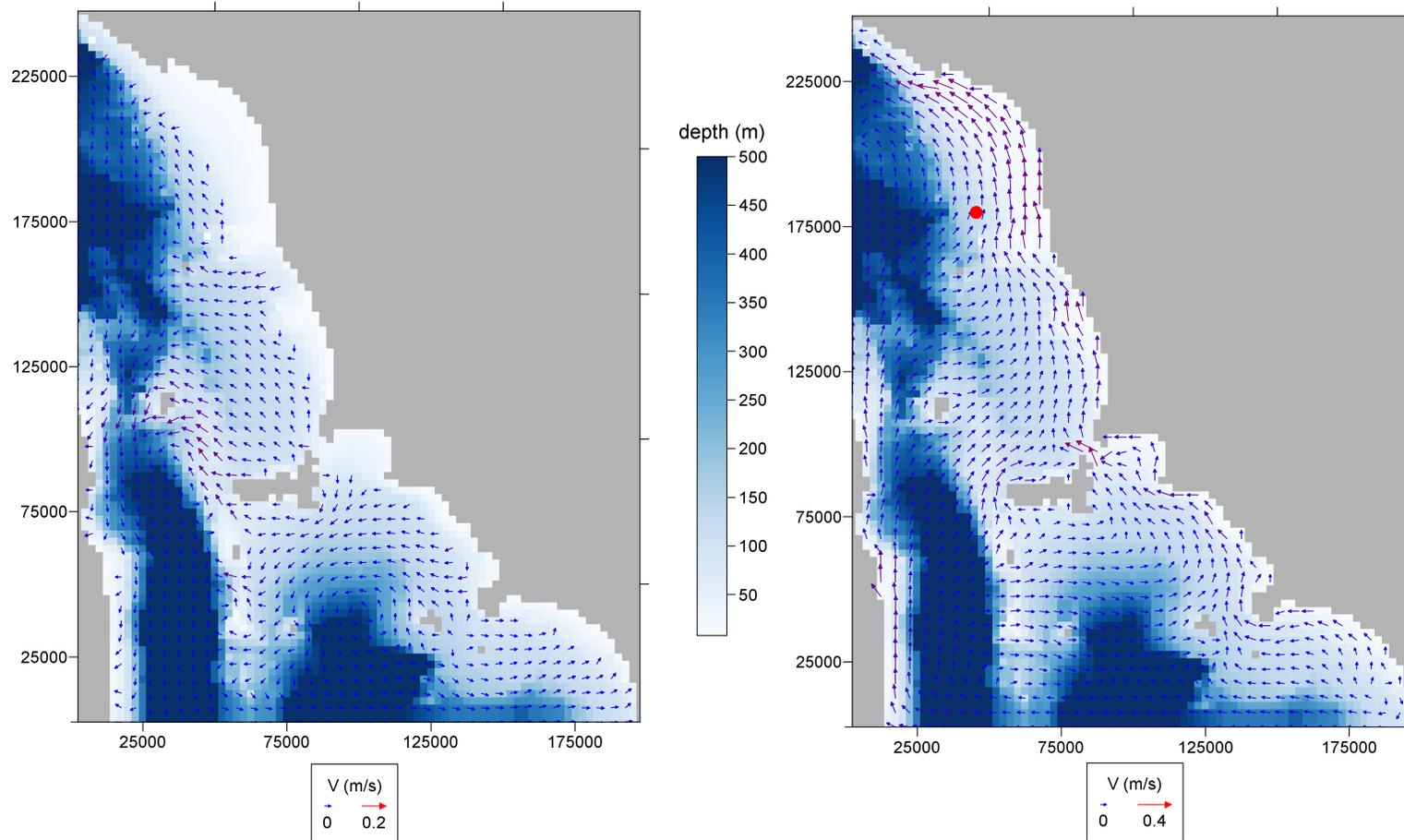


Figura 2.9: Esempio di Circolazione nello Strato Superficiale (Destra) e nello Strato Profondo (Sinistra) con Vento da 150°N (Simulata con Modello Idrodinamico)

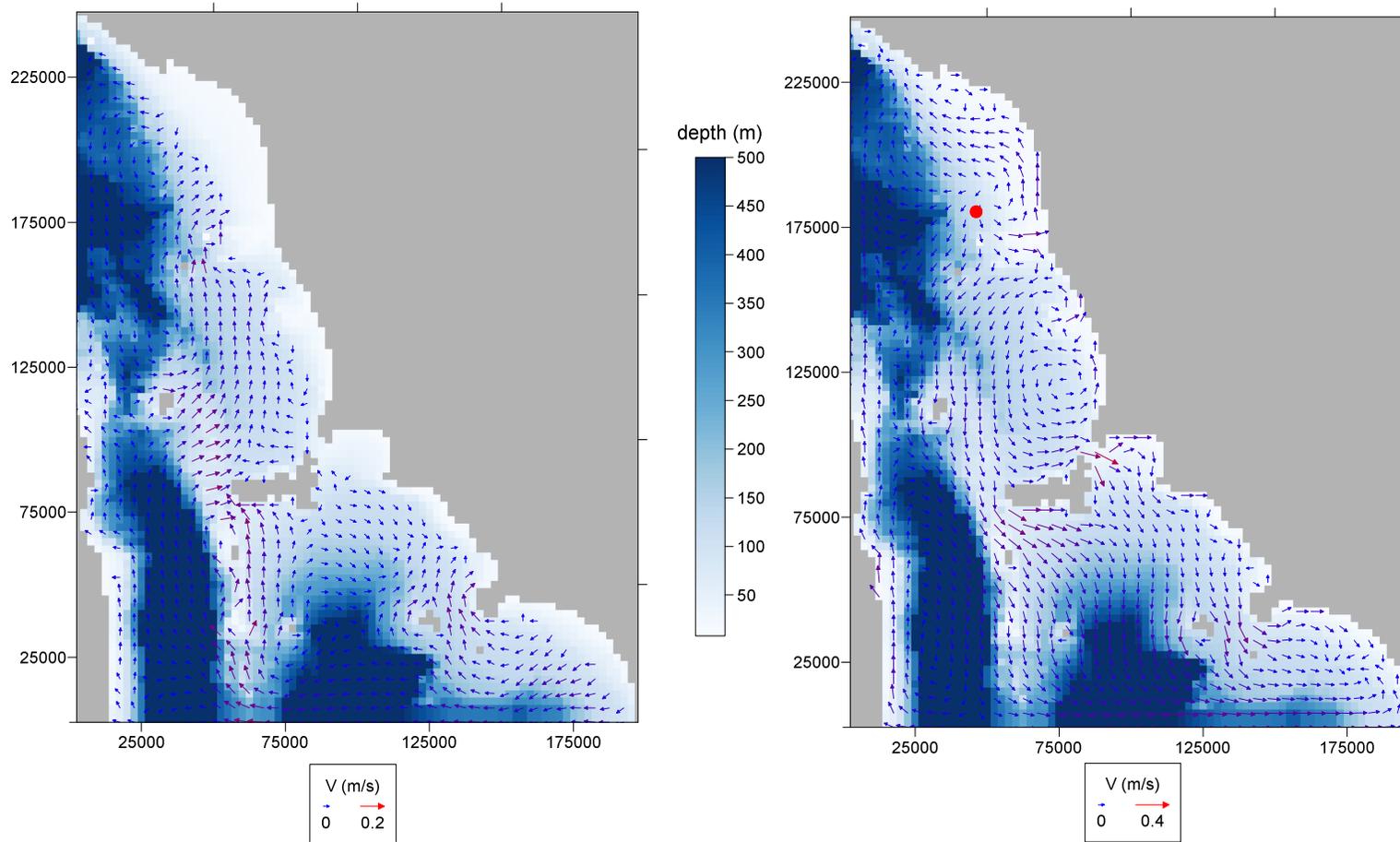


Figura 2.10: Esempio di Circolazione nello Strato Superficiale (Destra) e nello Strato Profondo (Sinistra) con Vento da 240°N (Simulata con Modello Idrodinamico)

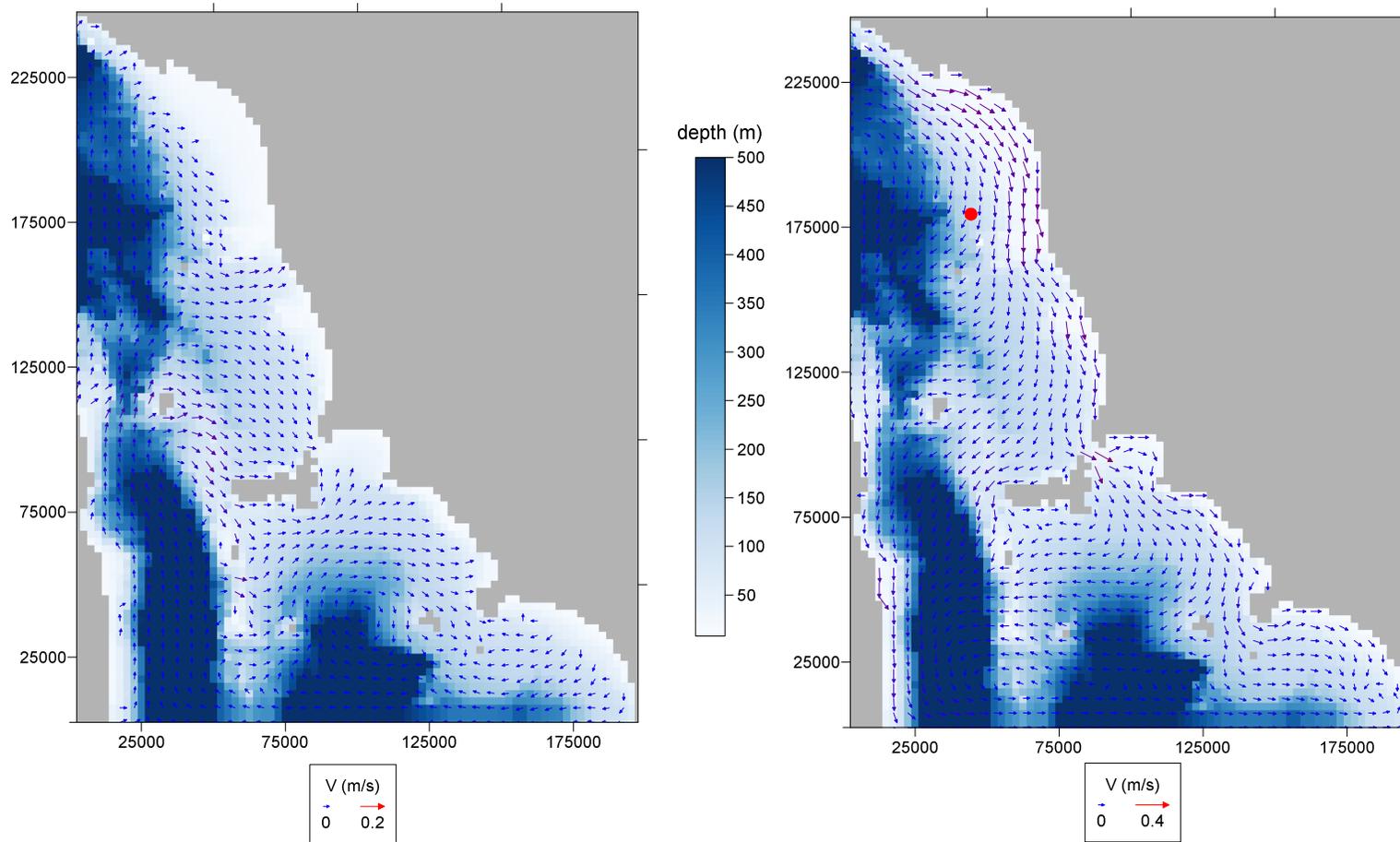


Figura 2.11: Esempio di Circolazione nello Strato Superficiale (Destra) e nello Strato Profondo (Sinistra) con Vento da 330°N (Simulata con Modello Idrodinamico)

3 CARATTERISTICHE DELLA CIRCOLAZIONE LOCALE (PUNTO OLT)

Nel seguito vengono riportate le caratteristiche principali della circolazione tipicamente presente nella zona di ubicazione del terminale e nelle aree circostanti. Poiché il campo idrodinamico è ovviamente influenzato dalla batimetria, si ritiene opportuno presentarne sinteticamente le caratteristiche.

3.1 BATIMETRIA

L'andamento generale delle isobate è mostrato nella Figura 3.1.

La piattaforma continentale, molto stretta lungo la costa ligure, si allarga nei pressi di La Spezia per formare una terrazza costiera che, nei pressi di Capraia, è larga più di 60 Km.

Nelle aree a SE del punto OLT, sono presenti le "Secche di Vada" e le "Secche della Meloria", che hanno un ruolo significativo sull'andamento della circolazione costiera.

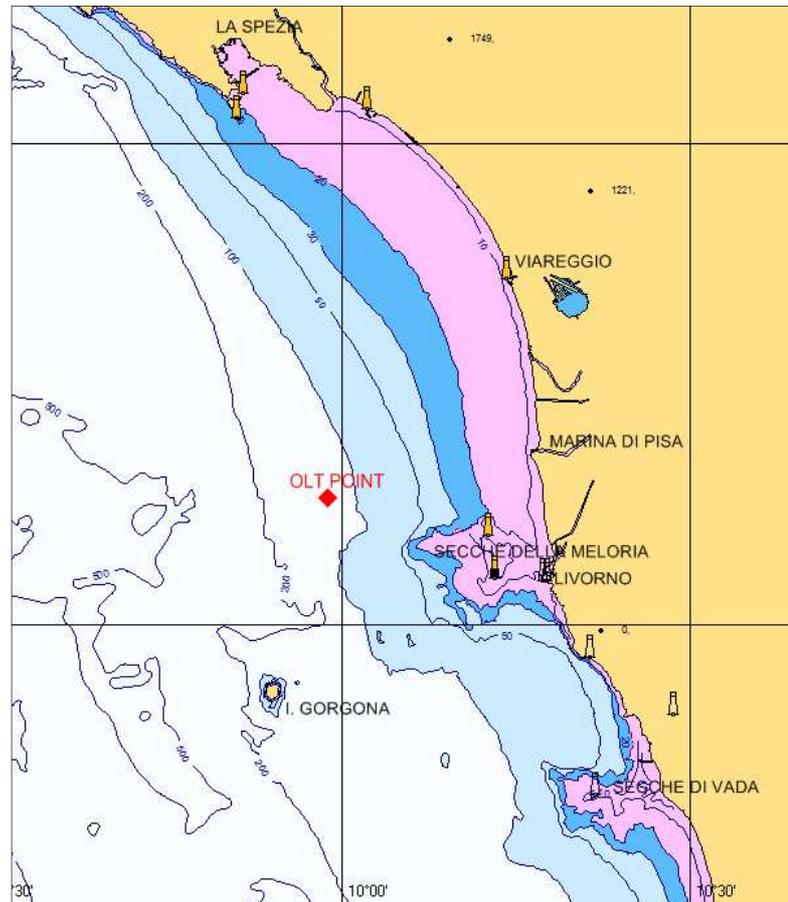


Figura 3.1: Batimetria Generale Dell'area

3.2 VENTI TIPICI

Poichè la circolazione, soprattutto per quanto concerne quella dello strato superficiale è per gran parte indotta dal vento, come discusso nel cap. 2, si ritiene opportuno riportare la rosa dei venti (Figura 3.2) e la distribuzione della velocità del vento (Tabella 3.1): si noti che i venti provengono principalmente da 60°N e 240°N.

In particolare, a causa dell'ubicazione del punto OLT rispetto alla valle dell'Arno, la prevalenza del vento (circa 20%) è focalizzata sui settori 60°N-90°N, anche se per valori di velocità del vento maggiori di 10 m/s la direzione prevalente è la 240°N.

In Tabella 3.2 viene riportata la persistenza del vento sopra valori di velocità di 4, 6, 8...20 m/s: le varie caselle rappresentano il numero di eventi caratterizzati da una durata, espressa in ore, minore o uguale alle soglie temporali indicate. Viene inoltre presentata la durata media.

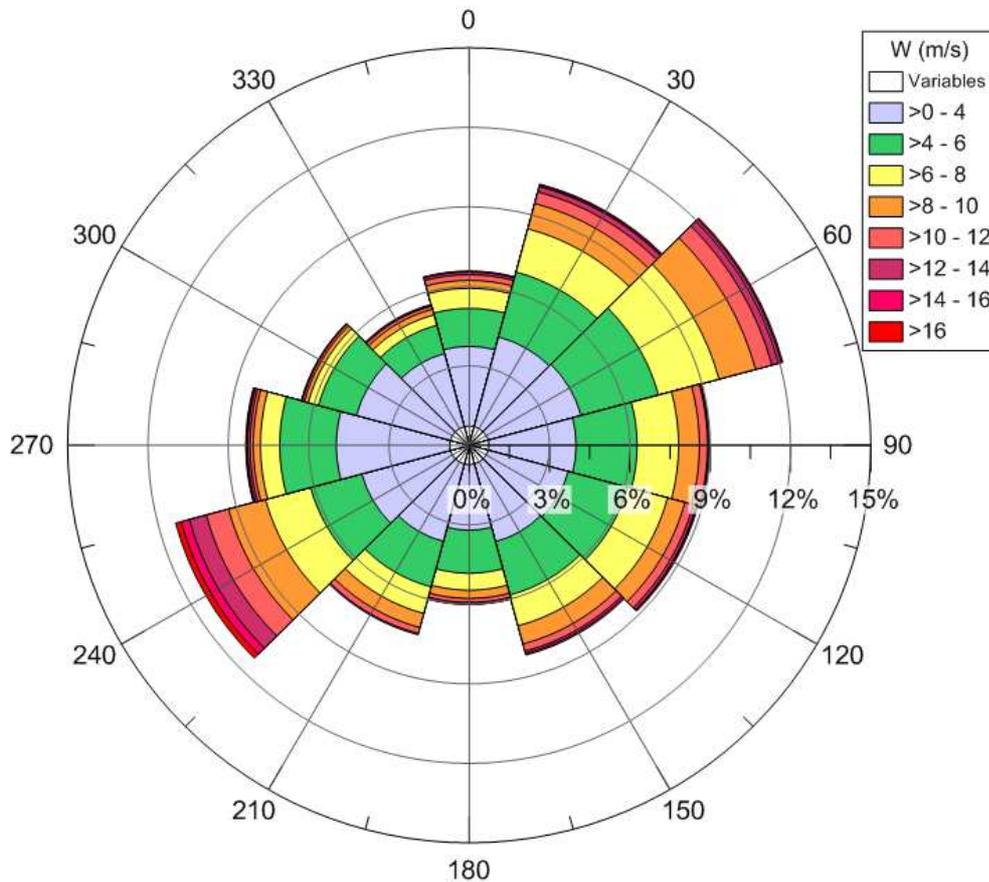


Figura 3.2: Rosa Dei Venti Nel Punto Olt

Tabella 3.1: Distribuzione della Velocità del Vento per Direzione di Provenienza nel Punto OLT

Dir (°N)	W (m/s)														N. variabile	N. eventi	%	% CUM	
	2.0	4.0	6.0	8.0	10.0	12.0	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	26.0	28.0					
0	195	465	313	167	66	46	23	4	5	1	1						1286	5.87	5.87
30	197	569	555	371	216	98	46	11	5	4							2072	9.46	15.32
60	191	596	655	514	308	138	57	22	10	1		2					2494	11.38	26.71
90	215	499	498	339	172	66	6	4	3								1802	8.22	34.93
120	160	519	502	339	146	71	24	8	4	2							1775	8.10	43.03
150	170	493	457	263	155	62	20	13	1								1634	7.46	50.49
180	151	391	356	140	69	33	15	1	2								1158	5.28	55.77
210	169	494	387	231	120	50	12										1463	6.68	62.45
240	203	545	434	381	314	188	142	70	35	11	1						2324	10.61	73.06
270	209	718	464	158	59	26	20	8	5	2							1669	7.62	80.67
300	215	580	321	87	32	17	6	3	1		1						1263	5.76	86.44
330	211	415	244	88	48	27	6	4	2								1045	4.77	91.21
N. variabile															1927	1927	8.79	100.00	
N. eventi	2286	6284	5186	3078	1705	822	377	148	73	21	3	2					1927		21912
%	10.43	28.68	23.67	14.05	7.78	3.75	1.72	0.68	0.33	0.10	0.01	0.01					8.79		
% CUM	10.43	39.11	62.78	76.83	84.61	88.36	90.08	90.75	91.09	91.18	91.20	91.21	91.21	91.21	91.21	91.21	100.00		

Tabella 3.2: Persistenza del Vento Sopra Vari Valori di Velocità: Numero di Eventi Caratterizzati da Durate (Ore) Minori o Uguali a Varie Soglie Temporalì e Durate Medie

SOGLIE W > (m/s)	DURATA MEDIA (ore)	DURATA MINORE O UGUALE A (ore)																					
		6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120	126	132
4.0	25.9	2648	1690	1225	952	786	656	519	427	358	301	254	222	193	166	145	124	105	98	79	68	57	51
6.0	20.9	1790	1112	789	578	443	329	247	192	145	114	91	67	56	44	38	27	23	21	15	13	11	10
8.0	17.0	1113	642	416	284	204	139	106	74	59	31	22	16	13	9	8	3	3	2	2	2	1	1
10.0	14.1	617	324	192	110	70	48	37	20	9	6	3	3	2	1	1	1	1	1				
12.0	11.9	314	138	73	42	23	11	10	5	3	2	1	1	1									
14.0	10.5	141	56	34	11	4	1																
16.0	8.4	71	20	5	2	1																	
18.0	7.8	20	6																				
20.0	7.5	4	1																				

3.3 CIRCOLAZIONE LOCALE

Le caratteristiche tipiche dell'area di ubicazione del terminale OLT sono ovviamente dipendenti dallo scambio di masse d'acqua tra Ligure e Tirreno, ma, essendo la costa toscana a soli 20 Km di distanza, sono anche pesantemente influenzate dalla circolazione costiera, oltre che dalle caratteristiche batimetriche.

Il regime delle correnti nella fascia costiera è infatti determinato da forze esterne di varia natura (mareali, meteorologiche, densimetriche, ecc.) oltre che dalle oscillazioni libere del bacino e dalla propagazione di effetti perturbativi generati in aree lontane ("far field") dalla zona in esame [rif. 7].

Inoltre, nei mari costieri, le scale orizzontali sono molto inferiori a quelle del mare aperto e la presenza della costa rappresenta un ostacolo alla propagazione delle masse d'acqua. Le scale verticali sono differenti, essendo le profondità coinvolte dell'ordine dei 100-200 m, con la conseguenza che gli effetti superficiali si estendono a tutta la colonna d'acqua o ad una notevole frazione della stessa.

L'influenza della marea può essere considerata sempre presente nella fascia costiera, anche se solo in casi particolari essa diviene l'elemento dominante della circolazione (lagune, estuari, etc.). L'onda di marea, di ampiezza trascurabile ai bordi della piattaforma continentale, acquista maggiore rilevanza procedendo verso costa a causa del fenomeno di "shoaling". Per effetto della rotazione terrestre essa procede lungo la fascia costiera in senso antiorario (nell'emisfero nord), dando luogo a correnti oscillanti dirette prevalentemente lungo le isobate. In presenza di un picnoclino, l'interazione tra la marea superficiale, la topografia del fondo e la stratificazione di densità, determina maree barocliniche che possono fornire un contributo significativo alla circolazione.

Altre correnti a carattere periodico, oltre a quelle di marea, possono interessare la fascia litoranea: più significativa, ai fini della circolazione costiera, risulta la propagazione di perturbazioni del livello della superficie libera o del picnoclino, determinate, ad esempio, dall'effetto della disomogeneità del campo di vento ("onde di Kelvin" barotropiche o barocliniche). Tali perturbazioni propagano lungo la costa rimanendo confinate lungo una fascia delle dimensioni del "raggio di deformazione di Rossby", il quale risulta direttamente proporzionale alla velocità di propagazione della perturbazione ed inversamente proporzionale alla frequenza inerziale.

Senza entrare nei dettagli della teoria, si sottolinea che è di gran lunga più importante, ai fini della circolazione costiera, l'effetto meteorologico. Esso si esplica sia mediante lo scambio diretto di quantità di moto dall'aria all'acqua per effetto dello "stress" del vento, sia attraverso la modificazione delle acque costiere, conseguenti allo scambio di calore e di massa attraverso la superficie del mare ed alle variazioni degli apporti fluviali.

L'azione diretta del vento è comunque il fenomeno più rilevante. Nel caso di coste rettilinee o ad esse assimilabili, per le quali possono essere trascurate le variazioni longitudinali alla costa, la relazione tra vento e corrente può essere analizzata mediante uno schema semplificato monodimensionale, anche se il processo fisico è chiaramente tridimensionale.

In tali casi la costa tende ad ostacolare i moti trasversali, mentre permette il libero sviluppo delle correnti longitudinali, la cui intensità risulta proporzionale alla componente longitudinale dell'impulso dello stress del vento.

Un ulteriore elemento che concorre a determinare la circolazione costiera, anche se in modo molto meno rilevante dell'azione del vento, è la presenza di gradienti di densità.

Gli apporti fluviali determinano dei gradienti orizzontali di densità, per lo più localizzati in prossimità delle foci dei fiumi, che danno origine a gradienti di pressione che possono influire sulla circolazione locale.

Prendendo a riferimento misure eseguite nel passato da DEAM in prossimità delle secche di Vada, in 25 m d'acqua (serie temporali-3, -5, -7, -9, -11, -13, -15, -17, -19 m), per due stagioni (Maggio-Luglio 1998 e Febbraio-Maggio 1999) si evidenziano tre aspetti importanti:

- il campo di corrente è essenzialmente dovuto al vento;
- la corrente permanente, o “stazionaria”, fluisce verso 330-340°N, cioè secondo l'orientazione delle isobate;
- la corrente di marea è molto modesta, così come quella dovuta alle variazioni di livello causate dai gradienti barici locali.

Nel seguito vengono presentate e discusse le correlazioni, desunte appunto da tali dati, tra la corrente e i termini forzanti principali (vento, marea e livello, gradienti barici, etc.): a tal fine sono state effettuate sulla serie temporale di corrente le opportune elaborazioni, in particolare l'analisi spettrale, il filtraggio in frequenza e l'analisi armonica. L'analisi spettrale ha permesso di definire le periodicità tipiche. Il filtraggio in frequenza di separare la parte periodica (marea ed eventuali sesse) dalla parte aperiodica, dovuta ad altre cause, l'analisi armonica di definire le componenti di marea. La frequenza di taglio del filtro passa-basso è stata scelta di 0.0333 ore⁻¹, cioè 30 ore, come comunemente usato in oceanografia.

3.3.1 Corrente da Vento

La Figura 3.3 (grafico superiore) mostra un esempio della forte correlazione esistente tra componente longitudinale alla costa del vento (linea blu) e componente longitudinale della corrente (linea rossa): si noti come la corrente (l'esempio è riferito allo strato superficiale) risponda con leggero ritardo alle variazioni dell'intensità del vento in modo quasi perfetto.

La componente trasversale alla costa (grafico inferiore), in genere inferiore ai 10 cm/s, non presenta la stessa correlazione con il vento, ad eccezione del periodo estivo, dove esiste una correlazione tra vento di brezza e corrente.

Senza entrare nei dettagli delle numerose analisi effettuate, si può concludere che la corrente nel lungo termine si esplica principalmente in direzione parallela alla costa, è essenzialmente dovuta allo stress del vento parallelo alla costa e questo vale, in condizioni barotropiche per tutta la colonna d'acqua.

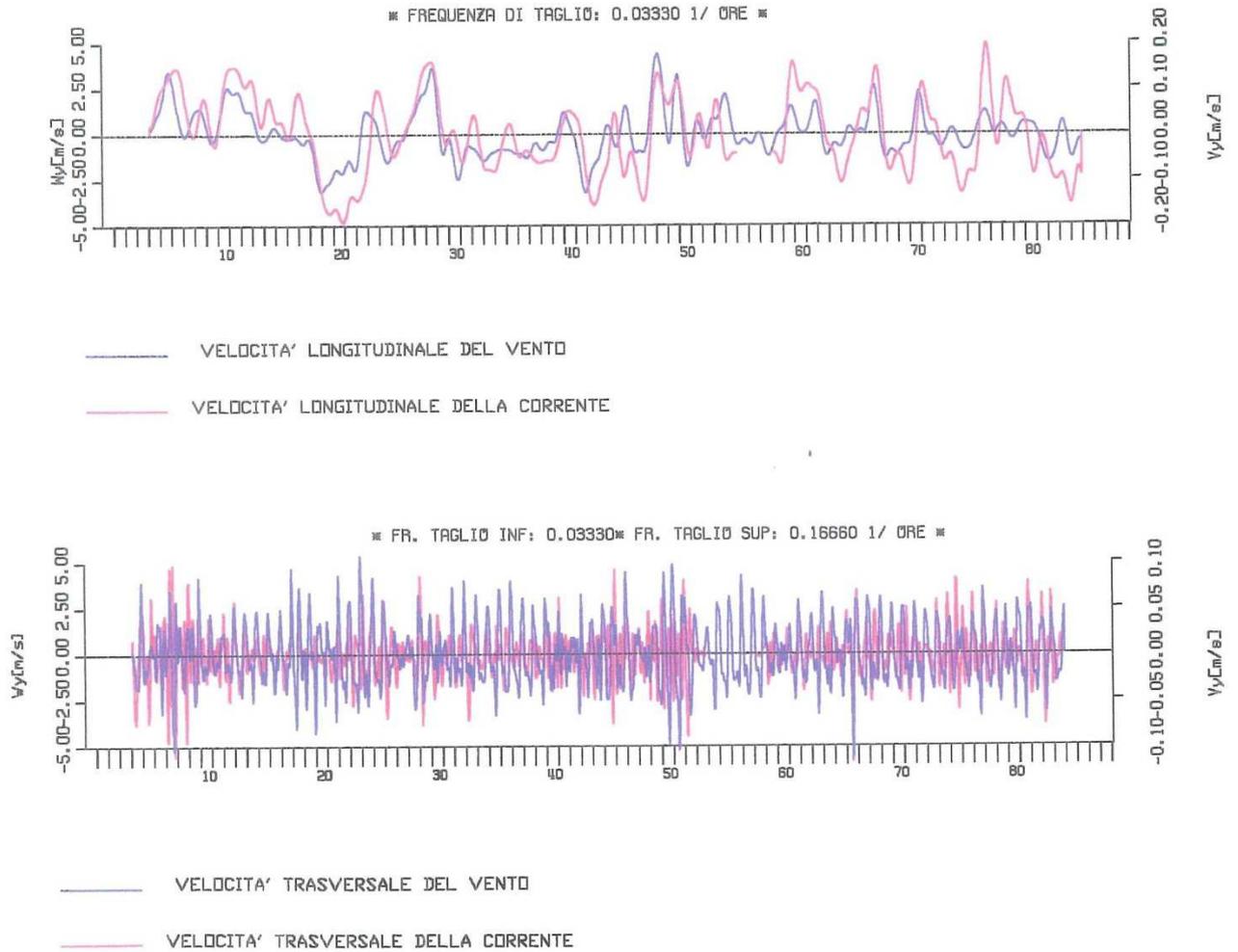


Figura 3.3: Esempio Di Correlazione Tra Le Componenti Longitudinali e Trasversali di Vento e Corrente Nell'area Di Interesse

3.3.2 Corrente di Marea

Per quanto riguarda la corrente indotta dalla marea, a causa della scarsa escursione dell'oscillazione di marea nel bacino ligure-tirrenico e della sua fase poco variabile spazialmente, essa è quasi trascurabile. Solamente in fase di sizigie essa raggiunge valori massimi di 2-4 cm/s, come evidenzia l'ellisse di marea derivata dall'elaborazione dei dati sopracitati (Figura 3.4) , praticamente costante su tutta la colonna d'acqua.

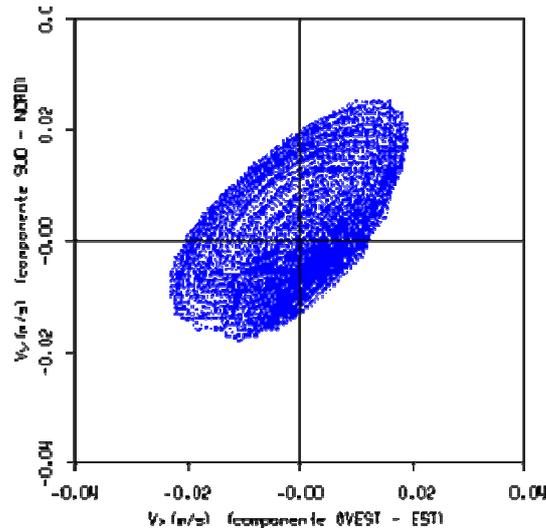


Figura 3.4: Esempio di Ellisse Di Marea Nell'area Di Interesse

3.3.3 Corrente Stazionaria

Per semplicità di trattazione, possiamo considerare la corrente periodica come una corrente che ha un ciclo temporale ben definito, dell'ordine delle ore, quella da vento che ha un intervallo meno definibile, ma comunque tipicamente di giorni, quella generale del Mediterraneo che varia nelle stagioni, negli anni o addirittura, come quella più profonda, nei decenni.

Per questo motivo la componente a lungo termine dovuta alla circolazione generale del Mediterraneo è spesso definita "permanente" oppure "corrente stazionaria".

Filtrando opportunamente i dati disponibili, è stato così calcolato nel tempo il valore medio di tale a tutte le quote di misura: i risultati evidenziavano valori molto simili a tutte le quote. Mediando poi sulla verticale si è ottenuto un valore di 4.9 cm/s per la componente sud-nord e di - 1.6 cm/s per la componente ovest-est. Il modulo è quindi di 5.2 cm/s e la direzione di propagazione intorno ai 340°N, cioè il flusso è diretto praticamente come le isobate.

La deviazione standard associata è dell'ordine dei 2-3 cm/s, il che significa che il range di variazione tipico è mediamente compreso tra i 5 e i 10 cm/s, che sono appunto quelli tipici della circolazione mediterranea lungo la costa toscana e ligure evidenziati nella letteratura di settore.

3.3.4 Corrente ad Alta Frequenza

Per completezza d'informazione, attraverso il filtraggio in frequenza si sono esaminate anche le correnti ad alta frequenza, cioè le correnti che hanno un ciclo temporale di poche

ore (inferiori a 6 ore nell'analisi effettuata) o di minuti e che sono dovute a fenomeni locali rapidamente variabili, alla turbolenza, a sesse di breve durata innescate dal particolare bacino ove si eseguono le misure, etc.

I valori tipici di tale componenti sono risultati tipicamente nel range 2-3 cm/s e non si sono individuate periodicità di breve durata.

3.4 REGIME TIPICO NEL PUNTO OLT

3.4.1 Introduzione

Le misure sopra descritte si riferiscono ad un'area piuttosto vicina alla costa e a una profondità di 25 m. Nel punto OLT, che dista dalla costa circa 22 Km ed è caratterizzato da profondità dell'ordine dei 120 m, il campo di corrente ha le stesse caratteristiche generali, ma risente in maniera meno accentuata dell'attrito dovuto al fondale e della presenza della costa. E' quindi maggiormente interessato dalla circolazione generale e risente in modo maggiore degli effetti perturbativi generati in aree lontane, quali ad esempio il Golfo del Leone, mentre risente probabilmente meno del vento locale.

3.4.2 Modello Idrodinamico e Correlazione delle Correnti Secondo i Fattori Forzanti

Durante la fase di progettazione del terminale era stato definito da DEAM il regime tipico nel punto OLT mediante un modello idrodinamico 3D [rif. 2-3]: erano stati ricostruiti 15 anni di dati relativi all'intervallo temporale 1/7/1992 -30/6/2007. Le serie temporali, ottenute per le varie profondità di interesse, erano state attentamente analizzate per definire le correnti tipiche nel punto OLT. Per completezza d'informazione nel seguito si riportano le caratteristiche principali dei risultati ottenuti.

Si sottolinea che il modello, già usato e calibrato in numerose aree del Mediterraneo sia per fini operativi che a scopi di ricerca, aveva subito un processo di verifica e di calibrazione anche relativamente al Mar Ligure, in particolare sulla base delle misure descritte nel cap. 3.3 e di altre misure disponibili nell'area genovese. I dettagli del modello e della calibrazione sono riportati nell'Appendice B.

Il modello idrodinamico è lo strumento principe per l'analisi della corrente in quanto costituisce un valido aiuto alla comprensione della fenomenologia che, dipendendo, oltre che dai termini forzanti meteo-marini, dalla morfologia delle differenti aree del bacino, può variare da luogo a luogo in maniera anche consistente. Inoltre permette di interpolare i dati di corrente tra punti di misura, ricostruendo i dettagli della circolazione sulla base delle caratteristiche batimetriche, e di estrapolare i dati a zone caratterizzate da assenza di misure, estendendo in tal modo le caratteristiche del campo idrodinamico anche a vaste aree. E' del tutto ovvio che l'affidabilità dei risultati derivanti dalle simulazioni è funzione dell'attendibilità delle calibrazioni effettuate, riportate nell'Appendice B.

Nella Figura 3.5 è mostrata la rosa delle correnti superficiali, mentre nella Tabella 3.3 viene presentata la distribuzione percentuale della velocità di corrente superficiale per direzione di propagazione. I settori principali sono il SE, con il flusso diretto verso 120°N (circa l'11% degli eventi) e 150°N (circa il 15%) e il S, caratterizzato dal 13% di eventi verso 180°N e dal 9% verso 210°N.

La corrente è caratterizzata da velocità inferiori o uguali a 0.2 m/s nell'82% degli eventi e nel 96 % da velocità inferiori o uguali a 0.3 m/s; la massima corrente assume valori di 0.6 m/s.

Analogamente, nella Figura 3.6 e nella Tabella 3.4 vengono presentate rispettivamente la rosa delle correnti in prossimità del fondo e la distribuzione della velocità per direzione di

propagazione. In questo caso l'andamento direzionale è sostanzialmente differente: il flusso è diretto verso NO nel 42% dei casi e verso N in circa il 15%. La direzione SE (120° e 150°N) si verifica solamente nel 19% degli eventi.

Per quanto concerne la velocità, i valori massimi sono dell'ordine di 0.25 m/s, mentre l'80% degli eventi presenta valori inferiori o uguali a 0.10 m/s.

