

## Appendice B

### Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area del Terminale OLT, Quarto Anno di Esercizio

Doc. No. P0023983-1-H8 Rev. 0 - Marzo 2023



# OLT Offshore LNG Livorno, Italia

## FSRU Livorno Project

Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area  
del Terminale OLT, Quarto Anno di Esercizio

Doc. No. P0003662-H1 Rev. 1 – Febbraio 2018

Rev.	1
Descrizione	Emissione Finale
Preparato da	E. Duchini
Controllato da	E. Terrile
Approvato da	A. Lo Nigro
Data	Febbraio 2018

---

**FSRU Livorno Project**

**Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area del  
Terminale OLT, Quarto Anno di Esercizio**



<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Preparato da</b>	<b>Controllato da</b>	<b>Approvato da</b>	<b>Data</b>
1	Emissione Finale	E. Duchini	E. Terrile	A. Lo Nigro	13/02/2018
0	Prima Emissione	E. Duchini	E. Terrile	A. Lo Nigro	08/02/2018

Tutti i diritti, traduzione inclusa, sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali, senza il permesso scritto di RINA Consulting S.p.A.

## INDICE

	Pag.
<b>LISTA DELLE TABELLE</b>	<b>2</b>
<b>LISTA DELLE FIGURE</b>	<b>2</b>
<b>1 SCOPO</b>	<b>3</b>
<b>2 VALIDAZIONE E PRESENTAZIONE DEI DATI</b>	<b>4</b>
2.1 INTRODUZIONE	4
2.2 VALIDAZIONE	4
2.3 PRESENTAZIONE DEI DATI	6
<b>3 INTERPRETAZIONE DEI DATI</b>	<b>24</b>
3.1 PUNTO OLT	24
3.2 TRANSETTO T2	25
<b>4 MODELLO DI DISPERSIONE</b>	<b>26</b>
4.1 MISURE DI TEMPERATURA NELLE VICINANZE DEL TERMINALE	26
4.2 CALIBRAZIONE DEL MODELLO	28
<b>5 CONCLUSIONI</b>	<b>30</b>
<b>REFERENZE</b>	<b>31</b>

## LISTA DELLE TABELLE

Tabella 2.1:	Punti di Campionamento	5
Tabella 2.2:	Sintesi dei Campionamenti effettuati nel 2017	6

## LISTA DELLE FIGURE

Figura 2.1:	Posizione dei Punti di Campionamento	5
Figura 2.2:	Posizione dei Transetti L1, L2, L3, T1, T2 e T3	6
Figura 2.3:	Profili di Corrente misurati in D, E, F, G, O, Q in Giugno 2017	8
Figura 2.4:	Profili di Corrente misurati in D, E, F, G, O, Q in Agosto (inizio) 2017	9
Figura 2.5:	Profili di Corrente misurati in D, E, F, G, O, Q in Agosto (fine) 2017	10
Figura 2.6:	Profili di Corrente misurati in D, E, F, G, O, Q in Ottobre 2017	11
Figura 2.7:	Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, F, G, O, Q in Giugno 2017	12
Figura 2.8:	Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, F, G, O, Q in Agosto (inizio) 2017	13
Figura 2.9:	Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, F, G, O, Q in Agosto (fine) 2017	14
Figura 2.10:	Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, F, G, O, Q in Ottobre 2017	15
Figura 2.11:	Transetto T2 – Giugno 2017 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	16
Figura 2.12:	Transetto T2 – Giugno 2017 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	17
Figura 2.13:	Transetto T2 – Agosto (inizio) 2017 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	18
Figura 2.14:	Transetto T2 – Agosto (inizio) 2017 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	19
Figura 2.15:	Transetto T2 – Agosto (fine) 2017 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	20
Figura 2.16:	Transetto T2 – Agosto (fine) 2017 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	21
Figura 2.17:	Transetto T2 – Ottobre 2017 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente	22
Figura 2.18:	Transetto T2 – Ottobre 2017 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)	23
Figura 3.1:	Confronto tra Campionamenti effettuati nel Mese di Ottobre 2012, 2014, 2015, 2016 e 2017 al Punto D	25
Figura 4.1:	Posizione dei Punti di Misura del "Bianco" e a 5, 10 e 30 m dallo Scarico	26
Figura 4.2:	Profili di Temperatura Misurati in Agosto 2017 nelle Vicinanze dello Scarico Termico (rosso a 5m, verde a 10 m, viola a 30 m dal Terminale) a Confronto con il Profilo di Temperatura non Affetto dallo Scarico nella stessa Stagione (blu)	27
Figura 4.3:	Andamento del DT (differenze tra i profili lungo lo scafo ed il Bianco) in Funzione della Profondità in Fase di Esercizio del Terminale – Misure Puntuali effettuata dal personale di bordo il 29 e 30 Agosto 2017	28
Figura 4.4:	Condizioni Estive - Near Field, $\Delta T$ (ingresso-uscita) = -3.8 °C – Campo di Dispersione del $\Delta T$ (°C) e Profili di Temperatura Misurati in Agosto 2017	29

## 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 quarto anno di esercizio del Terminale (Giugno 2017-Ottobre 2017), e fa riferimento ai precedenti rapporti:

- ✓ "Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area di Installazione del Terminale. Terzo anno di esercizio", Doc. No. 12-982-H5 Rev.0 (nel seguito, definito R2016), relativo alle misure effettuate nel 2016 durante il terzo anno di esercizio del Terminale;
- ✓ "Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area di Installazione del Terminale. Secondo anno di esercizio", Doc. No. 12-982-H4 Rev.1 (nel seguito, definito R2015), relativo alle misure effettuate nel 2015 durante il secondo anno di esercizio del Terminale;
- ✓ "Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area di Installazione del Terminale. Primo anno di esercizio (Dicembre 2013-Ottobre 2014) e Modello di Dispersione", Doc. No. 12-982-H3 Rev.0 (nel seguito, definito R2014), relativo alle misure effettuate nel 2014 durante il primo anno di esercizio del Terminale;
- ✓ "Analisi dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area di Installazione del Terminale (Misure Maggio-Ottobre 2012)", Doc. No. 12-982-H2 Rev.1 (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.

## 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 (CTD) 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:

- ✓ 9 GIUGNO 2017;
- ✓ 1 AGOSTO 2017;
- ✓ 23 AGOSTO 2017;
- ✓ 10 OTTOBRE 2017.

Le 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 tutti i punti 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 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 corrente 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 (i.e. pag 25 del Piano).

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

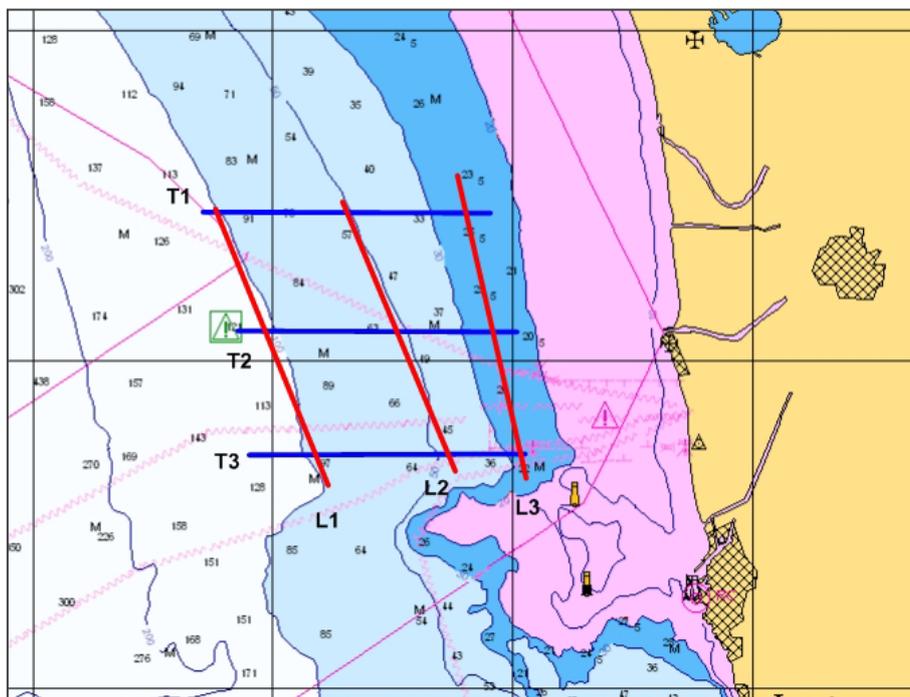


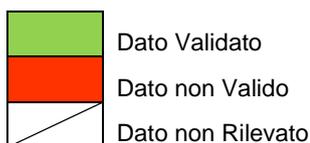
Figura 2.2: Posizione dei Transetti L1, L2, L3, T1, T2 e T3

### 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 Vx (verso Est) e Vy (verso Nord). In Tabella 2.2 è riportata una sintesi dei campionamenti effettuati nel quarto anno di esercizio del Terminale (Giugno 2017 – Ottobre 2017), e dei relativi risultati della validazione effettuata sui dati rilevati.

Tabella 2.2: Sintesi dei Campionamenti effettuati nel 2017

DATA			PUNTO															
Anno	Mese	Giorno	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P	Q	S
2017	Giugno	9	/	/	/	█	█	█	█	/	/	/	/	/	█	/	█	/
2017	Agosto	1	/	/	/	█	█	█	█	/	/	/	/	/	█	/	█	/
2017	Agosto	23	/	/	/	█	█	█	█	/	/	/	/	/	█	/	█	/
2017	Ottobre	10	/	/	/	█	█	█	█	/	/	/	/	/	█	/	█	/



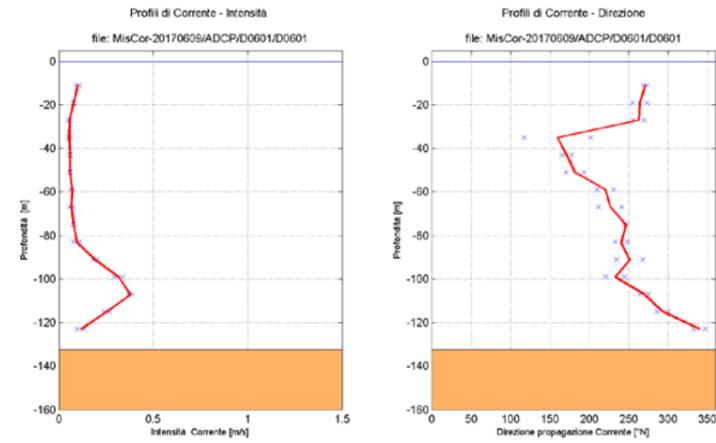
In Figura 2.3 - Figura 2.6 sono riportati graficamente i singoli profili di corrente (velocità e direzione di propagazione) misurati nei punti D, E, F, G, O e Q: i valori si riferiscono alla media su 10 minuti, come richiesto nel Piano di Monitoraggio e come tradizionalmente indicato nelle normative 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.

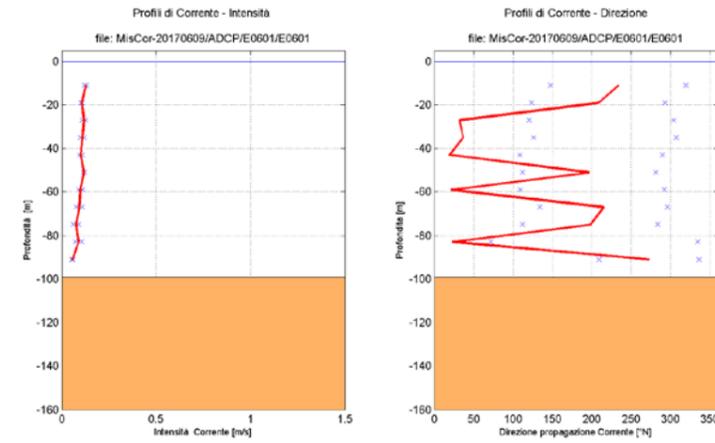
Analogamente, in Figura 2.7 - Figura 2.10 si riportano i profili di temperatura e salinità misurate e densità calcolata dai precedenti valori di temperatura e salinità.

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. Infatti, 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 quindi che le misure del transetto T2 ottenute tramite l'interpolazione 3D rispettino a pieno quanto richiesto nel Piano di Monitoraggio. In Figura 2.11 - Figura 2.18 sono riportati graficamente: le componenti  $V_x$  (Est) e  $V_y$  (Nord) della corrente, temperatura, salinità e densità al variare della profondità lungo il transetto T2, risultanti dai rilievi di Giugno, Agosto e Ottobre. Le scale cromatiche sono state propriamente definite per evidenziare la variabilità spaziale di ciascun parametro.