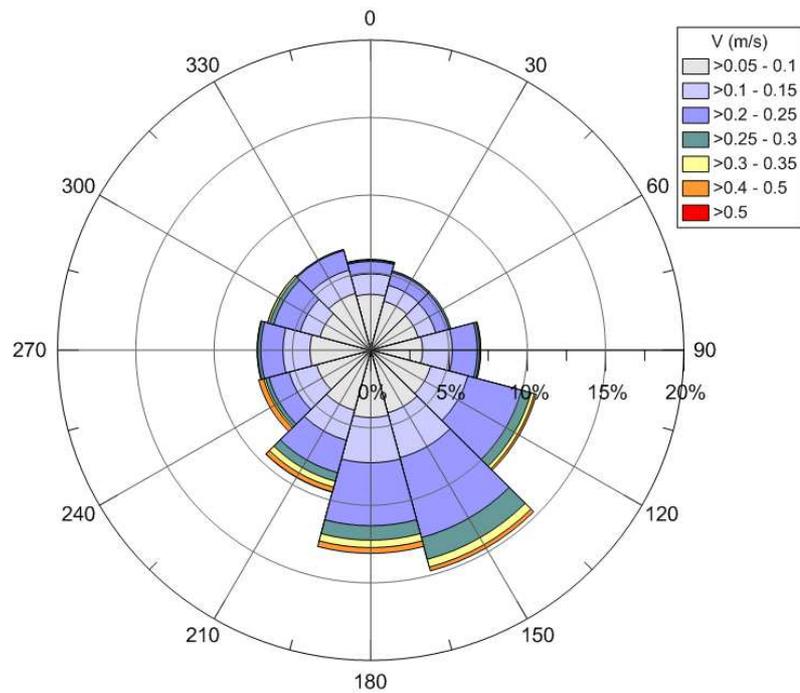


Figura 3.5: Rosa delle Correnti Superficiali nel Punto OLT

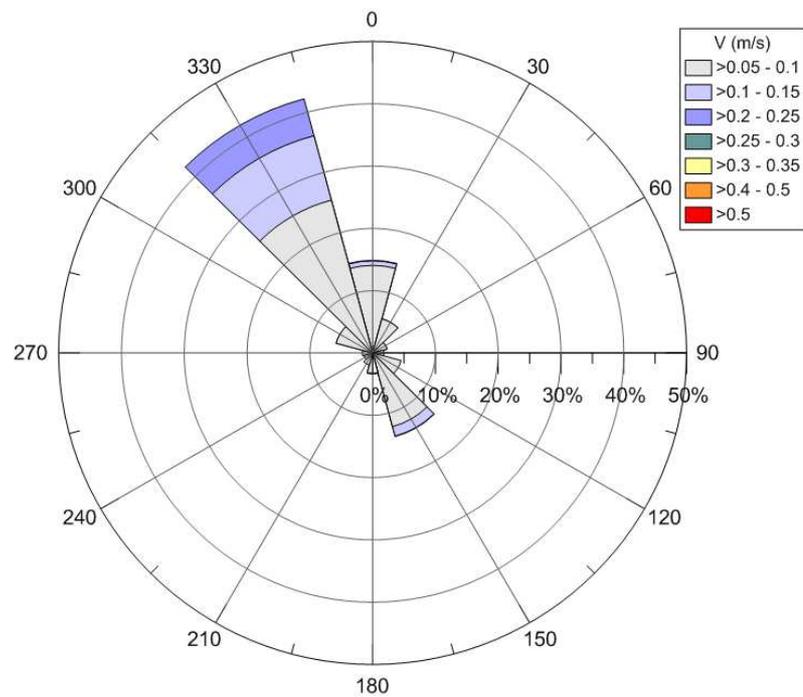


Figura 3.6: Rosa delle Correnti nello Strato di Fondo nel Punto OLT

Tabella 3.3: Distribuzione della Velocità della Corrente Superficiale per Direzione di Propagazione nel Punto OLT

Dir (°N)	V (m/s)																TOTALE
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	
0	1.46	2.15	1.32	0.62	0.18	0.08	0.02	0.02	0.02								5.87
30	1.42	1.85	1.07	0.62	0.25	0.10	0.01	0.00		0.00							5.32
60	1.33	1.81	1.17	0.60	0.28	0.12	0.00	0.00									5.32
90	1.40	1.91	1.90	1.11	0.48	0.15	0.06	0.02	0.00	0.00							7.03
120	1.44	2.52	2.46	2.07	1.47	0.63	0.23	0.10	0.03	0.00							10.96
150	1.35	2.83	2.99	2.95	2.38	1.45	0.52	0.19	0.05	0.01	0.00						14.73
180	1.56	2.78	2.91	2.26	1.79	0.93	0.47	0.25	0.09	0.03	0.00						13.07
210	1.61	2.40	2.00	1.28	0.88	0.57	0.40	0.22	0.06	0.03	0.01	0.01					9.47
240	1.50	2.09	1.82	0.88	0.45	0.23	0.12	0.19	0.07	0.07	0.00	0.00					7.43
270	1.59	2.28	1.73	0.97	0.43	0.19	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00						7.25
300	1.53	1.82	1.31	1.15	0.60	0.26	0.13	0.02	0.00								6.82
330	1.61	2.18	1.56	0.97	0.33	0.05	0.03	0.00									6.73
TOTALE	17.80	26.62	22.24	15.48	9.52	4.76	2.02	1.04	0.34	0.15	0.02	0.01					100.00

Tabella 3.4: Distribuzione della Velocità della Corrente in Prossimità del Fondo per Direzione di Propagazione nel Punto OLT

Dir (°N)	V (m/s)																
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	TOTALE
0	8.31	5.75	0.73	0.07													14.86
30	4.10	1.57	0.02														5.69
60	2.34	0.06															2.40
90	1.78	0.02															1.80
120	3.78	0.91															4.69
150	4.97	7.28	1.57	0.06	0.01												13.89
180	2.74	0.55	0.04	0.01													3.34
210	1.99	0.01															2.00
240	1.42	0.02															1.44
270	1.65	0.01															1.66
300	4.41	1.60	0.01														6.02
330	7.23	18.17	10.69	6.01	0.11												42.21
TOTALE	44.72	35.95	13.06	6.15	0.12												100.00

4 VALIDAZIONE E PRESENTAZIONE DEI DATI

4.1 INTRODUZIONE

Le misure di corrente sono state eseguite con il profilatore di corrente Sontek ADCP (Acoustic Doppler Profiler) a 250 kHz (per profondità d'acqua fino a 180 m) dotato di 3 trasduttori acustici. Lo strumento è dotato anche di sensore per la temperatura (i cui dati servono per compensare automaticamente le variazioni di velocità del suono) e di "Bottom tracking" per l'utilizzo da natante in moto.

Le misure di salinità, temperatura e densità sono state effettuate mediante la sonda (CDT) Sontek CastAway.

Strumenti utilizzati, metodologia di acquisizione e restituzione dei dati seguono quanto richiesto nel Piano di Monitoraggio.

I dettagli della strumentazione, la fase di collaudo, la metodologia di acquisizione sono descritte nell'Appendice A, alla quale si rimanda per i dettagli.

Le date di indagine sono:

- 15 GIUGNO 2012
- 27 GIUGNO 2012
- 20 LUGLIO 2012
- 3 AGOSTO 2012
- 10 AGOSTO 2012
- 5 OTTOBRE 2012
- 12 OTTOBRE 2012

Tali date sono state scelte sulla base delle previsioni dello stato del mare, individuando i giorni in cui era previsto mare piatto oppure, ove non esistesse tale situazione, mare caratterizzato da onde significative inferiori a 0.5 m. Tale scelta è dovuta al fatto che, in caso di onde che inducano un eccessivo rollio dell'imbarcazione, il rapporto segnale/rumore sarebbe tale da inficiare la qualità dei dati rilevati.

4.2 VALIDAZIONE

Sono stati eseguiti profili ADCP in continuo lungo i transetti longitudinali alla costa L1, L2, L3 e trasversali alla costa T1, T2 e T3, così come richiesto nel Piano di Monitoraggio (Figura 4.1).

Come descritto nell'Appendice A, la qualità del dato rilevato da natante in moto è stata decisamente scarsa e il rapporto segnale/rumore R, che definisce la validità o meno del dato, assumeva spesso valori inferiori a 3, del tutto inaccettabili secondo il manuale dello strumento.

Va infatti sottolineato che la qualità di un profilo eseguito da un'imbarcazione in moto è di gran lunga inferiore rispetto ad un profilo eseguito da un natante fermo o alla deriva perché, pur procedendo a bassa velocità e pur campionando ad alta frequenza, per ogni cella il segnale riflesso dal particolato trasportato dalla corrente marina è di gran lunga inferiore a quella ottenibile da un ADCP immobile o quasi immobile, nonostante l'adozione dell'opzione "bottom tracking".

Si è allora preferito, nel corso delle varie date di indagine, effettuare misure puntuali in posizioni selezionate, in modo da ottenere un “grigliato” regolare intorno al sito di installazione del terminale OLT. I punti sono mostrati in Figura 4.2 e elencati in Tabella 4.1.

L’analisi dei dati misurati in questi punti, con natante alla deriva e motore spento, ha evidenziato rapporti segnale-rumore molto elevati ($R \gg 30$) e il “bottom tracking”, considerata la bassa velocità di deriva dell’imbarcazione, non ha avuto alcuna difficoltà a depurare il segnale dal moto dell’imbarcazione.

Per ciascun punto sono quindi disponibili profili di temperatura, salinità, densità rilevati dal CTD, e velocità e direzione della corrente rilevate dal profilatore ADCP.

Ciascuno di questi profili è stato analizzato, graficato e opportunamente validato allo scopo di correggere i dati (ove possibile) e di epurare il database dai dati oggettivamente errati.

Per questo è stata necessaria una ordinata catalogazione dei singoli profili, una visualizzazione preliminare finalizzata ad interpretare eventuali incongruenze, e infine le operazioni di recupero e/o scarto dei dati dubbi di ogni singolo profilo.

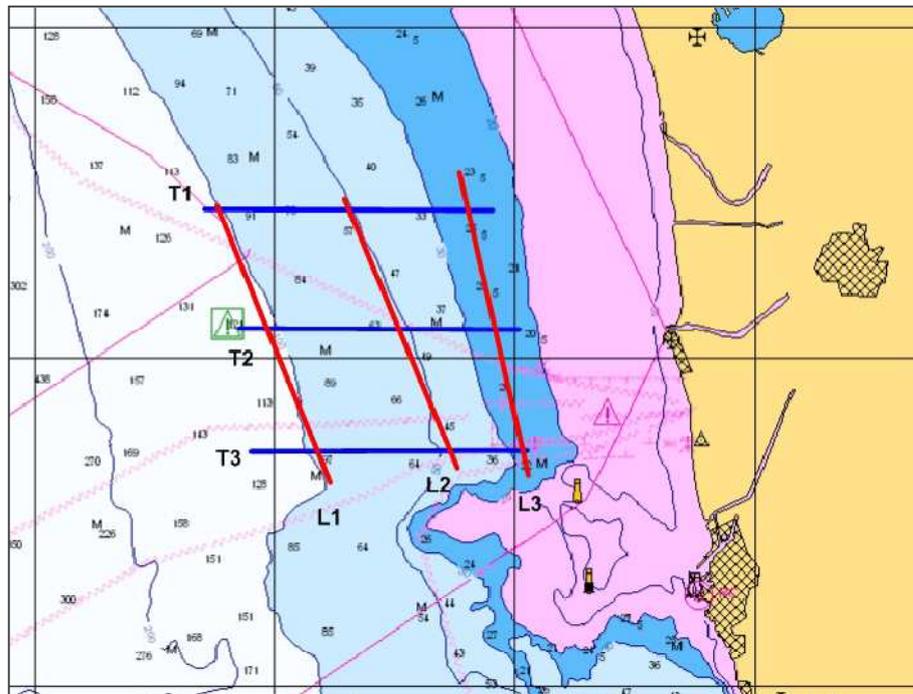


Figura 4.1: Posizione dei Transetti L1, L2, L3, T1, T2 e T3

Tabella 4.1: Punti di Campionamento

ID	Latitudine [°N]	Longitudine [°E]	Profondità media [m]	ID	Latitudine [°N]	Longitudine [°E]	Profondità media [m]
A	43.73	9.96	100	I	43.61	10.02	100
B	43.73	10.05	50	L	43.61	10.11	53
C	43.73	10.14	24	M	43.61	10.17	28
D	43.68	9.92	130	N	43.64	9.91	145
E	43.68	9.99	100	O	43.64	9.98	112
F	43.68	10.08	50	P	43.64	9.94	140
G	43.68	10.16	20	Q	43.64	10.00	104
H	43.61	9.95	140	S	43.62	9.92	147



Figura 4.2: Posizione dei Punti di Campionamento

4.3 PRESENTAZIONE DEI DATI

I dati validati sono presentati in una serie di figure contenenti il singolo profilo rilevato nei vari punti citati e in altre contenenti l'andamento spaziale della corrente, componenti V_x (cioè verso Est) e V_y (verso nord).

Nelle Figure 4.3 – 4.10 sono riportati graficamente, a titolo di esempio, alcuni singoli profili di corrente (velocità e direzione di propagazione) misurati: i valori si riferiscono alla media su 10 minuti, come richiesto nel Piano di Monitoraggio e come tradizionalmente richiesto nelle normative relative all'ingegneria offshore.

Analogamente, nelle Figure 4.11- 4.13 si riportano alcuni esempi di profili di temperatura, salinità e densità (calcolata dai valori di temperatura e salinità).

Essendo valori medi sui 10', la variabilità temporale della corrente può essere in alcuni casi notevole: si è quindi ritenuto opportuno calcolare, in corrispondenza di ciascun punto di misura, un profilo medio di ciascun parametro sulla base di tutti i profili rilevati nel punto nello stesso mese: in tal modo si ottiene un "profilo caratteristico" del punto e, essendoci due serie di misure/mese (ad eccezione di luglio), può anche essere considerato rappresentativo del mese di indagine.

Nelle Figure 4.14 – 4.22 sono riportati i profili caratteristici per alcuni dei punti indagati. Il grafico riporta rispettivamente i valori di velocità della corrente, direzione di propagazione, temperatura e salinità medie mensili lungo la verticale.

Infine, attraverso l'interpolazione 3D delle misure effettuate nei punti fissi, è stato definito l'andamento dei parametri lungo i transetti trasversali (T1, T2, T3) e longitudinali (L1, L2, L3). Come già sottolineato in precedenza la qualità del dato misurato lungo i transetti con natante in moto non era infatti accettabile, come evidenziava il rapporto segnale/rumore.

Per cui si ritiene che le misure dei transetti ottenute tramite l'interpolazione 3D rispetti a pieno quanto richiesto nel piano di monitoraggio.

Nelle Figure 4.23- 4.55 sono riportati graficamente per ciascun transetto rispettivamente: componenti V_x (est) e V_y (nord) della corrente, temperatura, salinità e densità al variare della profondità. Le scale cromatiche sono state propriamente definite per evidenziare la variabilità spaziale e stagionale di ciascun parametro.

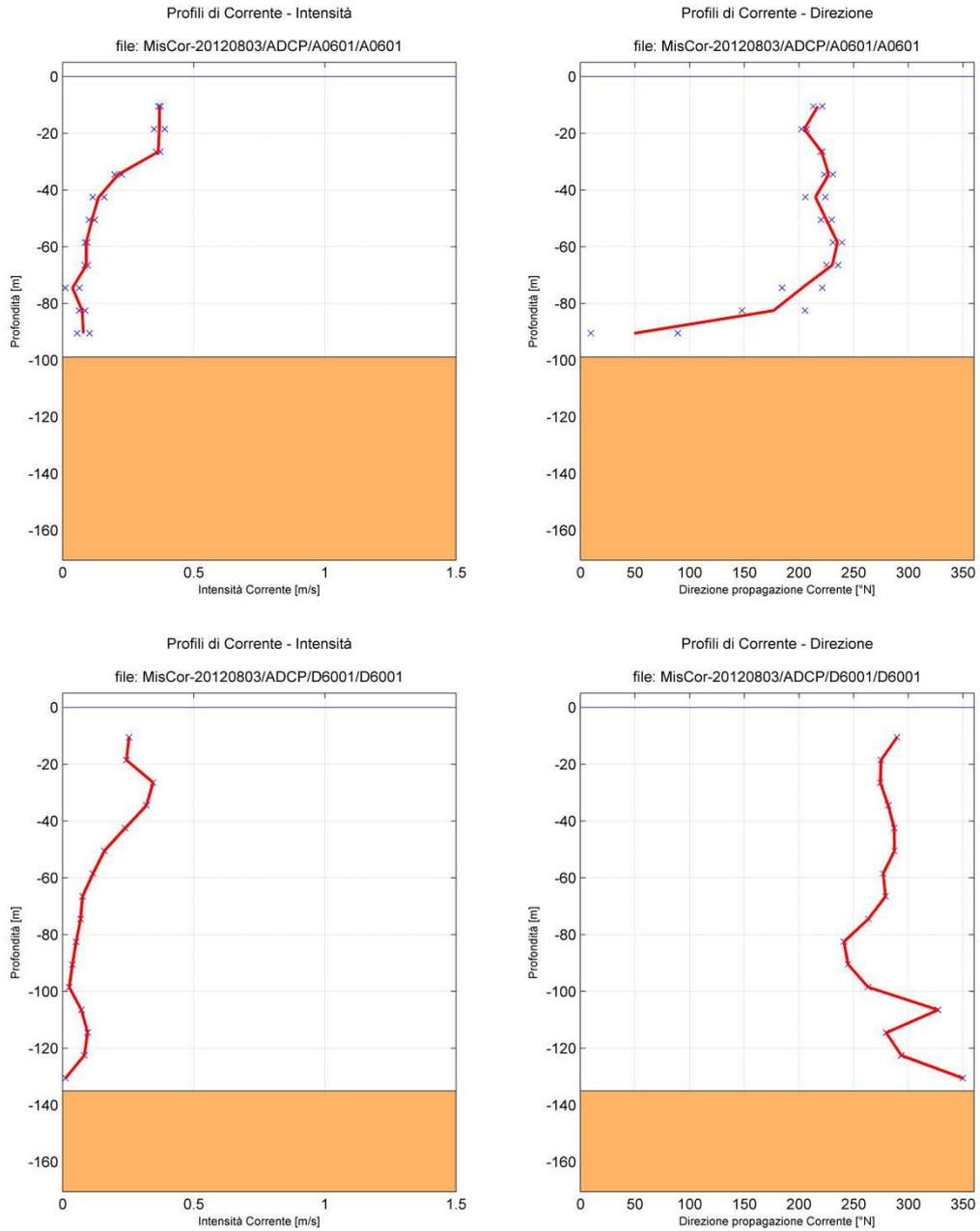


Figura 4.3: Profili di Corrente Misurati in A (Sopra) e D (Sotto) in Data 3 Agosto 2012

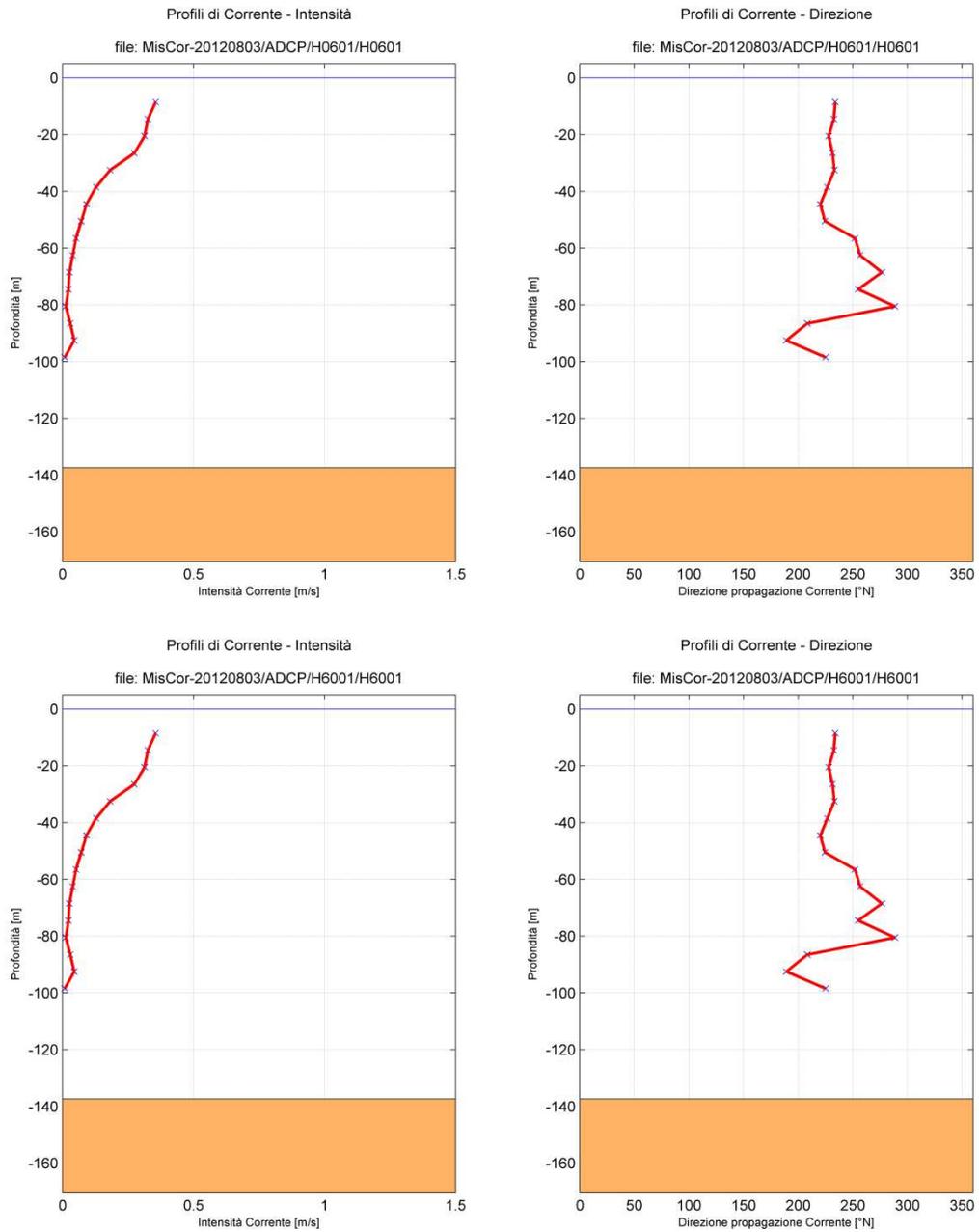


Figura 4.4: Profili di Corrente Misurati in H in Data 3 Agosto 2012

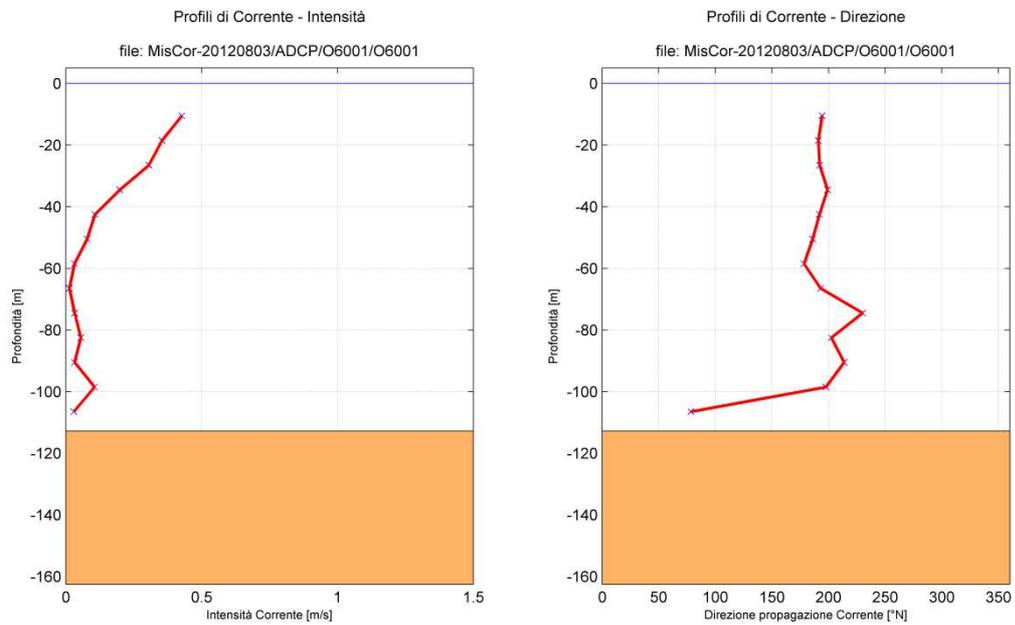


Figura 4.5: Profilo di Corrente Misurato in O in Data 3 Agosto 2012

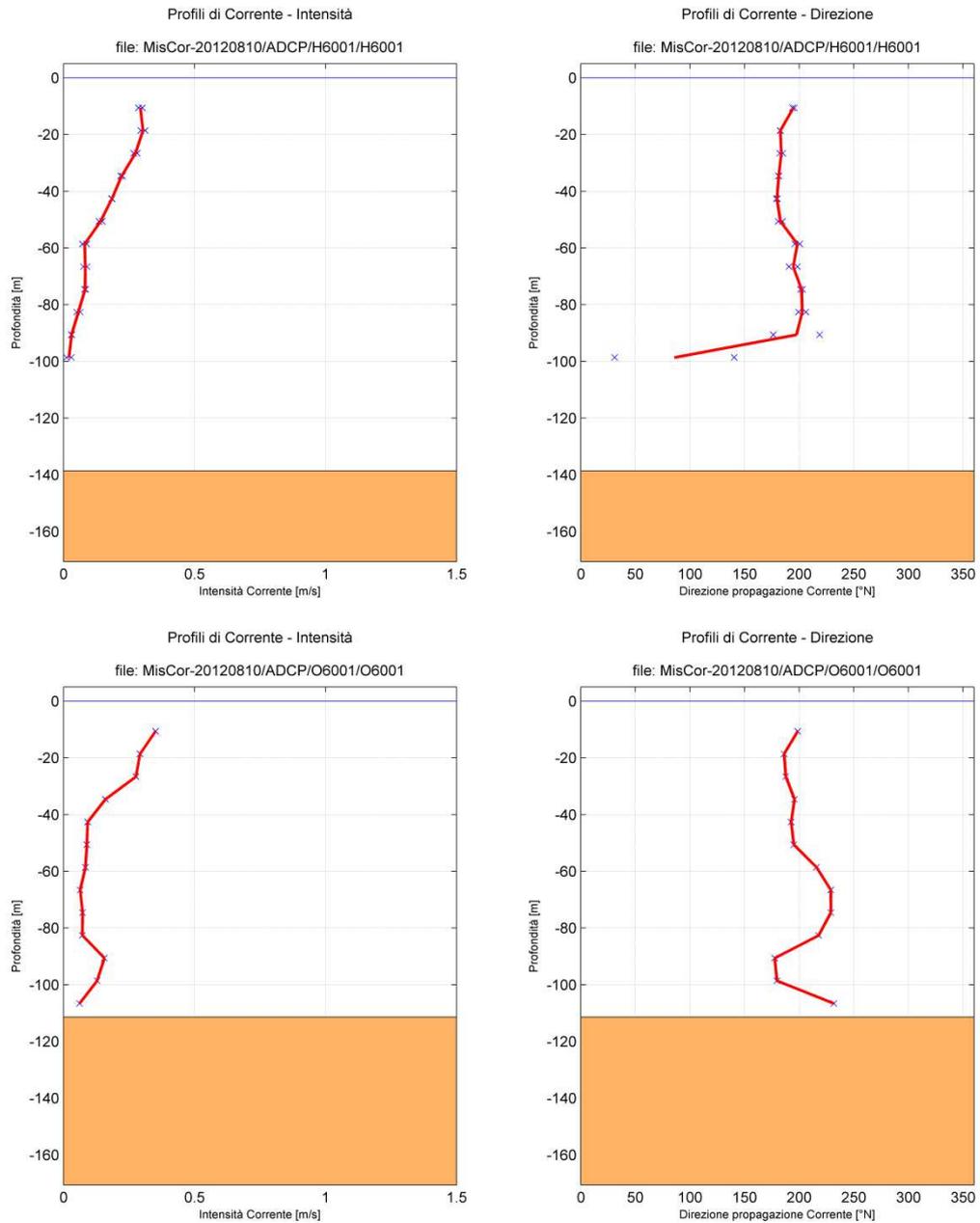


Figura 4.6: Profili di Corrente Misurati in H (Sopra) e O (Sotto) in Data 10 Agosto 2012

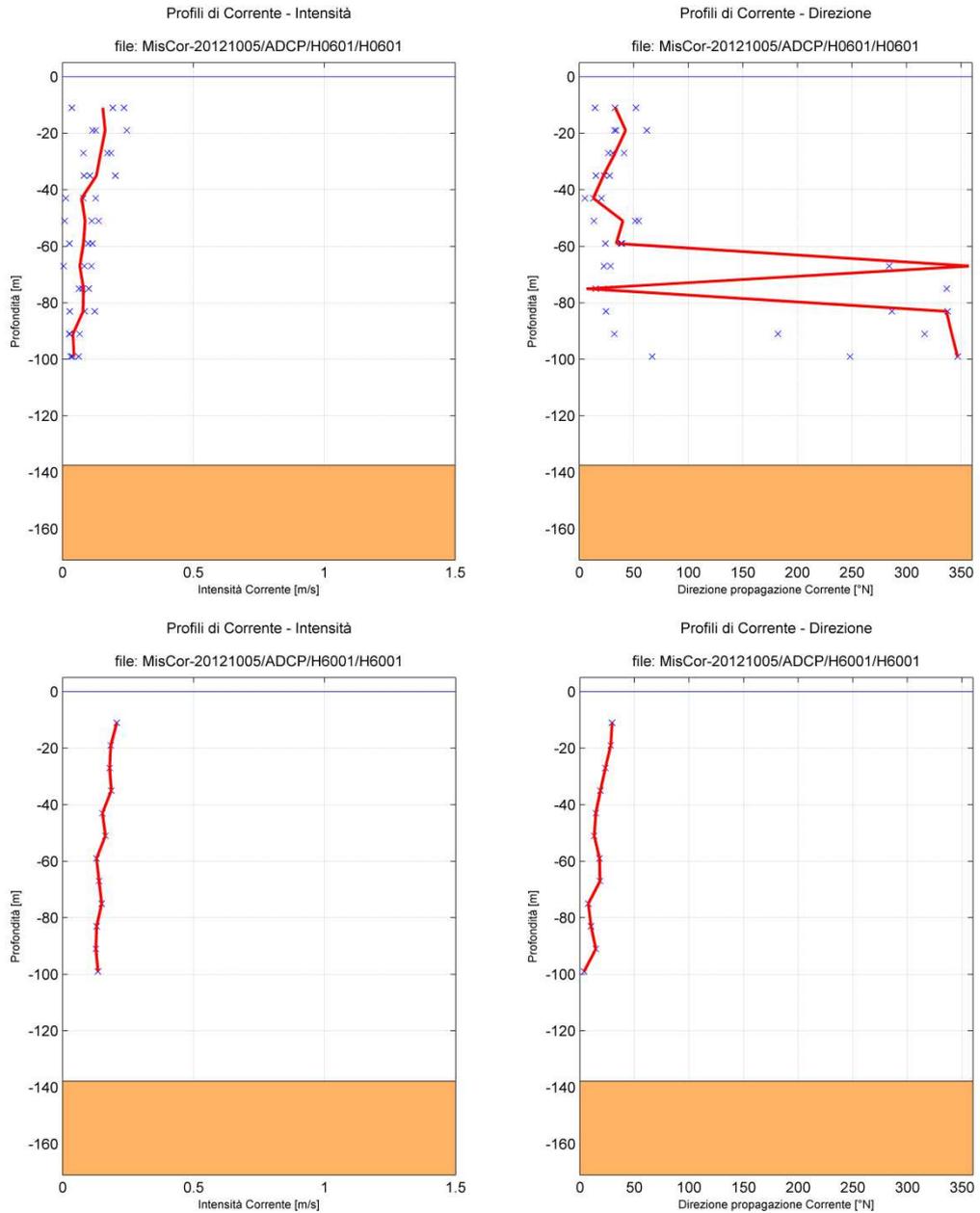


Figura 4.7: Profilo di Corrente Misurato in H in Data 5 Ottobre 2012

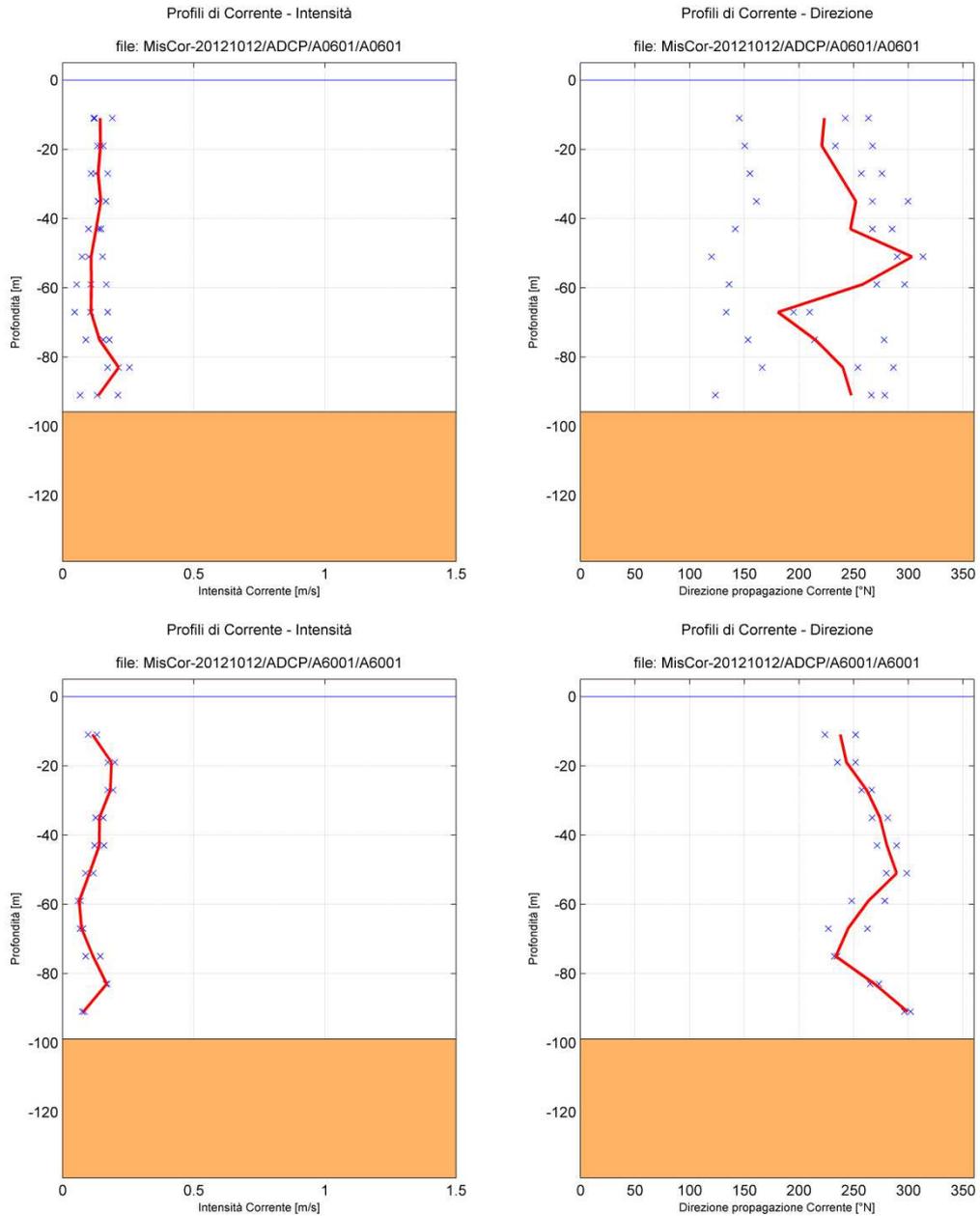


Figura 4.8: Profili di Corrente Misurati in A in data 12 Ottobre 2012

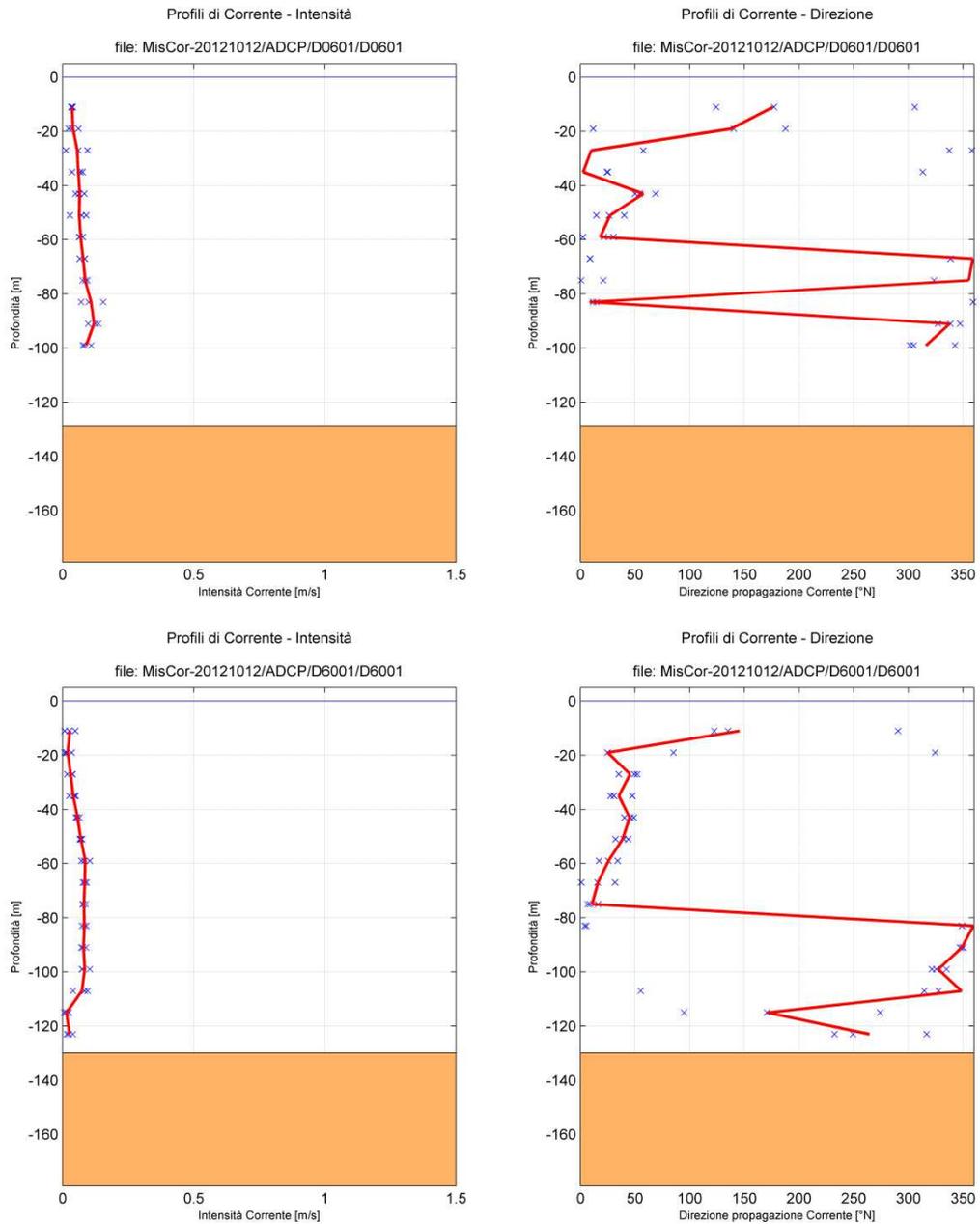


Figura 4.9: Profili di Corrente Misurati in D in Data 12 Ottobre 2012

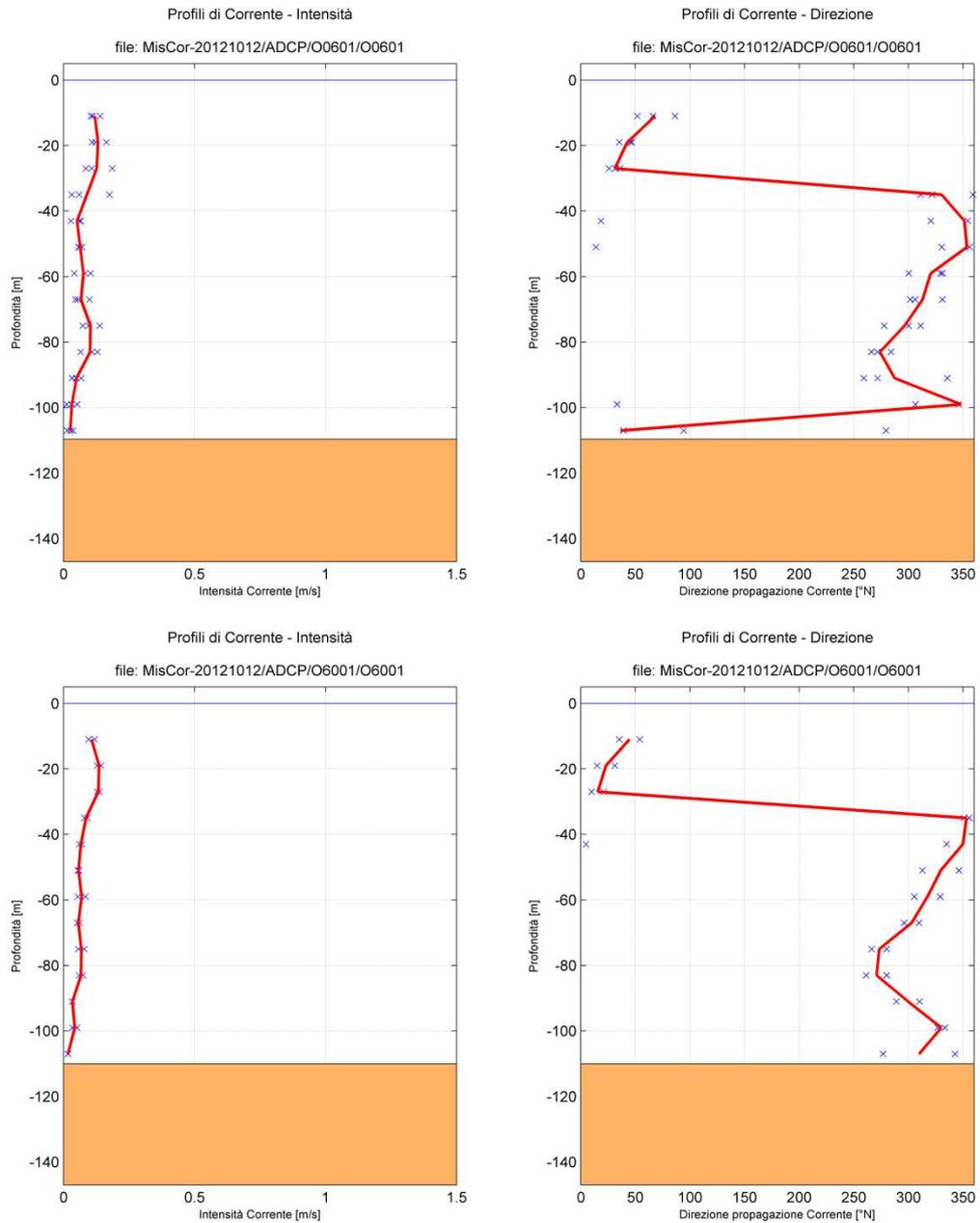


Figura 4.10: Profili di Corrente Misurati in O in Data 12 Ottobre 2012

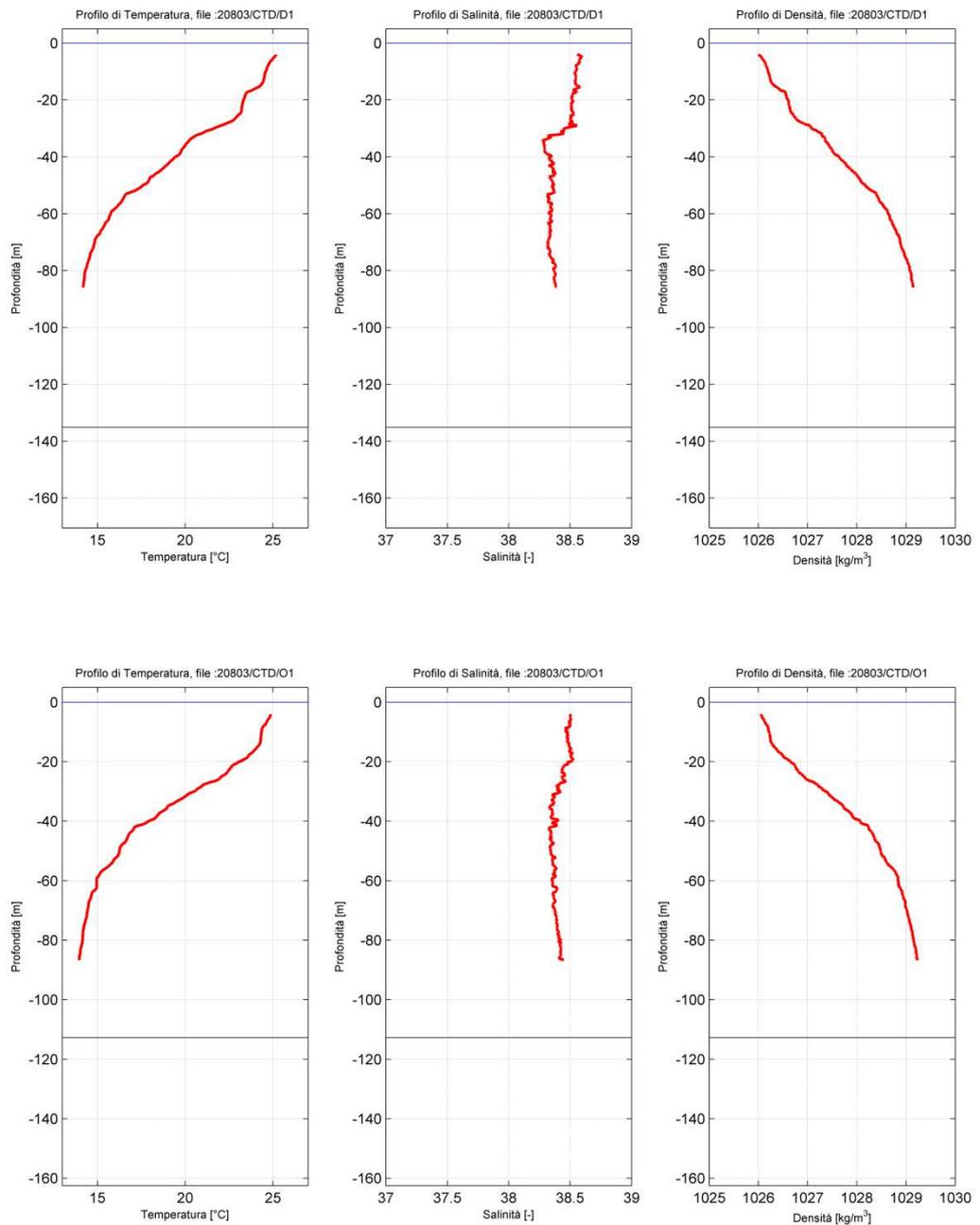


Figura 4.11: Profili di Temperatura (Sinistra), Salinità (Centro) e Densità Misurati in D(Sopra) e O (Sotto) in Data 3 Agosto 2012