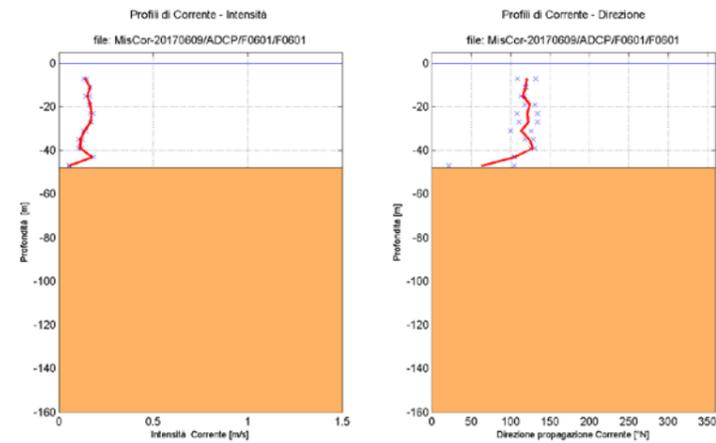
**PUNTO D**



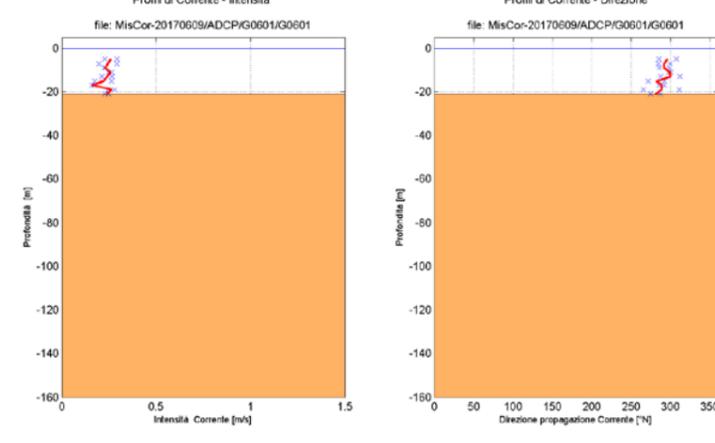
**PUNTO E**



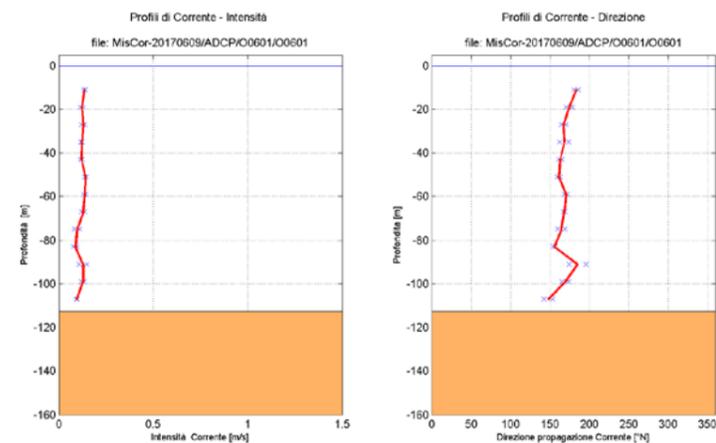
**PUNTO F**



**PUNTO G**



**PUNTO O**



**PUNTO Q**

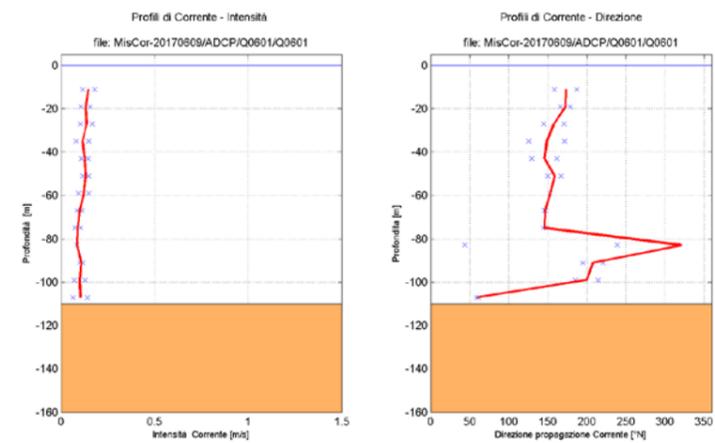
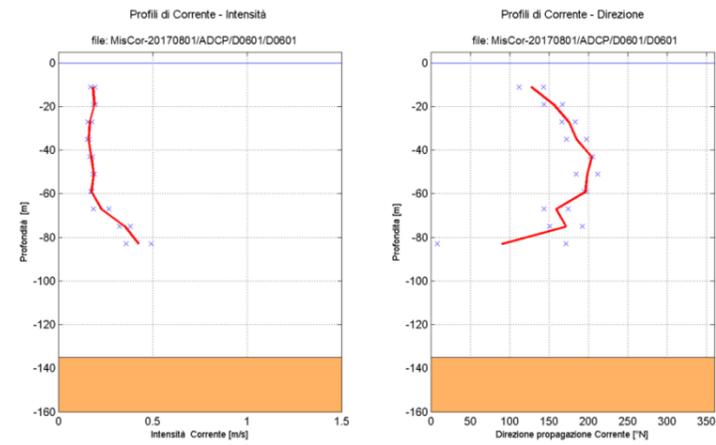
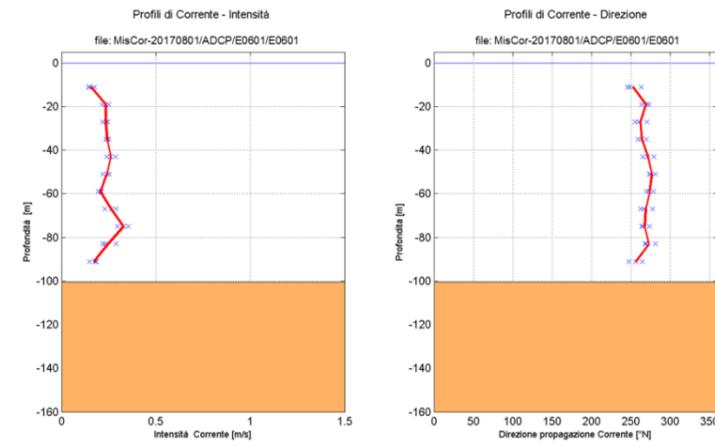


Figura 2.3: Profili di Corrente misurati in D, E, F, G, O, Q in Giugno 2017

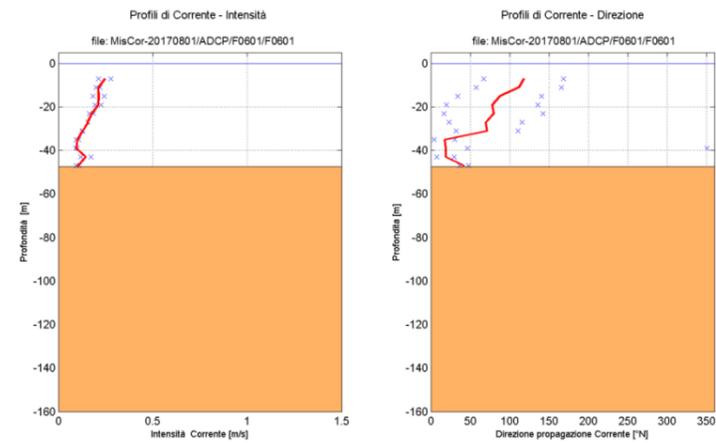
**PUNTO D**



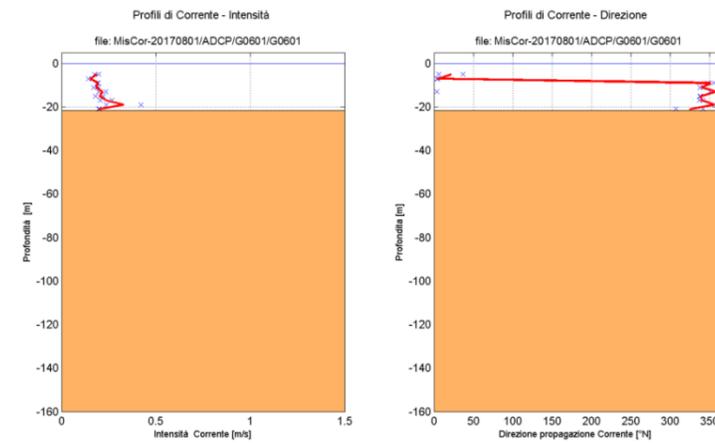
**PUNTO E**



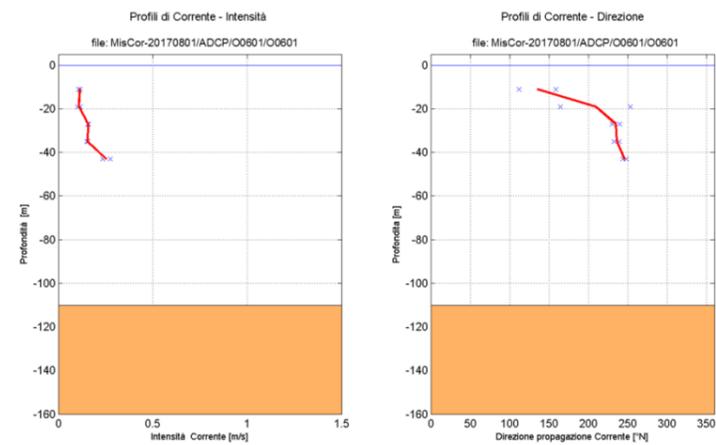
**PUNTO F**



**PUNTO G**



**PUNTO O**



**PUNTO Q**

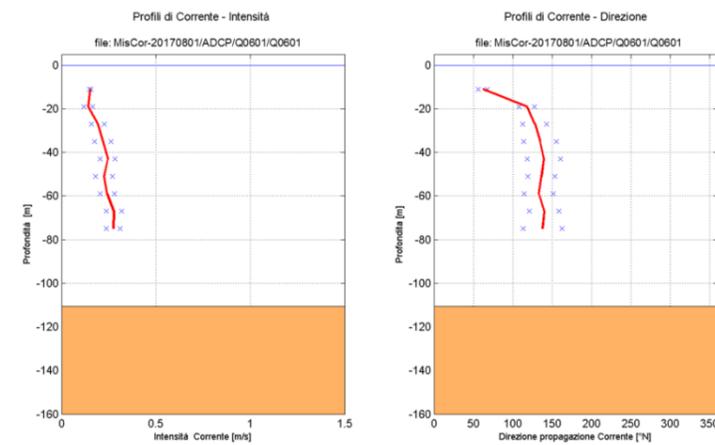
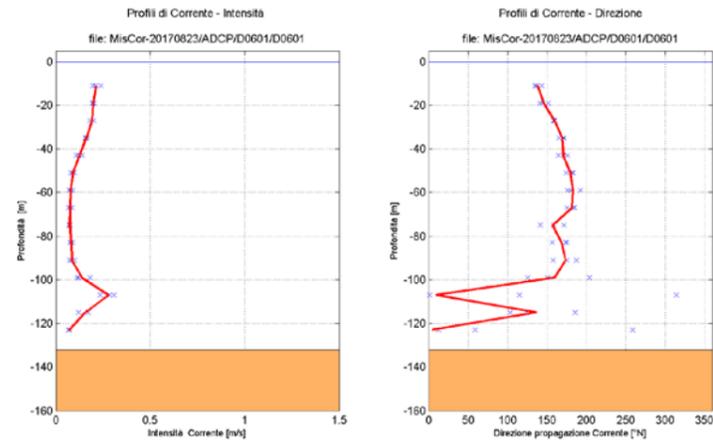
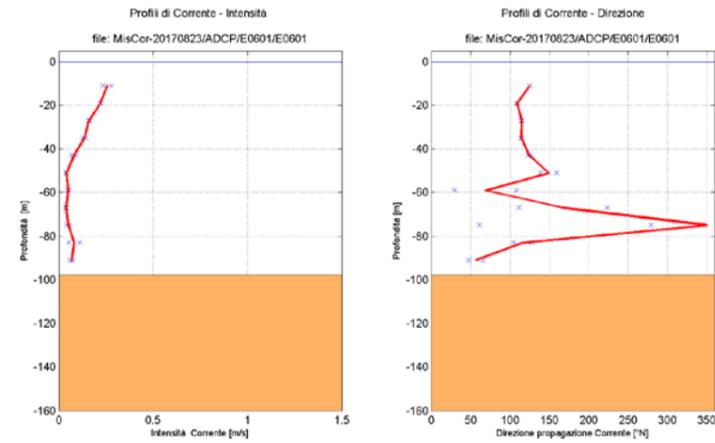


Figura 2.4: Profili di Corrente misurati in D, E, F, G, O, Q in Agosto (inizio) 2017