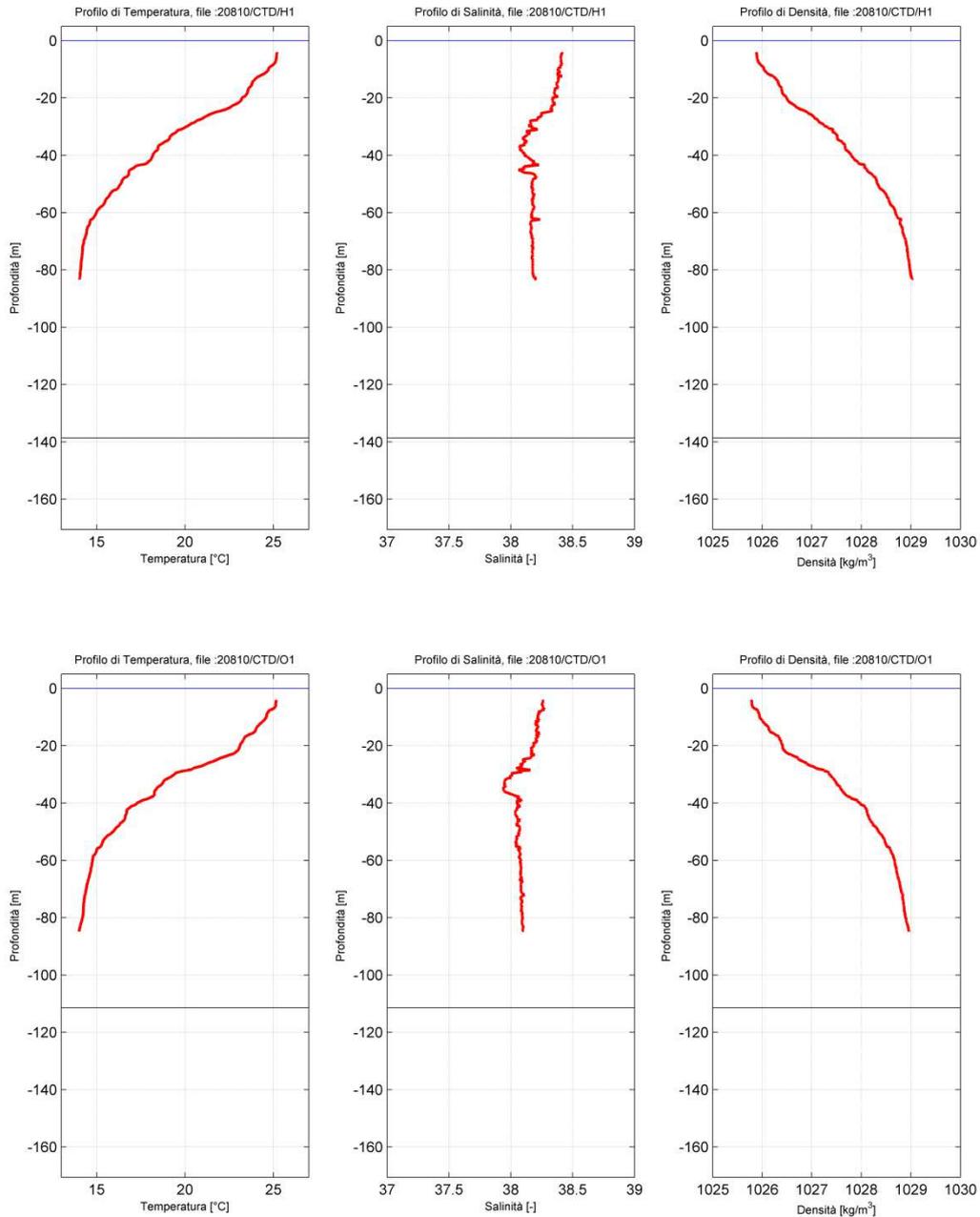


Figura 4.12: Profili di Temperatura (Sinistra), Salinità (Centro) e Densità Misurati in H(Sopra) e O (Sotto) in Data 10 Agosto 2012

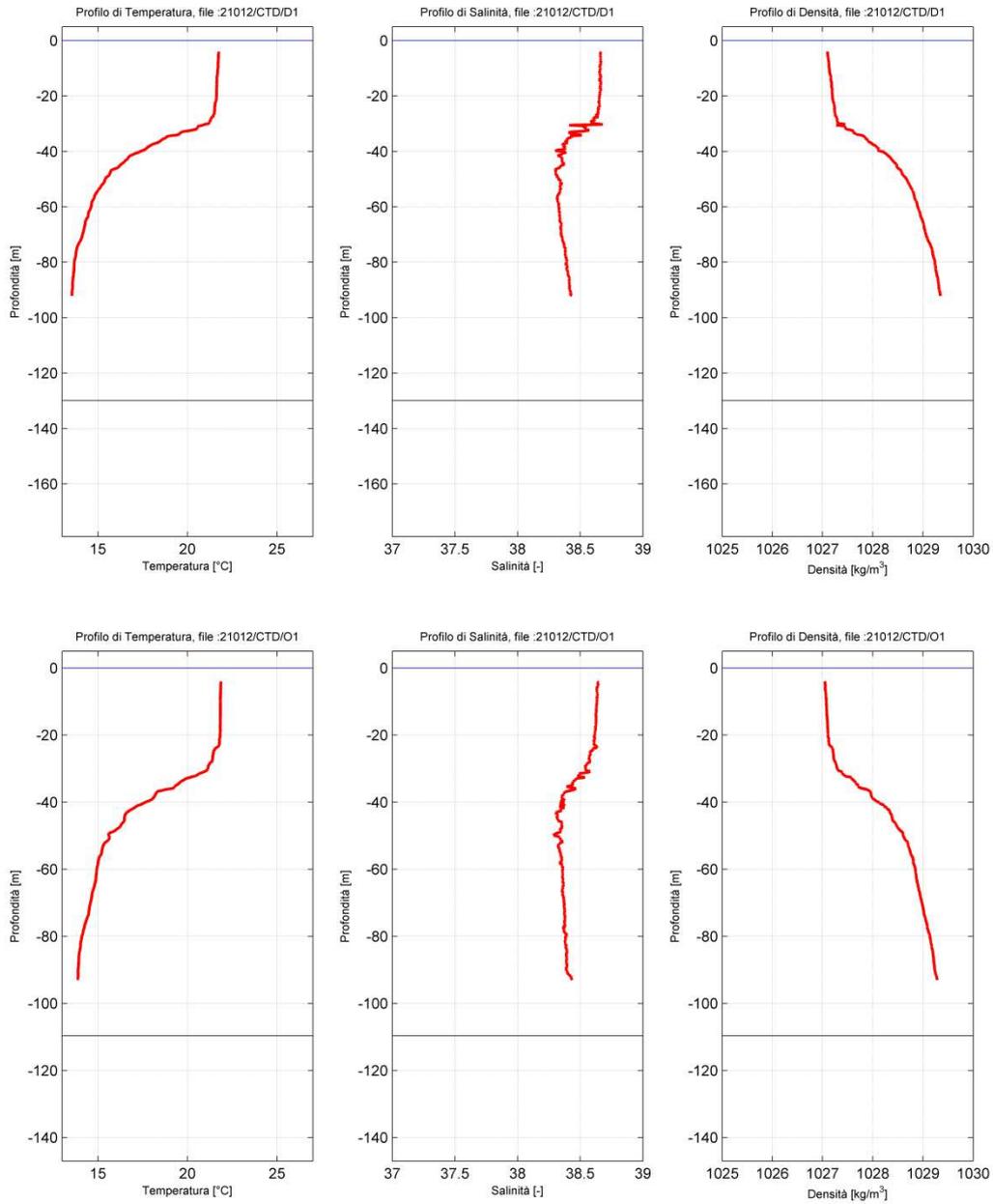


Figura 4.13: Profili di Temperatura (Sinistra), Salinità (Centro) e Densità Misurati in D(Sopra) e O (Sotto) in Data 12 Ottobre 2012

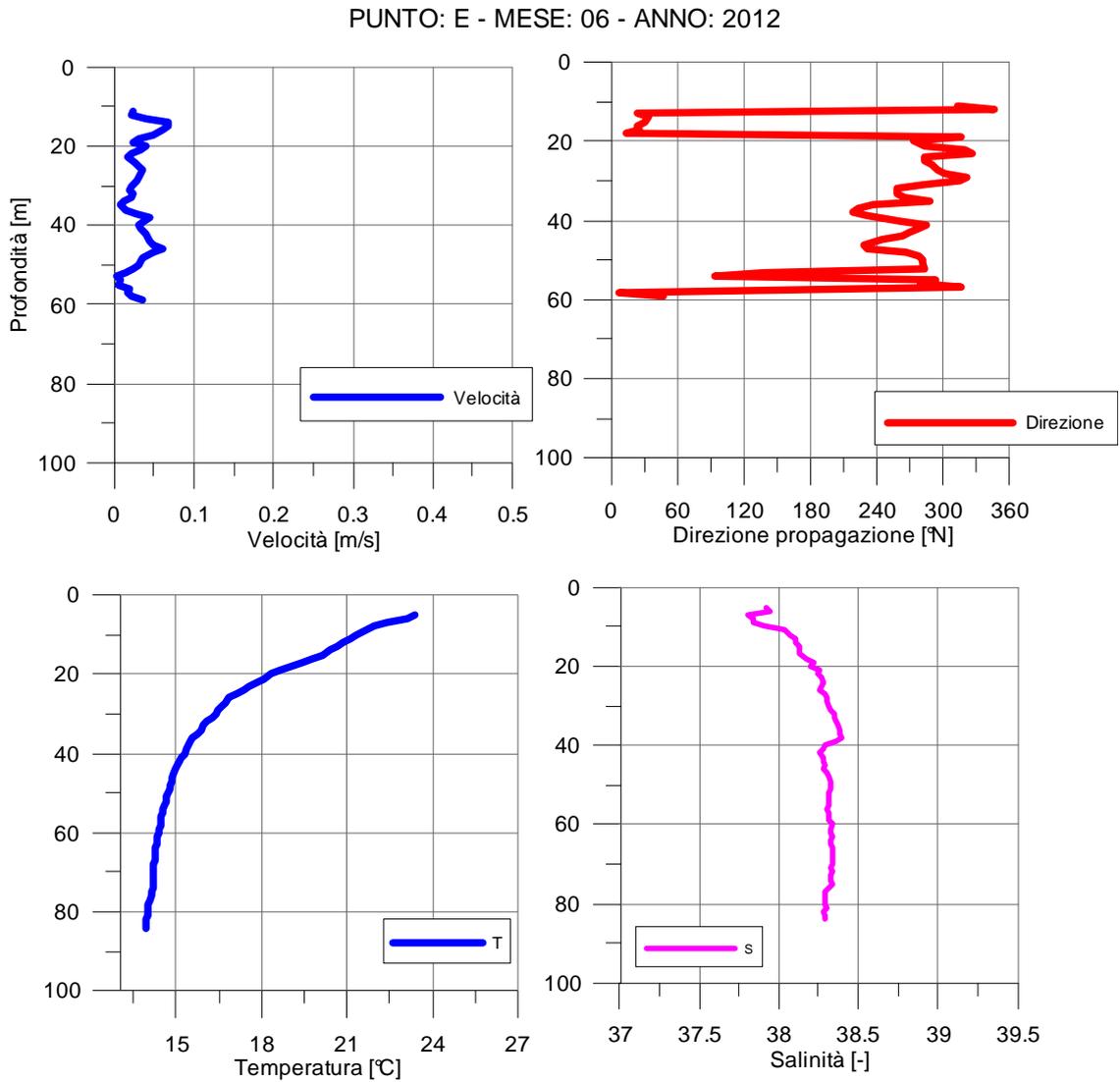
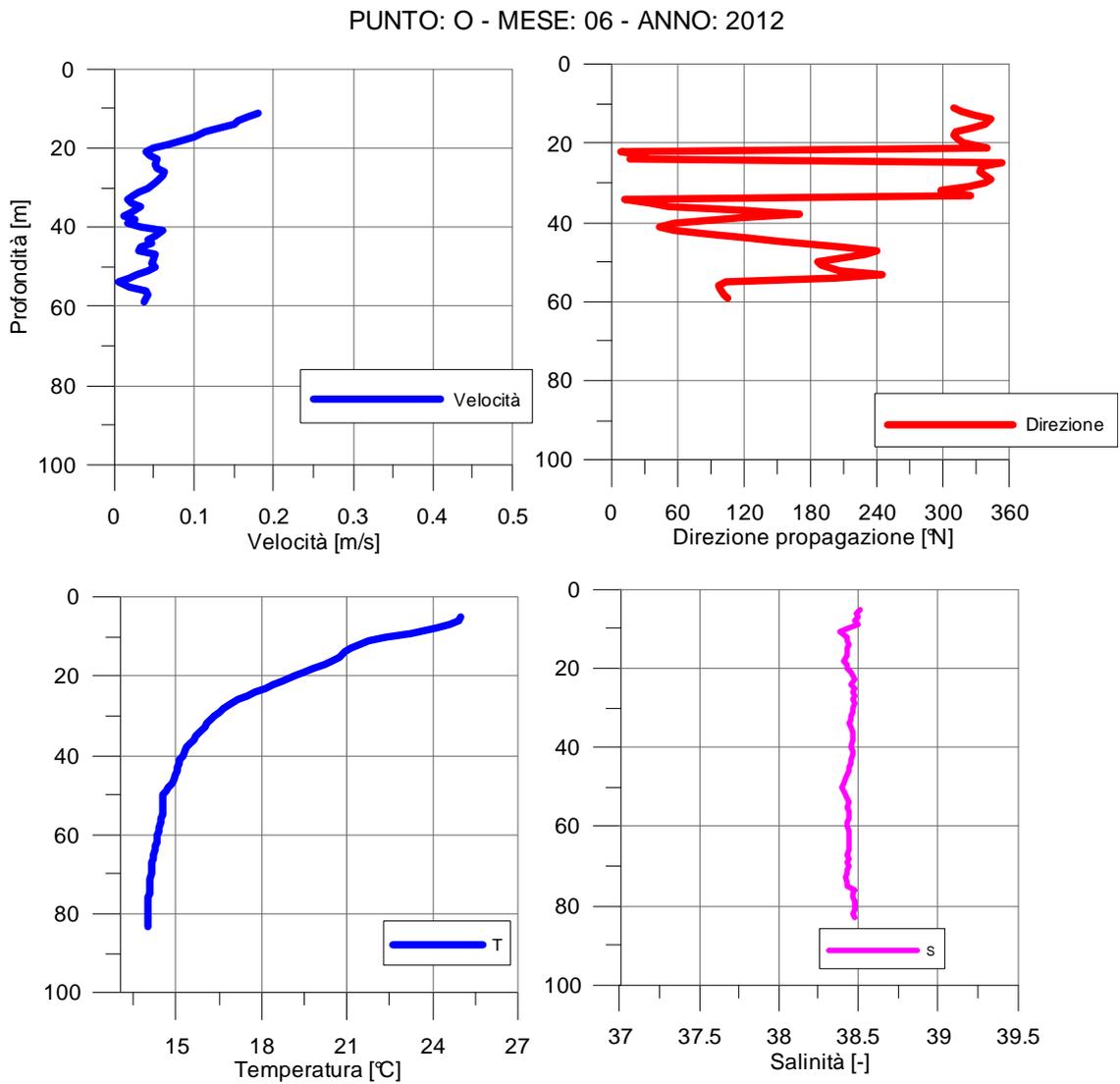


Figura 4.14: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto E Giugno 2012



**Figura 4.15: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità
– Punto O Giugno 2012**

PUNTO: D - MESE: 08 - ANNO: 2012

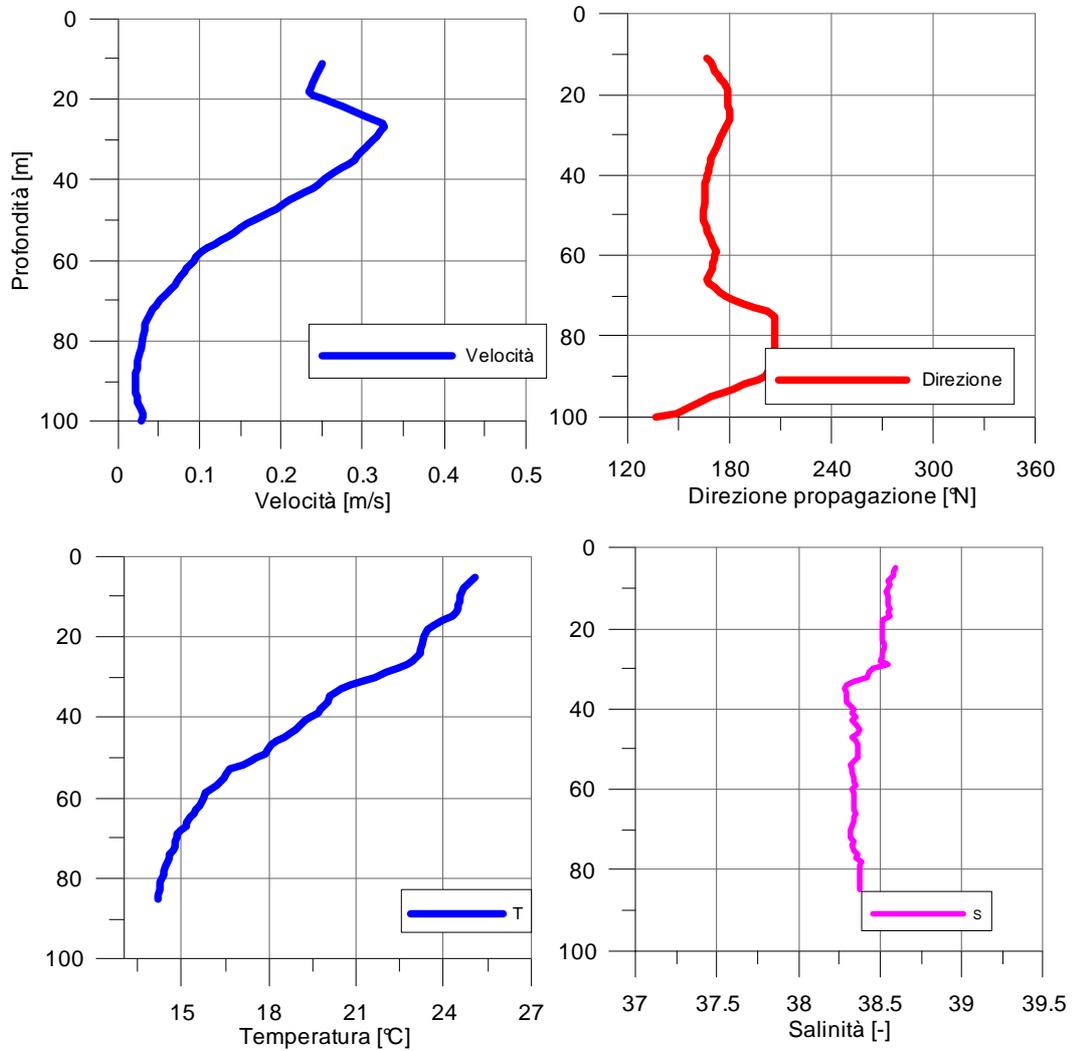


Figura 4.16: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto D Agosto 2012

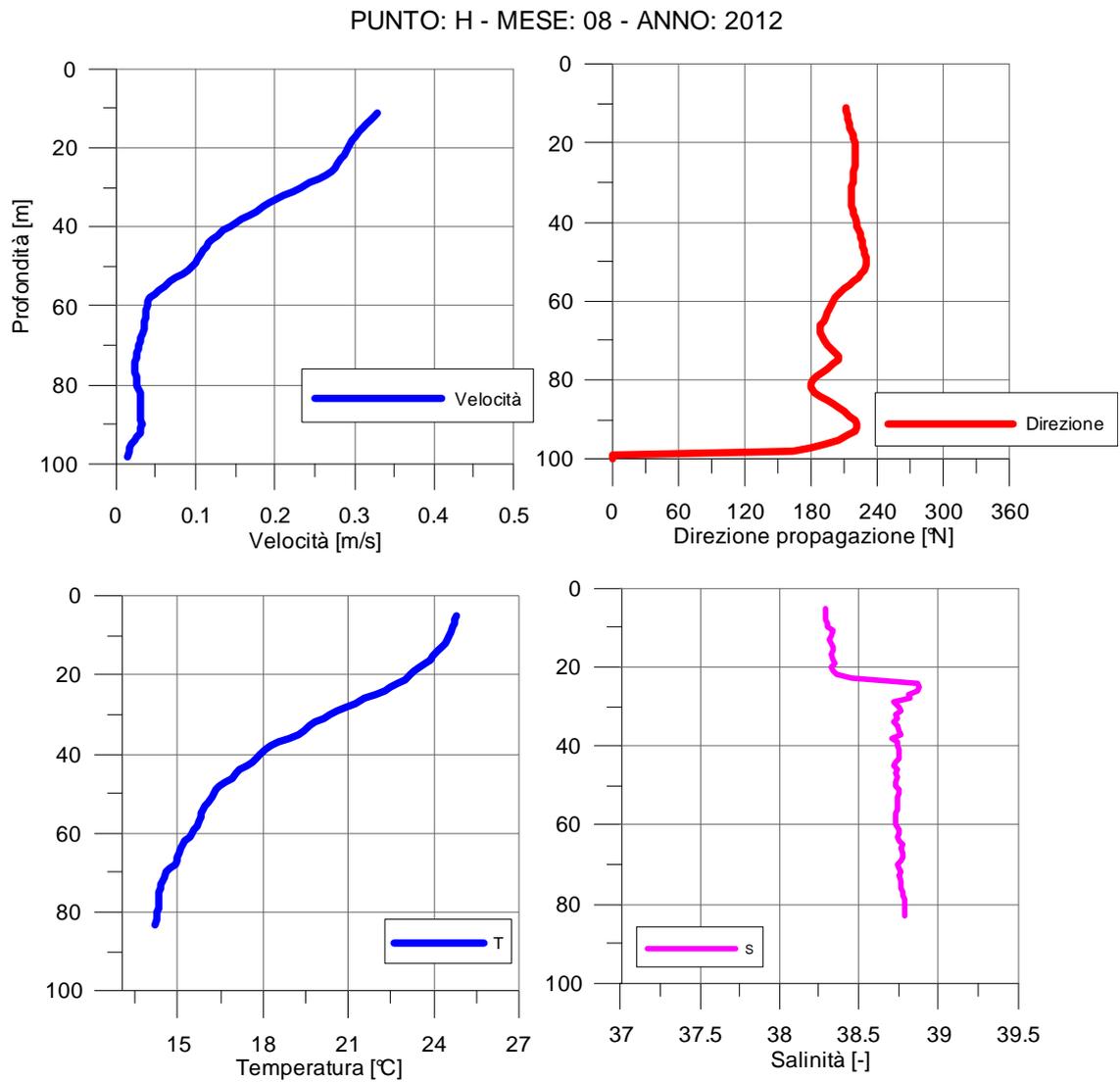
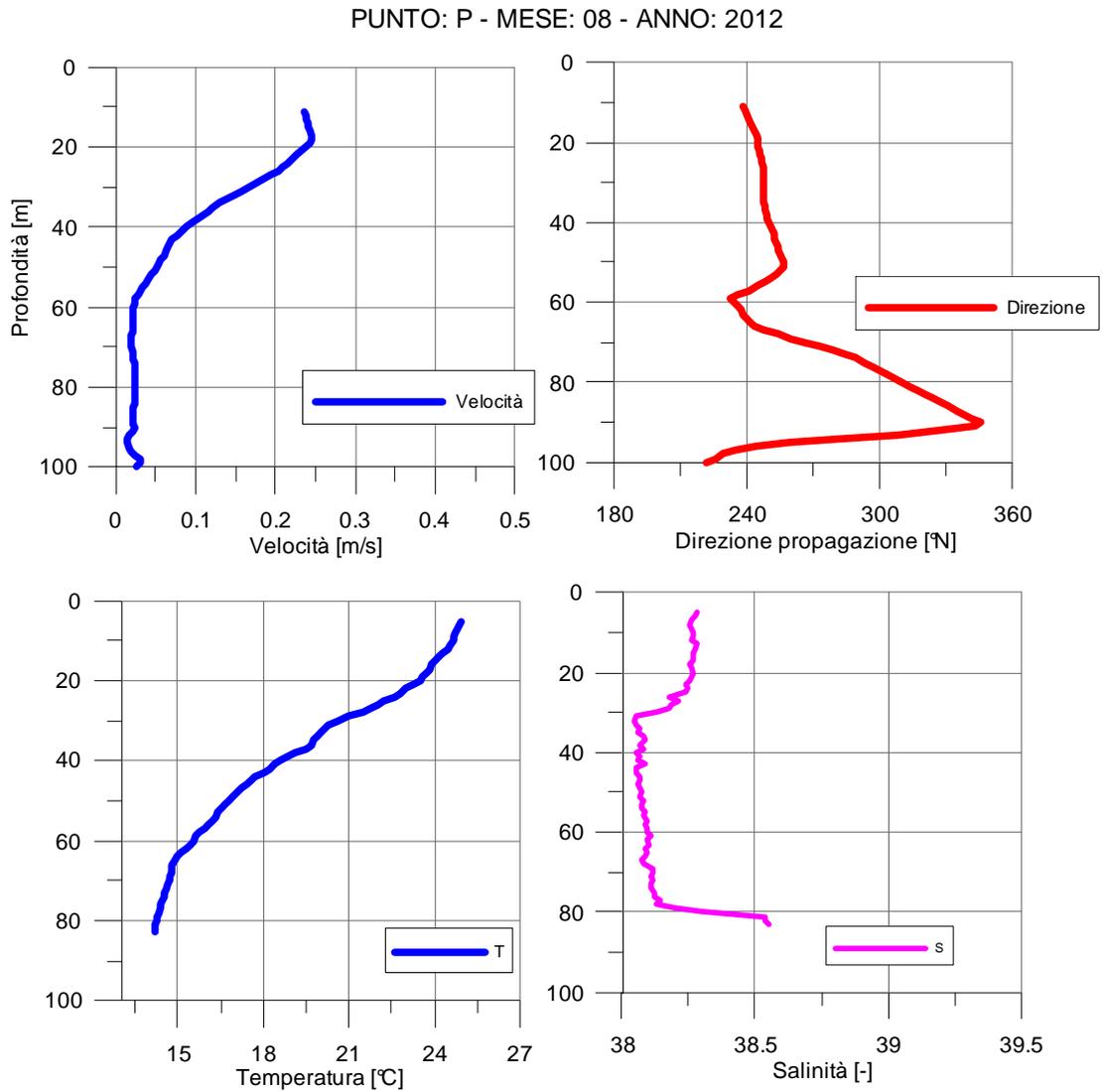


Figura 4.17: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto H Agosto 2012



**Figura 4.18: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità
– Punto P Agosto 2012**

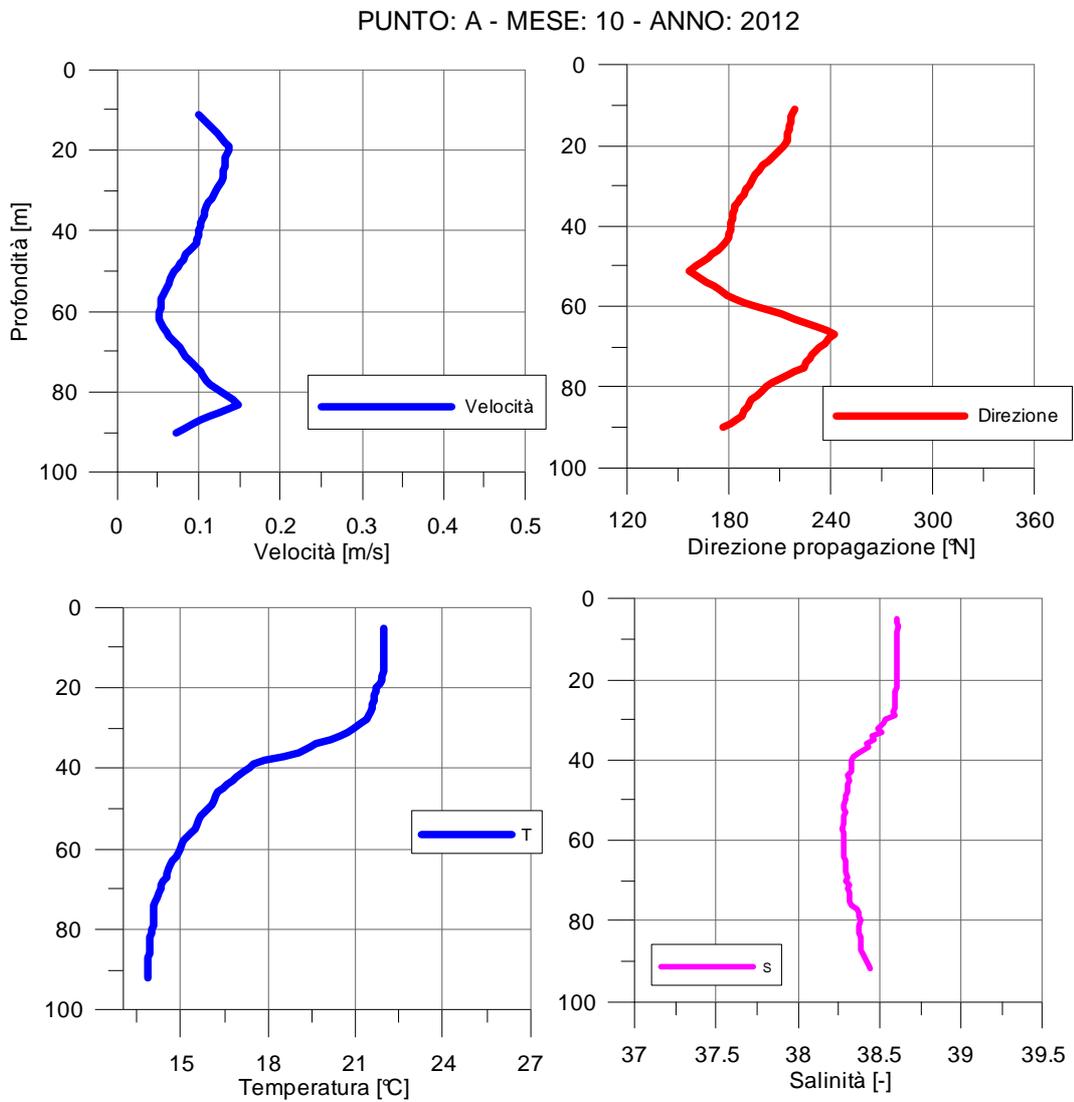
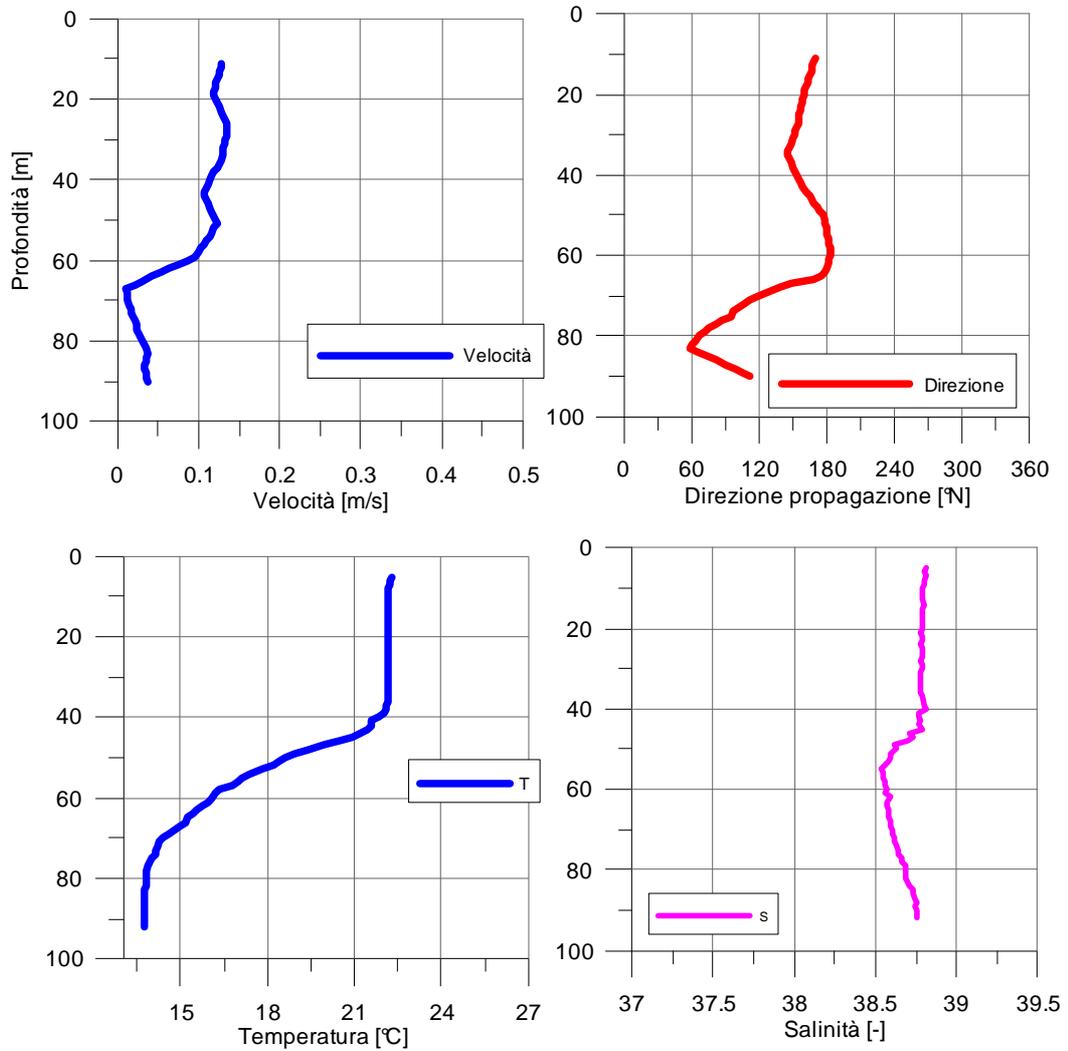


Figura 4.19: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto A Ottobre 2012

PUNTO: E - MESE: 10 - ANNO: 2012



**Figura 4.20: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità
– Punto E Ottobre 2012**

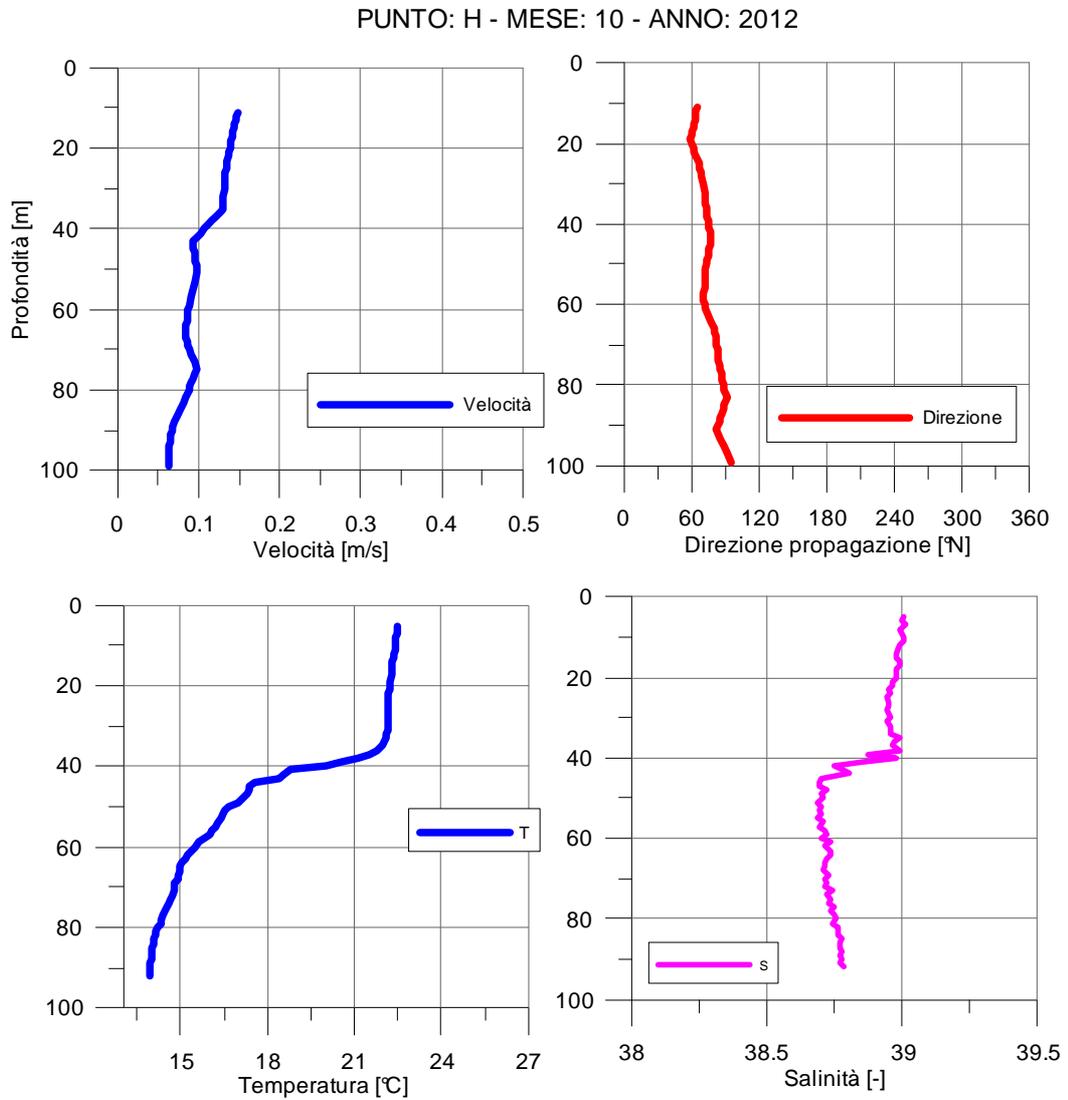
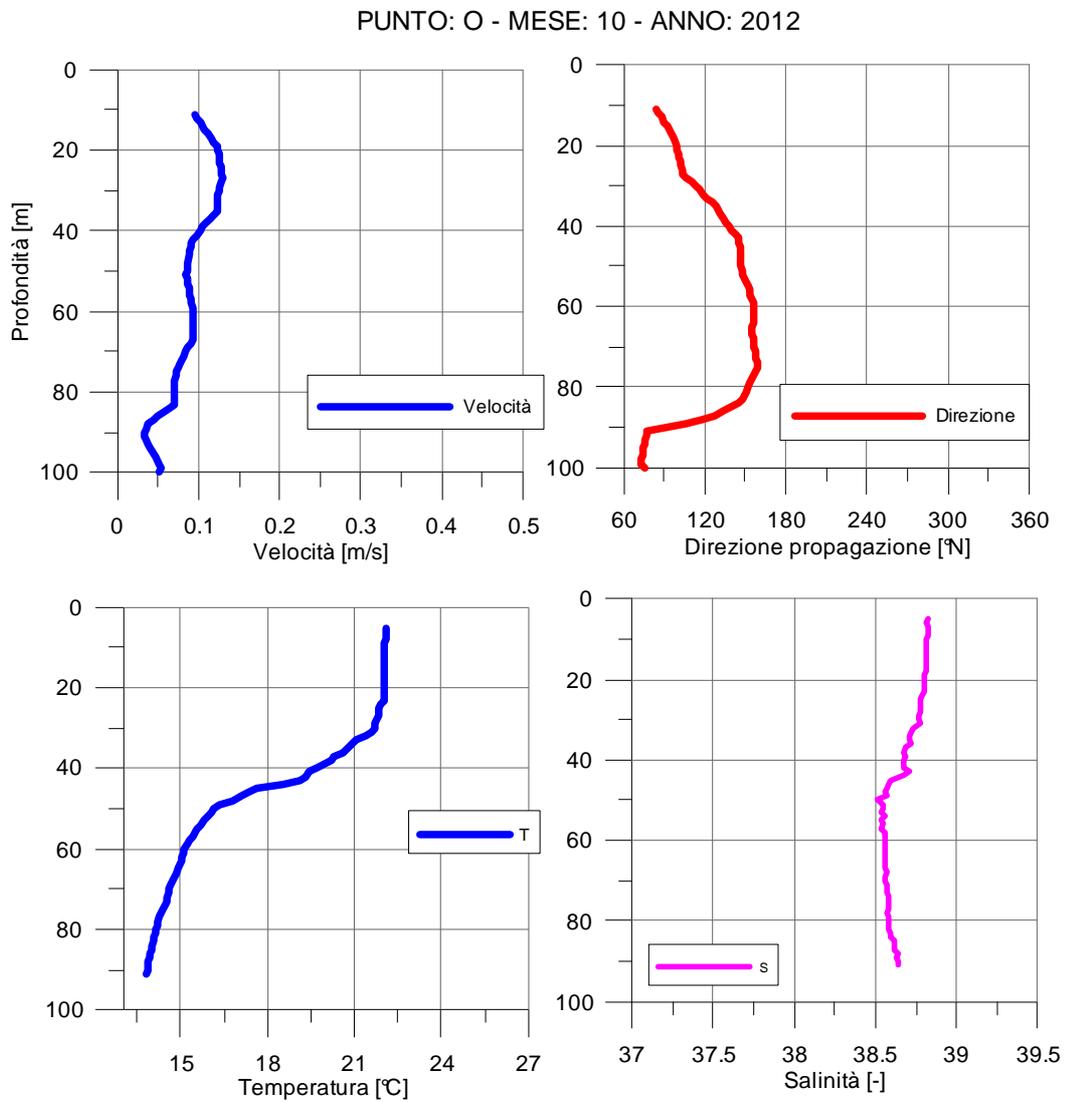


Figura 4.21: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità – Punto H Ottobre 2012



**Figura 4.22: Profili Caratteristici di Velocità, Direzione, Temperatura e Salinità
– Punto O Ottobre 2012**

TRANSETTO: L1 - MESE: 06 - ANNO: 2012

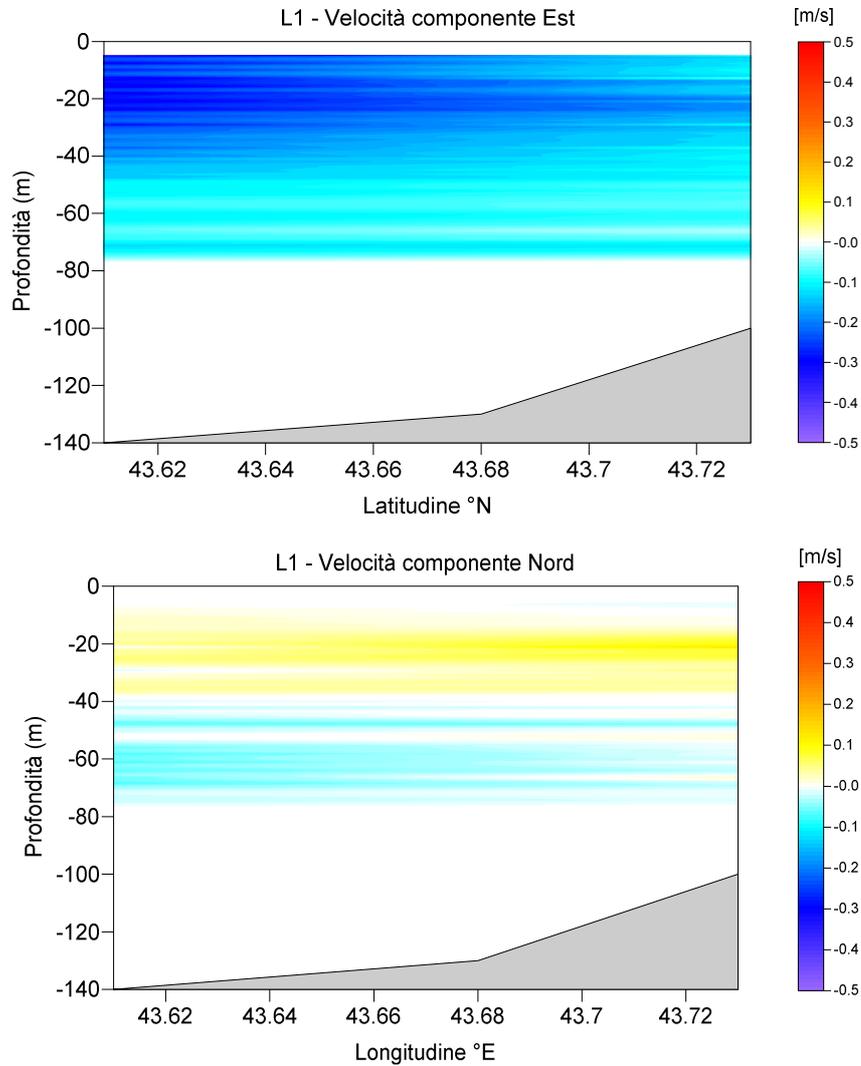


Figura 4.23: Transetto L1 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: L2 - MESE: 06 - ANNO: 2012

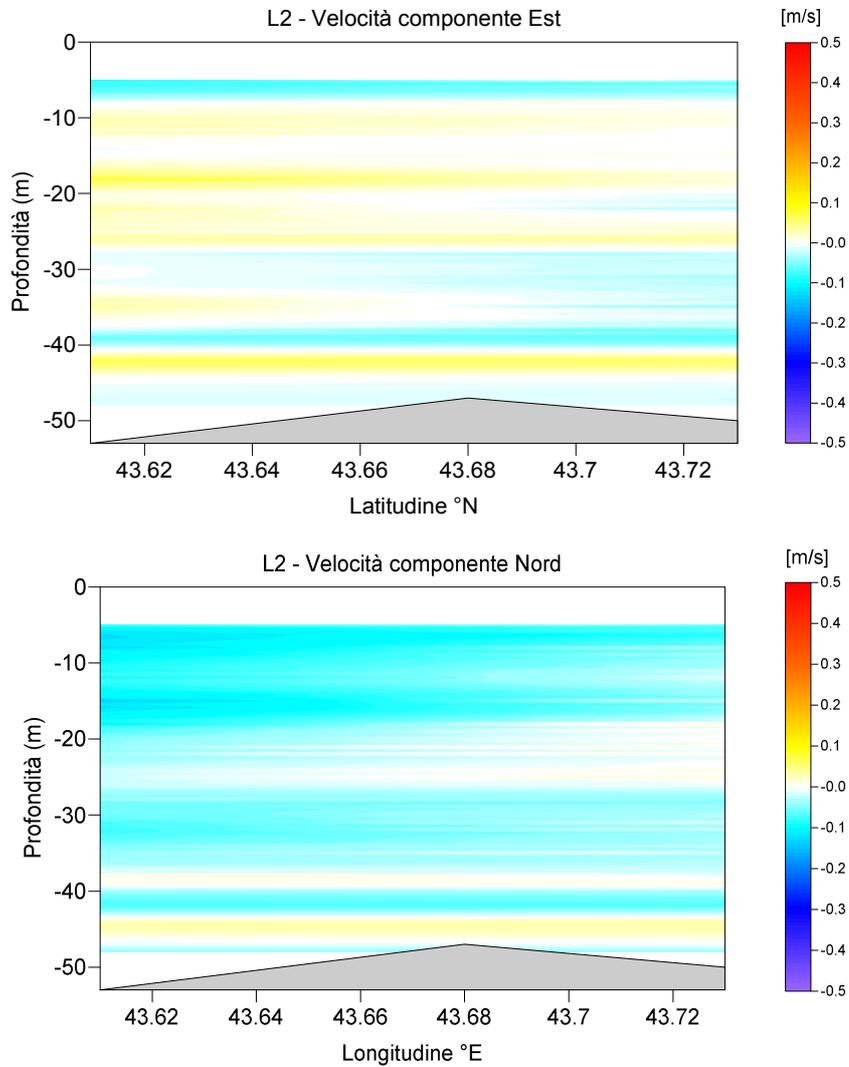


Figura 4.24: Transetto L2 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: L3 - MESE: 06 - ANNO: 2012

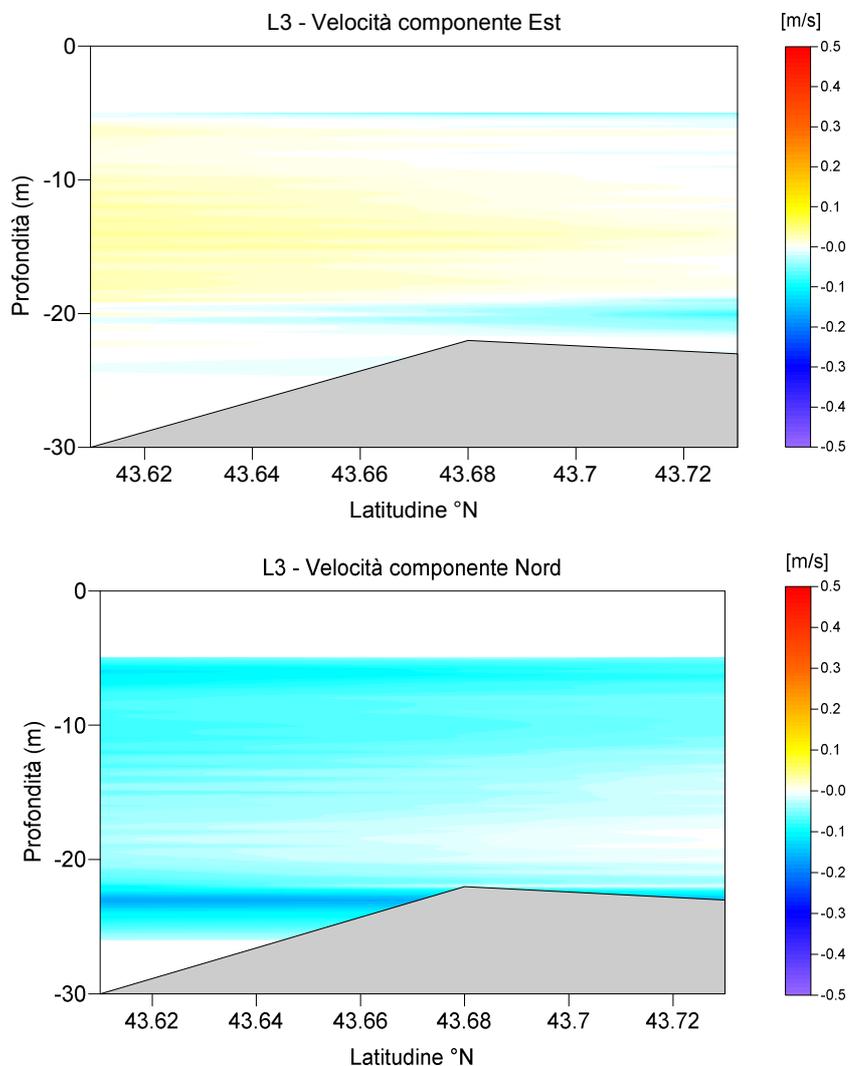


Figura 4.25: Transetto L3 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: L1 - MESE: 06 - ANNO: 2012

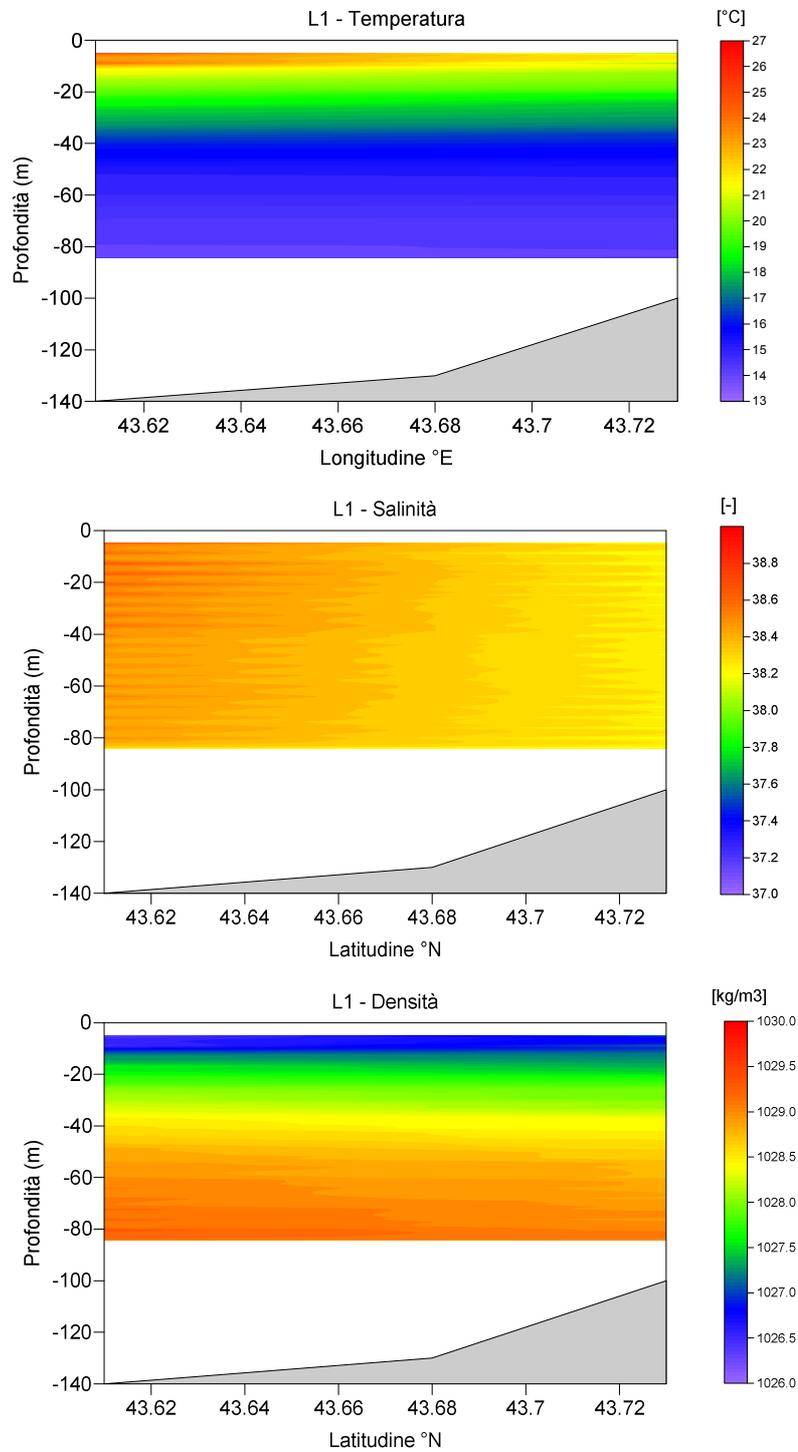


Figura 4.26: Transetto L1 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: L2 - MESE: 06 - ANNO: 2012

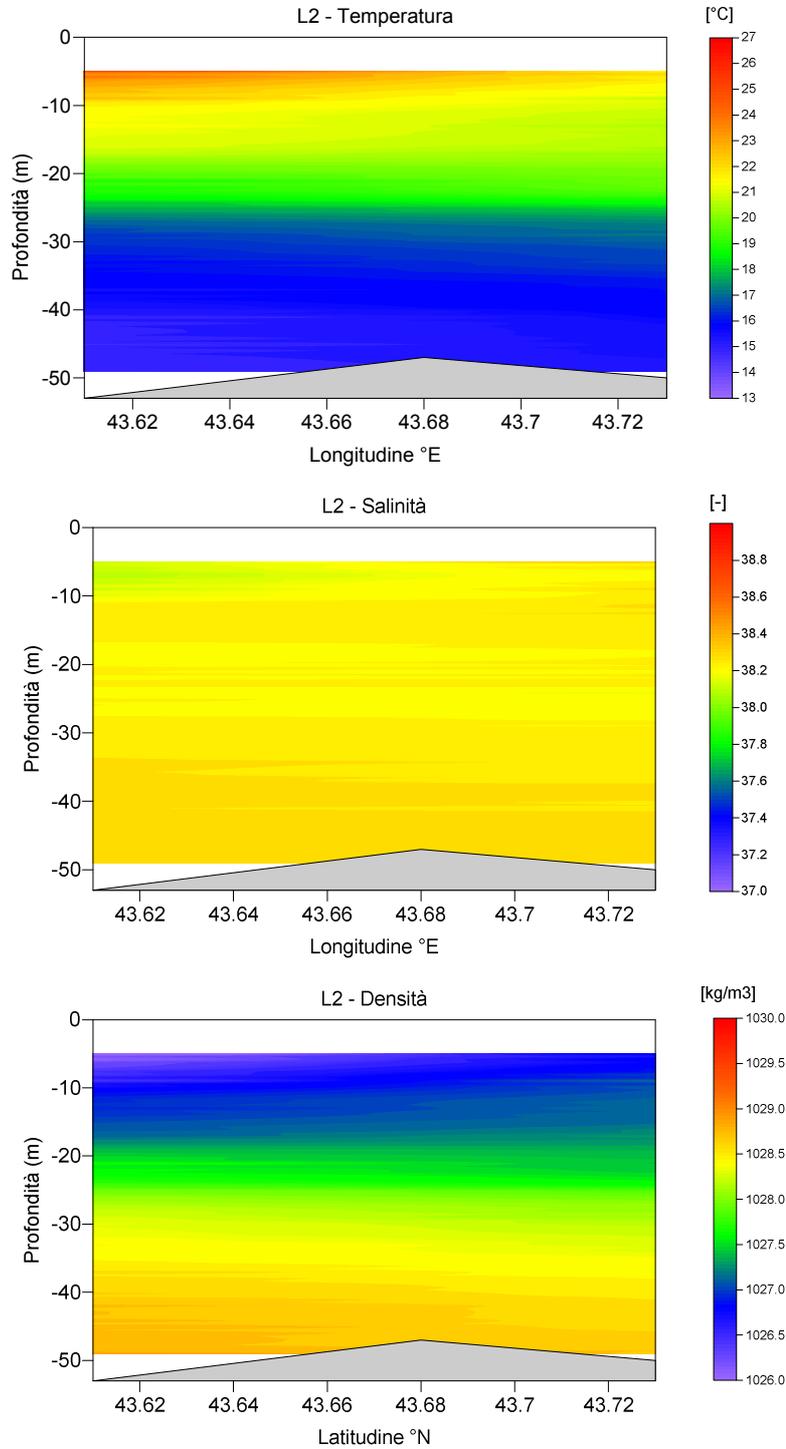


Figura 4.27: Transetto L2 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: L3 - MESE: 06 - ANNO: 2012

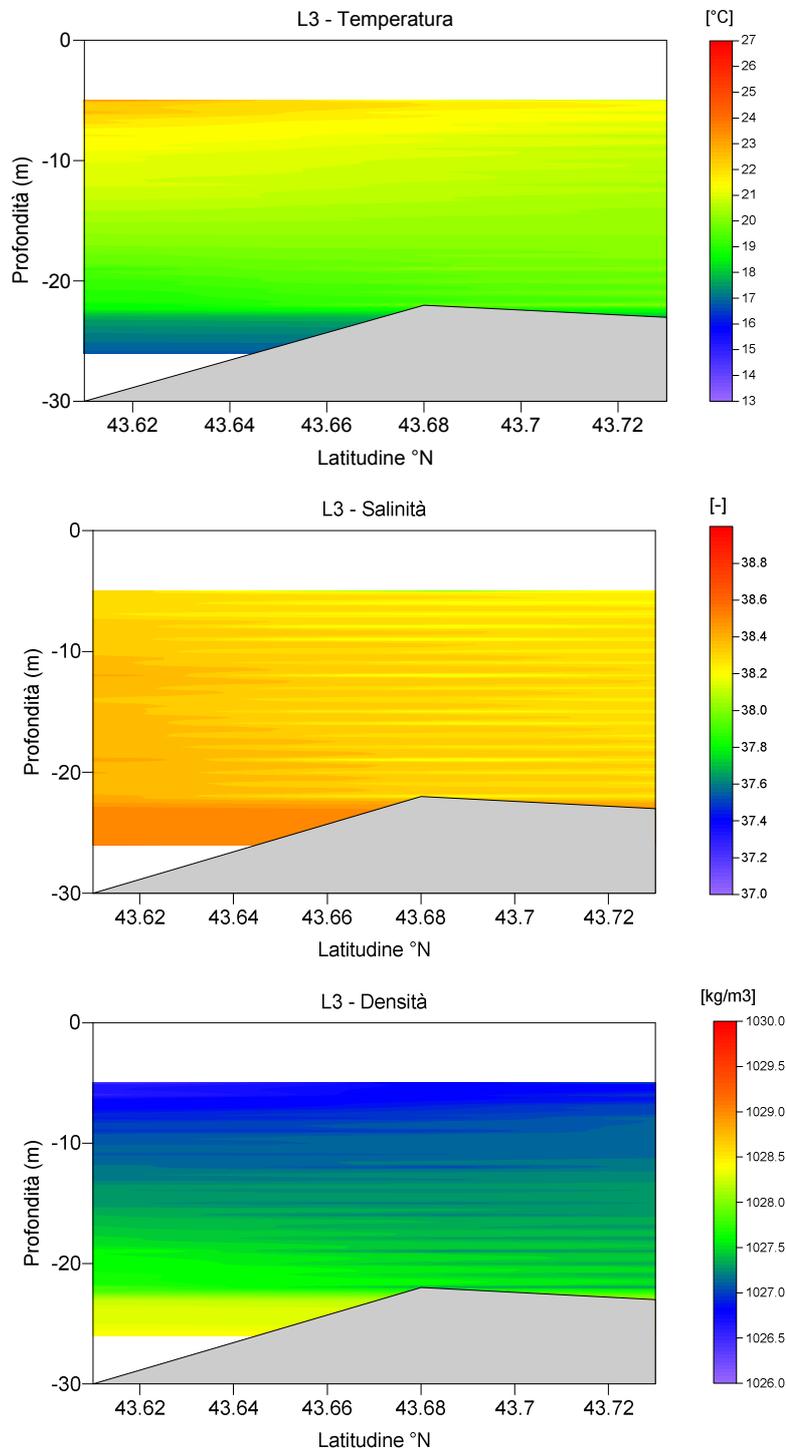


Figura 4.28: Transetto L3 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T1 - MESE: 06 - ANNO: 2012

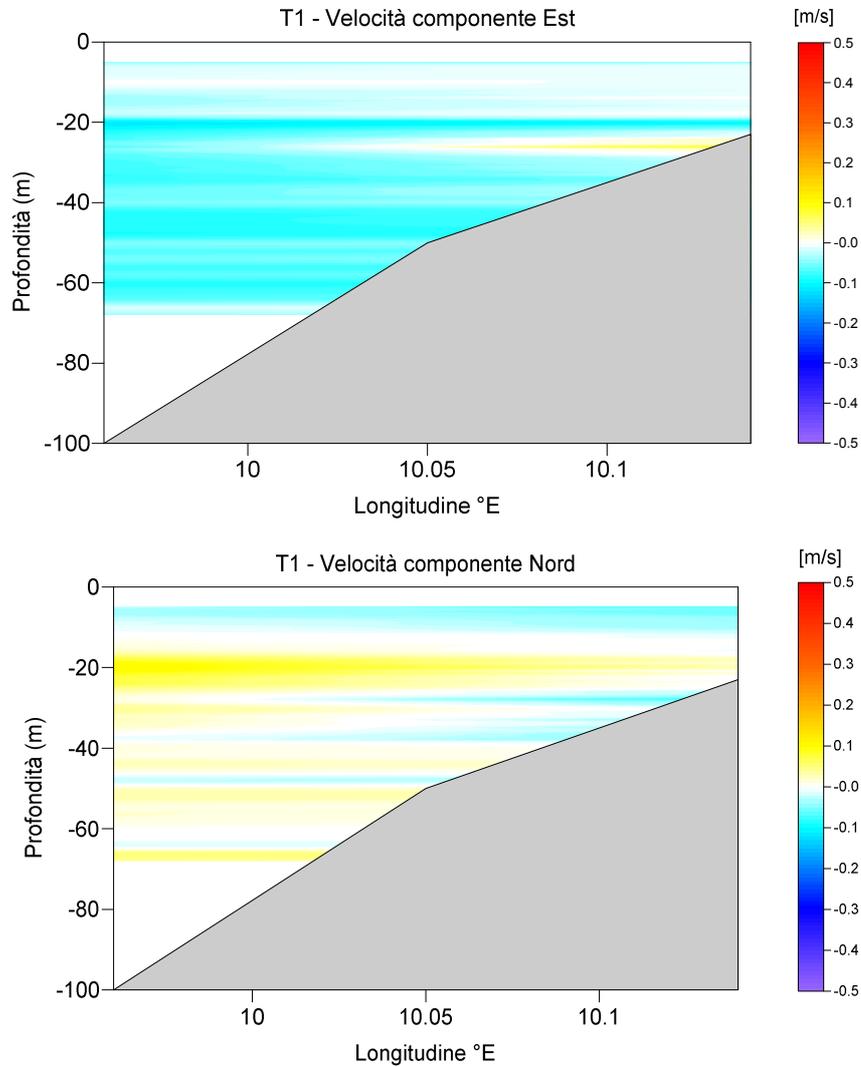


Figura 4.29: Transetto T1 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T2 - MESE: 06 - ANNO: 2012

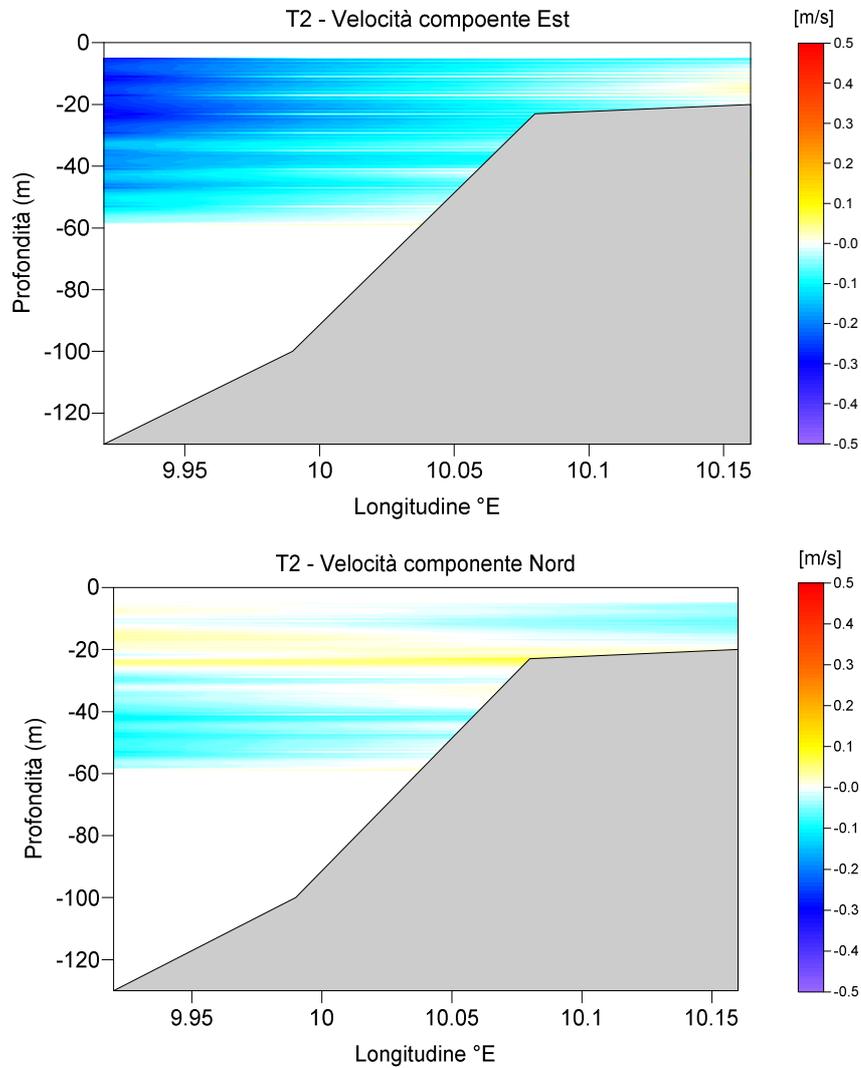


Figura 4.30: Transetto T2 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T3 - MESE: 06- ANNO: 2012

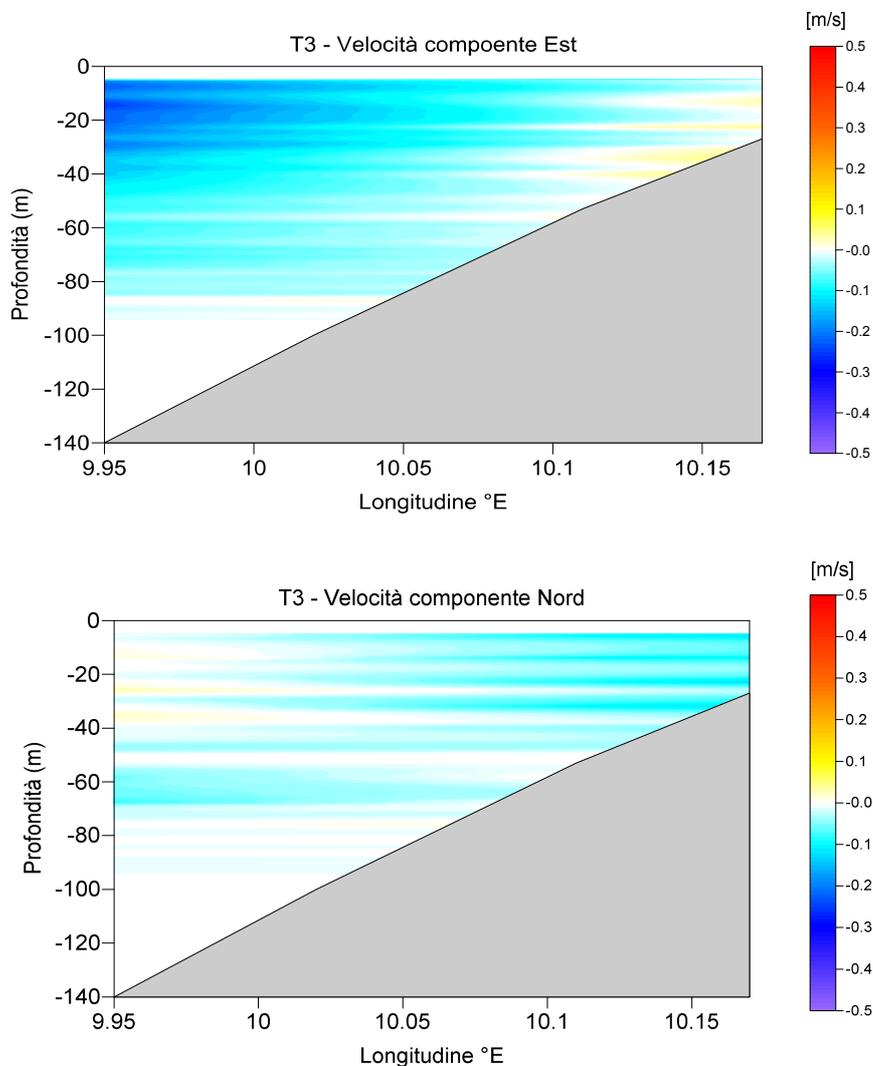


Figura 4.31: Transetto T3 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T1 - MESE: 06 - ANNO: 2012

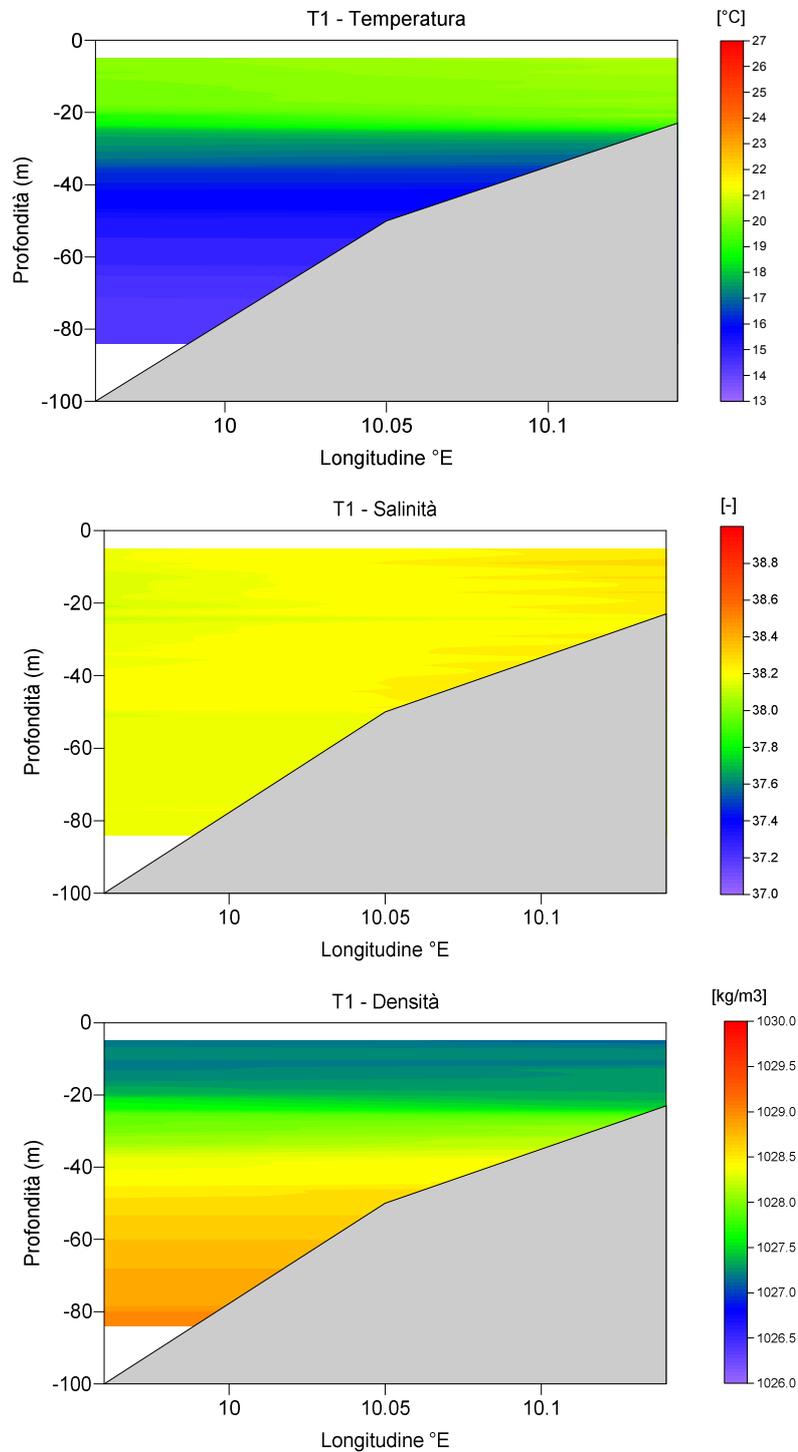


Figura 4.32: Transetto T1 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T2 - MESE: 06 - ANNO: 2012

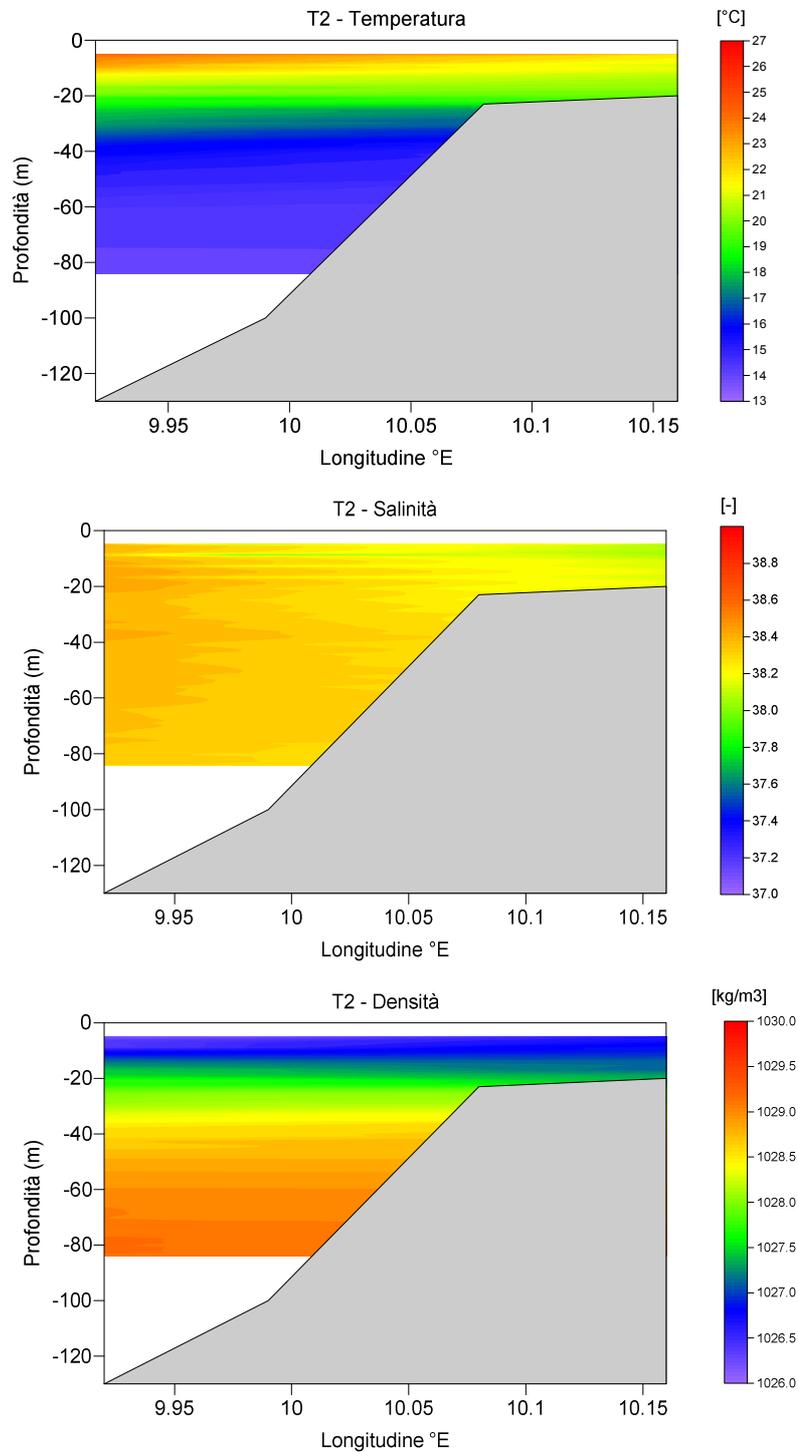


Figura 4.33: Transetto T2 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T3 - MESE: 06 - ANNO: 2012