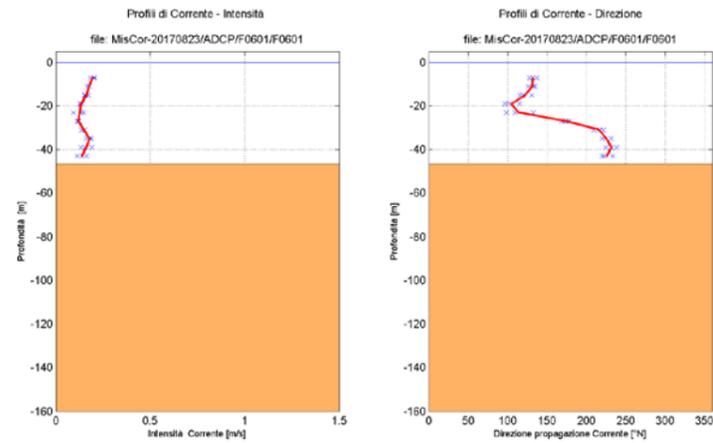
**PUNTO D**



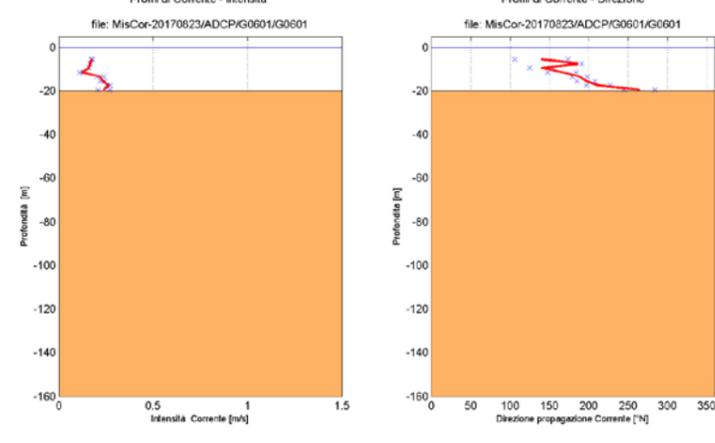
**PUNTO E**



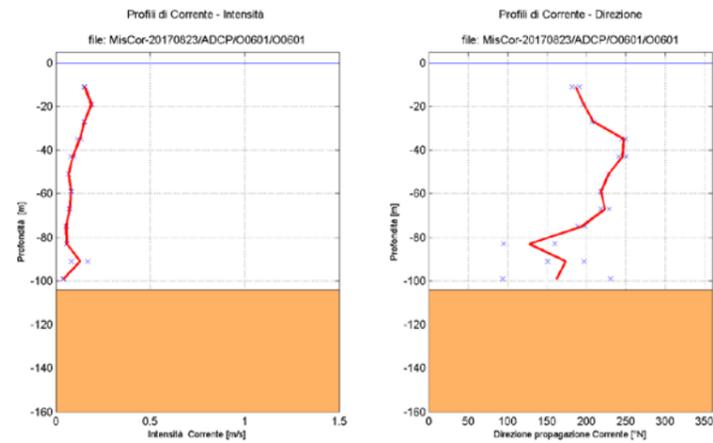
**PUNTO F**



**PUNTO G**



**PUNTO O**



**PUNTO Q**

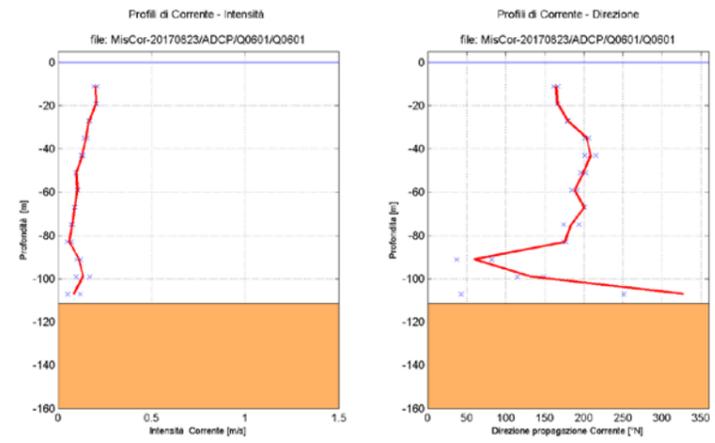
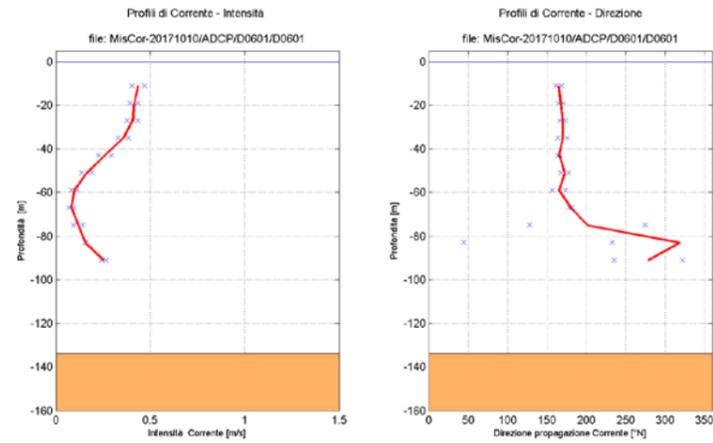
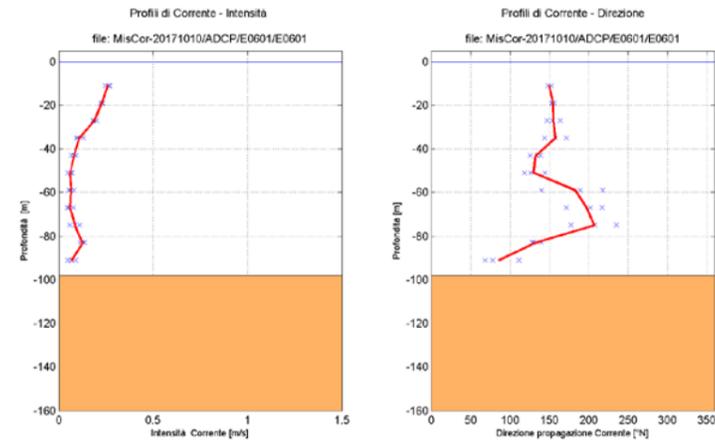


Figura 2.5: Profili di Corrente misurati in D, E, F, G, O, Q in Agosto (fine) 2017

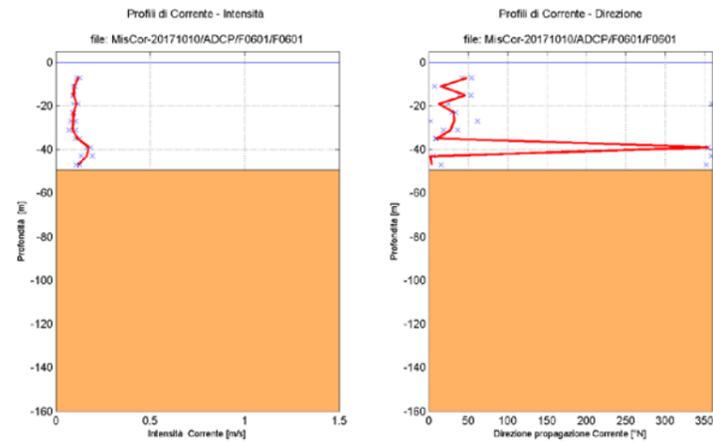
**PUNTO D**



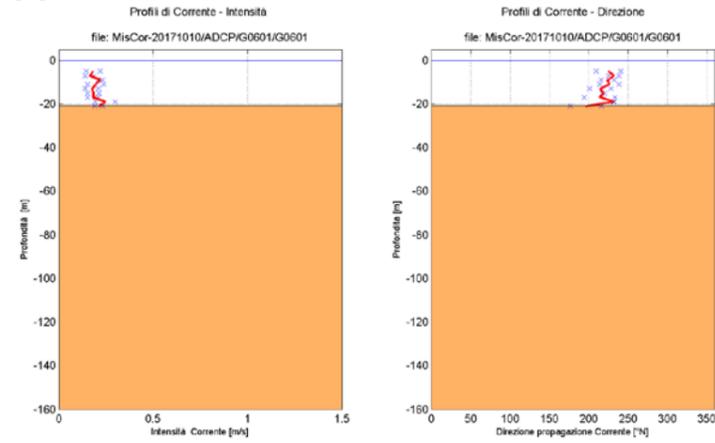
**PUNTO E**



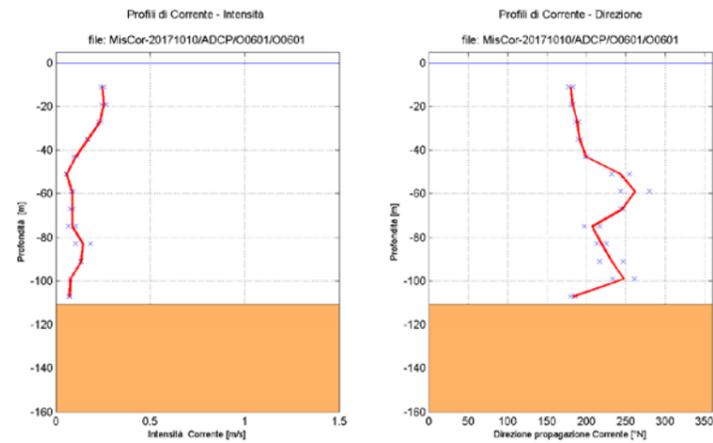
**PUNTO F**



**PUNTO G**



**PUNTO O**



**PUNTO Q**

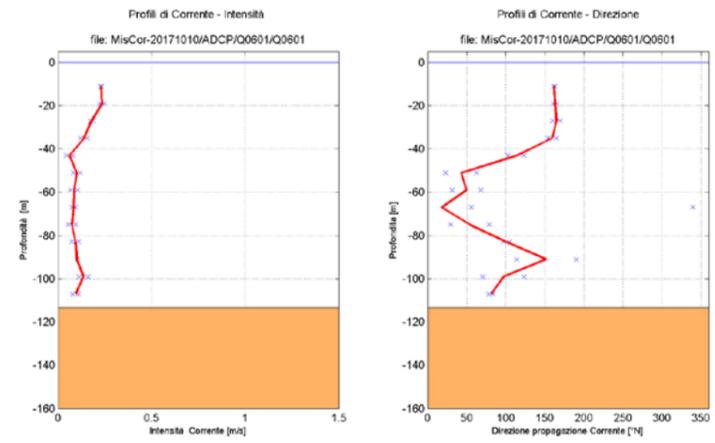
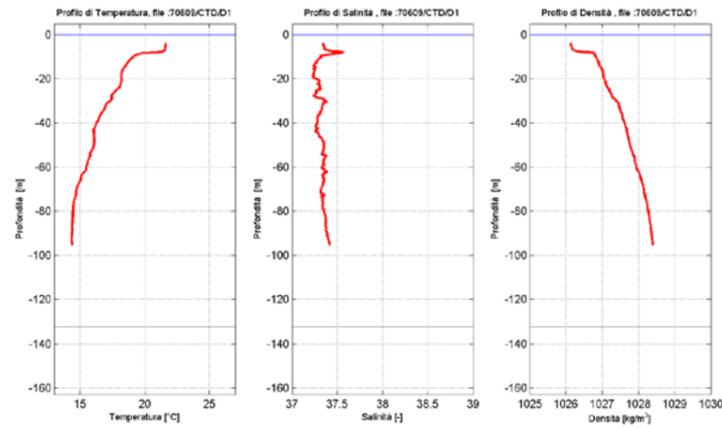
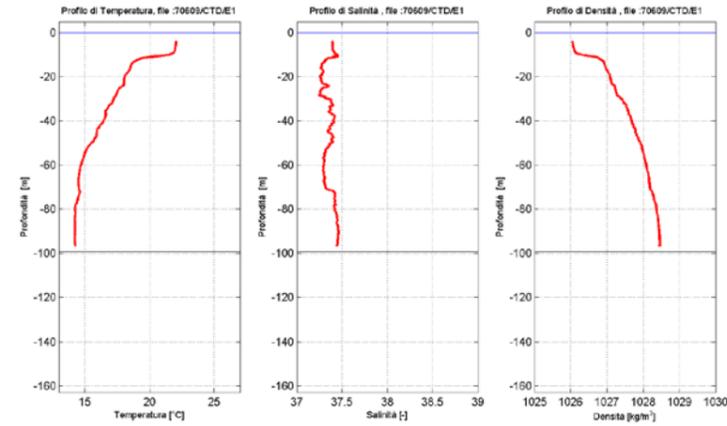


Figura 2.6: Profili di Corrente misurati in D, E, F, G, O, Q in Ottobre 2017

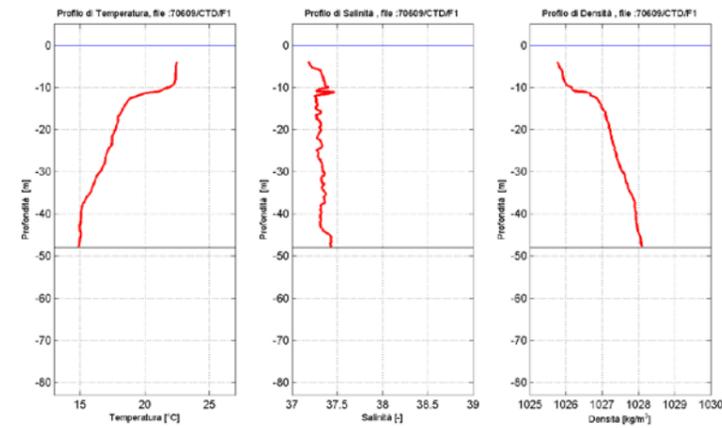
**PUNTO D**



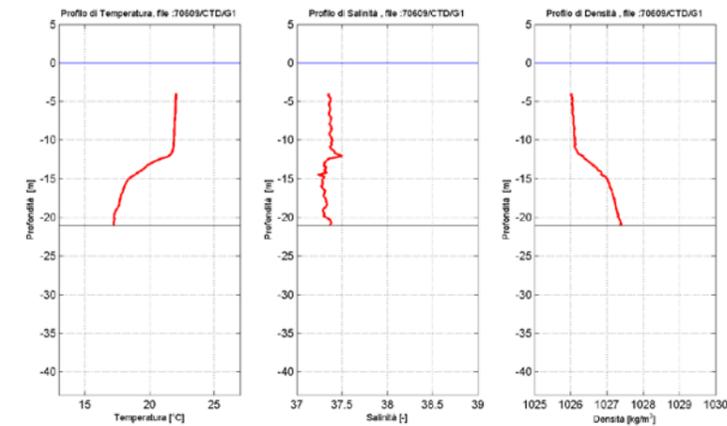
**PUNTO E**



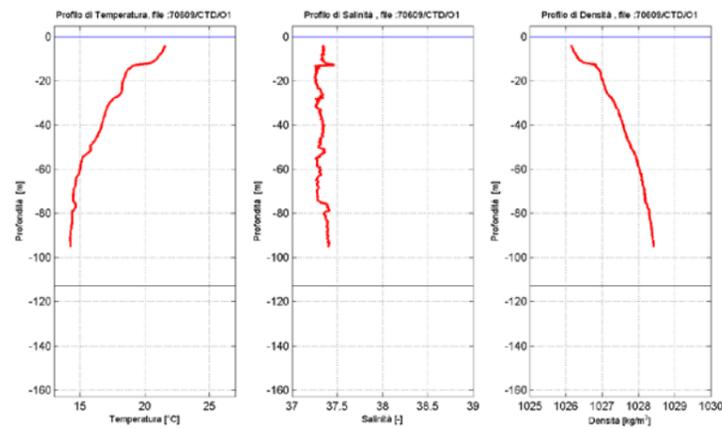
**PUNTO F**



**PUNTO G**



**PUNTO O**



**PUNTO Q**

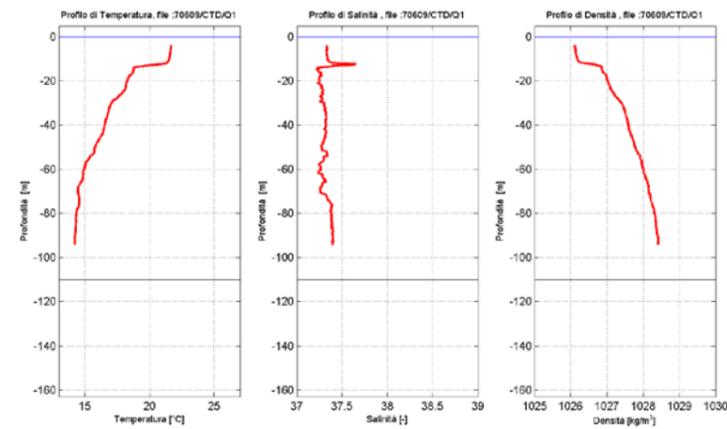
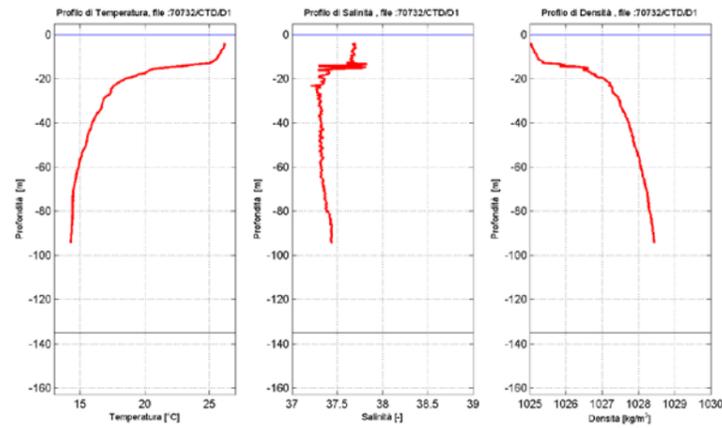
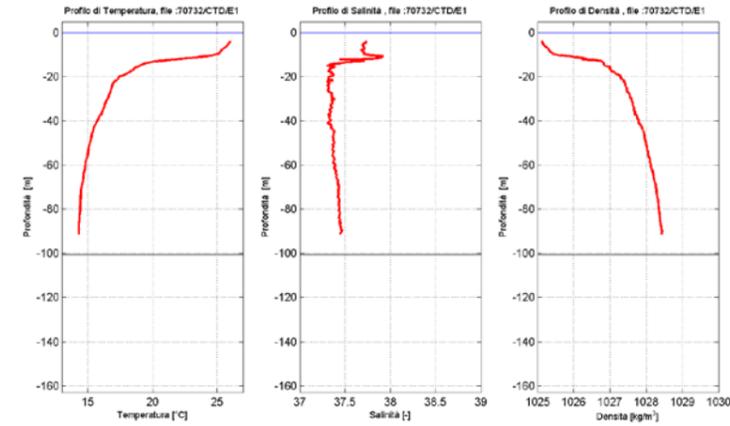


Figura 2.7: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, F, G, O, Q in Giugno 2017

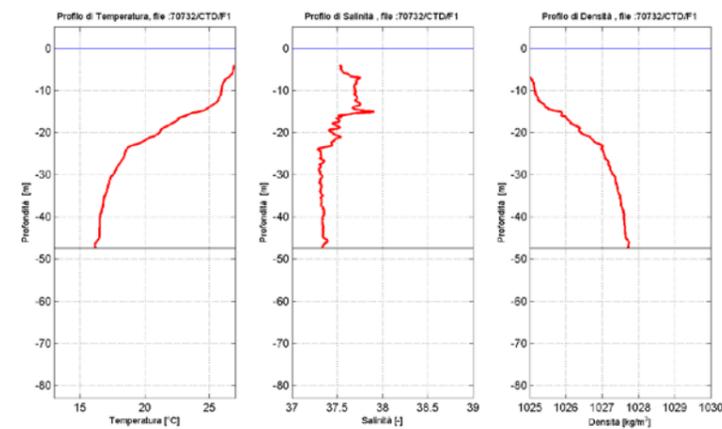
**PUNTO D**



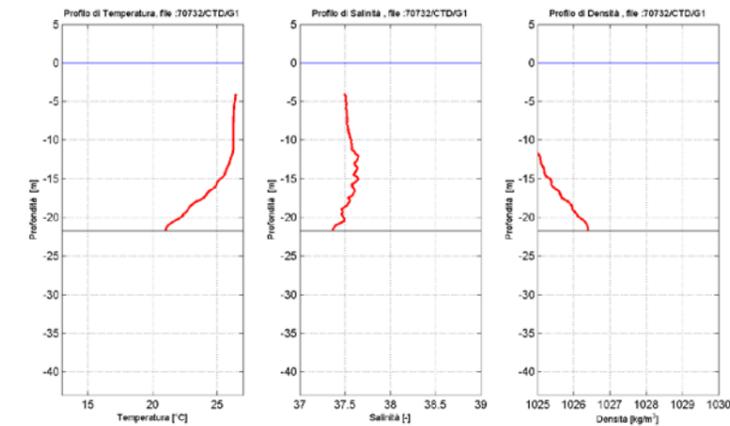
**PUNTO E**



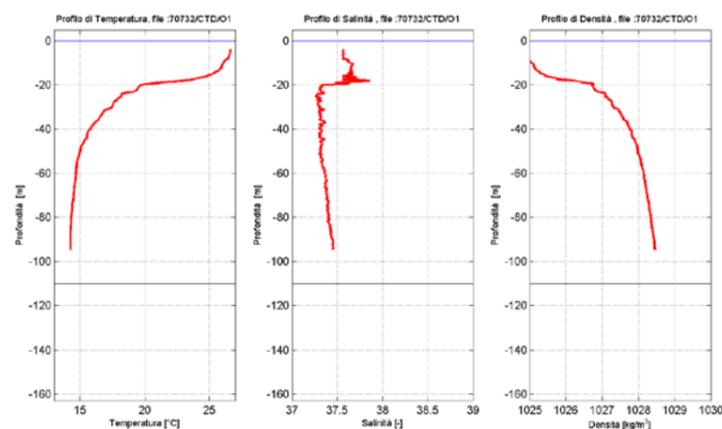
**PUNTO F**



**PUNTO G**



**PUNTO O**



**PUNTO Q**

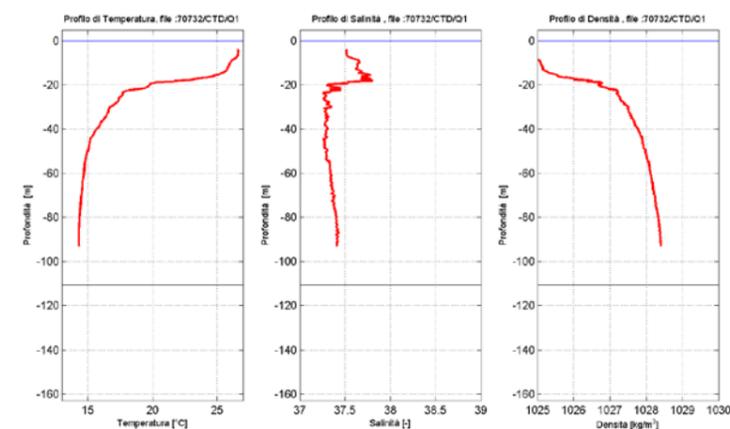
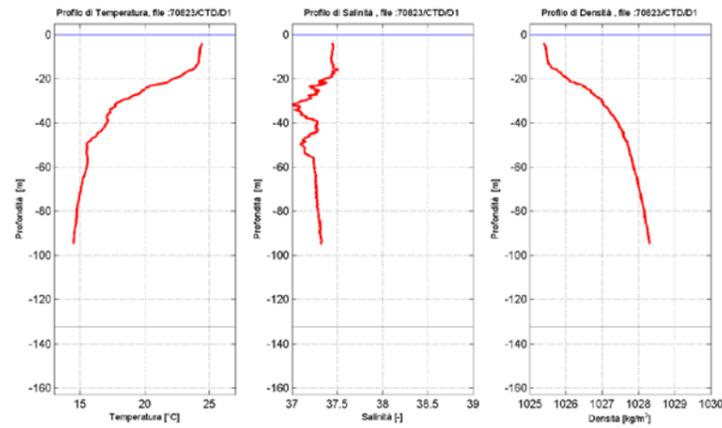
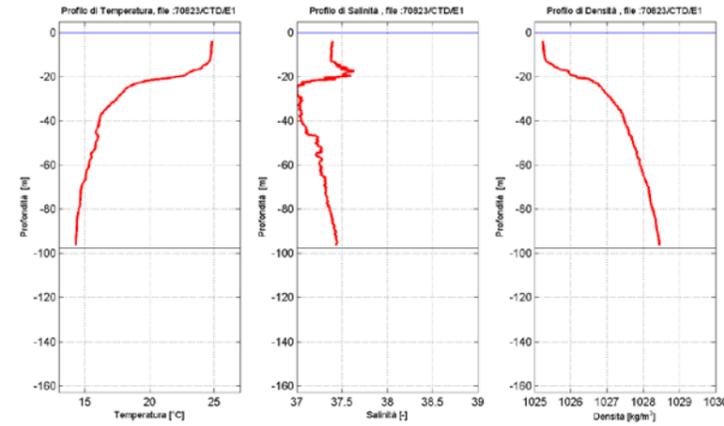


Figura 2.8: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, F, G, O, Q in Agosto (inizio) 2017