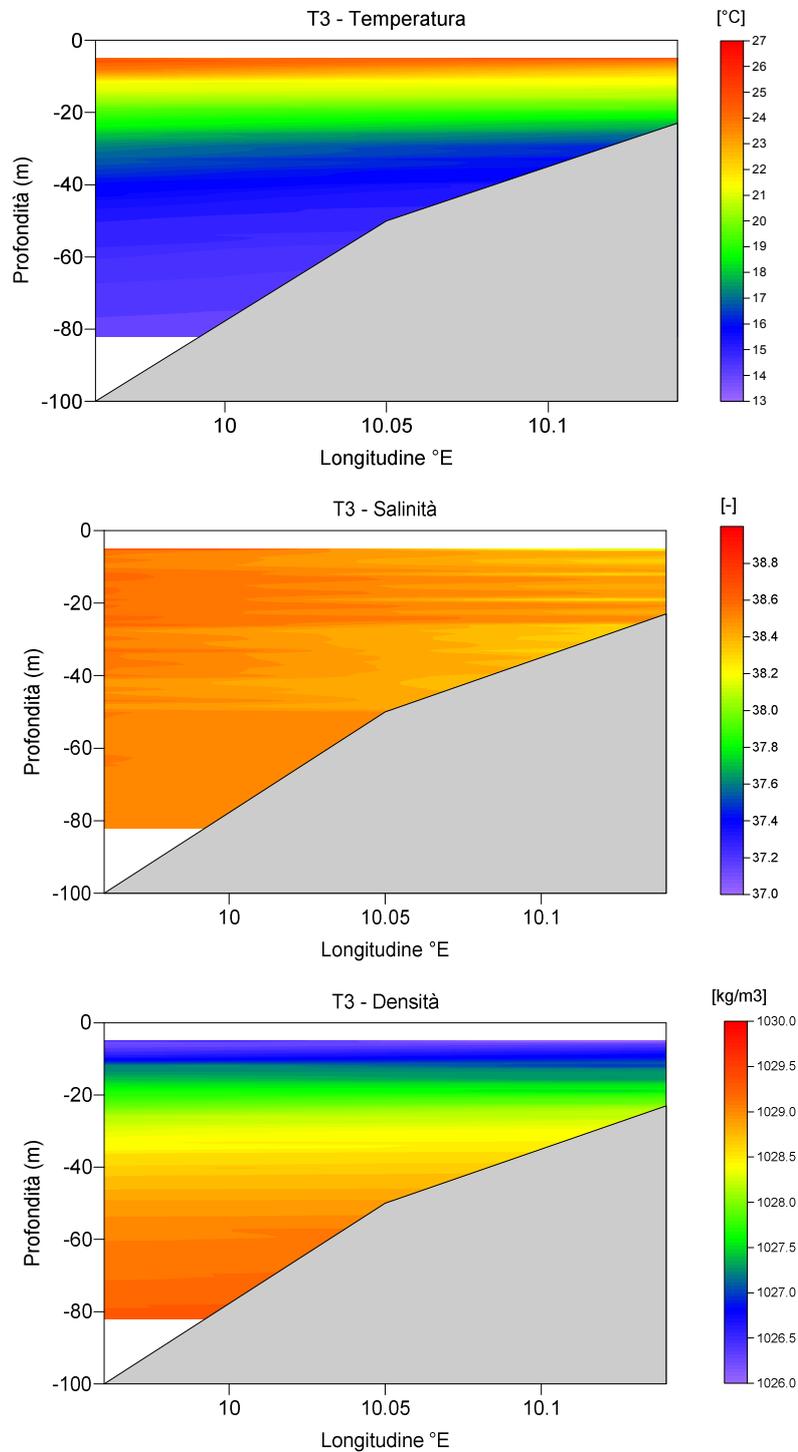


Figura 4.34: Transetto T3 – Giugno 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: L1 - MESE: 07 - ANNO: 2012

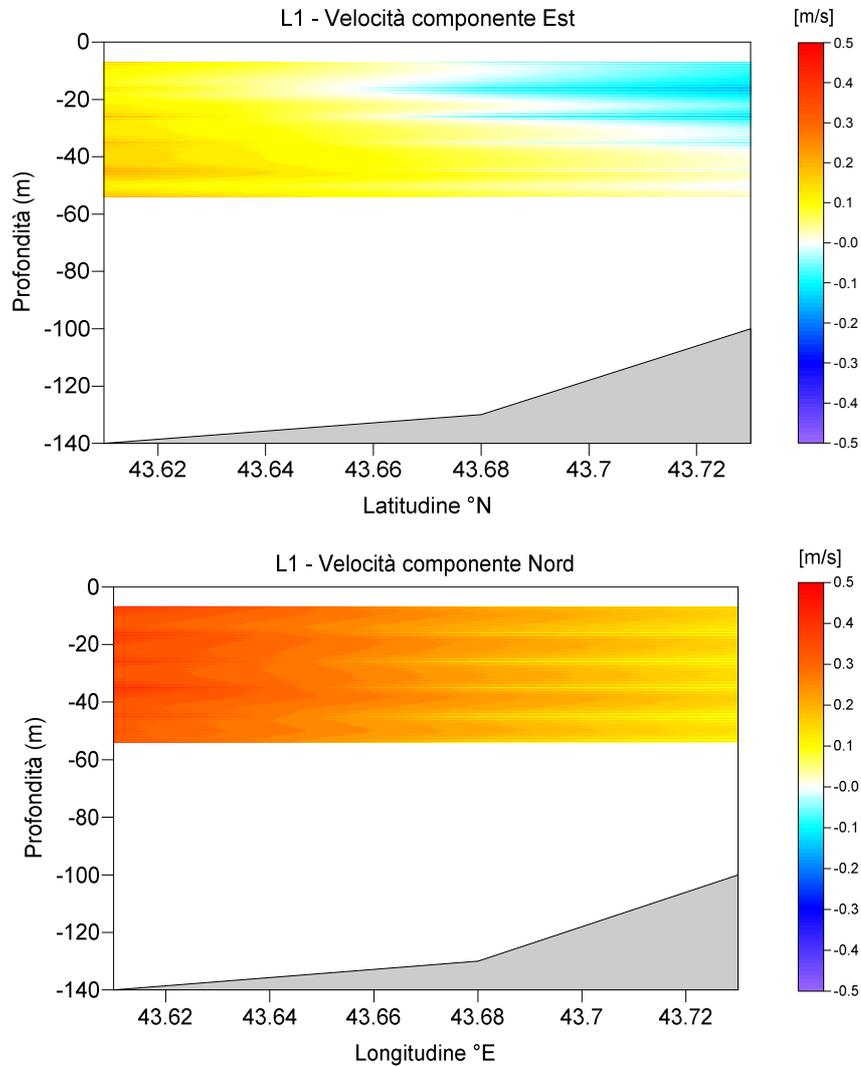


Figura 4.35: Transetto L1 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: L1 - MESE: 07 - ANNO: 2012

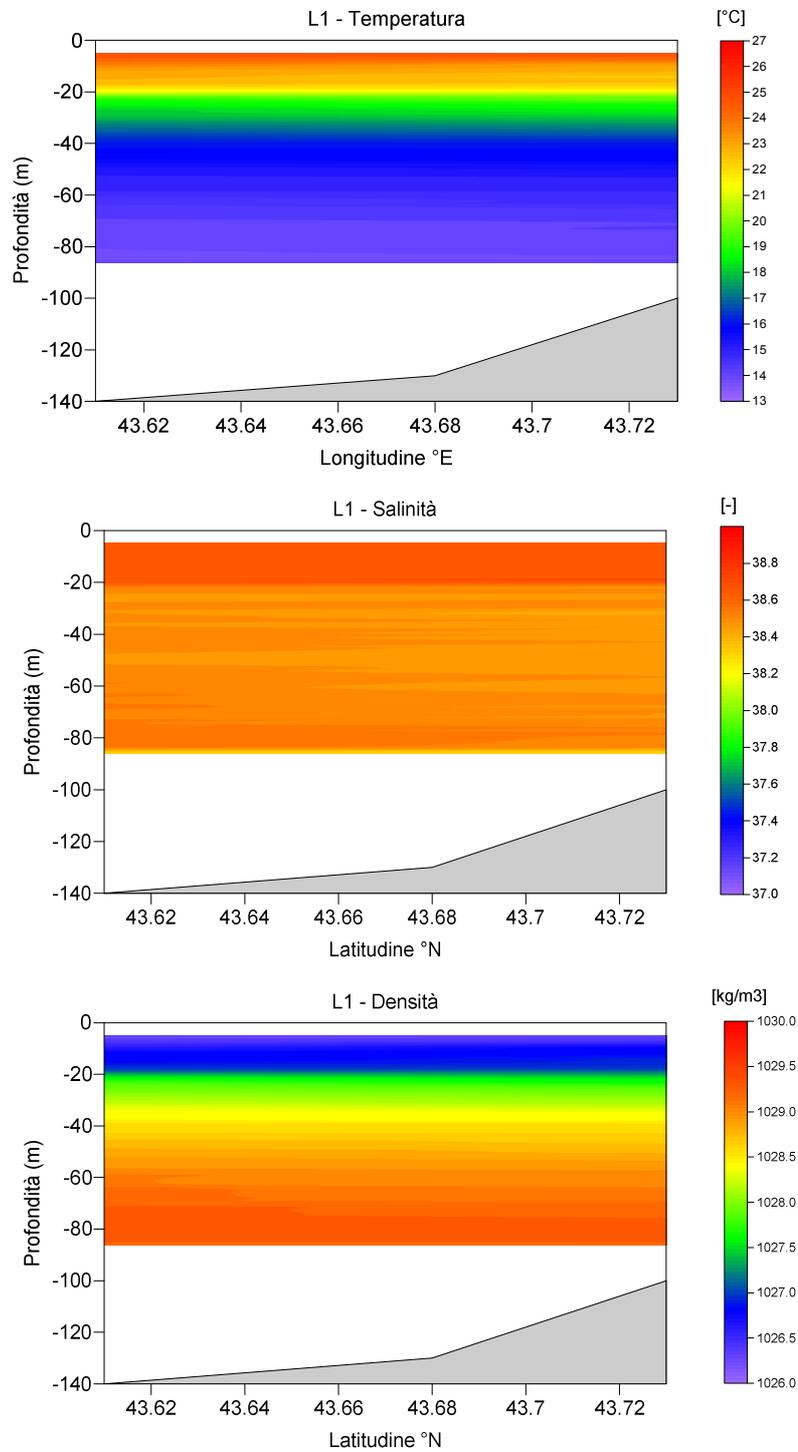


Figura 4.36: Transetto L1 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T2 - MESE: 07 - ANNO: 2012

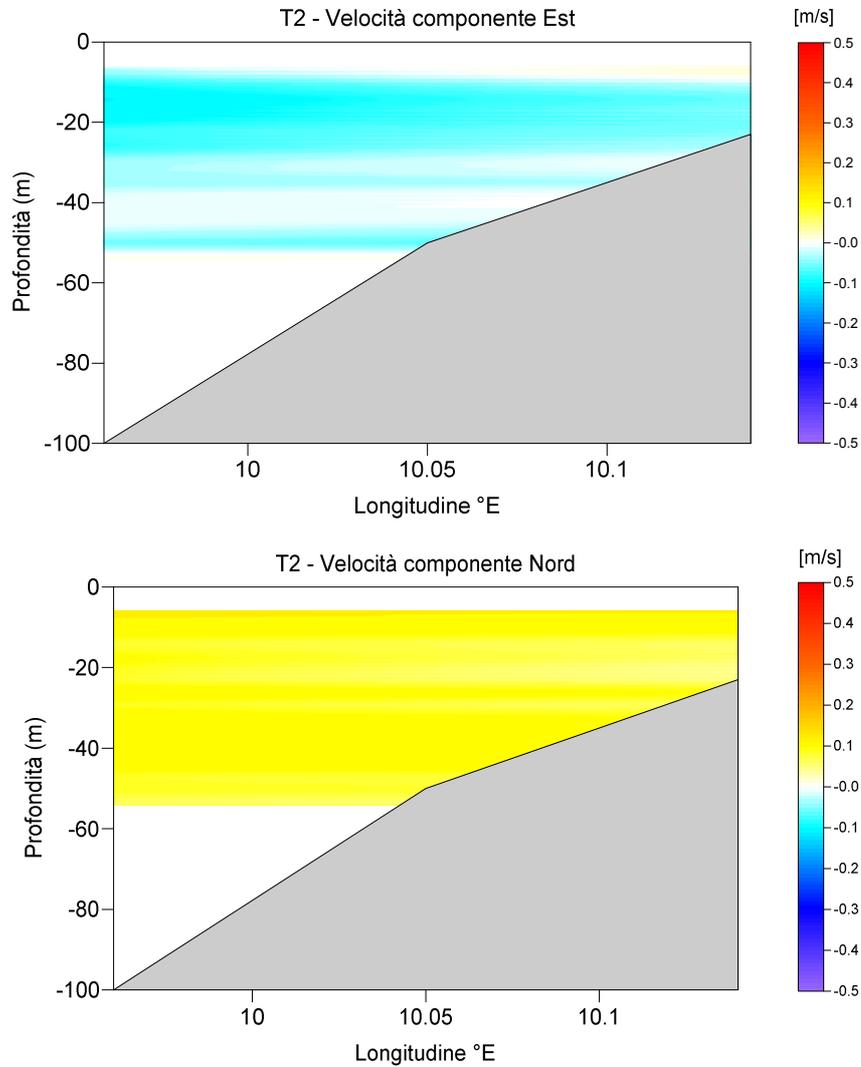


Figura 4.37: Transetto T2 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T3 - MESE: 07 - ANNO: 2012

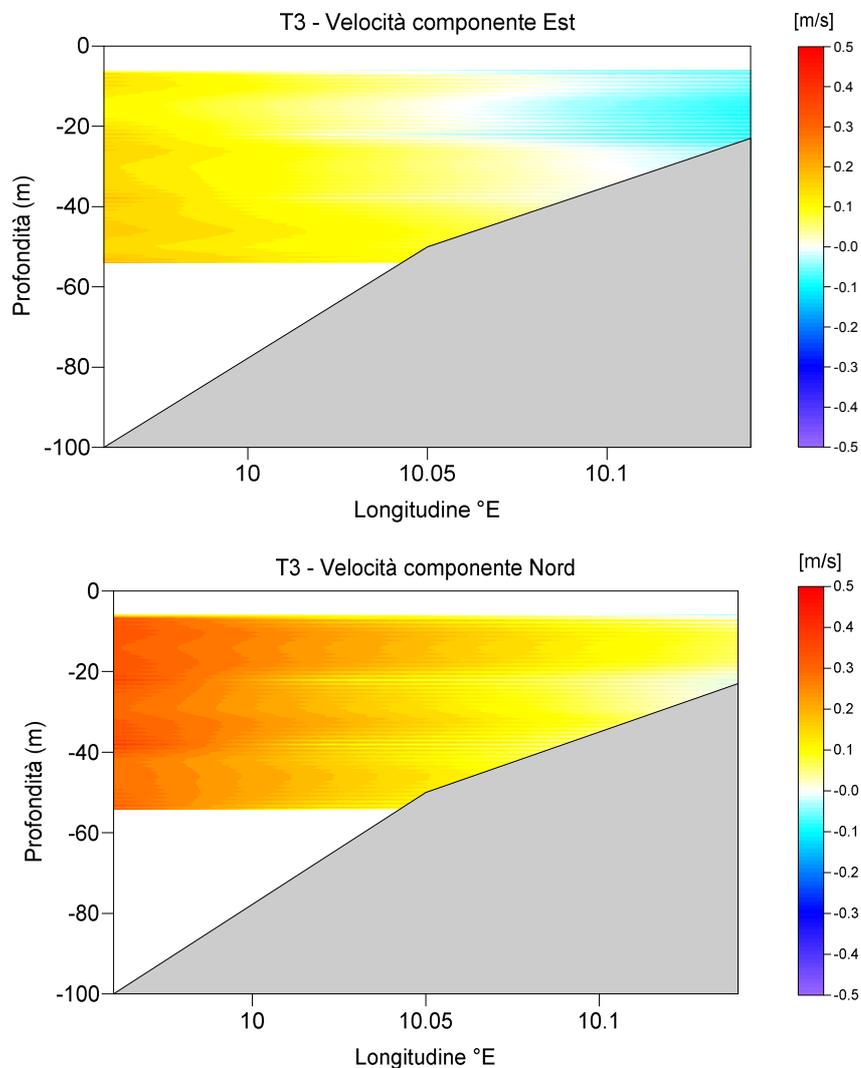


Figura 4.38: Transetto T3 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (sopra) e Nord (sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T2 - MESE: 07 - ANNO: 2012

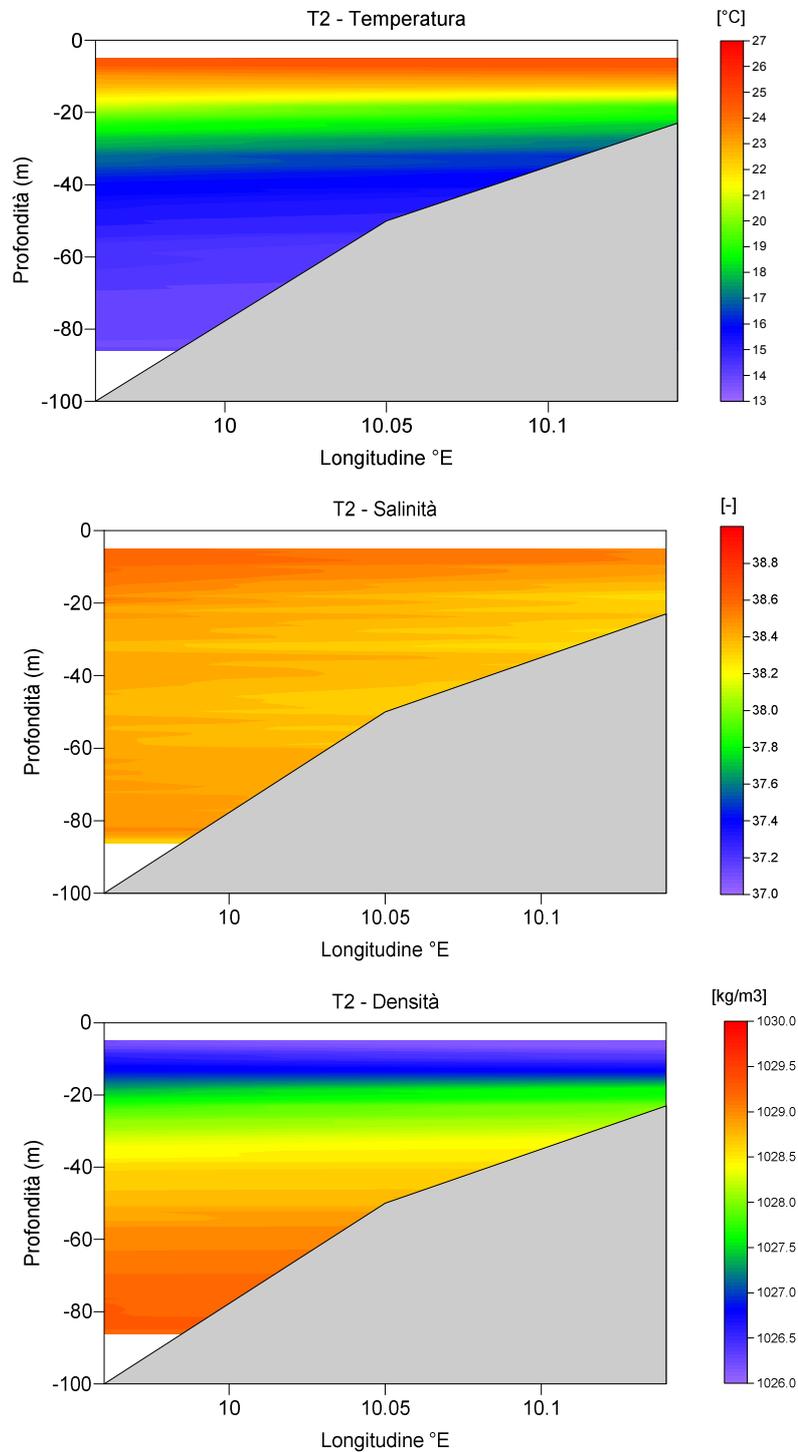


Figura 4.39: Transetto T2 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T3 - MESE: 07 - ANNO: 2012

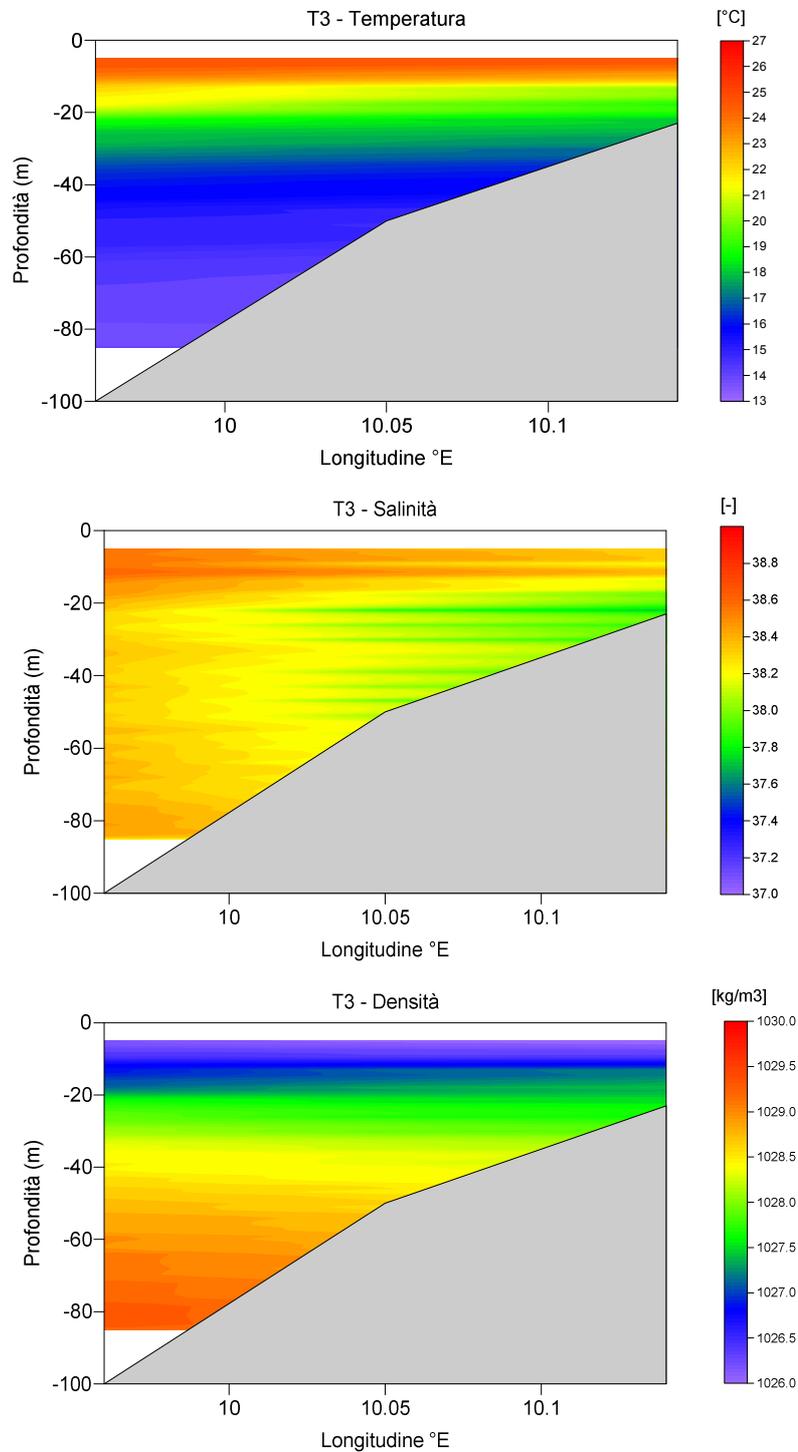


Figura 4.40: Transetto T3 – Luglio 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: L1 - MESE: 08 - ANNO: 2012

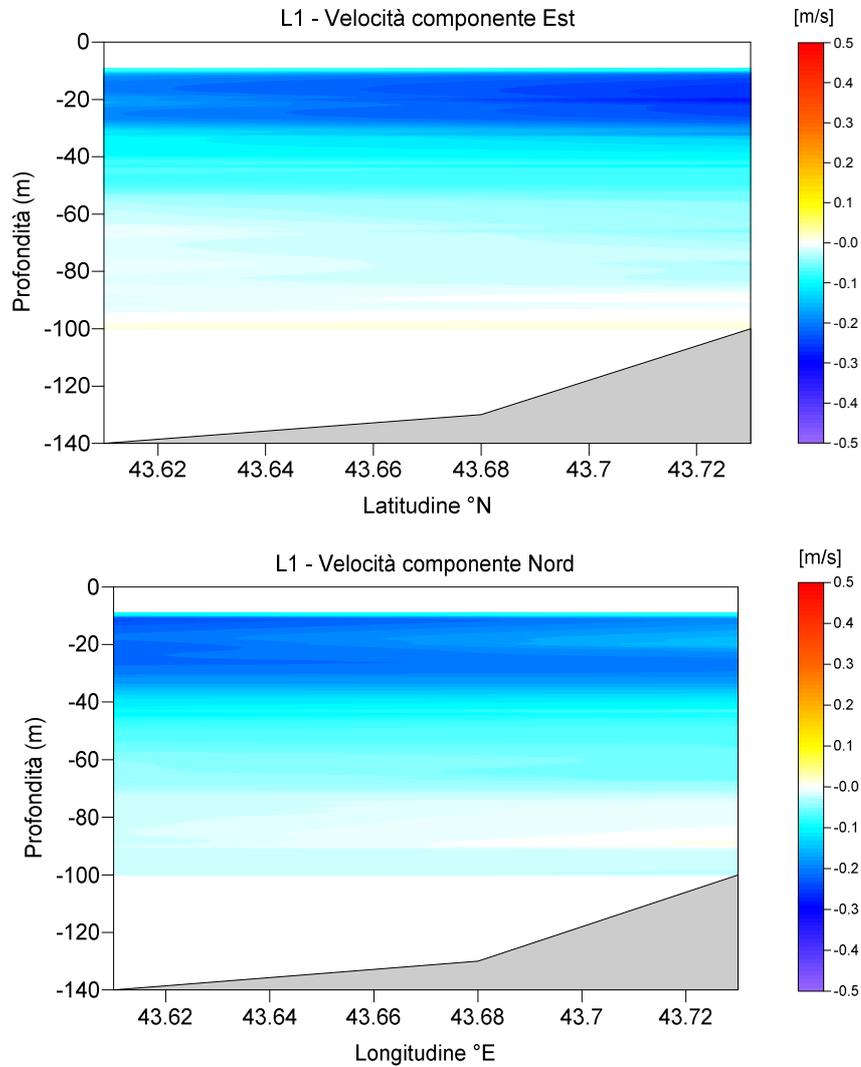


Figura 4.41: Transetto L1 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: L1 - MESE: 08 - ANNO: 2012

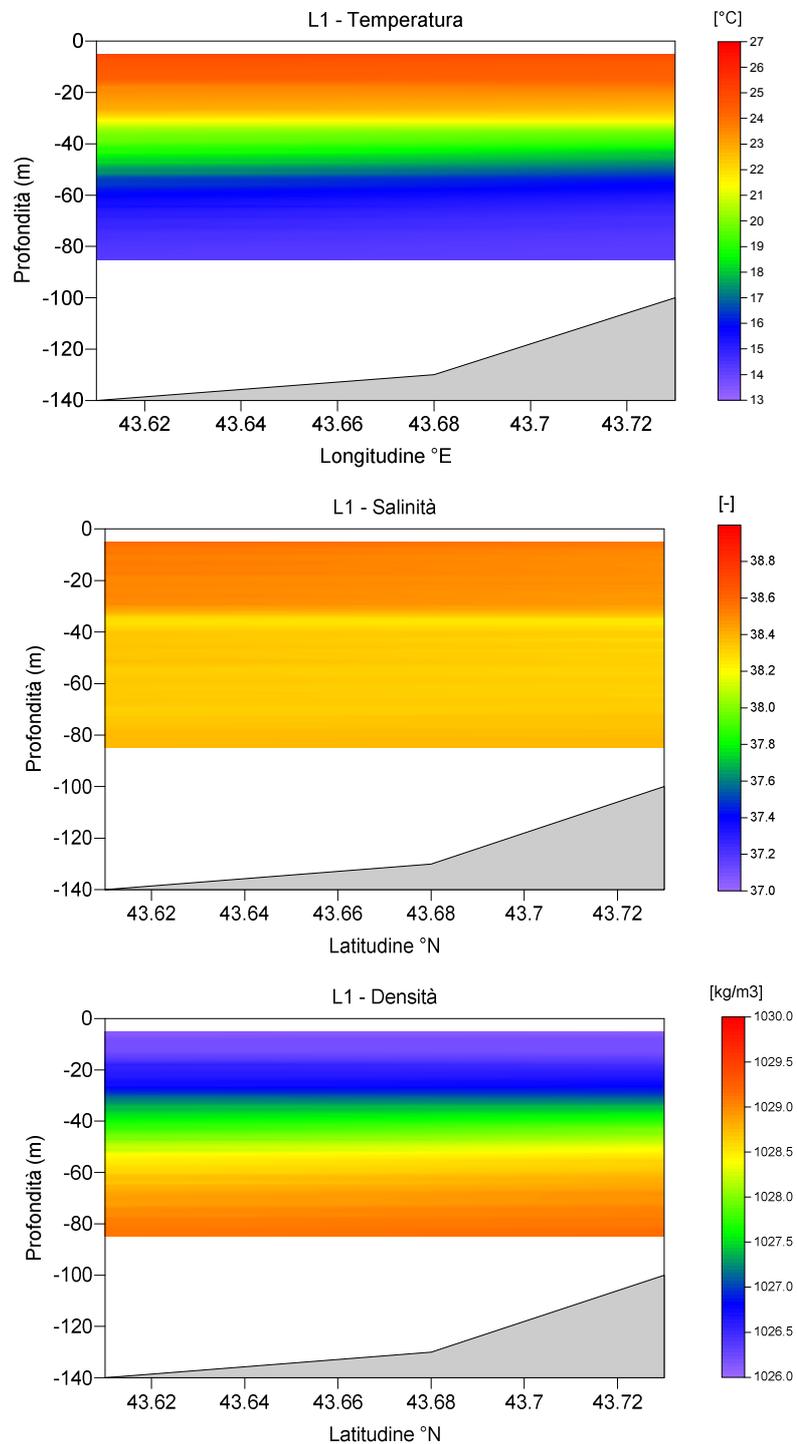


Figura 4.42: Transetto L1 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T1 - MESE: 08 - ANNO: 2012

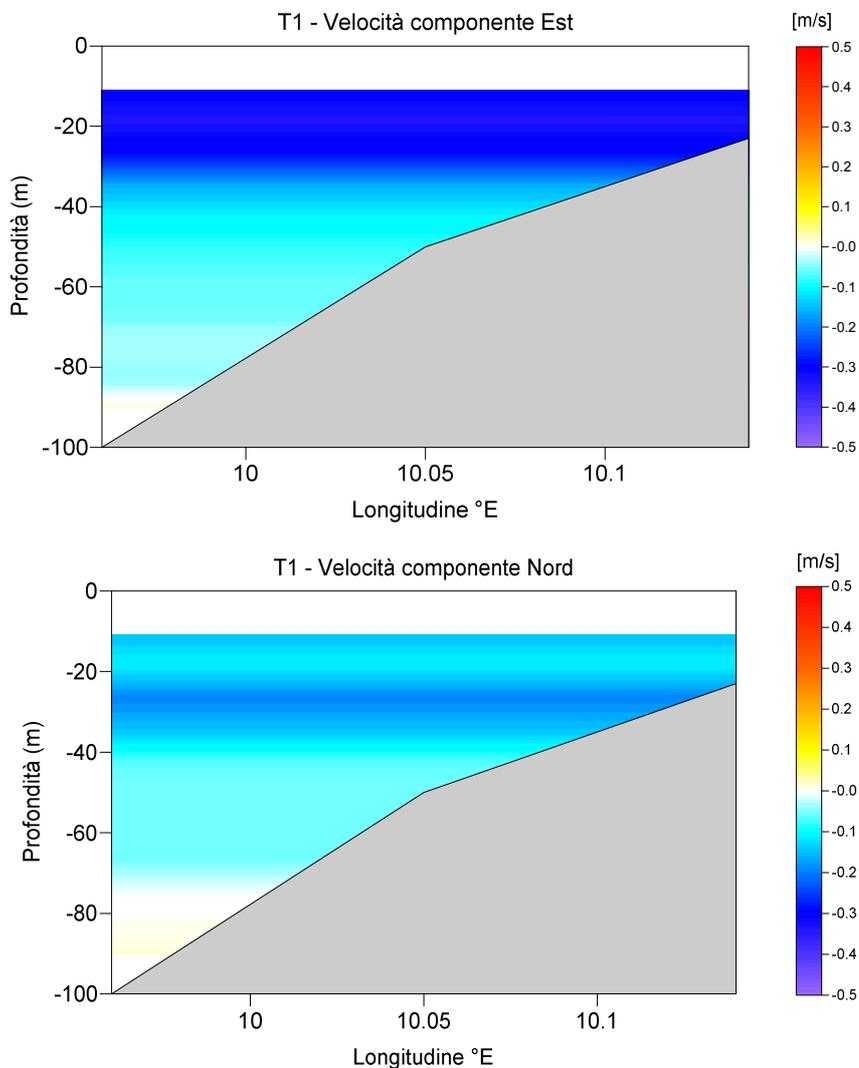


Figura 4.43: Transetto T1 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T2 - MESE: 08 - ANNO: 2012

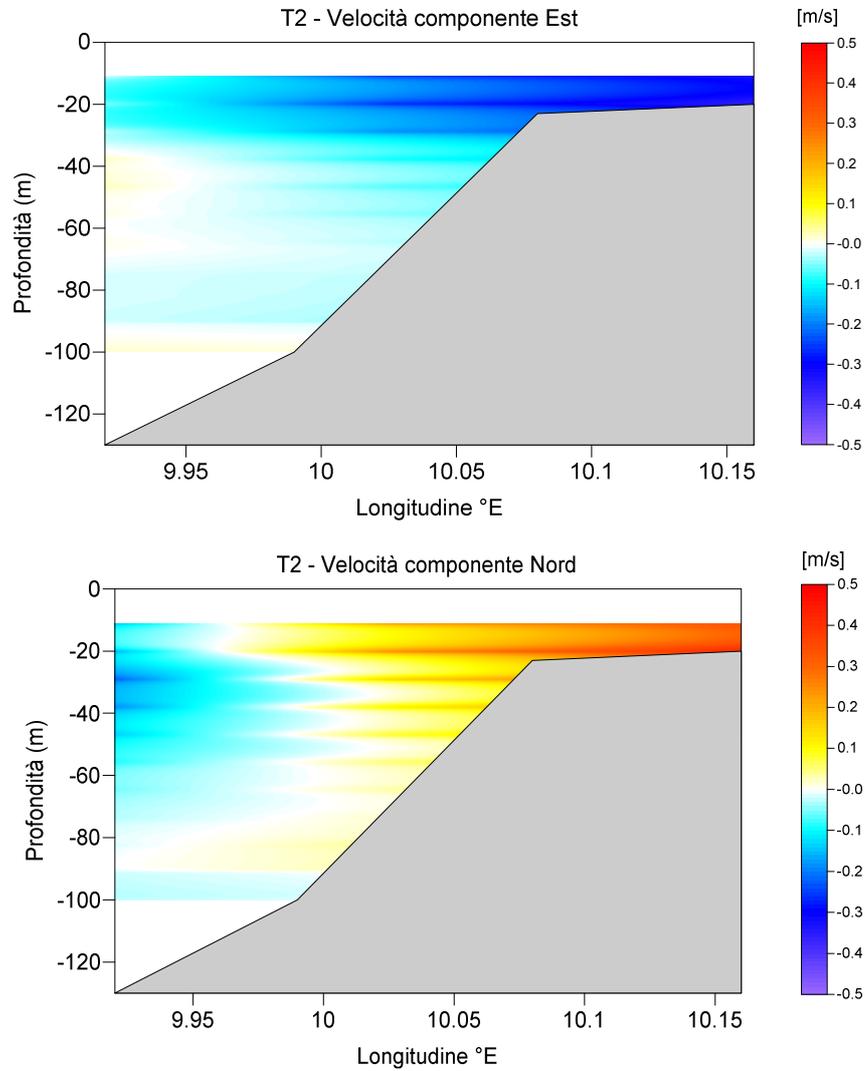


Figura 4.44: Transetto T2 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T3 - MESE: 08 - ANNO: 2012

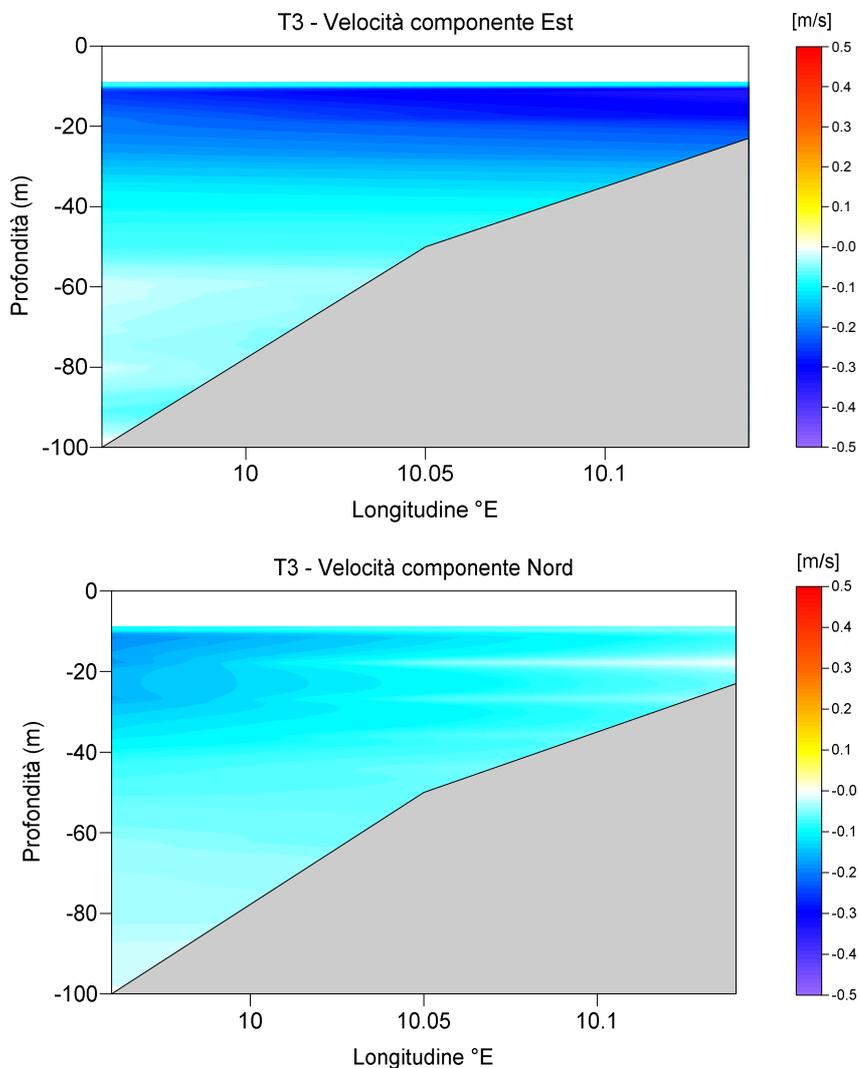


Figura 4.45: Transetto T3 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T1 - MESE: 08 - ANNO: 2012