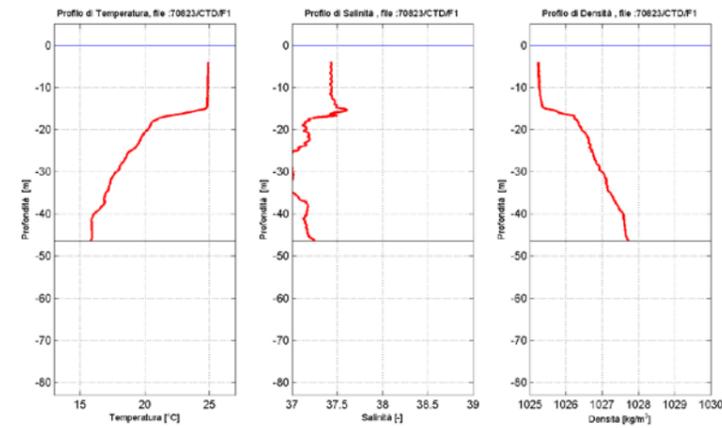
**PUNTO D**



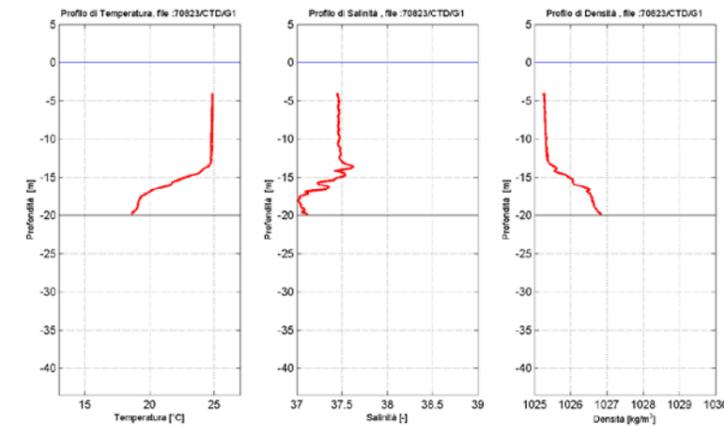
**PUNTO E**



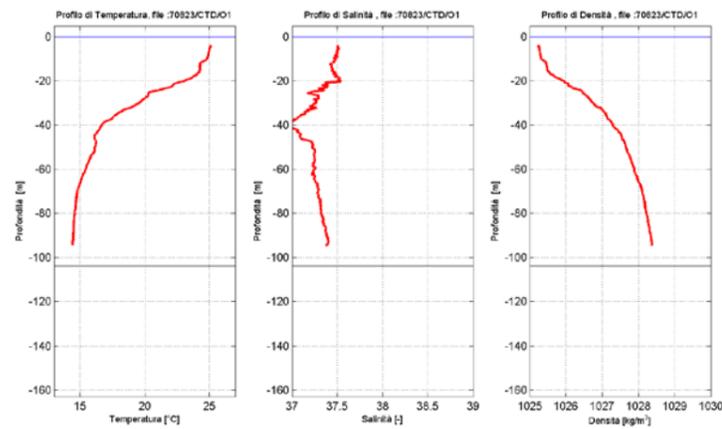
**PUNTO F**



**PUNTO G**



**PUNTO O**



**PUNTO Q**

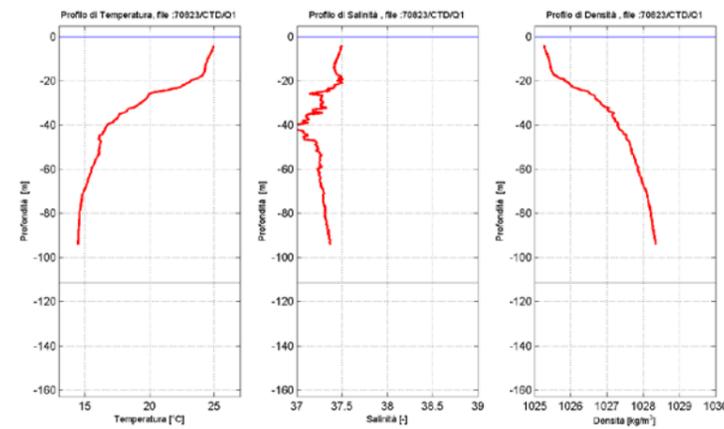
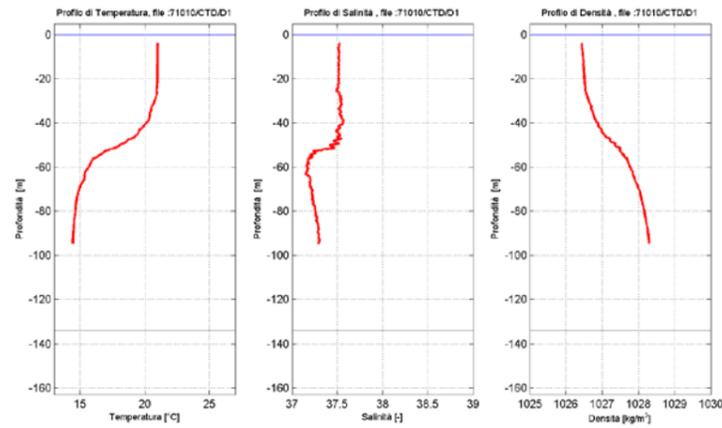
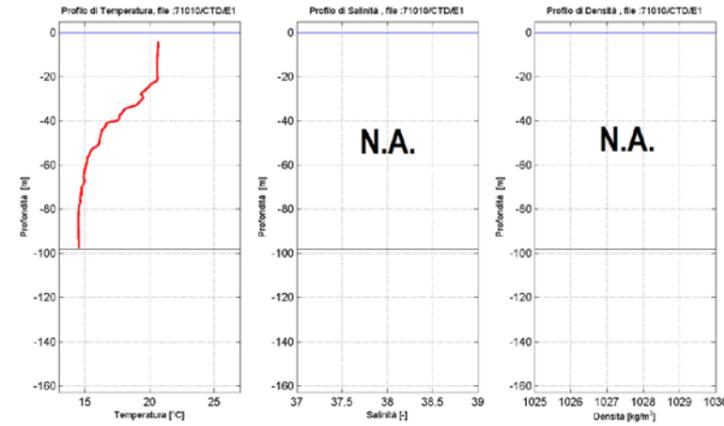


Figura 2.9: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, F, G, O, Q in Agosto (fine) 2017

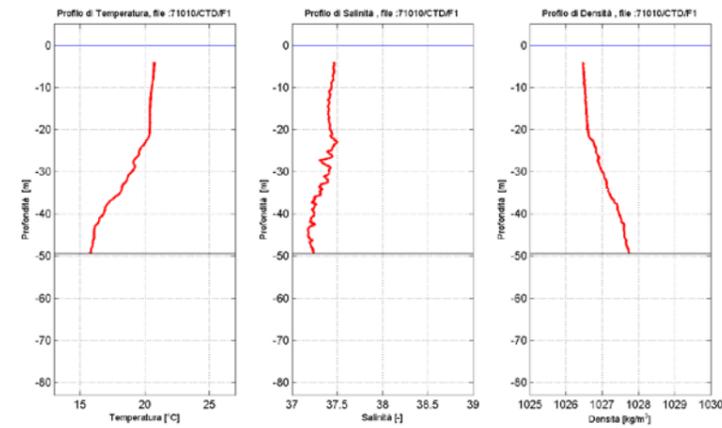
**PUNTO D**



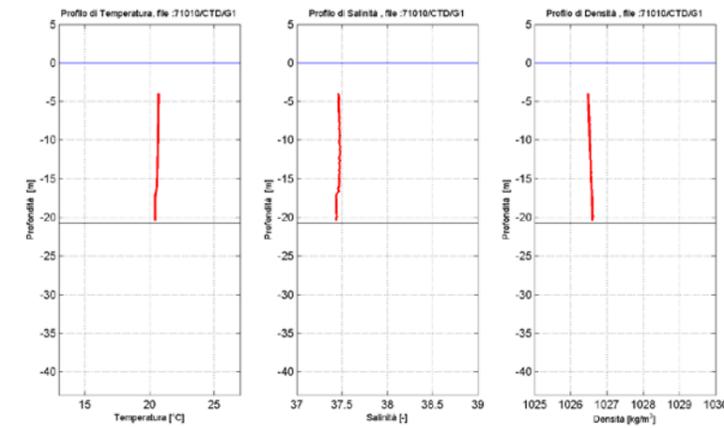
**PUNTO E**



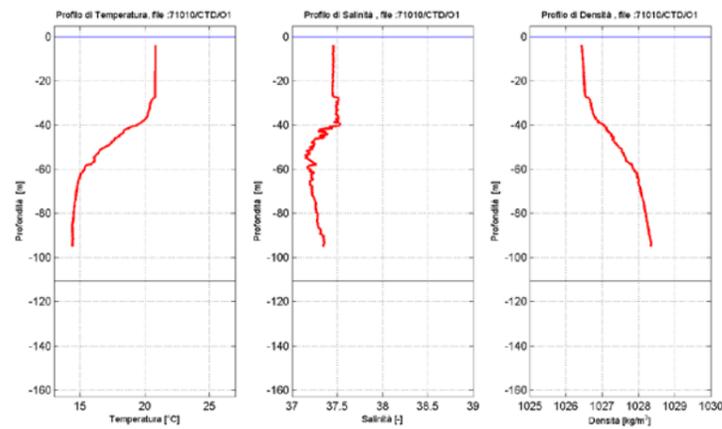
**PUNTO F**



**PUNTO G**



**PUNTO O**



**PUNTO Q**

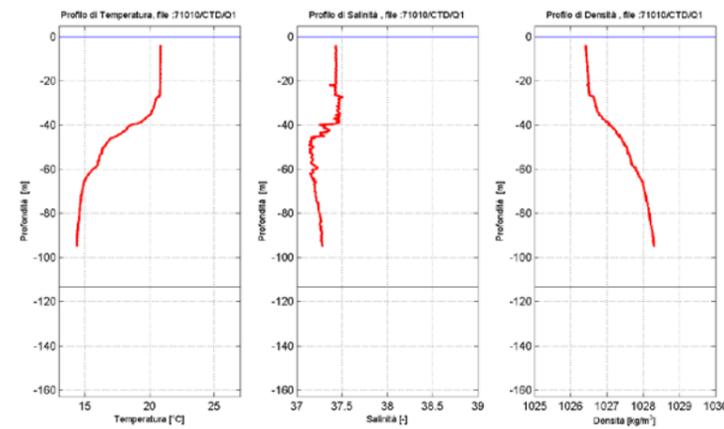


Figura 2.10: Profili di Temperatura (sinistra), Salinità (centro) e Densità (destra) misurati in D, E, F, G, O, Q in Ottobre 2017

TRANSETTO: T2 - MESE: 06 - ANNO: 2017

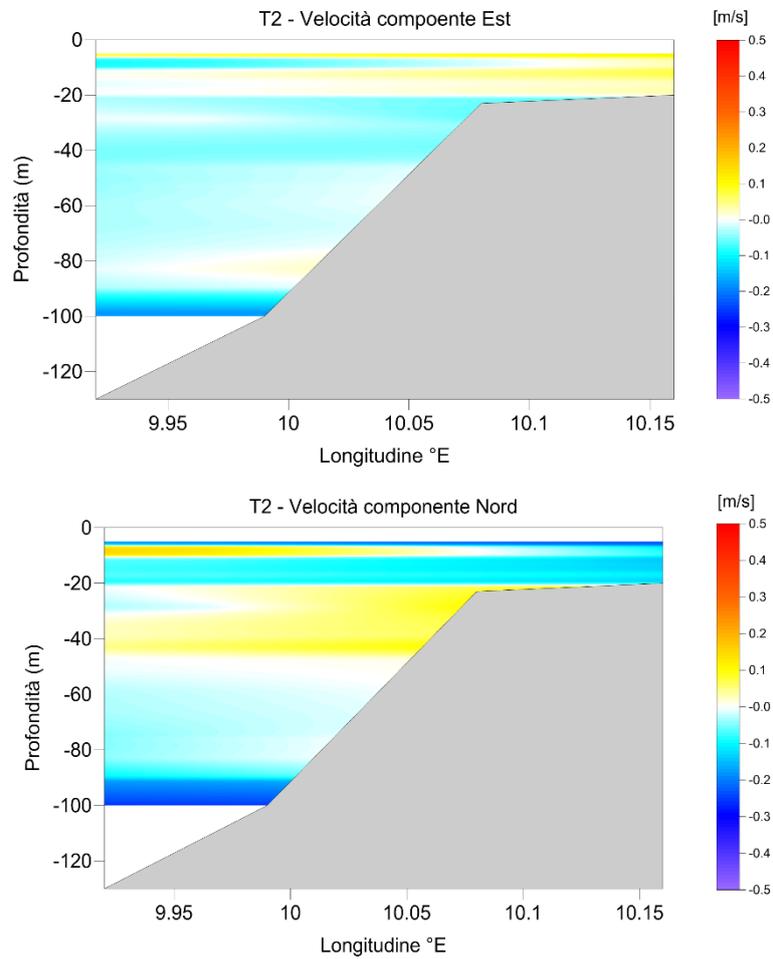


Figura 2.11: Transetto T2 – Giugno 2017 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