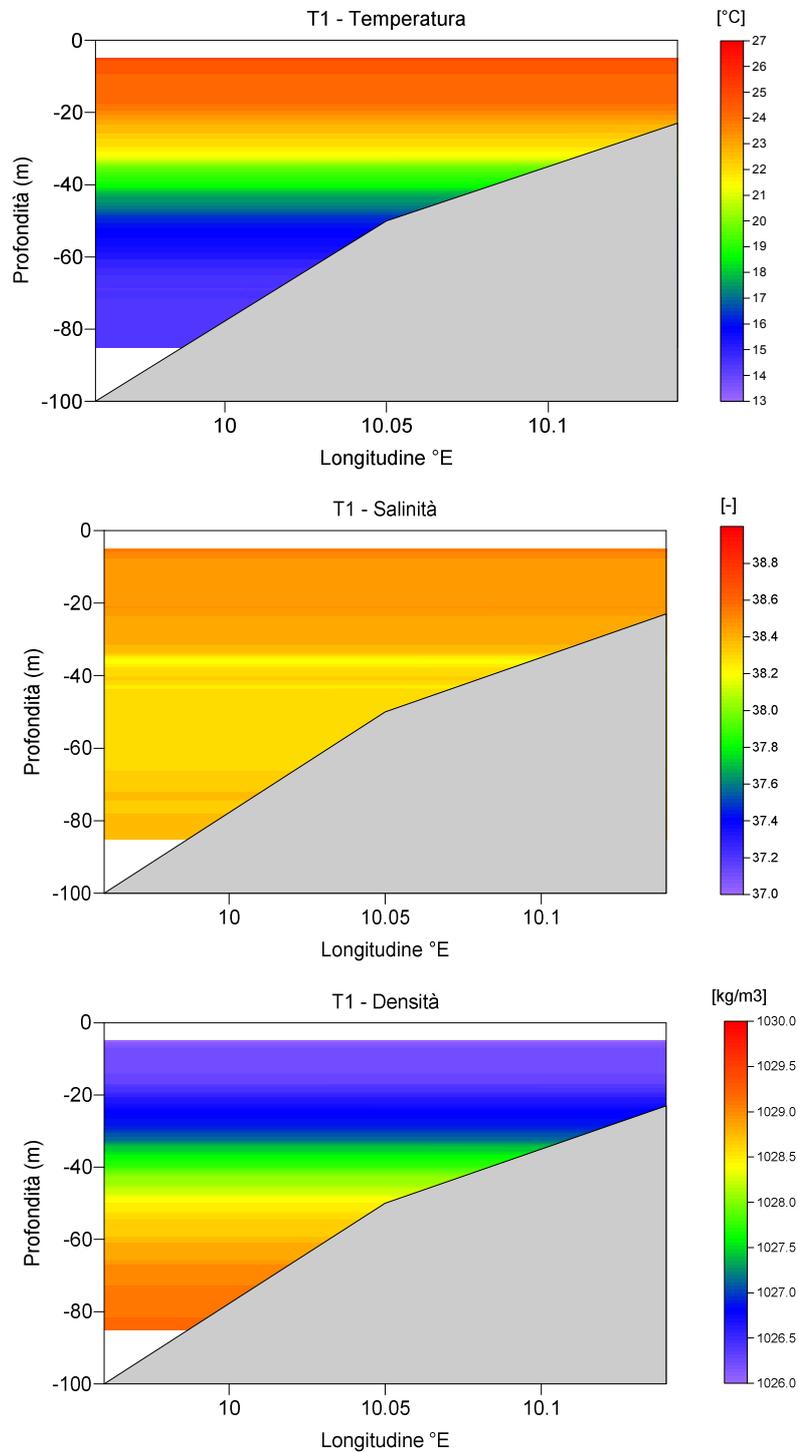


Figura 4.46: Transetto T1 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T2 - MESE: 08 - ANNO: 2012

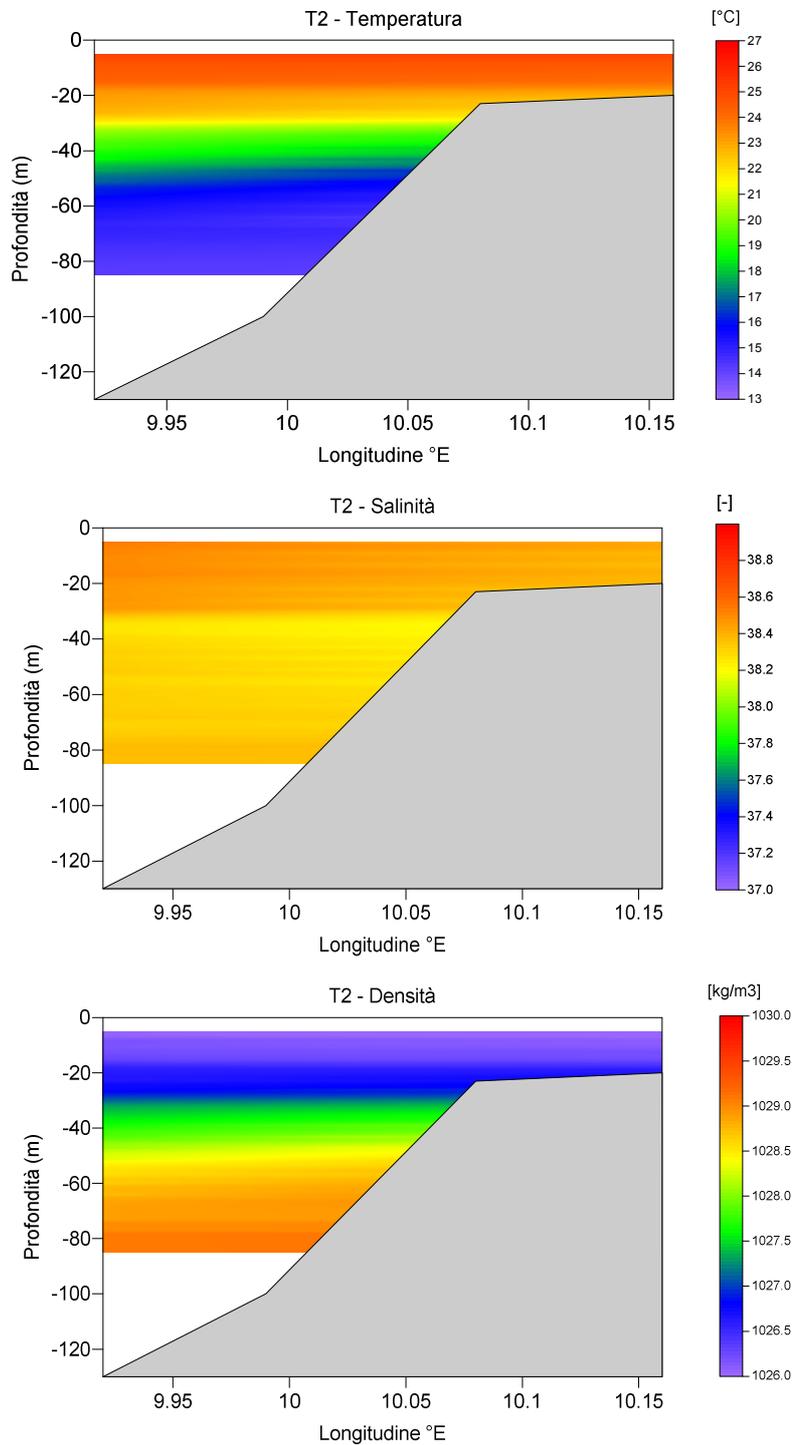


Figura 4.47: Transetto T2 – Agosto 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: L2 - MESE: 10 - ANNO: 2012

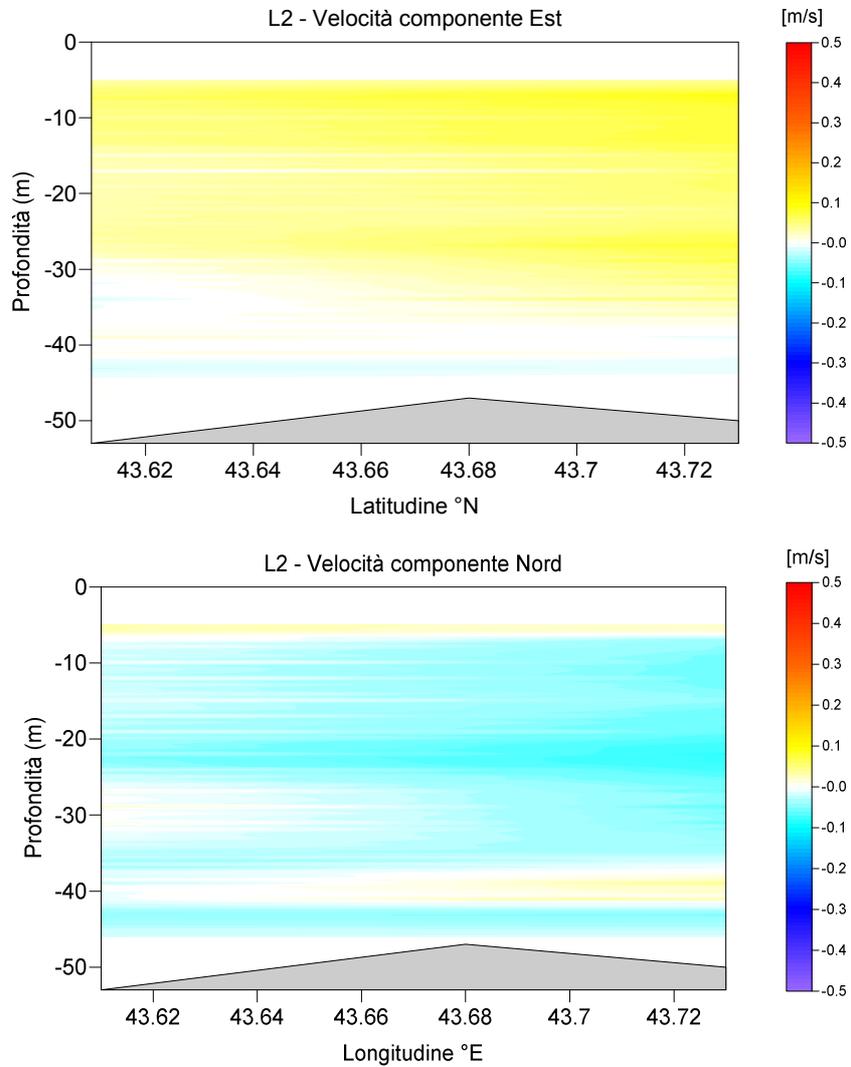


Figura 4.48: Transetto L2 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: L1 - MESE: 10 - ANNO: 2012

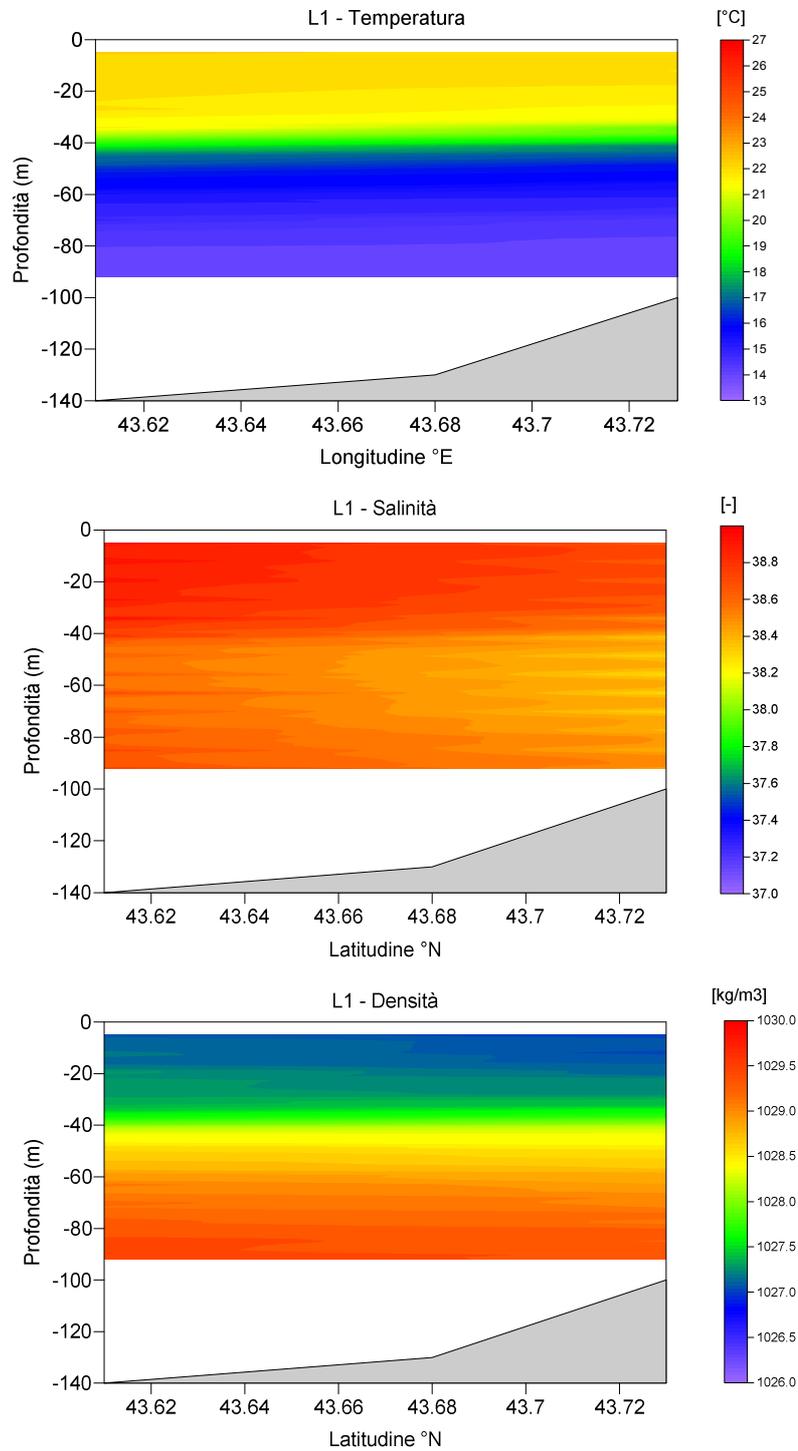


Figura 4.49: Transetto L1 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: L2 - MESE: 10 - ANNO: 2012

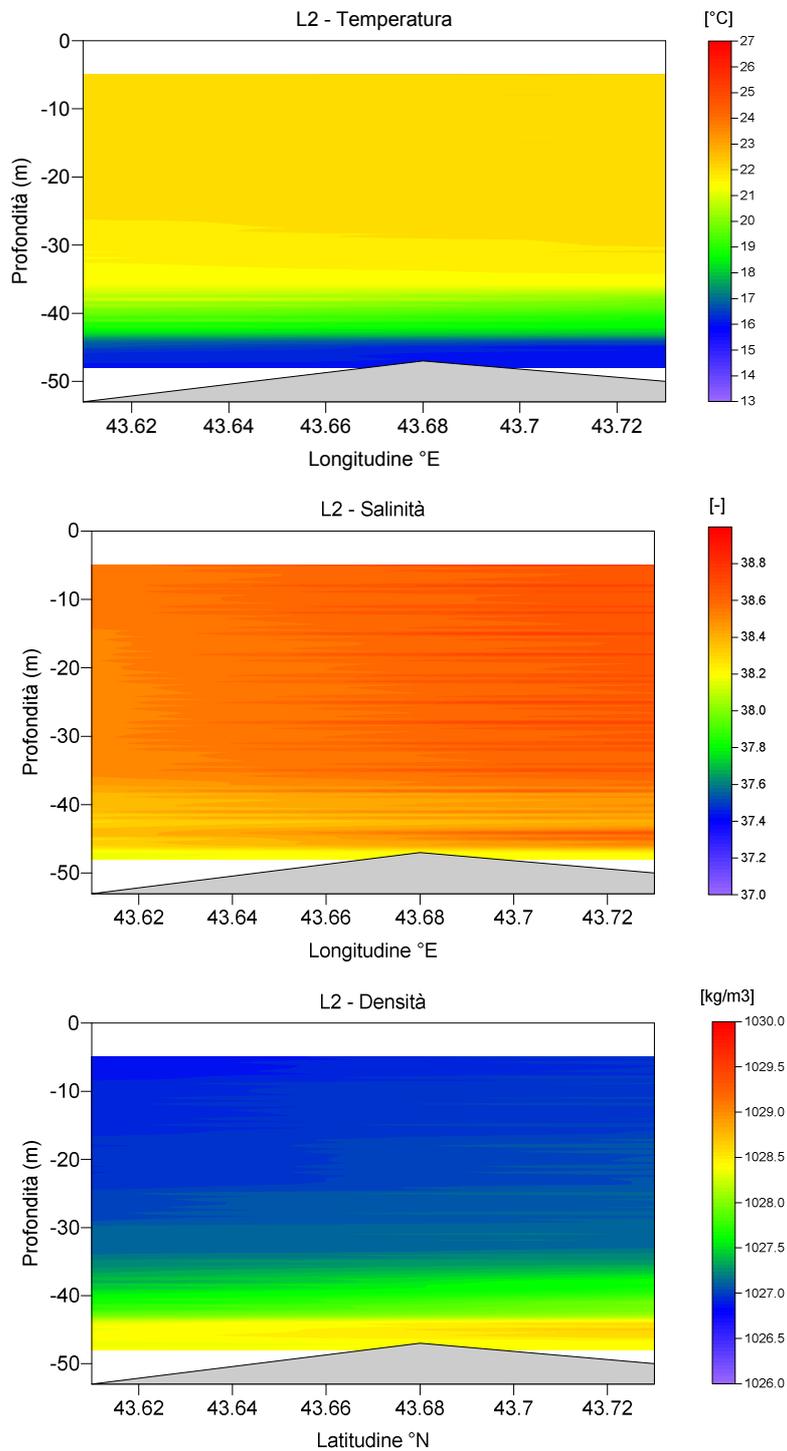


Figura 4.50: Transetto L2 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T1 - MESE: 10 - ANNO: 2012

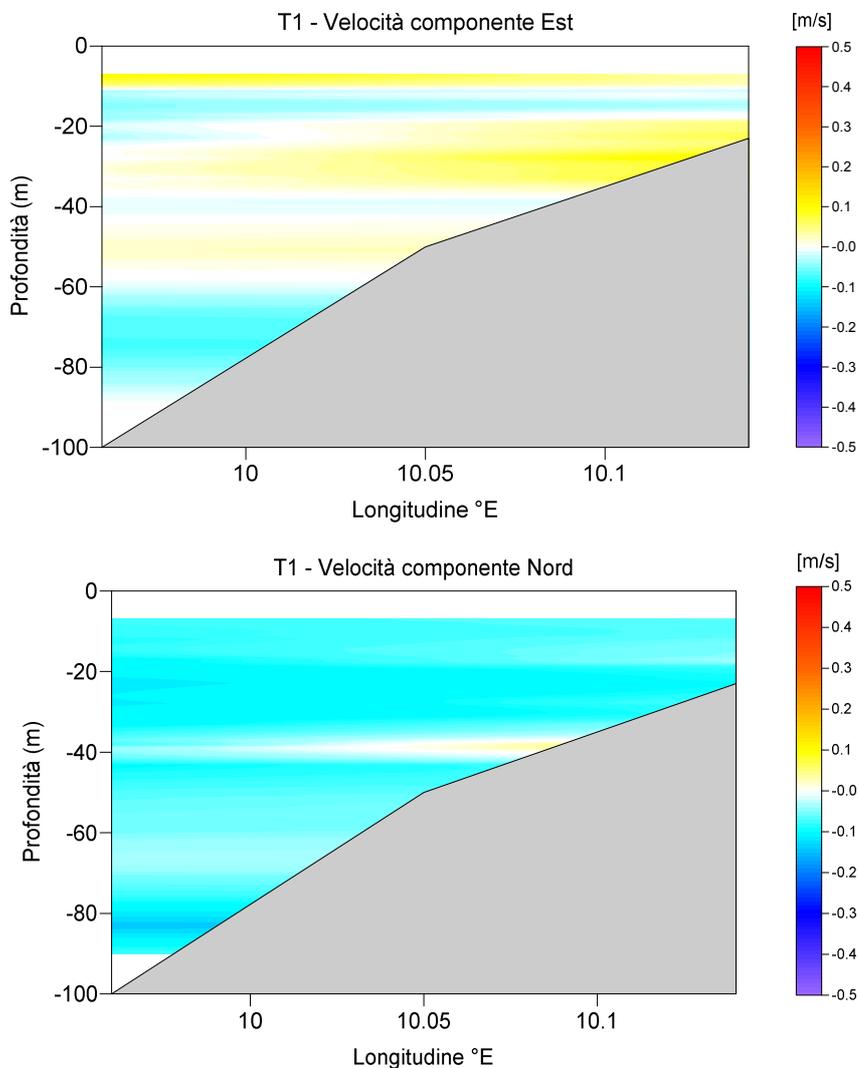


Figura 4.51: Transetto T1 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T2 - MESE: 10 - ANNO: 2012

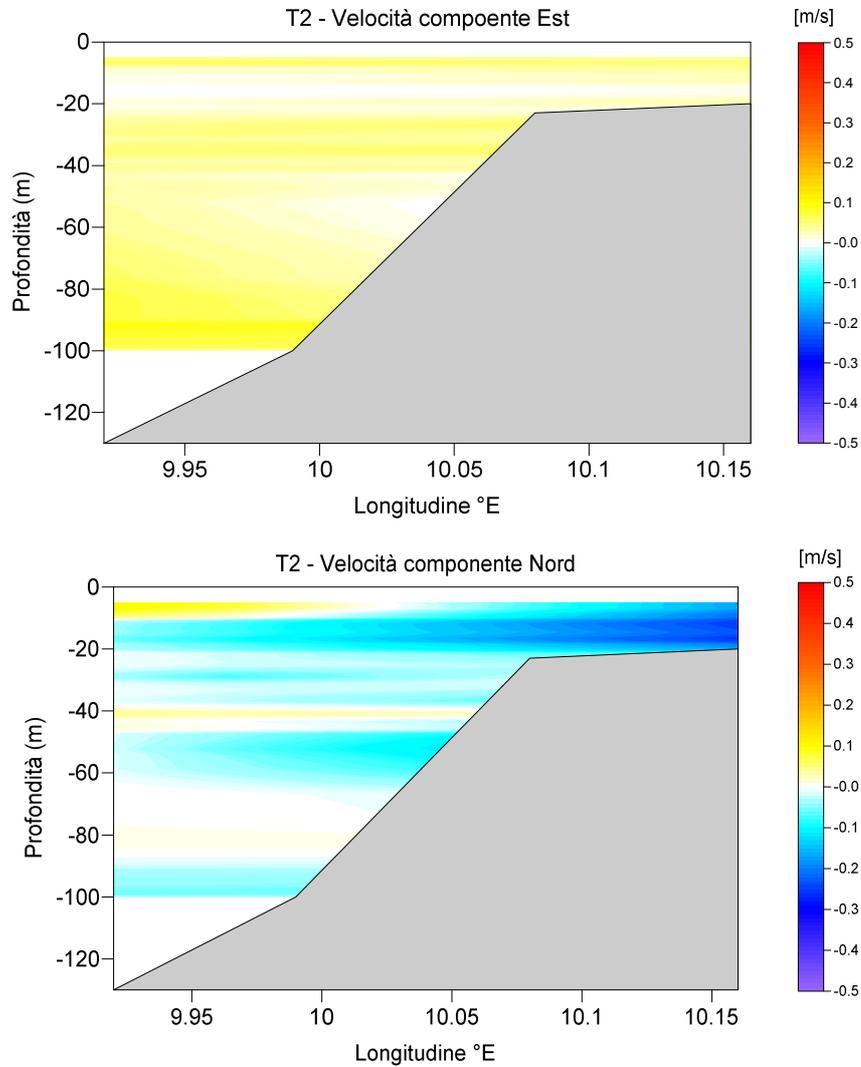


Figura 4.52: Transetto T2 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T1 - MESE: 10 - ANNO: 2012

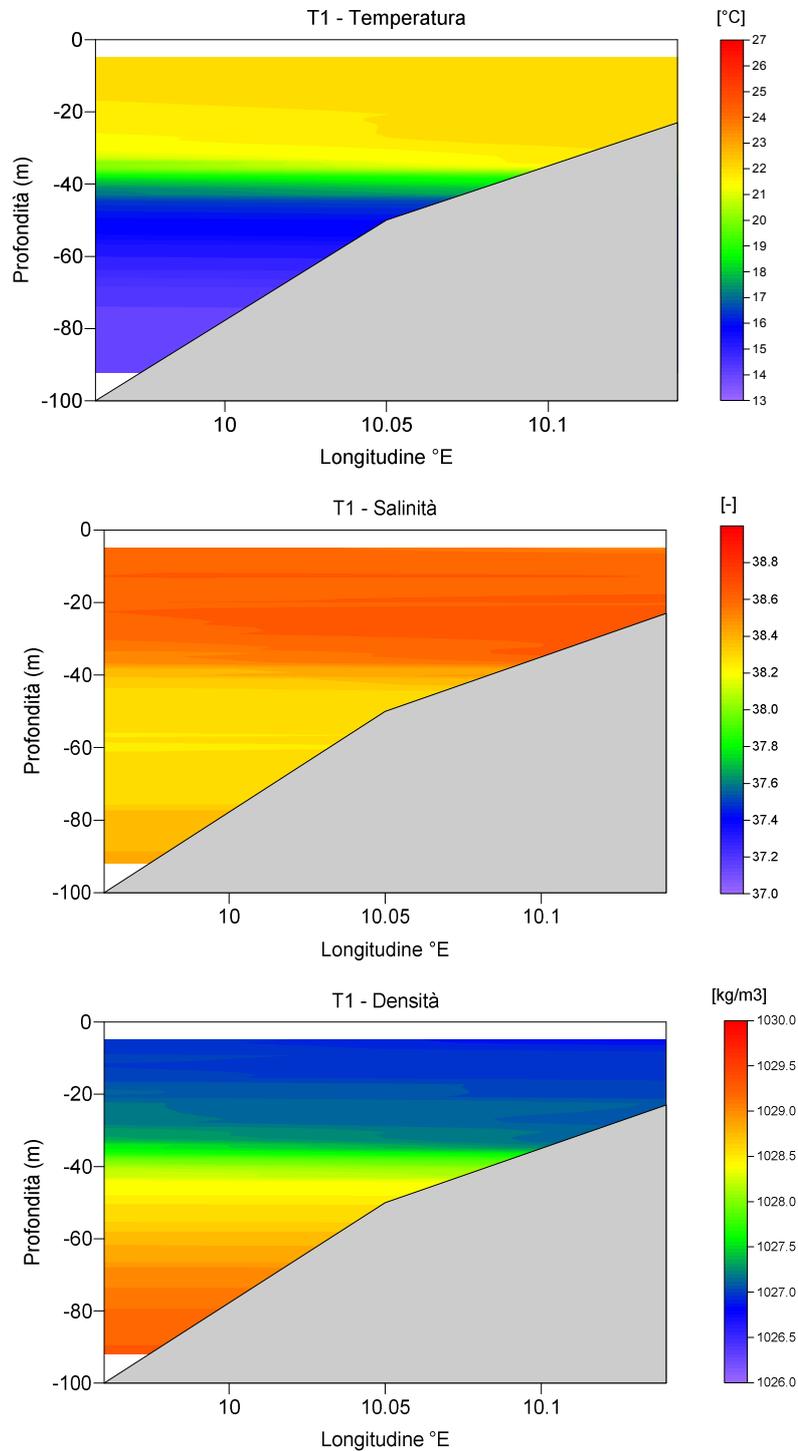


Figura 4.53: Transetto T1 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T2 - MESE: 10 - ANNO: 2012

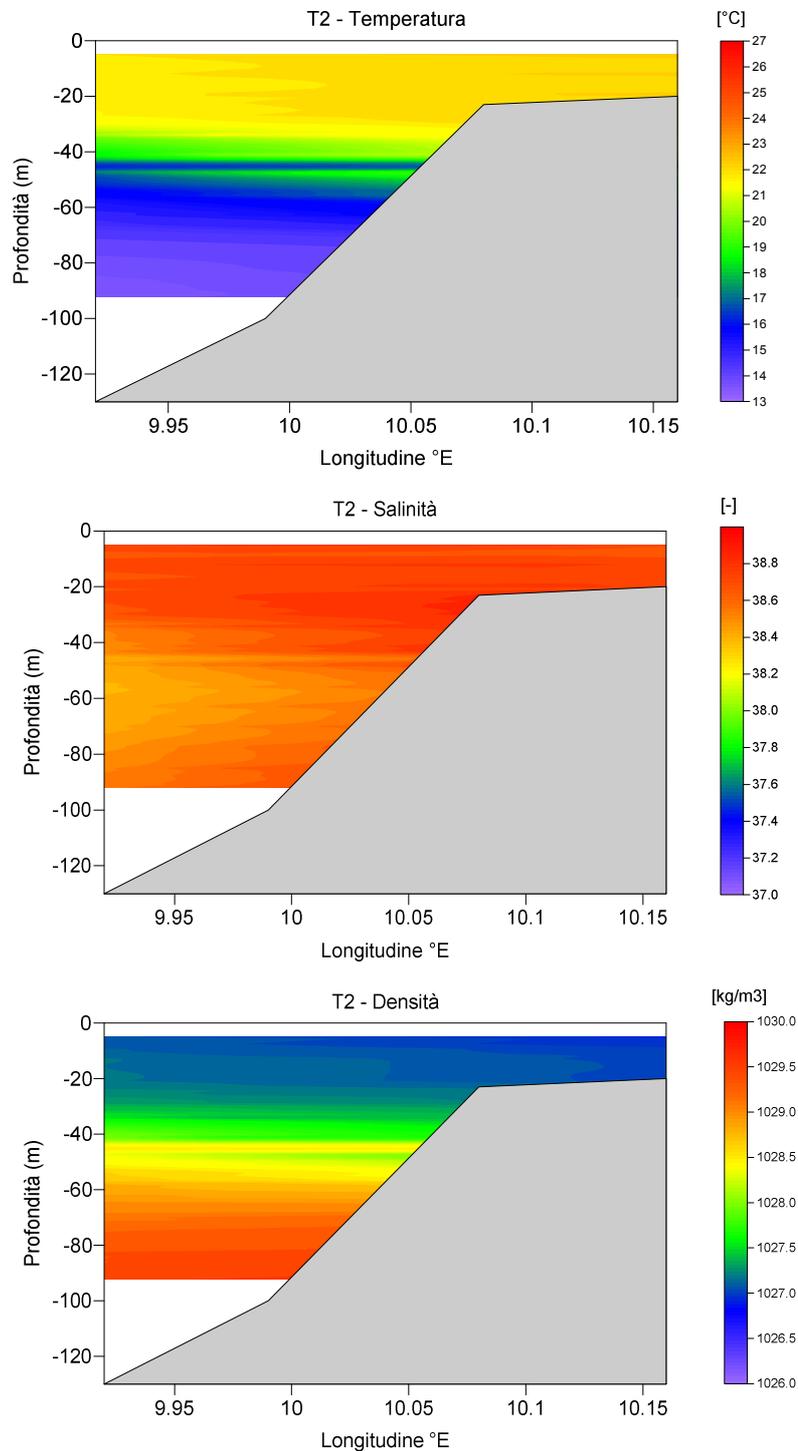


Figura 4.54: Transetto T2 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T3 - MESE: 10 - ANNO: 2012

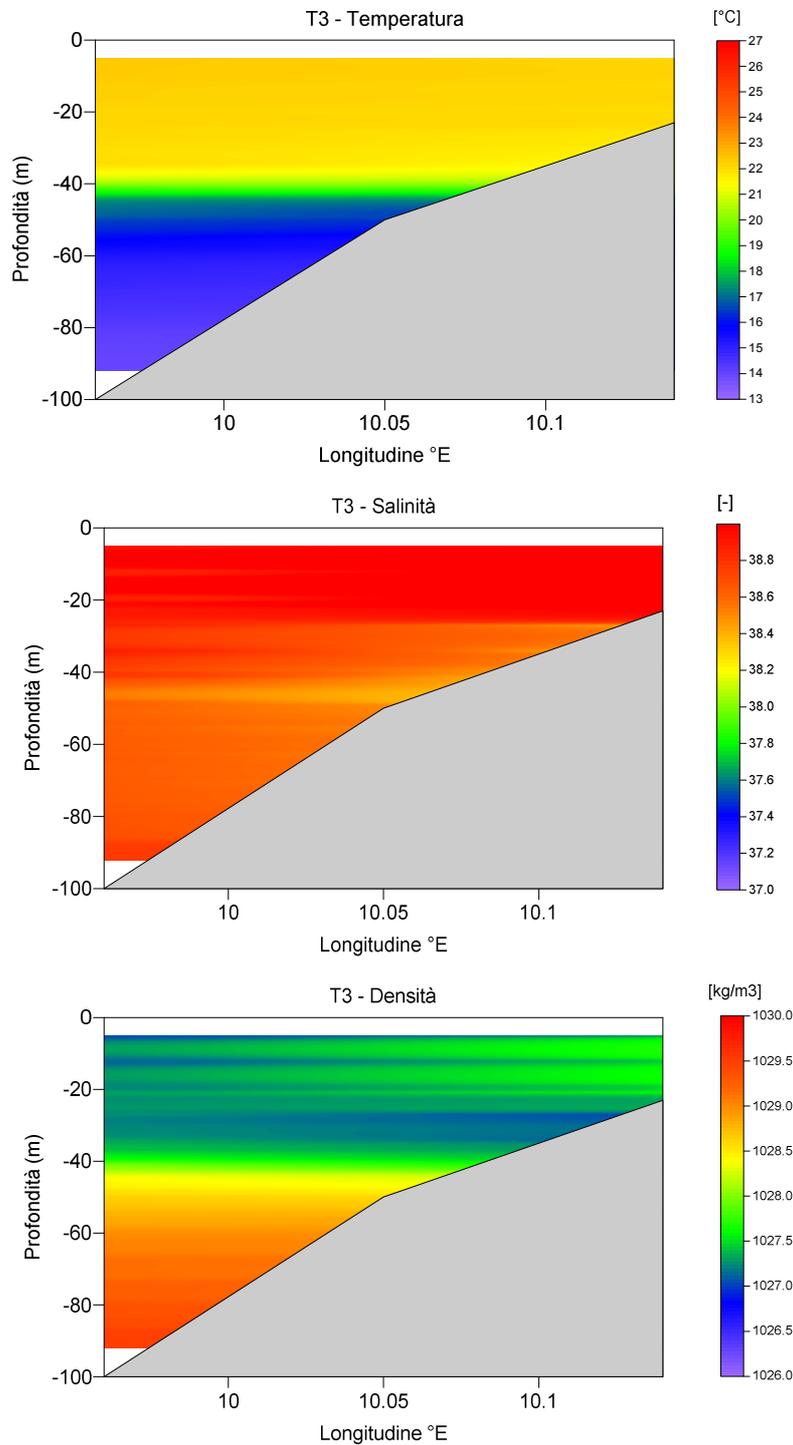


Figura 4.55: Transetto T3 – Ottobre 2012 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

5 INTERPRETAZIONE DEI DATI

I dati descritti nel presente rapporto si riferiscono alla campagna di misure correntometriche nel punto di installazione del terminale FSRU e nella aree adiacenti cominciata, dopo un collaudo attento e dettagliato per garantire l'acquisizione di dati ottimali, da metà di Giugno a metà ottobre. E' quindi stato possibile disporre di preziose informazioni relative alla variabilità spaziale del campo di corrente, all'andamento di velocità e direzione lungo la colonna d'acqua e verificare la congruenza dei valori misurati con la fenomenologia tipica dell'area nel periodo estivo.

Nei profili caratteristici di temperatura e salinità (Figura 4.14 - Figura 4.22), calcolati a partire dai dati rilevati con la sonda CTD, è possibile individuare la presenza, come atteso, di una stratificazione delle acque, visibile da Giugno a Ottobre, con picnoclino particolarmente evidente nel mese di Agosto tra i 20 e 35 m di profondità.

Le misure effettuate con il profilatore ADCP mostrano in generale velocità della corrente apparentemente modeste, e questo è dovuto alla necessità di effettuare le misure in condizioni di mare calmo: manca quindi il contributo del vento che, come descritto nel cap. 3.3, rappresenta, per l'area OLT e per tutto l'Arcipelago Toscano, il termine forzante principale.

Non è stato pertanto possibile correlare direttamente il vento locale con la corrente, ma i valori misurati, che si riferiscono quindi essenzialmente al contributo della marea, agli effetti perturbativi nel "far field" (si veda cap. 3.3) e alla circolazione stazionaria, sono comunque tali da garantire una buona dinamica generale su tutta la colonna d'acqua anche nel periodo estivo.

Si osserva inoltre che generalmente le correnti misurate sono dirette verso sud-sud ovest negli strati superficiale e intermedio, con una graduale rotazione verso ovest-nord ovest a mano a mano che si procede verso il fondo. Ciò è ovviamente dovuto alle caratteristiche del campo di densità e alla presenza della stratificazione della colonna d'acqua, che ha caratterizzato praticamente tutti i mesi di misura (e che giustifica appieno l'utilizzo di un modello idrodinamico baroclinico per la simulazione del campo di corrente dell'Arcipelago permettendo inoltre di simulare in maniera adeguata tutti i termini forzanti che contribuiscono alla circolazione, in particolare l'effetto del vento).

Per quanto riguarda l'andamento dei valori caratteristici dei transetti longitudinali e trasversali (Figura 4.23- Figura 4.55), si sottolinea che la generale omogeneità che questi mostrano può essere considerata tipica del periodo estivo in assenza di vento, e congruente con la fenomenologia attesa.

6 CONCLUSIONI

Le misure qui descritte e analizzate, estese a tutta la colonna d'acqua ed effettuate sia in corrispondenza del punto di futura ubicazione del terminale, sia nell'area circostante a differenti profondità, sono state validate, analizzate ed interpretate al fine di documentare in modo completo ed esaustivo il campo di corrente e il campo di massa alle varie quote lungo la colonna d'acqua e lungo transetti trasversali e longitudinali alla costa, così come raccomandato nel Piano di Monitoraggio.

Poiché i dati qui riportati sono relativi alla campagna di misure cominciata, dopo un collaudo attento e dettagliato per garantire l'acquisizione di dati ottimali, a metà di Giugno e terminata a Ottobre, essi si riferiscono al periodo estivo.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali evidenziate:

- Nei profili di temperatura e salinità, calcolati a partire dai dati rilevati con sonda CTD, è possibile individuare la presenza di stratificazione della colonna d'acqua, con un picnoclino molto evidente nel mese di Agosto tra i 20 e 35 m di profondità
- Relativamente alle misure di corrente si evince che le correnti misurate sono dirette verso sud-sud ovest negli strati superficiale e intermedio, con una graduale rotazione verso ovest-nord ovest a mano a mano che si procede verso il fondo. Ciò è ovviamente dovuto alle caratteristiche del campo di densità e alla presenza della stratificazione della colonna d'acqua, che ha caratterizzato praticamente tutti i mesi di misura, e che giustifica appieno l'utilizzo di un modello idrodinamico baroclinico che permette di simulare in maniera adeguata tutti i termini forzanti che contribuiscono alla circolazione, in particolare l'effetto del vento;
- Si ritiene che la generale omogeneità che questi mostrano sia tipica del periodo estivo e congruente con la fenomenologia attesa. Va infatti sottolineato che le misure ADCP mostrano in generale velocità della corrente apparentemente modeste, in quanto manca il contributo del vento che rappresenta, per l'area OLT e per tutto l'Arcipelago Toscano, il termine forzante principale: ciò è dovuto all'ovvia necessità di effettuare le misure in condizioni di mare calmo. I valori misurati si riferiscono quindi essenzialmente al contributo della marea, agli effetti perturbativi generati in aree lontane e alla circolazione stazionaria: essi sono tali da garantire una buona dinamica generale su tutta la colonna d'acqua anche nel periodo estivo.