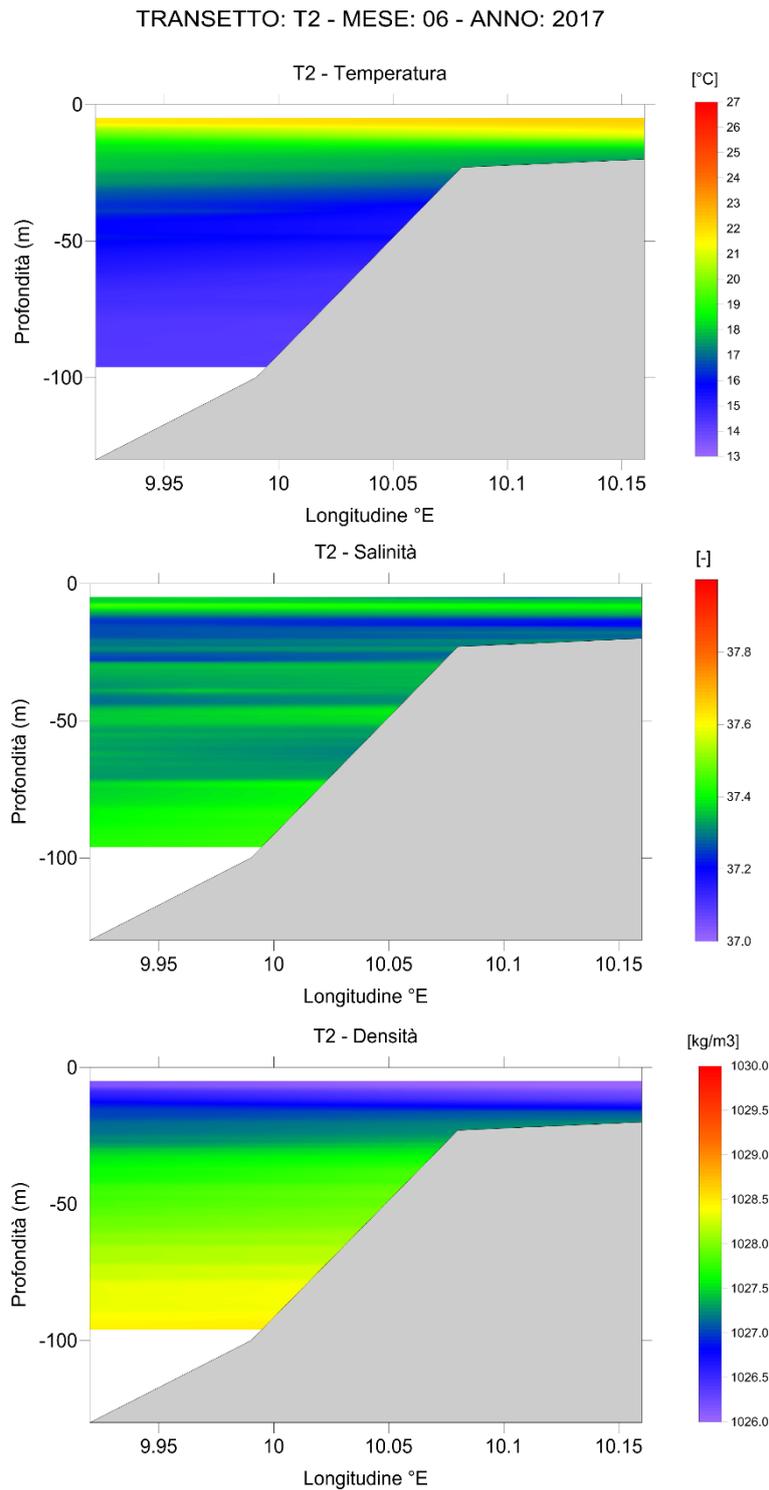


Figura 2.12: Transetto T2 – Giugno 2017 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T2 - MESE: 08 (inizio) - ANNO: 2017

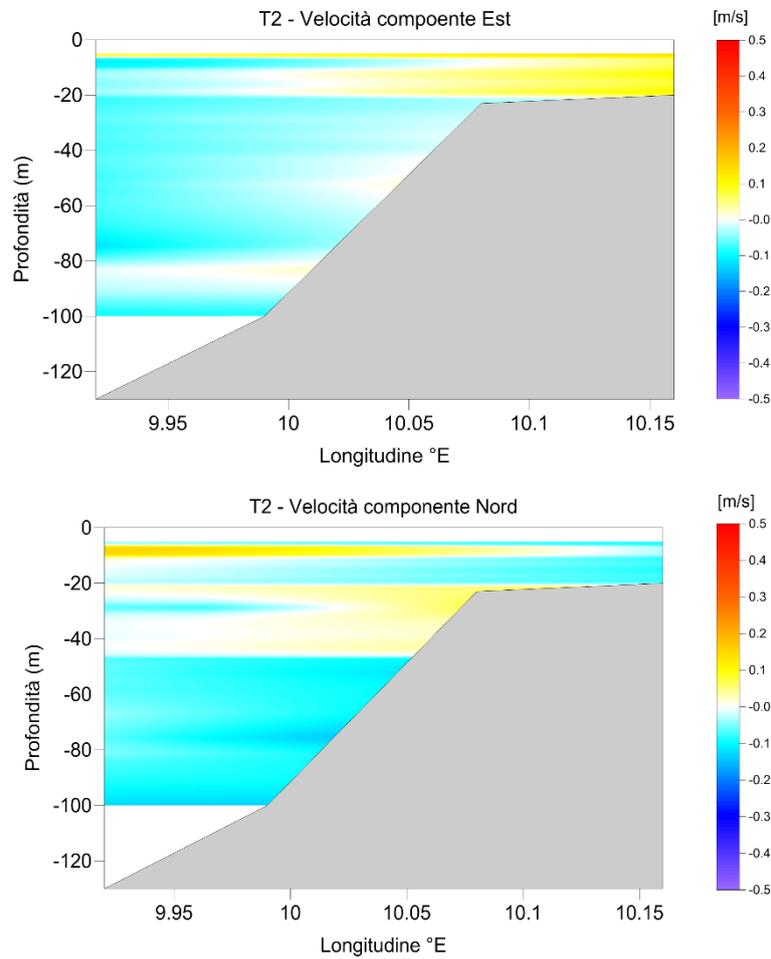


Figura 2.13: Transetto T2 – Agosto (inizio) 2017 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T2 - MESE: 08 (inizio) - ANNO: 2017

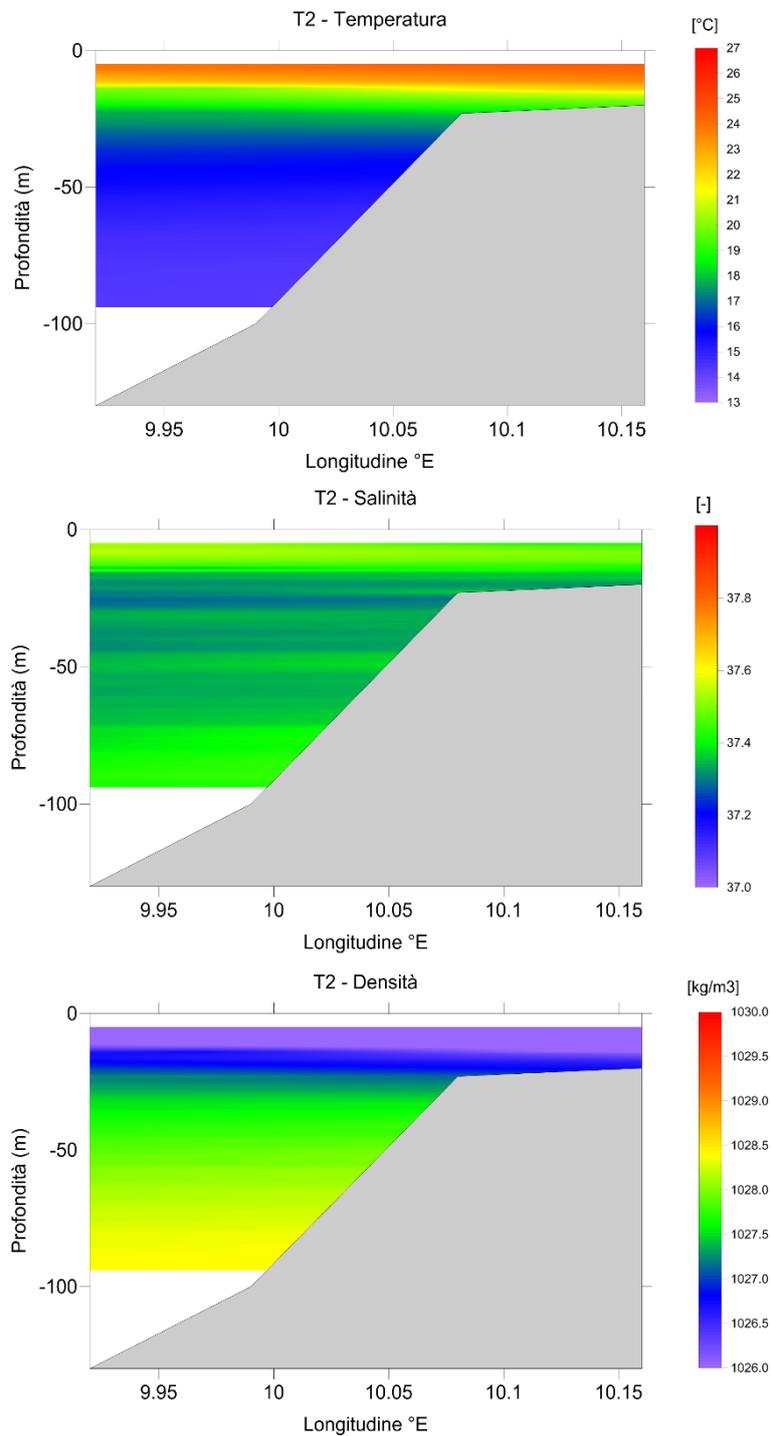


Figura 2.14: Transetto T2 – Agosto (inizio) 2017 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T2 - MESE: 08 (fine) - ANNO: 2017

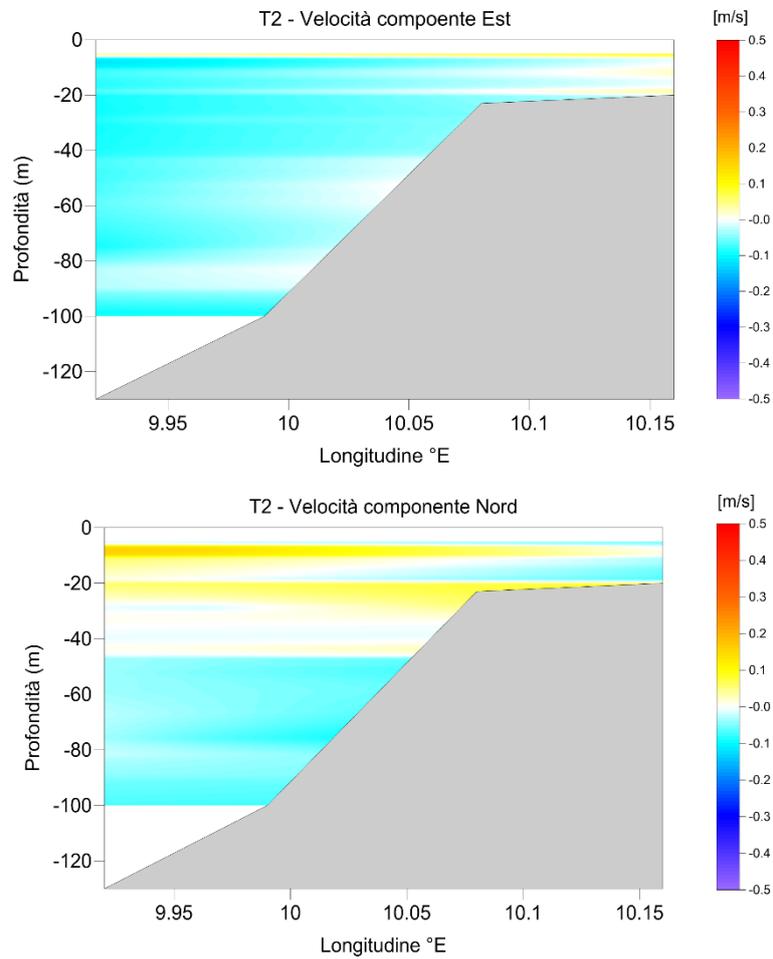


Figura 2.15: Transetto T2 – Agosto (fine) 2017 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

TRANSETTO: T2 - MESE: 08 (fine) - ANNO: 2017

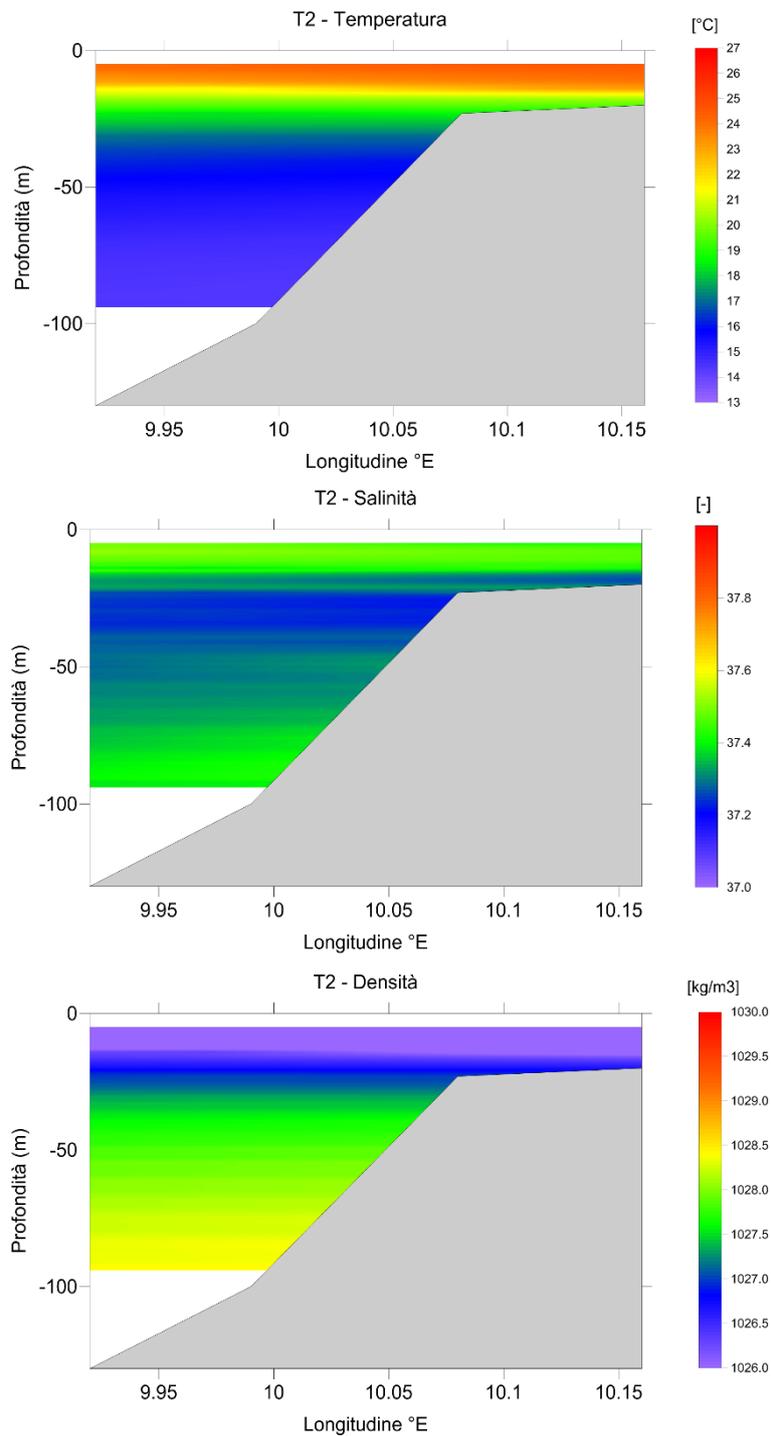


Figura 2.16: Transetto T2 – Agosto (fine) 2017 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

TRANSETTO: T2 - MESE: 10 - ANNO: 2017

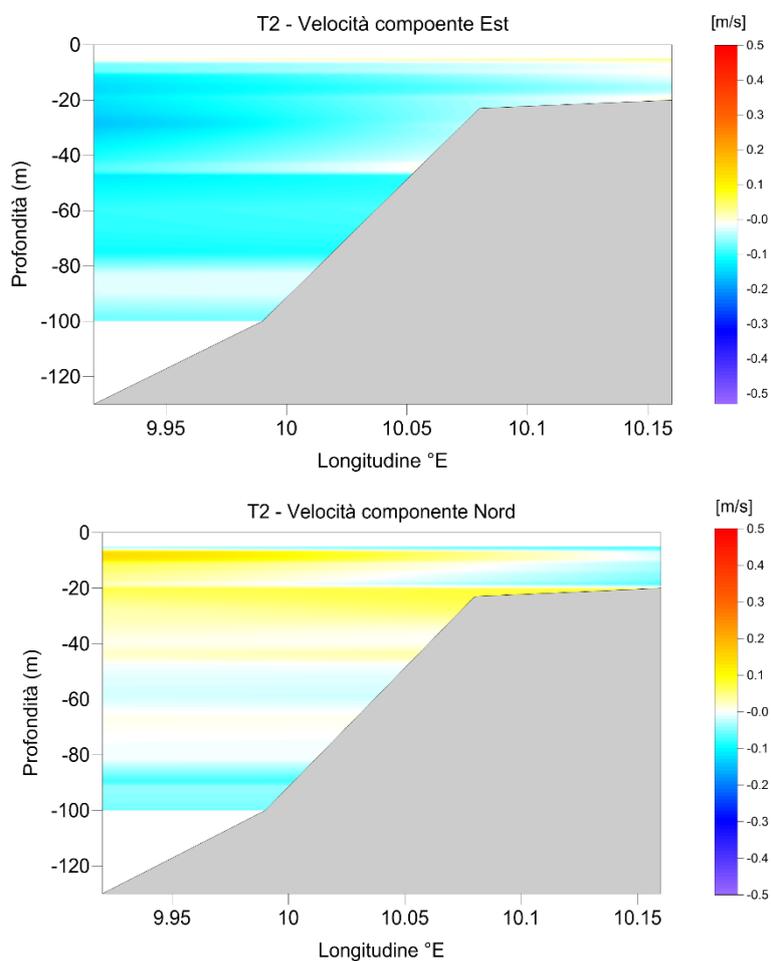


Figura 2.17: Transetto T2 – Ottobre 2017 – Valori Caratteristici delle Componenti Est (Sopra) e Nord (Sotto) della Velocità di Corrente

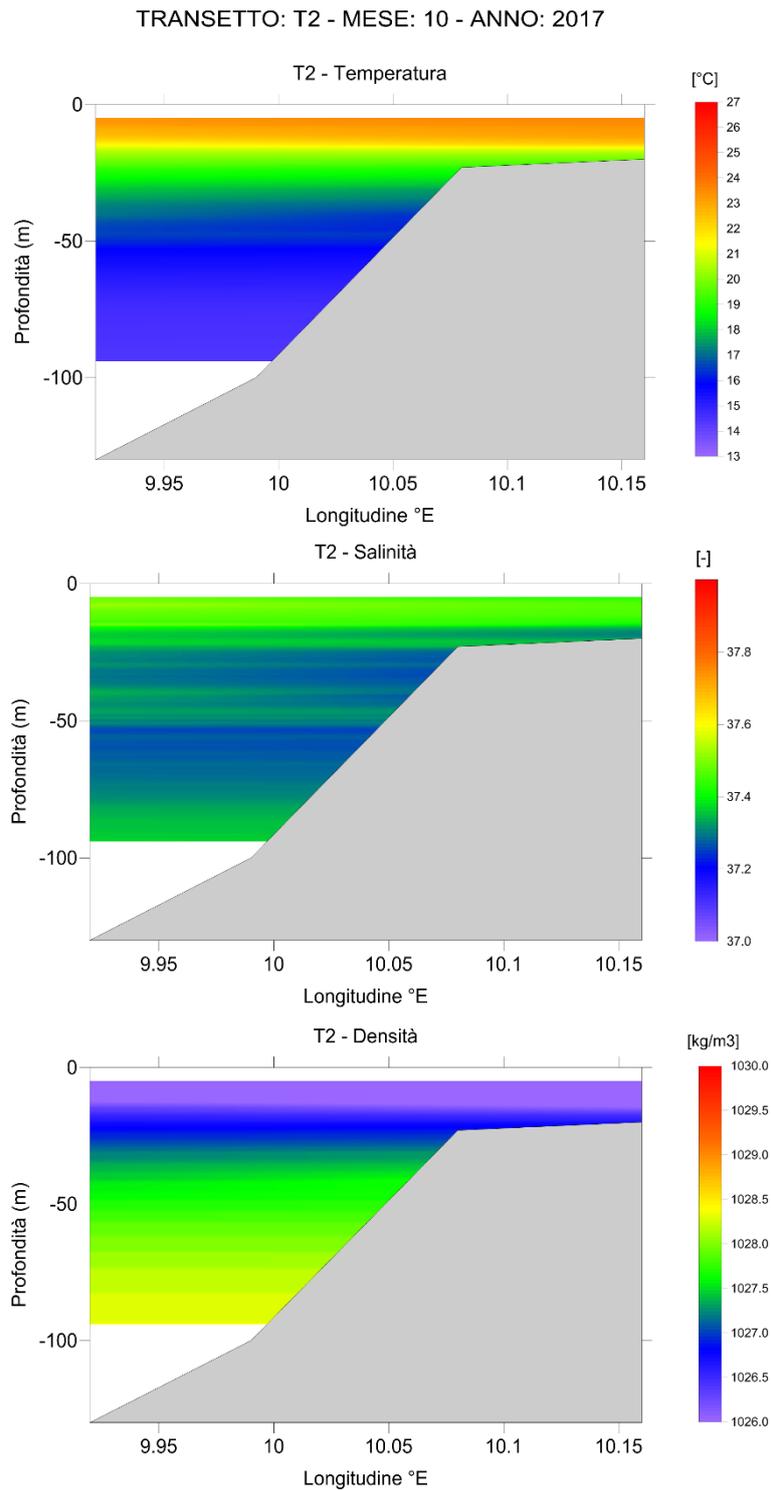


Figura 2.18: Transetto T2 – Ottobre 2017 – Valori Caratteristici della Temperatura (Sopra) Salinità (Centro) e Densità (Sotto)

### 3 INTERPRETAZIONE DEI DATI

I dati descritti nel presente rapporto si riferiscono alla campagna di misure correntometriche rilevate nei pressi del punto di installazione del Terminale "FSRU Toscana" e nelle aree adiacenti effettuate nel corso del quarto anno di esercizio del Terminale (Giugno 2017 – Ottobre 2017). 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 (i.e. Figura 2.7 - Figura 2.10), calcolati a partire dai dati rilevati con la sonda CTD, è possibile individuare la presenza, come atteso, di una stratificazione delle acque, ben visibile in Giugno e Agosto (inizio e fine) 2017, con picnoclino tra 10 e 15 m di profondità in Giugno e tra i 15 e i 35 m di profondità in Agosto. Nel mese di Ottobre il picnoclino è più profondo e un po' meno definito, ad indicare il passaggio verso una maggiore omogeneità delle masse d'acqua dalla superficie verso il fondo tipica della stagione invernale.

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.

I dati rilevati non presentano differenze significative rispetto ai valori medi attesi. Inoltre, debitamente confrontati con agli anni di esercizio precedenti (R2016, R2015 e R2014) e con le condizioni di "bianco" iniziale (R2012), i dati del 2017 evidenziano caratteristiche delle masse d'acqua simili a quelle osservate nel 2016, 2014 e 2012. A titolo di esempio, in Figura 3.1 sono riportati sovrapposti i profili rilevati al punto D rispettivamente il 12/10/2012 (blu), 29/09/2014 (magenta), 26/10/2015 (rosso), il 29/09/2016 (nero) e il 10/10/2017 (verde): la figura mostra un termocline poco più basso nel 2017 rispetto agli anni 2014, 2016 e al bianco 2012, posizionato su circa 50 m di profondità. I valori di temperatura e salinità rimangono tuttavia nei range tipici e attesi per il periodo indagato.

Per quanto riguarda infine i dati relativi al 2015, come già precedentemente spiegato nel rapporto R2016, il notevole abbassamento del picnoclino evidenziato nella misura di Ottobre, a quota 40-60 m rispetto ai 30-35 m attesi, non era connesso al funzionamento del Terminale. L'impatto del Terminale è infatti limitato ad una distanza massima compresa tra 500 e 1000 m dal Terminale stesso, come confermato dalle ulteriori misure effettuate nel corso degli anni dal CIBM (primo, secondo, terzo e quarto report annuale).

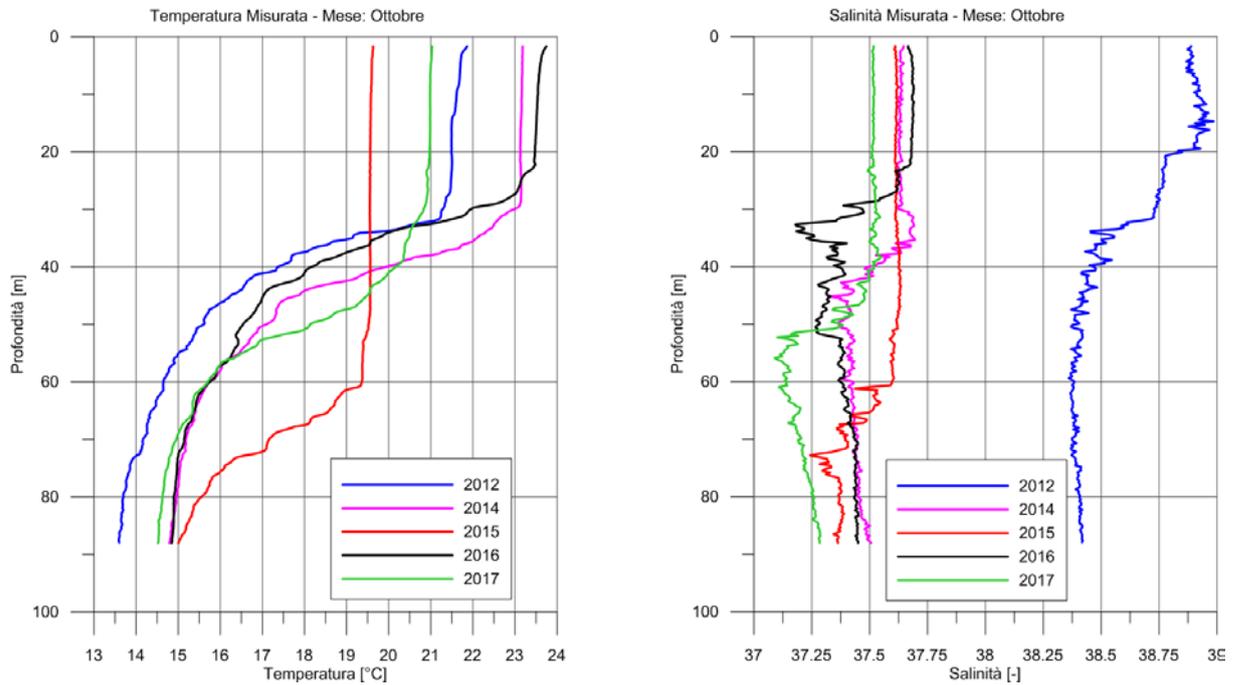


Figura 3.1: Confronto tra Campionamenti effettuati nel Mese di Ottobre 2012, 2014, 2015, 2016 e 2017 al Punto D

### 3.2 TRANSETTO T2

Gli andamenti dei valori del transetto trasversale T2 (Figura 2.11 - Figura 2.18), sono stati ricostruiti per i giorni di misura di Giugno, Agosto (inizio e fine) e Ottobre. I dati non evidenziano discostamenti significativi rispetto ai valori medi attesi.