MFI/ETE/BRG/GDF/EP/RC: fcb

RIFERIMENTI

CIBM, 2011 – Terminale Galleggiante di Rigassificazione FSRU Toscana -“Piano di Monitoraggio dell’Ambiente Marino”, Rev. 2

DEAM, 2012 “Metocean Study and Assessment of Design Parameters (based on 1992-2007 data)”, Rev. 2

DEAM, 2012 “Addendum to Metocean Study and Assessment of Design Parameters (based on 1992-2007 data)”

ISMAR –Nettuno Project – www.ricerca.ismar.cnr.it/modelli/onde_med_italia.html

Alain Saliot , 2007 – “The Mediterranean Sea” – Springer

Astraldi M., Borghini C., Galli C., Gasparini P., Lazzoni E., 1993 – Caratteristiche della Circolazione nell’ Arcipelago Toscano, Regione Toscana

Csanady, T., 1982, Circulation in the Coastal Ocean, D.Reidel Publishing Company

DEAM, 2012 – “Specifica Tecnica per l’Esecuzione di Misure CTD e ADCP – Fase di Collaudo”, Rev. 0

APPENDICE A
STRUMENTAZIONE, METODOLOGIA DI ACQUISIZIONE E COLLAUDO

APPENDICE A STRUMENTAZIONE, METODOLOGIA DI ACQUISIZIONE E COLLAUDO

A.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le misure ADCP e CTD sono state eseguite con la seguente strumentazione:

- Profilatore di corrente Sontek ADCP (Acoustic Doppler Profiler) a 250kHz (per profondità d'acqua fino a 180 m) dotato di 3 trasduttori acustici ed elettronica di ricezione montati su un corpo di alluminio anodizzato rivestito di poliestere (Figura A.1). Lo strumento è dotato anche di sensore per la temperatura (i cui dati servono per compensare automaticamente le variazioni di velocità del suono) e di "Bottom track" per l'utilizzo da natante in moto. Il tutto, compresa la valigia rigida per il trasporto in sicurezza dello strumento, è stato fornito da Codevintec, Milano;
- Sonda CTD Sontek CastAway (Figura A.2): sensore CTD autoregistrante per la misura del profilo di conducibilità, temperatura, profondità e calcolo di salinità e densità dell'acqua. Completo di display LCD a colori, interfaccia Bluetooth, GPS Interno per georeferenziazione automatica delle misure, memoria interna, alimentazione tramite 2 batterie AA (40 ore di autonomia), valigia rigida per il trasporto. Il tutto è stato fornito da Codevintec;
- Sistema di posizionamento con ricevitore GPS Novatel SmartV1 L1 (L-Band, DGPS, SBAS) a 14 canali (+ 2 WAAS-EGNOS) con frequenza sino a 20 Hz, fornito da Codevintec;
- Ecoscandaglio Garmin, di immediato impatto visivo della profondità, utilizzato soprattutto come verifica della posizione fornita dal GPS e del profilo di profondità lungo la rotta del natante;
- PC, adatto all'uso in ambiente marino, Panasonic Business Rugged mod. CF-F9 processore Intel® Core™ i5 vPro® (2,40 GHz con Turbo Boost fino a 2,93 GHz, Intel® Smart Cache 3 MB), Windows 7 Professional, 4 GB RAM e 320 GB HDD, case LCD in lega di magnesio, resistenza alle cadute e ai versamenti accidentali di liquidi, autonomia della batteria fino a 7 ore, batteria di riserva, peso di 1.620 g, fornito da Teknoservice, Pisa;
- Set di batterie complete di cavi e di valigetta per il trasporto, fornite da Teknoservice.

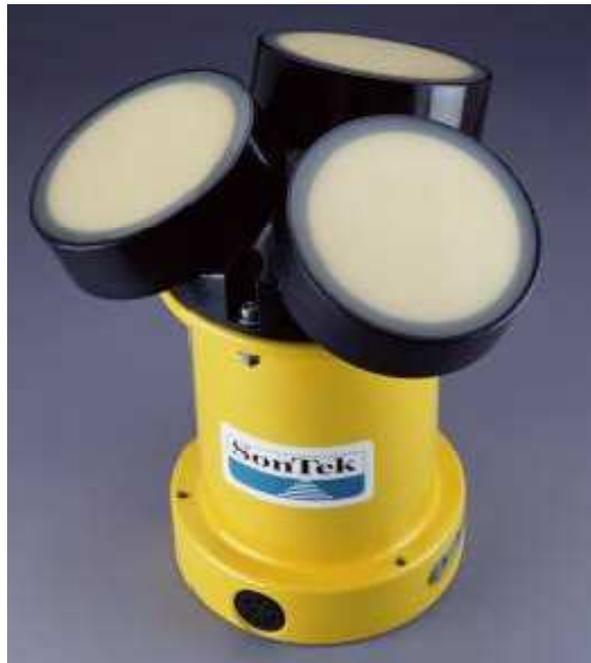


Figura A.1: Sontek Adcp 250 Hz



Figura A.2: Sonda CTD Sontek Castaway

A.2 METODOLOGIA DI ACQUISIZIONE E COLLAUDO

Nel seguito vengono fornite informazioni sulla metodologia operativa, scelta in base alle caratteristiche del campo di corrente locale descritto in precedenza, e vengono presentati alcuni dettagli relativi alla lunga fase di collaudo.

A.2.1 METODOLOGIA OPERATIVA

Come è noto, l'ADCP effettua misure del profilo verticale del vettore corrente, fornisce cioè la velocità e direzione della corrente lungo la colonna d'acqua, che viene suddivisa in un numero di "celle" (definito dall'operatore): per ogni cella viene misurata la velocità e direzione mediata sull'ampiezza della cella stessa (Figura A.3).

Nel caso in oggetto sono state selezionate, dopo un'opportuna fase di collaudo e di analisi dei dati restituiti dallo strumento, celle di ampiezza 8 m (ad eccezione delle acque più basse dove le dimensioni delle celle sono inferiori): velocità e direzione alle varie quote rappresentano quindi il valore medio su 8 m.

Ricordiamo che il principio di funzionamento è basato sull'"Effetto Doppler": ogni trasduttore emette un segnale acustico lungo la colonna d'acqua che viene riflesso dal particolato trasportato dalla corrente marina. Attraverso la misura della differenza di frequenza tra onda emessa e onda riflessa, che è funzione della velocità delle particelle riflettenti, si calcola la corrente.

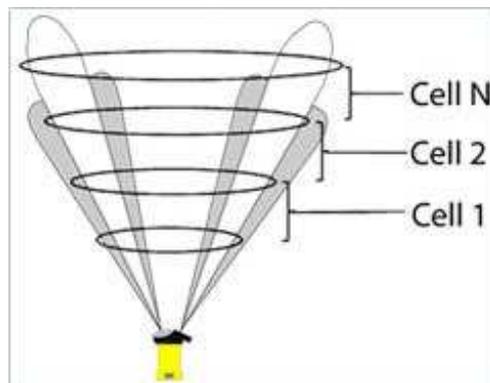


Figura A.3: Metodo Di Misura -Suddivisione della Colonna d'Acqua in Celle

Sono possibili tre strategie di campionamento:

- modo di "campionamento in continuo", utilizzato in generale per ottenere dati in tempo reale e da postazioni fisse, necessita di alimentazione elettrica o di batterie a lunga durata: nel caso in oggetto, è il metodo scelto per le misure da natante in moto;
- modo di "campionamento autonomo": in questo caso il ciclo di acquisizione è ridotto ad un tempo limitato e, mentre non acquisisce, l'ADCP si mette in condizioni di riposo con consumi dell'ordine di 1 mW. Nel caso attuale è il metodo utilizzato per l'esecuzione dei profili in un punto, poi, nel trasferimento da un punto di misura all'altro, l'ADCP va in riposo;

- modo di “campionamento burst”: è utilizzato per ottenere informazioni su rapide variazioni del flusso a breve termine. In questo modo l’ADCP misura un certo numero di profili in rapida successione e poi entra nella fase di riposo. Nel caso attuale tale metodo non è stato utilizzato, in quanto il campo di corrente non presenta rapide variazioni in pochi secondi.

La Figura A.4 riassume le varie strategie di misura possibili.

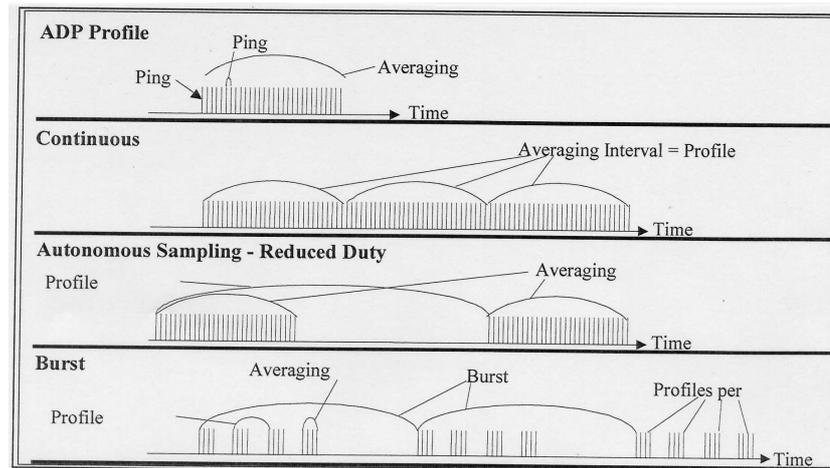


Figura A.4: Strategie Di Misura Possibili Con L’ADCP Sontek

I principali parametri che influenzano l’acquisizione dei dati sono:

- la “blank distance” è la distanza minima dalla superficie dell’acqua a cui porre i trasduttori e dipende dalla frequenza acustica dello strumento. Nel caso attuale l’ADCP è stato posto a 1.5 m sotto la superficie, come raccomandato dal manuale. Ovviamente la corrente da 0 a -1.5 m non viene misurata;
- Il “ping”, cioè un breve impulso acustico inviato da ciascun trasduttore che permette di calcolare il profilo della velocità lungo il fascio. Combinando i dati lungo i tre fasci emessi dai tre trasduttori viene restituito il profilo di velocità lungo la colonna d’acqua;
- Il “pinging rate”, cioè il numero di pings per secondo, rappresenta cioè la frequenza di campionamento;
- il “profile interval” cioè l’intervallo temporale tra l’esecuzione di successivi profili.

L’ADCP Sontek fornisce, come risultato finale, un vettore (file .rov) contenente, per ogni cella in cui è stata suddivisa la colonna d’acqua:

- profondità della cella;
- modulo velocità media sulla cella;
- direzione media di propagazione sulla cella.

L’attendibilità di un profilo è determinata dal rapporto R segnale/rumore: secondo il manuale Sontek, se R è inferiore a 3 dB, la misura ha poco senso.

Misure di corrente da natante in moto

Le misure sono eseguite in continuo, con il metodo di campionamento autonomo precedentemente descritto, attivando l'opzione "bottom tracking" di cui lo strumento dispone.

Analogamente viene memorizzata, con il sistema GPS, la rotta seguita dall'imbarcazione.

Va subito detto che l'analisi delle misure di corrente così eseguite ha evidenziato rapporti segnale/rumore spesso inaccettabili ($R \leq 3$) anche riducendo la velocità dell'imbarcazione al minimo e usando la massima frequenza di campionamento possibile per lo strumento.

Misure in punti fissi

Le misure vengono effettuate con il natante, a motore fermo, alla deriva: la misura del vettore V è quindi la somma vettoriale delle velocità di corrente V_c e della velocità del natante V_b . Essendo il Sontek dotato di "bottom tracking", velocità e direzione dell'imbarcazione sono rimosse dal profilo.

Poiché la strumentazione è dotata di un sistema GPS accurato, si è anche ritenuto opportuno memorizzare la rotta seguita dal natante alla deriva, effettuando cioè:

- fix iniziale (fixiniz) GPS al momento di inizio profilo;
- acquisizione continua GPS durante l'esecuzione del profilo;
- fix finale (fixfinal) GPS a fine profilo.

Il tutto viene memorizzato su PC e può servire come controllo ulteriore di ciò che l'ADCP fornisce con il bottom tracking.

I profili hanno durata 10 minuti, le celle hanno ampiezza 8 m (dimensione risultata ottimale per tutti i punti di misura). Solo per basse profondità l'ampiezza della cella è ridotta (in funzione della profondità).

L'analisi dei dati così misurati ha evidenziato rapporti segnale-rumore molto elevati ($R \gg 30$) e il "bottom tracking", considerata la bassa velocità di deriva dell'imbarcazione, non ha avuto alcuna difficoltà a depurare il segnale dal moto dell'imbarcazione.

Durante l'esecuzione del profilo (**cioè in contemporanea**), viene effettuato anche un profilo CTD: per migliorare la risposta, prima dell'esecuzione del profilo si posiziona il CTD in acqua e lo si mantiene fermo per circa 2 minuti.

Poi si inizia la fase di "down" e successivamente la fase "up". Entrambi le fasi vengono eseguite con molta lentezza (circa 10 minuti in totale).

A.2.2 FASE DI COLLAUDO

Le attività che sono state eseguite nella fase di collaudo sono contenute nella relazione DEAM “Specifica tecnica per l’esecuzione di misure CTD e ADCP - fase di collaudo” del maggio 2012 [rif. 8].

Il collaudo è stato effettuato alle date seguenti:

- collaudo in laboratorio: 18 aprile. Presso il laboratorio del fornitore, a Milano, sono stati montati e collegati tutti i sensori, accesi, verificato il flusso dei dati tra i vari sensori e il PC, simulate le acquisizioni dei dati, testati e collaudati i software in dotazione ai vari sensori. Il collaudo è risultato positivo;
- collaudo sull’imbarcazione (Figure A.5 – A.6): 21 maggio 2012. Tutti gli strumenti sono stati installati a bordo, messi in funzione, effettuate misure da fermo: sono stati eseguiti vari profili ADCP con campionamento a 2Hz, celle di 1 m, e durata 5 secondi e testato di nuovo il software di acquisizione e restituzione dai dati in dotazione allo strumento. Successivamente, con il natante in moto all’interno del porto di Livorno, sempre con campionamento a 2Hz e celle di 1 m, sono stati eseguiti profili di durata 2, 10, 30, 60 secondi. Il collaudo ha evidenziato
 - la necessità di irrobustire e modificare il supporto del profilatore per evitare vibrazioni all’ADCP, che comportavano un rapporto segnale/rumore molto basso;
 - ha confermato l’assenza di eventuali interferenze tra “noise elettromagnetico” indotto dal motore e funzionamento dello strumento;
- collaudo in mare aperto: 15 giugno 2012. E’ stata effettuata un’uscita in mare e sono stati eseguiti profili CTD e ADCP. Il collaudo ha evidenziato:
 - eccessiva sensibilità del supporto del profilatore al rollio dell’imbarcazione che induceva oscillazioni spurie sull’ADCP;
 - posizione dell’ADCP troppo vicina alla superficie;
 - rapporto segnale/rumore ben sotto i limiti suggeriti dal manuale Sontek, in particolare per profondità superiori ai 60 m. La Figura A.7 mostra, nella parte superiore, uno dei profili di velocità e direzione eseguiti, nella parte inferiore la deviazione standard associata alle componenti V_x , V_y e V_z della velocità. Si noti come la deviazione standard cresca in misura notevole per profondità superiori ai 60 m, fatto che desta sospetti: il controllo di R, per ogni componente, ha dimostrato che i dati sotto i 60 m non sono attendibili;
 - i primi profili CTD effettuati presentavano problemi, per la sola salinità nello strato superficiale (Figura A.8), dovuti ad una troppo affrettata esecuzione: il problema si è risolto con l’esecuzione del profilo dopo 2 minuti dalla messa in acqua dello strumento.

Dopo un’attenta analisi in tempo reale dei dati rilevati, si procedeva alle opportune modifiche, direttamente a bordo, sia stabilizzando il supporto, sia spostando l’ADCP più in profondità. Le misure poi effettuate sono risultate di buona qualità.

Per quanto riguarda la memorizzazione dei dati, per ogni profilo eseguito venivano estratti:

- file .rov contenente il profilo del vettore velocità misurato;
- files .a1, .a2, .a3 (uno per ogni fascio emesso dai 3 trasduttori, contenenti il rapporto R segnale/rumore e altre informazioni);

- grafico GPS tra fixiniz e fixfinal e calcolo velocità e direzione media nei 10 min
- velocità e direzione del natante secondo software Sontek.

Dopo un'attenta validazione, con controllo di tutti i parametri che possono influenzare la misura (stato della batteria, tensione, rollio del natante, etc), e confronto tra i valori del vettore velocità V rilevati con quelli del rapporto R , si eseguono:

- calcolo delle componenti V_x e V_y della corrente alle varie quote;
- calcolo di V_{bx} e V_{by} media sui 10' (dal GPS)
- Calcolo delle componenti della velocità vera: $V_{cx}=V_x-V_{bx}$, $V_{cy}=V_y-V_{by}$
- Calcolo di modulo V_c e direzione Dir_c della velocità vera;
- Confronto tra valori forniti dal software dello strumento e valori così calcolati.

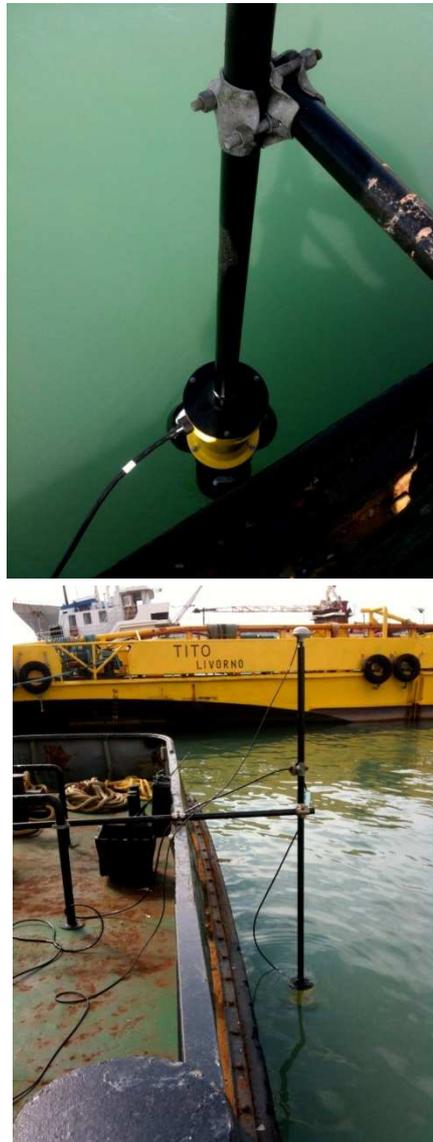


Figura A.5: Collaudo In Porto – Prova ADCP in Banchina

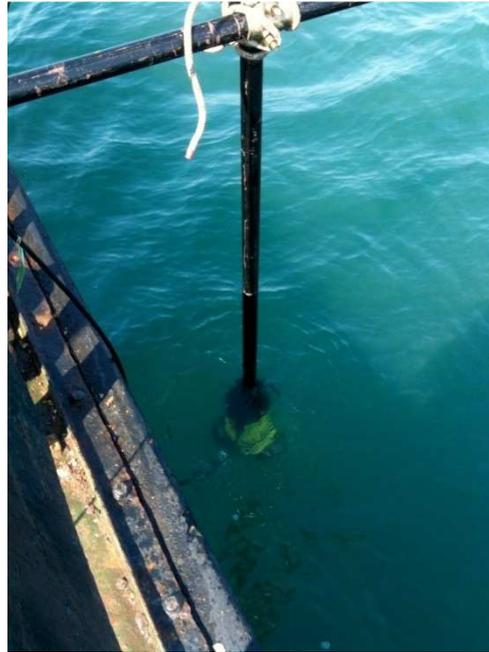


Figura A.6: Collaudo In Porto – Prova ADCP con Imbarcazione in Moto

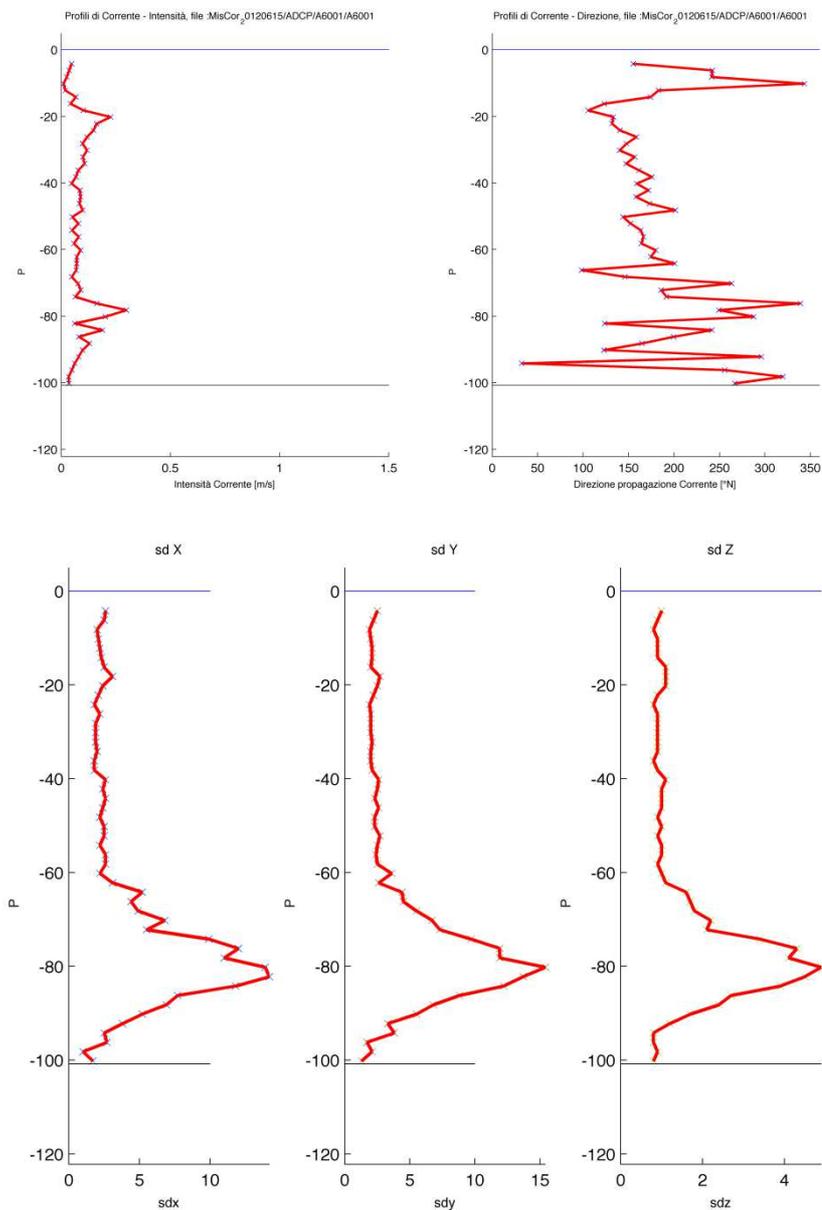


Figura A.7: Fase di Collaudo: Esempio di Profilo di Corrente non Valido – Velocità e Direzione della Corrente (Sopra) in Funzione della Profondità (Sopra) e Deviazione Standard Associata alle Componenti V_x , V_y , V_z (Sotto)

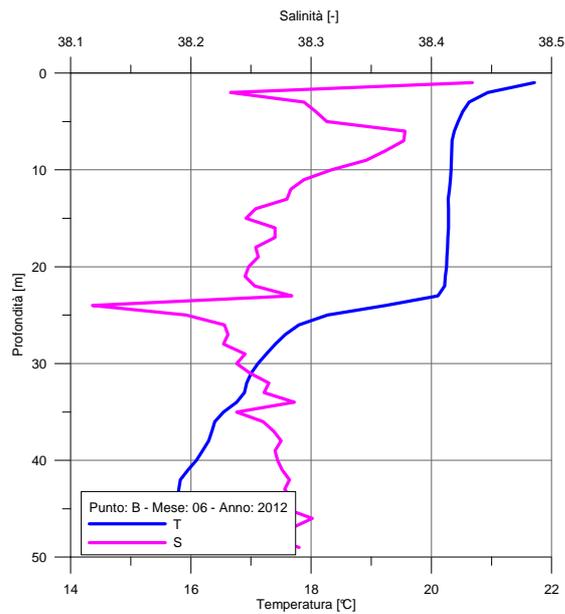
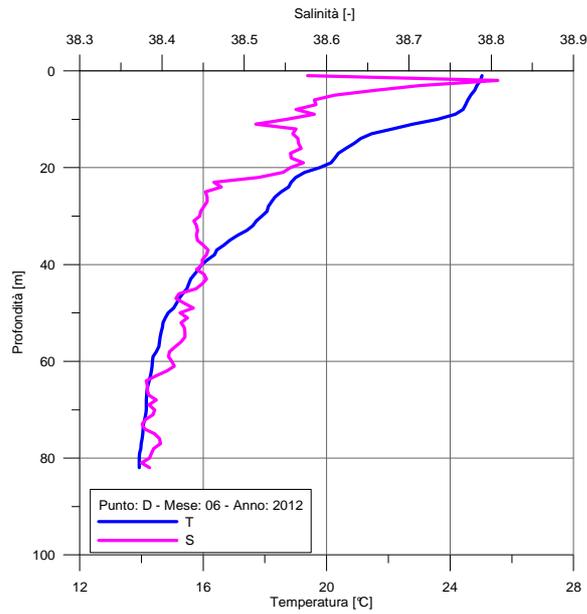


Figura A.8: Fase di Collaudo: Esempi di Profili di Salinita' non Validi nello Strato Superficiale

APPENDICE B
MODELLO BAROCLINICO

APPENDICE B MODELLO BAROCLINICO

Il modello baroclinico utilizzato è un modello a doppio strato, sviluppato a scopo di studio da DEAM nel 1994 per la simulazione delle correnti nel Mediterraneo e utilizzato poi, dopo varie verifiche e calibrizioni, riportate nel seguito, a scopi operativi in varie aree costiere, che tiene conto della stratificazione verticale del fluido in due masse d'acqua omogenee a differente densità.

La Figura B.1. mostra una schematizzazione del modello a doppio strato, in cui il fondo è dato da $z = -H(x, y)$ e la superficie libera ha equazione $z = \eta(x, y, t)$, dove H è la profondità della colonna d'acqua e η è l'elevazione della superficie libera del mare. L'equazione $z = \eta_0(x, y, z)$ rappresenta la posizione del pycnoclino, ovvero la superficie di separazione dei due strati omogenei. Gli strati superiore e inferiore hanno rispettivamente densità ρ_1 e ρ_2 e profondità media h e h_0 . Il modello baroclinico utilizzato in questo studio considera costante nello spazio la profondità media dello strato superiore h e variabile la profondità media dello strato sottostante h_0 .

Per una migliore comprensione della metodologia utilizzata per ricavare la forma integrale delle equazioni che governano il moto in un modello baroclinico, viene analizzato separatamente lo strato superficiale e quello inferiore.

B.1 EQUAZIONI

In particolare, per derivare le equazioni del moto nello strato superficiale consideriamo un sistema di coordinate cartesiano di origine O, in cui x e y sono nel piano orizzontale e z è la coordinata verticale, che assume valore zero sulla superficie media del mare e valori positivi verso l'alto.

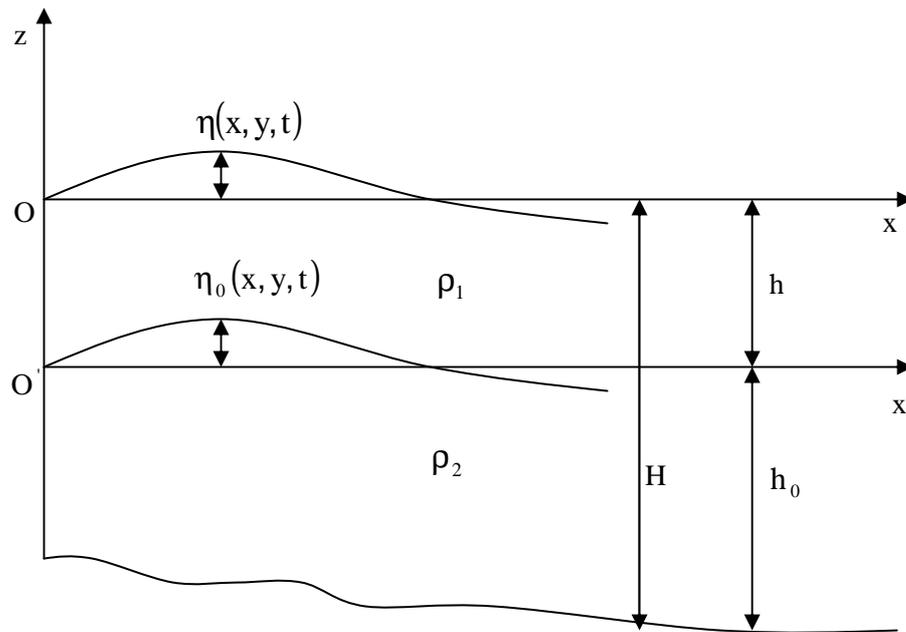


Figura B.1: Schema Geometrico Del Modello Baroclinico A Doppio Strato

In tale sistema di riferimento, le condizioni al contorno sulla superficie libera e all'interfaccia tra i due strati (condizione cinematica di appartenenza della particella alle superfici suddette) sono rispettivamente:

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad \text{in } z = \eta \quad [1]$$

$$w = \frac{\partial \eta_0}{\partial t} - u \frac{\partial (h - \eta_0)}{\partial x} - v \frac{\partial (h - \eta_0)}{\partial y} \quad \text{in } z = -h + \eta_0 \quad [2]$$

in cui è stata lasciata la profondità h per maggiore chiarezza.

Come nella trattazione del modello barotropico, anche in questo caso, considerando valide le ipotesi secondo cui la scala orizzontale del moto è molto più grande della scala verticale del moto ($H \ll L$), dall'analisi dimensionale dell'equazione di conservazione della massa, si ricava che la velocità verticale w è caratterizzata da ordini di grandezza molto più piccoli rispetto alle velocità orizzontali ($w \ll u, v$).

Quindi, dall'equazione del momento verticale, si ottiene che i termini di pressione e di gravità sono molto più grandi degli altri termini dinamici, che quindi possono essere trascurati. Eliminando i termini trascurabili, si ottiene l'equazione di equilibrio idrostatico:

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho_1 g = 0 \quad [3]$$

Considerando la densità ρ costante e integrando questa equazione tra η e una profondità generica z compresa nello strato superficiale, si ottiene:

$$p(z) = p_a + \rho_1 g [\eta(x, y, t) - z] \quad [4]$$

dove p_a è la pressione atmosferica. Quindi, i gradienti orizzontali di pressione, che compaiono nelle equazioni del momento orizzontale, sono dati dalla somma delle variazioni orizzontali della pressione atmosferica e dell'elevazione della superficie del mare:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p_a}{\partial x} + \rho_1 g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad [5]$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial p_a}{\partial y} + \rho_1 g \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad [6]$$

Tenendo conto dell'approssimazione idrostatica e sostituendo le espressioni dei gradienti orizzontali di pressione nelle equazioni di Navier-Stokes, si ottiene un sistema di 3 equazioni in 4 incognite.

Come nel modello barotropico, al fine di ridurre il numero delle incognite (per avere un sistema di 3 equazioni in 3 incognite), l'equazione di conservazione della massa e le equazioni di conservazione della quantità di moto vengono integrate tra $z = -h + \eta_0(x, y, t)$ e $z = \eta(x, y, t)$. Tale tecnica permette di ottenere le equazioni nella forma del trasporto di massa:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial(UU/h)}{\partial x} + \frac{\partial(UV/h)}{\partial y} = fV - gh_s \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_H \nabla_t^2 U + \tau_{13}|_{\eta} - \tau_{13}|_{-h+\eta_0} \quad [7]$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial(UV/h)}{\partial x} + \frac{\partial(VV/h)}{\partial y} = -fU - gh_s \frac{\partial \eta}{\partial y} + v_H \nabla_t^2 V + \tau_{23}|_{\eta} - \tau_{23}|_{-h+\eta_0} \quad [8]$$

$$\frac{\partial(\eta - \eta_0)}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad [9]$$

dove :

- $h_s = h + \eta - \eta_0$,
- U e V rappresentano i flussi di massa nello strato superficiale secondo le due direzioni orizzontali e sono così definiti:

$$U = \int_{-h+\eta_0}^{\eta} u \, dz \quad [10]$$

$$V = \int_{-h+\eta_0}^{\eta} v \, dz \quad [11]$$

Per quanto riguarda la derivazione delle equazioni nello strato sottostante al picnoclino, si parte da un sistema di coordinate cartesiane la cui origine è O' (vedi Figura A.1), in cui x e y sono sul piano orizzontale e z è la coordinata verticale che assume valore zero sulla superficie media del picnoclino e valori positivi verso l'alto.

In questo caso le equazioni del moto verranno ricavate integrando l'equazione di conservazione della massa e le equazioni di conservazione della quantità di moto tra $z = \eta_0$ e $z = -H$.

Le condizioni all'interfaccia tra i due strati e sul fondo che devono essere soddisfatte sono:

$$w = \frac{\partial \eta_0}{\partial t} + u \frac{\partial \eta_0}{\partial x} + v \frac{\partial \eta_0}{\partial y} \quad z = \eta_0 \quad [12]$$

$$w = -u \frac{\partial H}{\partial x} - v \frac{\partial H}{\partial y} \quad z = -H \quad [13]$$

dove la prima è la condizione cinematica di appartenenza della particella di fluido alla superficie di interfaccia tra i due strati e la seconda esprime la condizione di impenetrabilità della particella di fluido nel substrato.

In questo caso, sempre sotto l'ipotesi di densità costante, l'integrazione dell'equazione di equilibrio idrostatico, ricavata a partire dalle stesse ipotesi del caso precedente, permette di ottenere la pressione ad una generica profondità z compresa nello strato inferiore:

$$p(z) = p_a + \rho_1 g h_s + \rho_2 g (\eta_0 - z) \quad [14]$$

Quindi, in questo caso, i gradienti orizzontali di pressione idrostatica presenti nelle equazioni di Navier-Stokes assumono la forma:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p_a}{\partial x} + \rho_1 g \frac{\partial h_s}{\partial x} + \rho_2 g \frac{\partial \eta_0}{\partial x} \quad [15]$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial p_a}{\partial y} + \rho_1 g \frac{\partial h_s}{\partial y} + \rho_2 g \frac{\partial \eta_0}{\partial y} \quad [16]$$

Infine, integrando le equazioni di conservazione della quantità di moto e l'equazione di continuità tra $z = \eta_0$ e $z = -H$, otteniamo un sistema di 3 equazioni in 3 incognite, nella ormai nota forma del trasporto di massa, per la descrizione del moto nello strato sottostante il picnoclino:

$$\frac{\partial U^0}{\partial t} + \frac{\partial(U^0 U^0 / h_0)}{\partial x} + \frac{\partial(U^0 V^0 / h_0)}{\partial y} = fV^0 - h_i g' \frac{\partial(\eta_0 - \eta)}{\partial x} - h_i g' \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_H \nabla_t^2 U^0 + \tau_{13}|_{\eta_0} - \tau_{13}|_{-H} \quad [17]$$

$$\frac{\partial V^0}{\partial t} + \frac{\partial(U^0 V^0 / h_0)}{\partial x} + \frac{\partial(V^0 V^0 / h_0)}{\partial y} = -fU^0 - h_i g' \frac{\partial(\eta_0 - \eta)}{\partial y} - h_i g' \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_H \nabla_t^2 V^0 + \tau_{23}|_{\eta_0} - \tau_{23}|_{-H} \quad [18]$$

$$\frac{\partial \eta_0}{\partial t} + \frac{\partial U^0}{\partial x} + \frac{\partial V^0}{\partial y} = 0 \quad [19]$$

dove:

- $h_i = \eta_0 + H$,
- $g' = g \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2}$ è l'accelerazione di gravità ridotta,
- U^0 e V^0 rappresentano i flussi di massa nelle due direzioni orizzontali e sono definiti da:

$$U^0 = \int_{-H}^{\eta_0} u dz \quad [20]$$

$$V^0 = \int_{-H}^{\eta_0} v dz \quad [21]$$

Gli stress di Reynolds nei piani orizzontali, τ_{13} e τ_{23} , per quanto riguarda gli stress esercitati dal vento sulla superficie libera ($z = \eta$) e dal substrato sul fondale ($z = -H$), assumono la stessa forma del caso barotropico (vedi Eq. 22-27).

Le componenti dello stress superficiale del vento sono legate alla velocità del vento dalle relazioni:

$$\tau_{13}|_{\eta} = \rho_{aria} C_D W_x |W| \quad [22]$$

$$\tau_{23}|_{\eta} = \rho_{aria} C_D W_y |W| \quad [23]$$

dove C_D è il coefficiente di attrito e ρ_{aria} è la densità dell'aria.

C_D viene calcolato in funzione dell'intensità del vento W per includere l'incremento dello stress in presenza di moto ondoso che aumenta la scabrosità effettiva della superficie:

$$C_D = [36.4 - 5 \ln(W)]^{-2} \quad [24]$$

Le componenti dello stress sul fondo possono essere espresse da una legge di resistenza di questo tipo:

$$\tau_{13}|_{-H} = \frac{g}{C^2 h} U(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2} \quad [25]$$

$$\tau_{23}|_{-H} = \frac{g}{C^2 h} V(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)^{1/2} \quad [26]$$

dove C è il coefficiente di Chezy, relativo alla scabrezza del fondo, calcolato secondo la seguente espressione:

$$C = 18 \log(12h/C_o) \quad [27]$$

dove C_o è la rugosità del fondo.

Gli stress all'interfaccia tra i due strati sono così definiti:

$$\tau_{13}|_{-h+\eta_0} = \tau_{13}|_{\eta_0} = \rho c \left(\frac{\sqrt{U^2 + V^2} + \sqrt{U^{02} + V^{02}}}{2} \right) (U - U^0) \quad [28]$$

$$\tau_{23}|_{-h+\eta_0} = \tau_{23}|_{\eta_0} = \rho c \left(\frac{\sqrt{U^2 + V^2} + \sqrt{U^{02} + V^{02}}}{2} \right) (V - V^0) \quad [29]$$

Il modello baroclinico utilizzato in questo studio trascura i termini di attrito laterale, $v_H \nabla_t^2 \mathbf{U}$, relativi agli stress di Reynolds esercitati sui piani verticali.

B.2 CONDIZIONI INIZIALI E CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni iniziali di η , U e V e il loro andamento al contorno del modello sono le stesse viste per il modello barotropico, con la sola differenza che nel caso baroclinico è stato implementato un particolare algoritmo che permette di controllare ad ogni passo temporale se una maglia è inondata dallo strato di superficie, da ambedue gli strati o, se si verificano fenomeni di 'upwelling', dal solo strato di fondo.

B.3 METODO DI INTEGRAZIONE

Per l'integrazione delle equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto il modello utilizzato adotta uno schema numerico alle differenze finite di tipo esplicito. Lo schema opera su di un reticolo regolare a maglie quadrate o rettangolari di tipo "traslato" nel quale, cioè, l'elevazione della superficie libera e le componenti della velocità sono definite in punti diversi della maglia, secondo lo schema indicato nella Figura B.2.

Anche nel tempo la rappresentazione è di tipo "traslato", in quanto l'elevazione della superficie libera è definita al tempo $n-1/2$, $n+1/2$, $n+3/2$, ..., mentre le componenti della velocità sono definite al tempo n , $n+1$, $n+2$,

L'integrazione del sistema di equazioni viene effettuata in due passi: dapprima viene integrata l'equazione di conservazione della massa e viene calcolata l'elevazione della superficie libera al tempo $n+1/2$ a partire dai valori di η al tempo $n-1/2$ e di u e v al tempo n , successivamente vengono integrate le equazioni di conservazione della quantità di moto calcolando i valori di u e v al tempo n a partire dai valori al tempo $n-1$ e dai nuovi valori η al tempo $n+1/2$. Questa procedura è necessaria per garantire la stabilità della soluzione numerica. Nelle equazioni della conservazione della quantità di moto i termini non lineari di tipo convettivo vengono schematizzati mediante uno schema di derivazione a "monte" ("upwind"), mentre i termini di attrito sono calcolati mediante uno schema di tipo semi-implicito, allo scopo di migliorare la stabilità della soluzione.

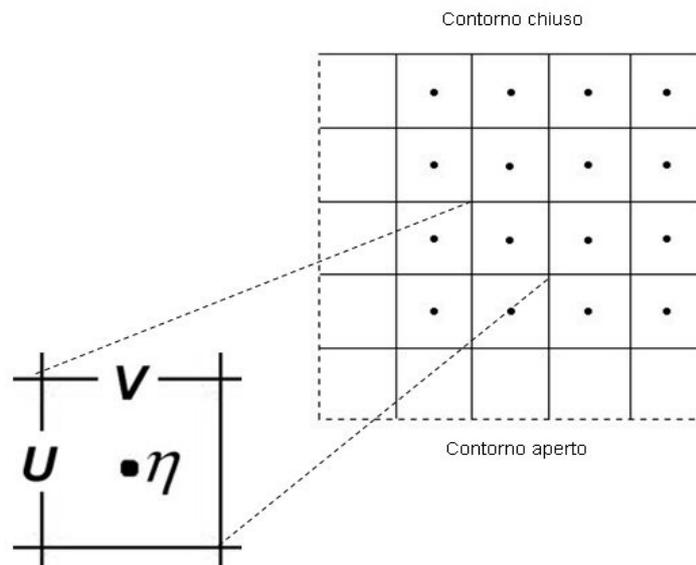


Figura B .2: Posizione Delle Variabili Nella Griglia Di Schematizzazione

A causa della natura esplicita dello schema numerico adottato, il passo temporale Δt e le dimensioni spaziali Δx e Δy devono comunque soddisfare il criterio di stabilità di Courant-Friedrichs-Levy:

$$\Delta t < \max(\Delta x, \Delta y) / \sqrt{2} (\sqrt{gh_{\max}} + v_{\max}) \quad [30]$$

B.4 PARAMETRI DI INPUT

Per l'applicazione del modello sono necessari i seguenti dati di input:

- geometria del bacino;
- profondità in ogni maglia della griglia;
- rugosità del fondo in ogni maglia;

- condizioni iniziali di u , v e η in ogni maglia;
- condizioni ai contorni aperti ad ogni passo di integrazione Δt ;
- oscillazione di marea;
- vento superficiale (direzione ed intensità) ad ogni passo di integrazione Δt e per ogni maglia;
- pressione atmosferica ad ogni passo di integrazione Δt e per ogni maglia
- il rapporto tra le densità dell'acqua dei due strati
- la quota iniziale del picnoclino.

B.5 CARATTERISTICHE DELL'OUTPUT

Come risultato dell'integrazione numerica, il modello fornisce, ad intervalli prefissati, il valore di U , V e η in ciascuna maglia del bacino per lo strato superficiale e i corrispondenti valori per lo strato di fondo e cioè U^0 , V^0 e η_0 .

B.6 CALIBRAZIONE DEL MODELLO

Il modello è stato più volte calibrato e verificato. Nel seguito si riportano gli esempi più significativi.

B.6.1 MARE ADRIATICO

Per verificare l'adeguatezza del modello alle caratteristiche idrodinamiche dell'Adriatico, sono stati effettuati tre tipi principali di calibrazione:

- il primo tipo è finalizzato ad evidenziare i modi di oscillazione. Invece di lasciar oscillare il modello del bacino privo dei termini forzanti, l'estremo aperto del bacino è stato forzato con una serie di periodi simulanti varie onde che inducono oscillazioni all'interno del bacino stesso. Tale sistema è ritenuto migliore rispetto al ricavare semplicemente le onde libere, perchè in quest'ultima maniera la risposta può solo ridursi a qualche oscillazione (la fondamentale e qualche armonica) ed i periodi risultanti possono venir notevolmente alterati dalla geometria del bacino. Il sistema adottato è quindi simile alla spettroscopia ottica delle sostanze: si determina lo spettro di assorbimento/emissione avendo energizzato con "luce bianca": questo è, in pratica, il significato dell'introduzione di una serie di onde all'estremo aperto. Naturalmente le onde sono tutte della stessa ampiezza (3 cm) e non si dà importanza alla fase, che è posta uguale e zero. La risposta del bacino è allora fisicamente quella che si verificherebbe quando onde del periodo assegnato penetrano nel Canale di Otranto;

- una volta verificato che il modello si comporti effettivamente come l'Adriatico, filtrando o esaltando onde di particolari frequenze, la seconda tipologia di calibrazione consiste nel fornire in input, una per volta, le varie componenti di marea e verificare, tramite confronto con i dati costieri ed i dati rilevati sulle piattaforme (serie armonica), che ampiezza e fase dell'oscillazione ottenuta dal modello sia in accordo con il dato sperimentale. Dopo essersi assicurati dell'attendibilità dei risultati, viene fornita, in input al modello, la marea totale, somma delle varie componenti e di nuovo verificata l'adeguatezza dei risultati con i dati sperimentali;
- infine, dopo aver accertato che il livello venga simulato con ragionevole accuratezza in tutto il bacino, è stato infine verificato, attraverso il confronto con i dati correntometrici che le velocità calcolate dal modello sono adeguate. Dopo alcuni ritocchi dei coefficienti di attrito, i risultati sono apparsi ottimali.

Le Figure B.3 e B.4 mostrano alcuni esempi della calibrazione effettuata.

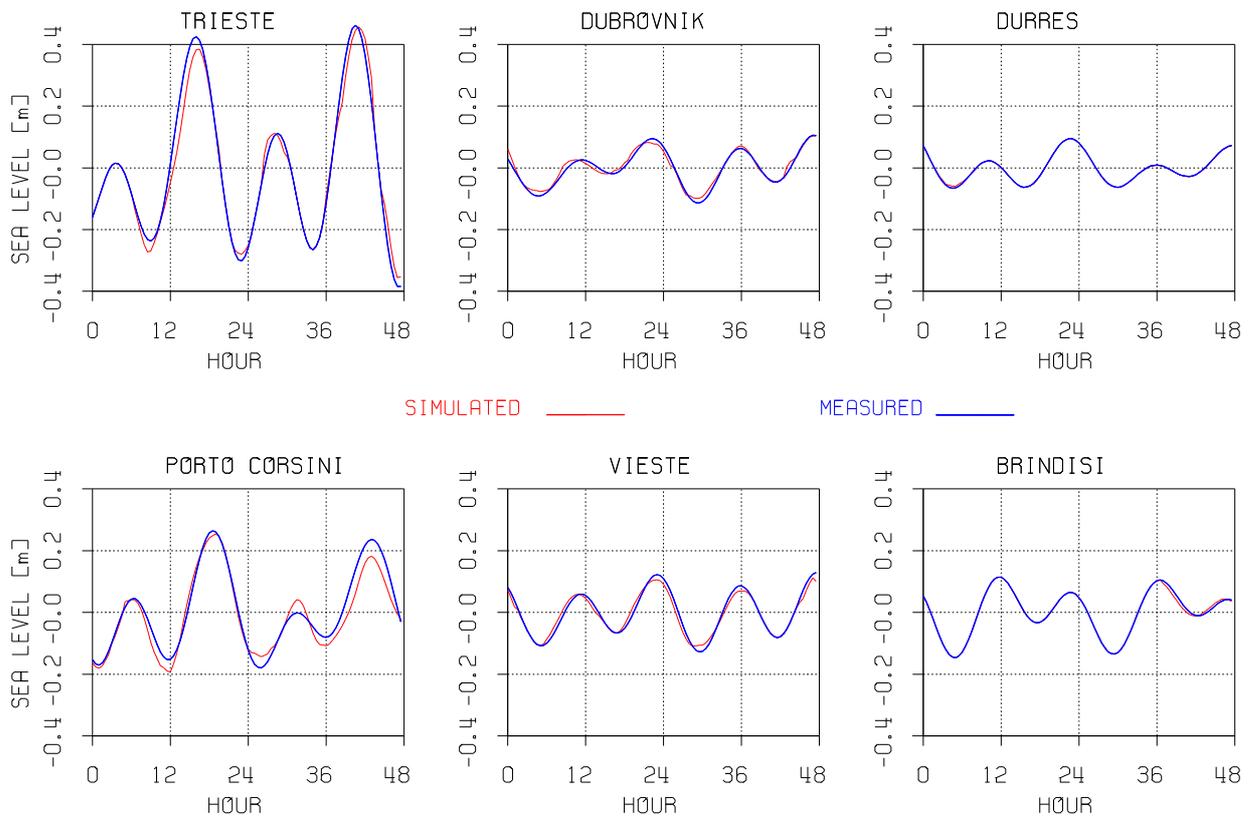


Figura B.3: Esempio Di Calibrazione – Area: Mare Adriatico - Confronto Tra Marea Simulata Dal Modello E Marea Misurata – Stazioni Costiere

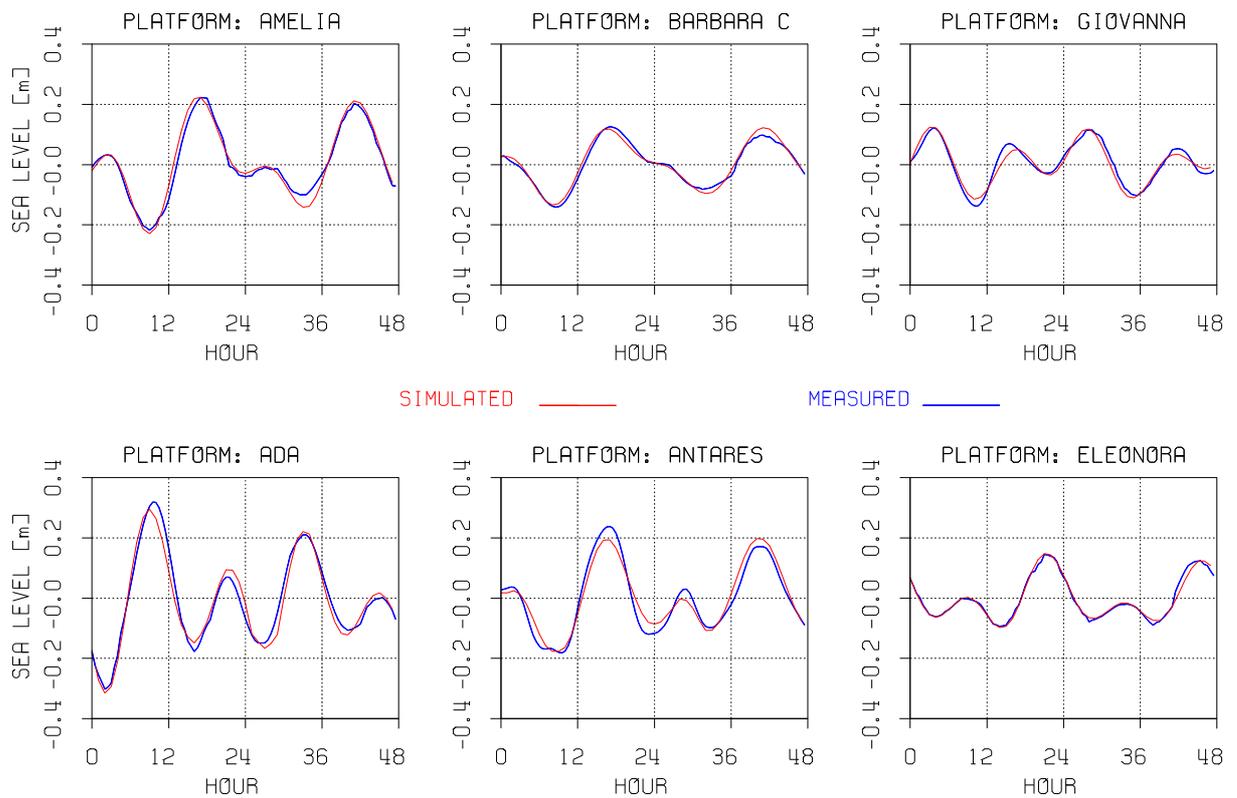


Figura B.4: Esempio Di Calibrazione – Area: Mare Adriatico - Confronto Tra Marea Simulata Dal Modello E Marea Misurata – Piattaforme Agip

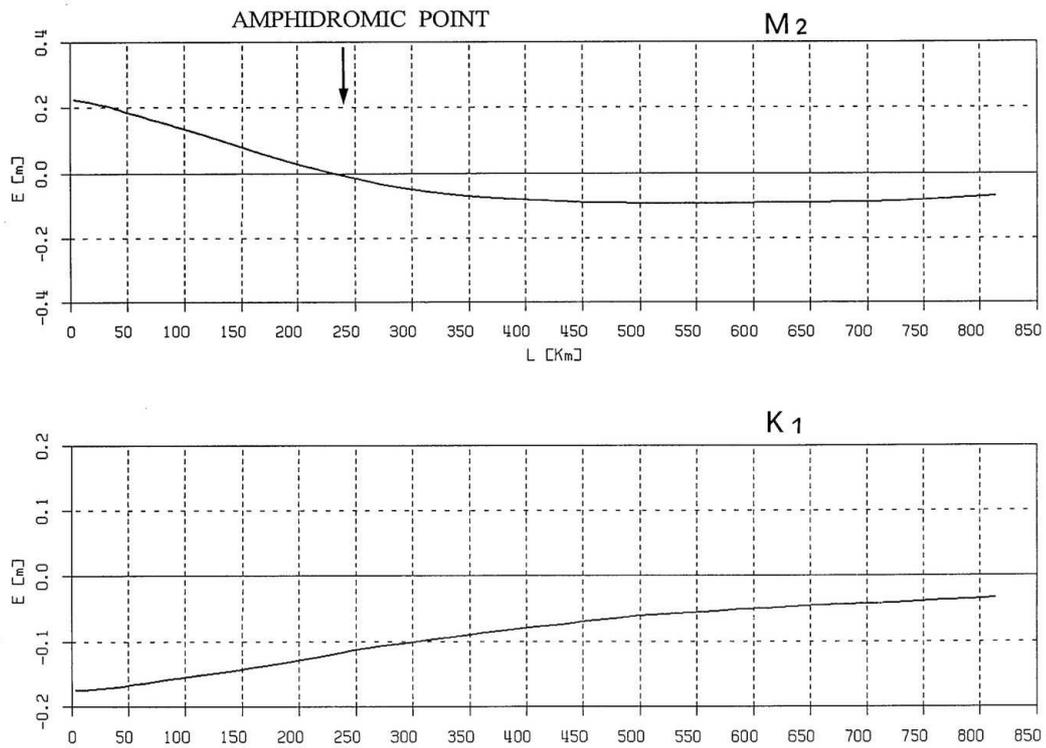


Figura B.5: Calibrazione Del Modello – Andamento Delle Componenti Di Marea M2 E K1 Lungo L'asse Dell'adriatico: Si Noti La Corretta Posizione Del Nodo Anfidromico Per La M2

B.6.3 OFFSHORE EGITTO

Nell'area mostrata in Figura B.6, dove erano disponibili numerosi dati correntometrici sia in acque basse che profonde, il modello è stato calibrato nel corso di una tesi di laurea [rif. 5] e, successivamente, nel corso del progetto di ricerca UE denominato "Cleopatra" [rif. 6].



Figura B.6: Area "Off-Shore Egitto" Antistante Il Delta Del Nilo

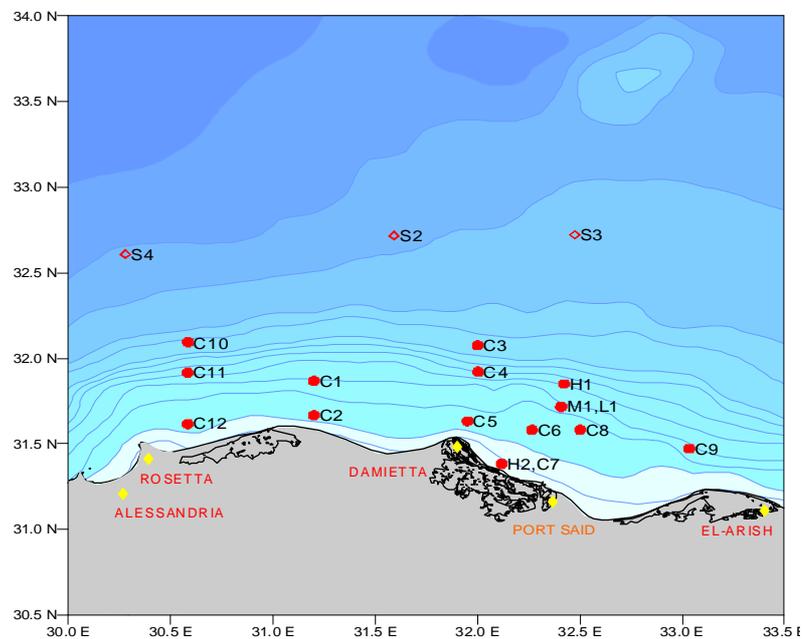


Figura B.7: Offshore Egitto – Stazioni Di Misura Di Correnti (C e S) E Di Vento (S) Disponibili E Usate Per La Verifica E Calibrazione Del Modello

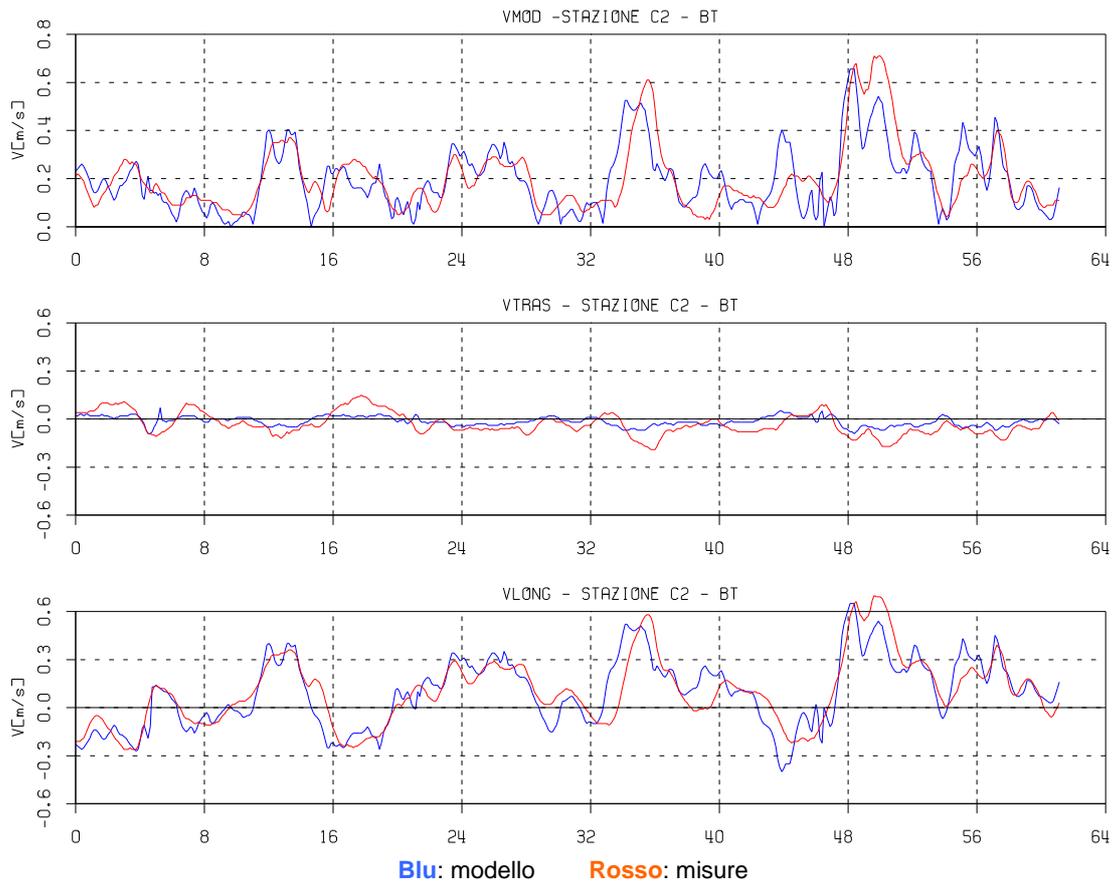


Figura B.8: Esempio Di Calibrazione – Area: Offshore Egitto - Confronto Tra Corrente Superficiale Simulata Dal Modello E Corrente Misurata – Stazione C2 - Periodo: 1 Dicembre 1999 – 31 Gennaio 2000

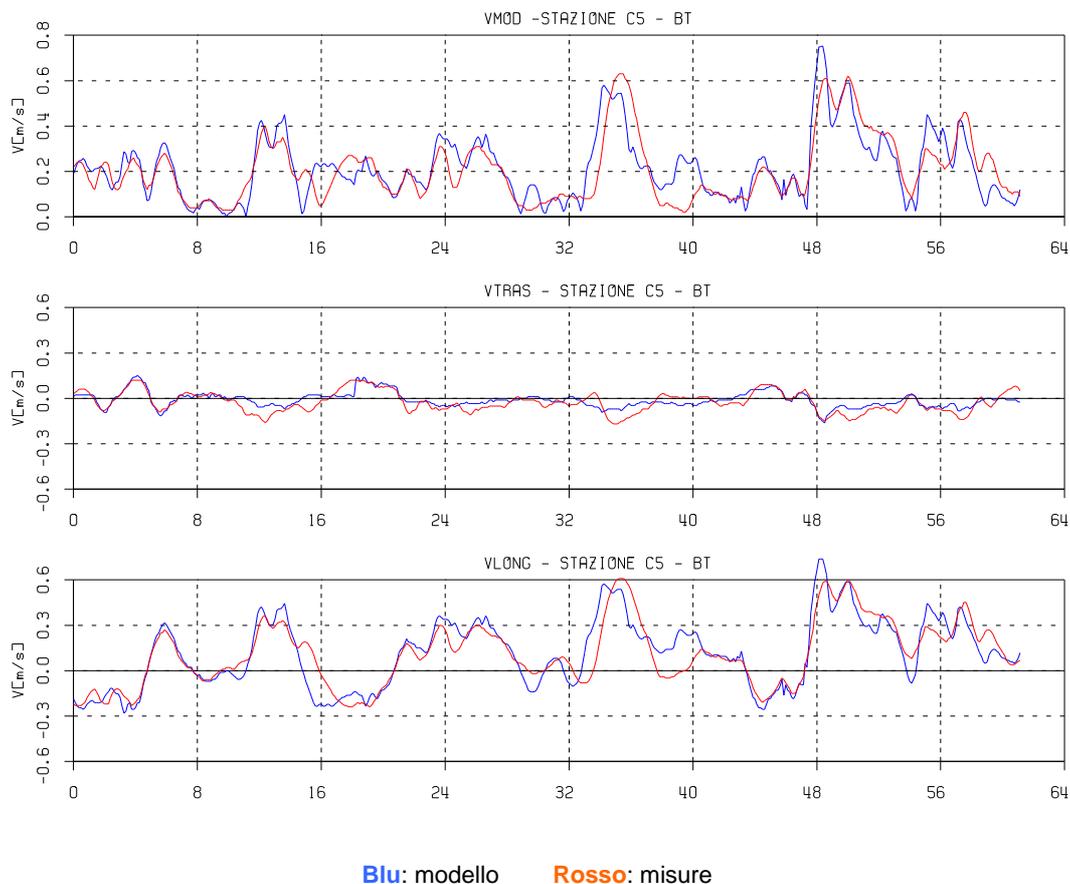


Figura B.9: Esempio Di Calibrazione – Area: Offshore Egitto - Confronto Tra Corrente Superficiale Simulata dal Modello e Corrente Misurata –Stazione C5 - Periodo: 1 Dicembre 1999 – 31 Gennaio 2000

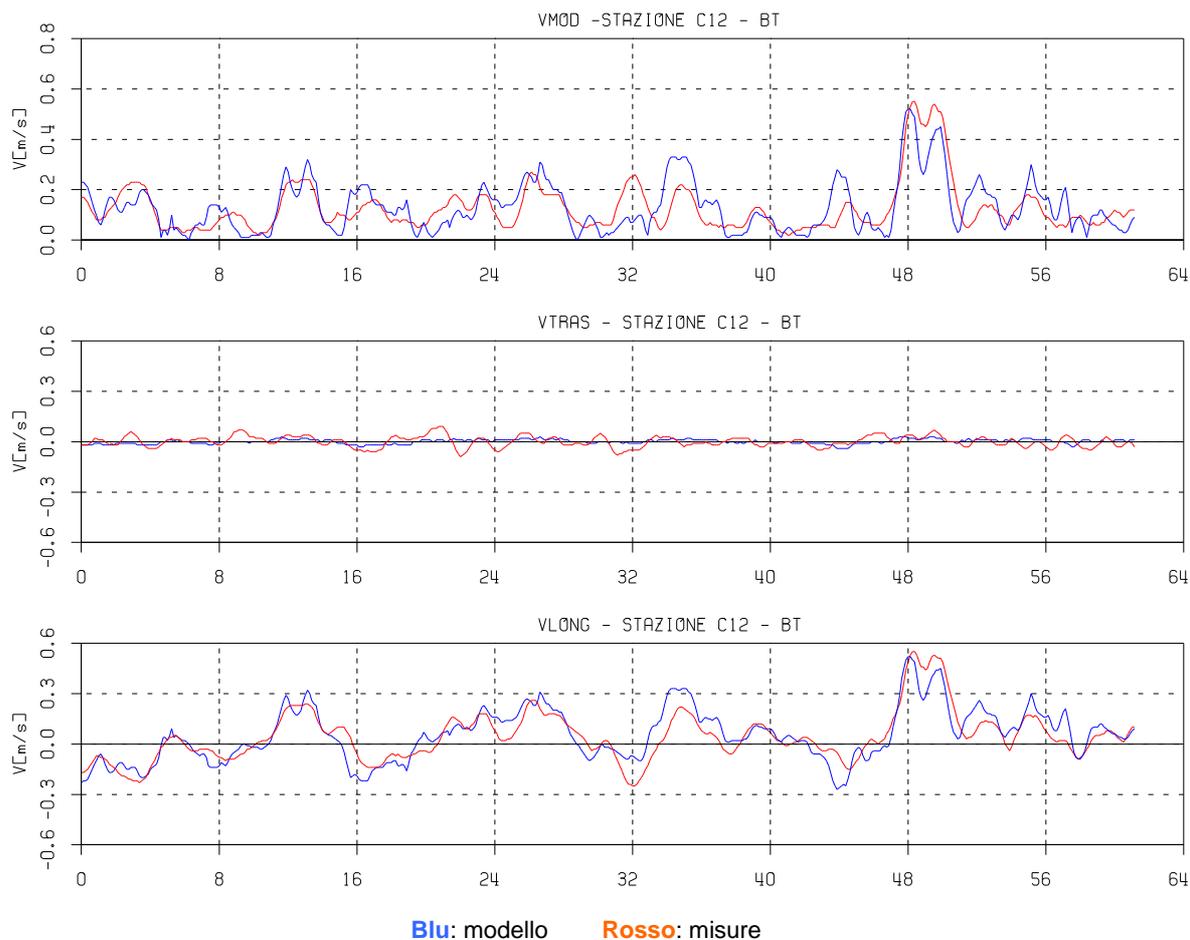


Figura B.10: Esempio Di Calibrazione – Area: Offshore Egitto - Confronto Tra Corrente Superficiale Simulata dal Modello e Corrente Misurata –Stazione C12 - Periodo: 1 Dicembre 1999 – 31 Gennaio 2000

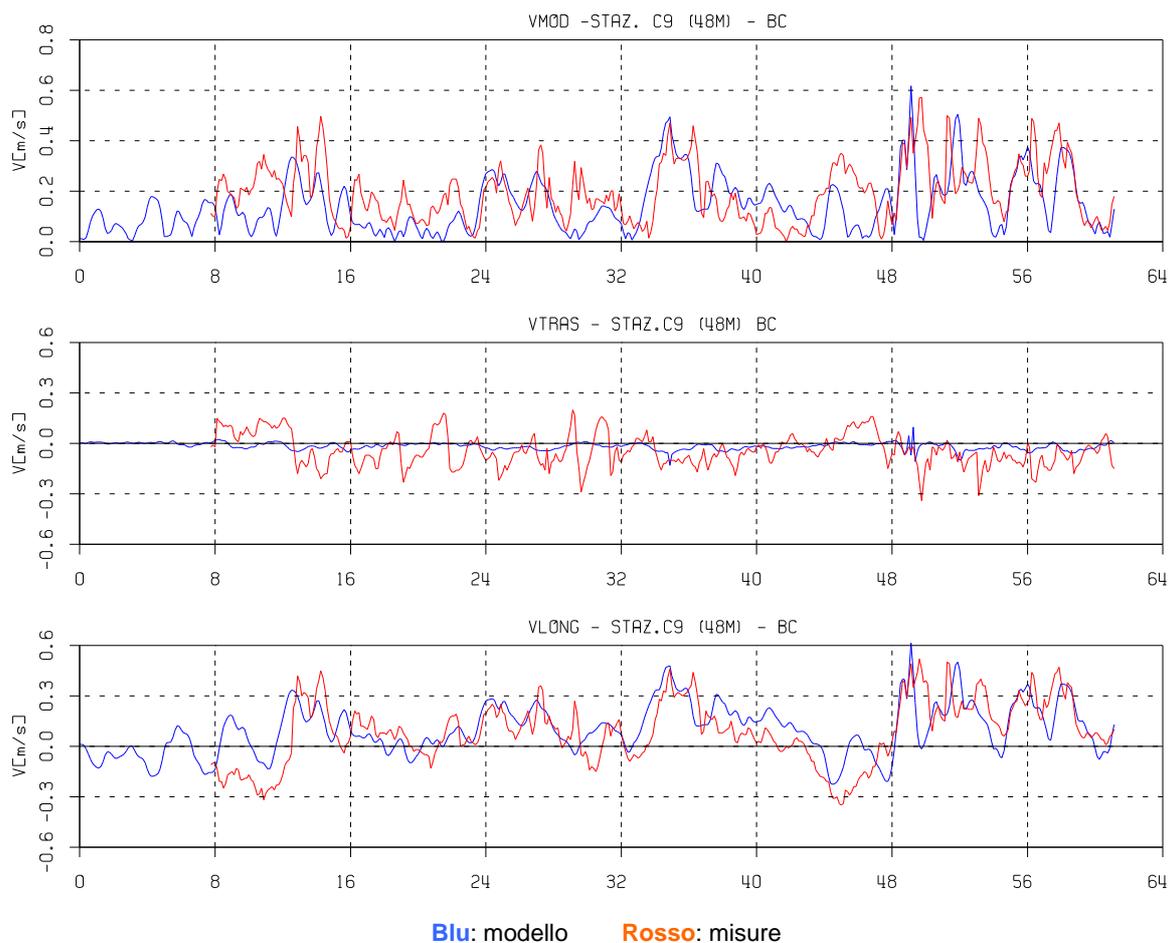


Figura B.11: Esempio Di Calibrazione – Area: Offshore Egitto - Confronto Tra Corrente A -48 m dalla Superficie Simulata dal Modello e Corrente Misurata – Stazione C9 - Periodo: 1 Dicembre 1999 – 31 Gennaio 2000

B.6.3 MAR LIGURE

Il modello è stato spesso applicato per studi lungo il litorale dell'Alta Toscana e del Levante Ligure. Per quest'area i punti di calibrazione sono due, uno relativo a misure nei pressi di Genova, l'altro nell'area costiera di Livorno.

In quest'area, caratterizzata dalla presenza delle Secche della Meloria e dalle Secche di Vada, si è proceduto con cura particolare alla calibrazione del modello idrodinamico, usando come riferimento i dati rilevati nel passato da DEAM in prossimità di Vada, in 25 m d'acqua, per due stagioni (Maggio-Luglio 1998 e Febbraio-Maggio 1999). Erano state acquisite serie temporali a -3, -5, -7, -9, -11, -13, -15, -17, -19 m.

Nel seguito vengono mostrati due esempi, relativi ad una situazione invernale e ad una estiva, relativi alla sovrapposizione dei dati simulati con i dati misurati.

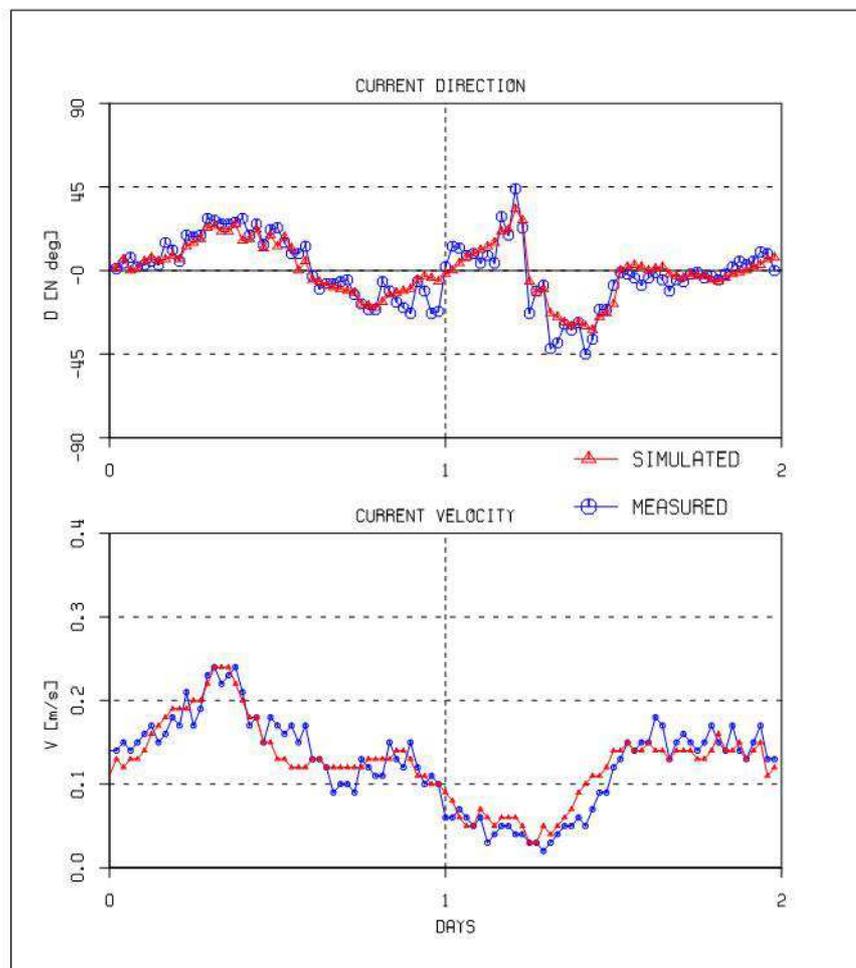


Figura B.12: Esempio Di Calibrazione Del Modello Su Dati Rilevati Nei Pressi Delle Secche Della Meloria – Situazione Invernale

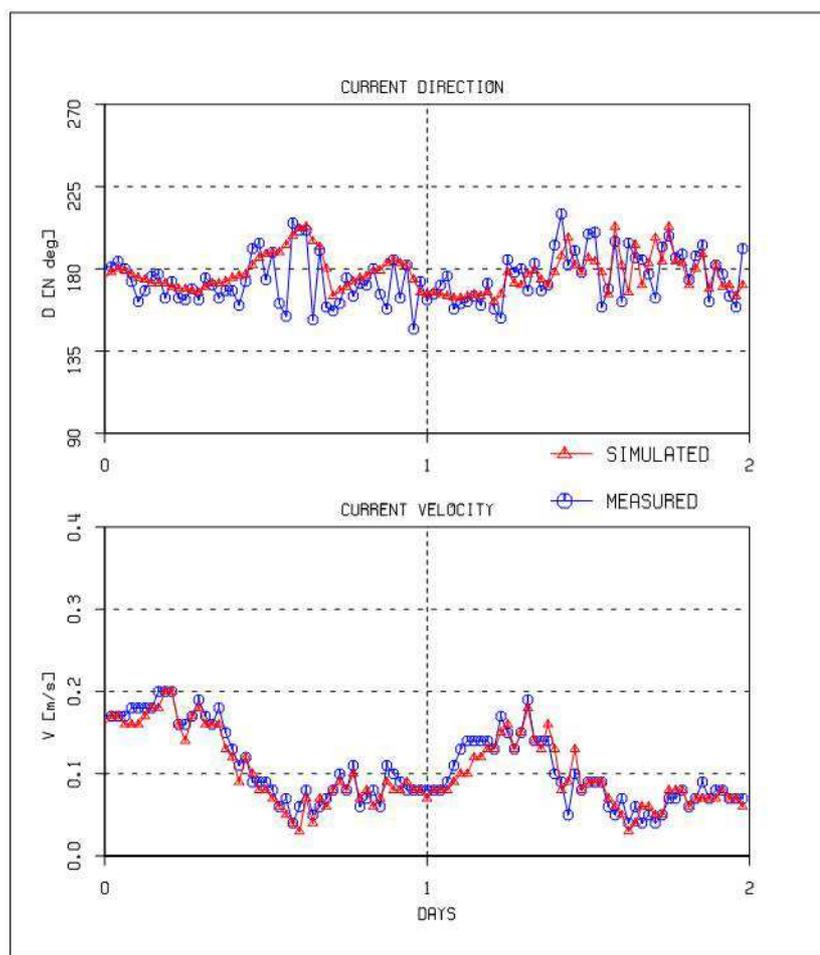


Figura B.13: Esempio Di Calibrazione Del Modello Su Dati Rilevati Nei Pressi Delle Secche Della Meloria – Situazione Estiva

Nei pressi di Genova sono reperibili misure di corrente su tutta la colonna d'acqua ad una profondità di circa 55 m per un anno, da settembre 2003 ad agosto 2004. Attraverso il modello è stata ricostruita una serie temporale annuale ed i valori così ottenuti sono stati confrontati con le misure alle varie quote.

Un esempio del confronto tra queste due serie temporali è mostrato nella Figura B14, dove si osserva l'andamento del Q-Qplot: si noti la non comune corrispondenza tra i valori fino a circa 25 cm/s e la leggera sottostima del modello che avveniva per valori superiori, che sono stati quindi opportunamente "corretti" nella fase di calibrazione.

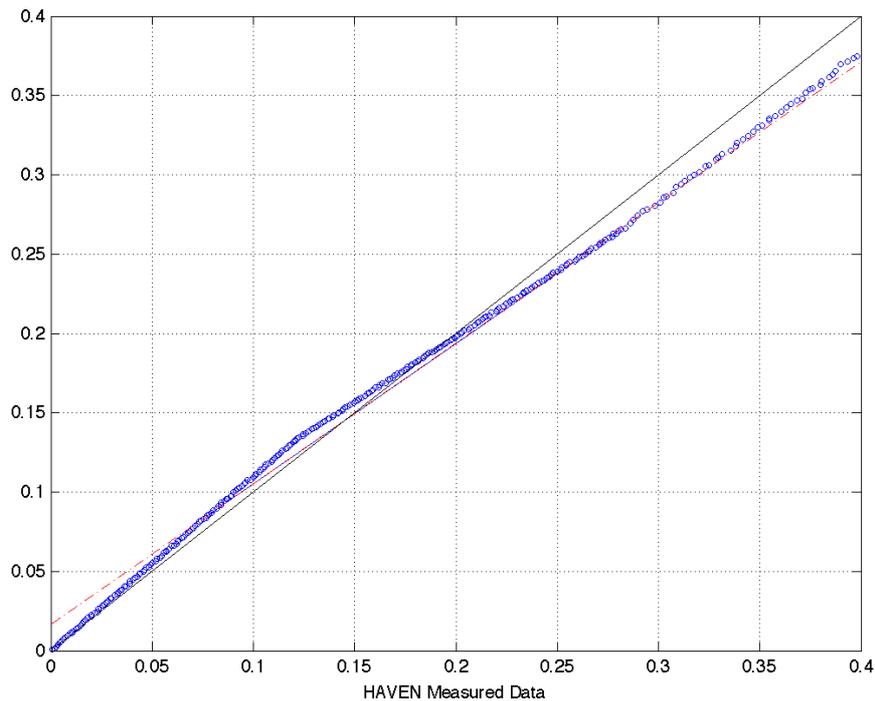


Figura B.14: Esempio Di Calibrazione Del Modello Su Dati Rilevati Nei Pressi Di Genova: Q-Qplot Tra Velocità della Corrente Ricostruita dal Modello (asse Y) e Dati Misurati (asse X) – Valori in m/s - Periodo: Settembre 2003 - Agosto 2004

RIFERIMENTI

Rampolli M., Biancardi A., De Filippi GL., 1996 - "Meteoceanographic Premises for structural Design Purpose in the Adriatic Sea: Acquisition and Processing of Data", O.M.A.E., Florence, Italy

Allinovi A., Puletti M., De Filippi GL., 2000 - "Environmental and Monitoring Network for Platforms in the Adriatic Sea and Application of Numerical Models for the Study of Marine Pollution", Health Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Fifth Int. Conf., Stavanger (Norway)

Puletti M., De Filippi GL, Meneguzzo F., 2001 - "An integrated modelling system to study and forecast the marine pollution in the Adriatic Sea", OMC 2001, Ravenna, Italy

PROGETTO "RAMSES" (Regional Earth observation - Application for Mediterranean sea emergency surveillance), 1999-2000 - Validazione del modello idrodinamico nell'area test dell'Arcipelago Toscano, DEAM per Fond. Meteorologia Applicata, Laboratorio LAMMA

Duchini Eleonora - "Modelli idrodinamici in acque profonde e in acque costiere: applicazione all'area offshore Egitto", Tesi di laurea, 2004, Università di Pisa, relatore Prof. Gianluigi De Filippi, co-relatore Prof. Giovanni Bernardini

PROGETTO "CLEOPATRA" (Chemical effluent & Oil pollution alert and TRacking) - Integrazione di modelli numerici atmosferici, oceanografici e dispersivi per la simulazione e la previsione della propagazione dell'oil spill finalizzata alla prevenzione dell'inquinamento marino nelle acque del Mediterraneo in caso di fuoriuscita di idrocarburi da petroliere", Comunità Europea, 2003-2005, www.eurimage.com/cleopatra/