## 4 MODELLO DI DISPERSIONE

Il modello di dispersione messo a punto per l'area in cui è installato il Terminale è descritto nel rapporto R2014, a cui si rimanda per dettagli. Nel seguito viene descritta la calibrazione del modello preceduta dalla descrizione dei profili di temperatura misurati nelle vicinanze del Terminale durante la sua attività.

### 4.1 MISURE DI TEMPERATURA NELLE VICINANZE DEL TERMINALE

Nel tentativo di monitorare più da vicino gli effetti dello scarico termico durante la rigassificazione, anche nel corso di questo quarto anno di esercizio OLT ha effettuato misure puntuali di temperatura in tempo reale durante tali operazioni. Si tratta di tre misure estive, effettuate nei giorni 29 e 30 agosto 2017 in corrispondenza dei punti mostrati in Figura 4.1. Il  $\Delta T$  (uscita – ingresso) dell'acqua di mare necessaria alla rigassificazione nei giorni di misura era mediamente pari a  $-3.8^{\circ}\text{C}$ .

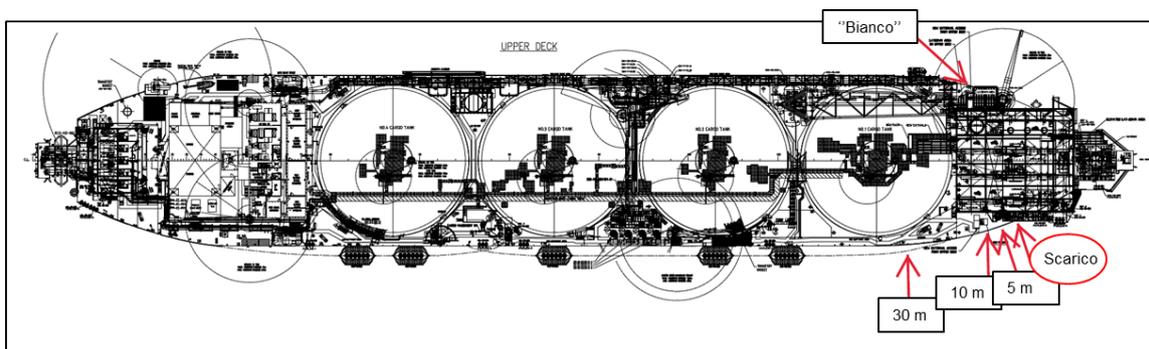


Figura 4.1: Posizione dei Punti di Misura del "Bianco" e a 5, 10 e 30 m dallo Scarico

I profili di temperatura misurati sono riportati graficamente in Figura 4.2 (rosso, verde, viola), a confronto con un profilo "bianco" (blu) (vale a dire rappresentativo della temperatura dell'acqua nelle aree circostanti lo scarico, sufficientemente lontano da non risentirne gli effetti) misurato il 29 agosto 2017. Considerando che le condizioni meteo-marine tra il 29 ed il 30 agosto sono risultate pressoché omogenee, si ritiene corretto e rappresentativo il confronto.

Nello specifico:

- ✓ "Bianco" (blu): profilo misurato lungo lo scafo sul lato opposto a quello di uscita dello scarico il 29 agosto 2017;
- ✓ Terminale -5m (rosso): profilo misurato lungo lo scafo a 5 m dallo scarico dell'acqua di mare necessaria alla rigassificazione il 30 agosto 2017;
- ✓ Terminale -10m (verde): profilo misurato lungo lo scafo a 15 m dallo scarico dell'acqua di mare necessaria alla rigassificazione il 30 agosto 2017;
- ✓ Terminale -30m (viola): profilo misurato lungo lo scafo a 30 m dallo scarico dell'acqua di mare necessaria alla rigassificazione il 29 agosto 2017.

Il confronto diretto tra i profili (rosso, verde e viola) ed il profilo chiamato "Bianco" (blu) evidenzia differenze significative di temperatura tra le misure lungo la colonna d'acqua a profondità immediatamente a valle di quella dello scarico a mare (circa  $-12\text{ m}$ ). Lo stesso confronto è presentato in Figura 4.3 in termini di DT (differenza di Temperatura tra i profili ed il Bianco) in funzione della profondità.

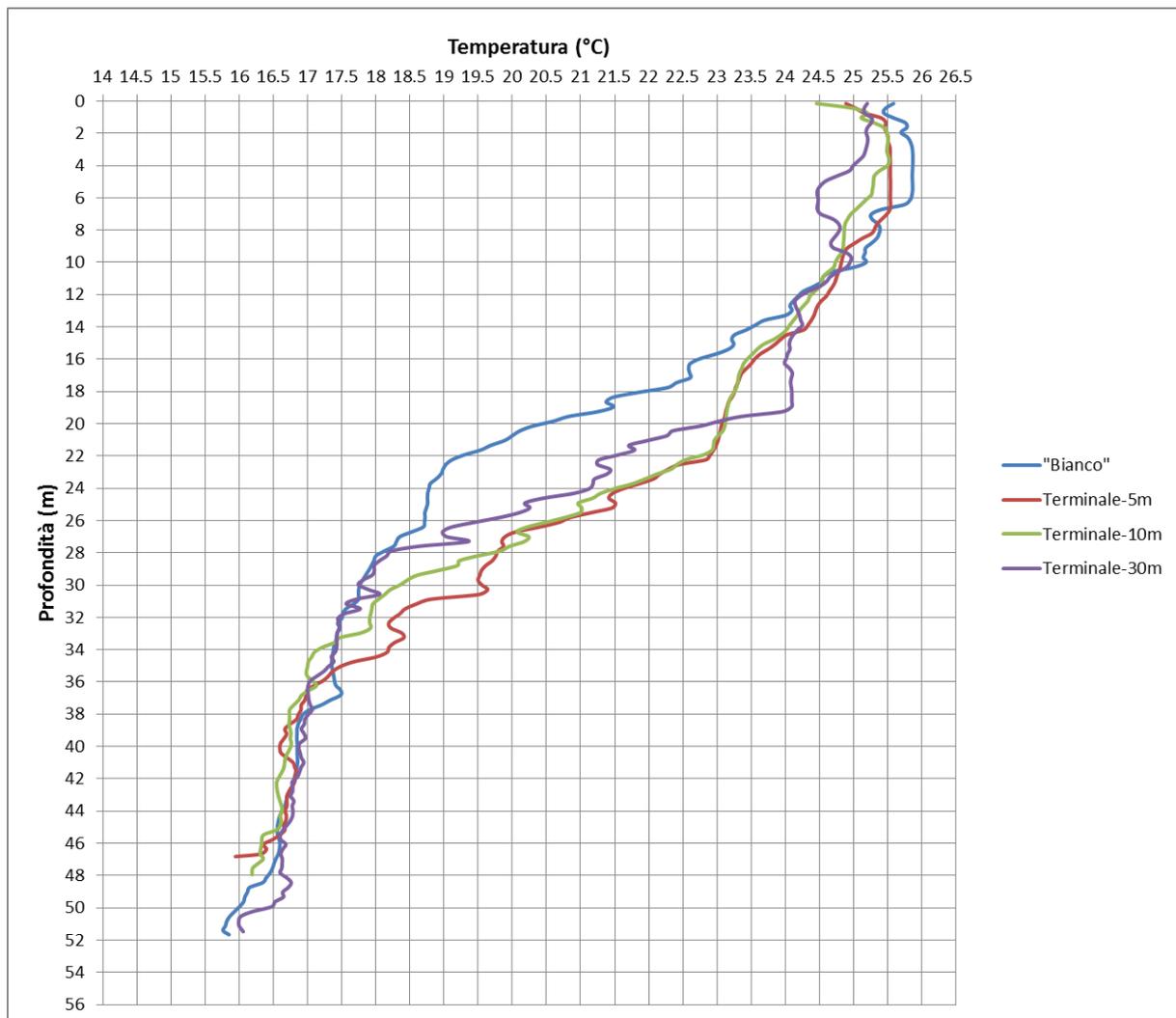
Nella zona prossima allo scarico, i.e. near-field, tra circa 14 m e 28 m di profondità, i profili a 5 m e 10 m di distanza dallo scarico dell'acqua mare risultano caratterizzati da valori di temperatura maggiori rispetto al "bianco" mediamente di circa  $1.7^{\circ}\text{C}$ , con valori massimi di circa  $3.7^{\circ}\text{C}$  (a 22 m di profondità). Questo è dovuto all'intrusione dell'acqua scaricata dal Terminale a profondità caratterizzate da una minore temperatura rispetto a quella in uscita dallo scarico.

Ad una profondità tra 28 m e 35 m il DT dei profili a 5 m e 10 m di distanza dallo scarico dell'acqua di mare diminuisce gradatamente.

**Superati i 35 m di profondità non sussistono differenze significative di temperatura tra il bianco ed i profili presi a 5 e 10 m di distanza dallo scarico.**

Per quanto riguarda invece il profilo preso nel punto distante 30 m dallo scarico (i.e. far field), si notano differenze di temperatura con il bianco di circa 0.5°C in più rispetto al DT del near field (ai profili prossimi allo scarico) nella fascia compresa tra i 14 e i 20 m di profondità (valori massimi di 2.7°C). **Scendendo più in profondità le differenze tendono a diminuire fino ad annullarsi al di sotto dei 28 m.**

**Concludendo si ritiene che, nelle condizioni misurate, gli effetti dello scarico si sviluppano principalmente entro i 30-35 m di profondità.**



**Figura 4.2: Profili di Temperatura Misurati in Agosto 2017 nelle Vicinanze dello Scarico Termico (rosso a 5m, verde a 10 m, viola a 30 m dal Terminale) a Confronto con il Profilo di Temperatura non Affetto dallo Scarico nella stessa Stagione (blu)**

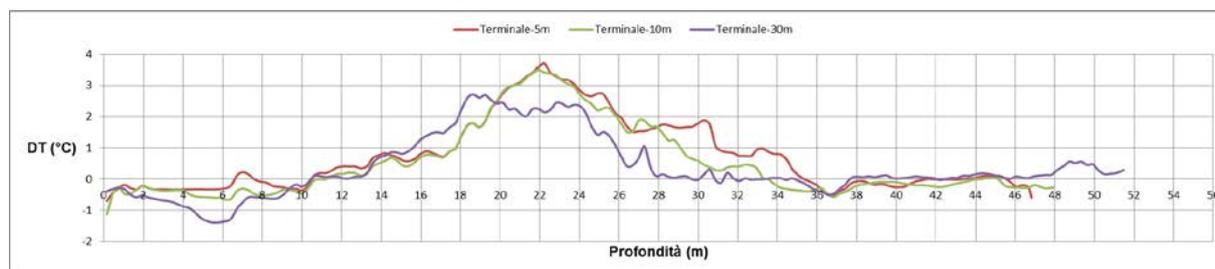


Figura 4.3: Andamento del DT (differenze tra i profili lungo lo scafo ed il Bianco) in Funzione della Profondità in Fase di Esercizio del Terminale – Misure Puntuali effettuata dal personale di bordo il 29 e 30 Agosto 2017

## 4.2 CALIBRAZIONE DEL MODELLO

Il modello di dispersione messo a punto per l'area in cui è installato il Terminale è descritto nel rapporto R2014, a cui si rimanda per dettagli.

Al fine della calibrazione del modello dispersivo, si è provveduto ad iniziarlo con le stesse condizioni operative misurate il 29/08/2017 (di cui al capitolo precedente), ed in particolare considerando in input: condizioni estive ed un  $\Delta T$  dell'acqua di mare (ingresso-uscita) di  $-3.8^{\circ}\text{C}$ .

I risultati della calibrazione sono mostrati in Figura 4.4, in cui sono riportati gli output del modello di dispersione:

- ✓ il campo termico dispersivo (isolinee in scala di colori);
- ✓ la traiettoria del plum termico (linea blu tratteggiata);
- ✓ la profondità di transizione tra le zone dominate dagli effetti di campo vicino e di campo lontano (linea verde tratteggiata);
- ✓ la profondità di bloccaggio oltre la quale gli effetti dello scarico sono nulli (linea rossa tratteggiata).

Nella stessa figura sono anche riportati i profili di temperatura misurati nella campagna di Agosto 2017 in corrispondenza dei punti mostrati nel capitolo precedente.

Dalla figura si osserva che il DT parte da valori negativi nelle immediate vicinanze dello scarico per poi annullarsi e dunque passare a valori positivi muovendosi verso profondità maggiori a partire da una profondità di circa 16 m. Questo avviene per la presenza del termocline il quale, nel profilo utilizzato, è posto tra circa -10 m e -30 m di profondità. L'iniziale  $\Delta T$  va rapidamente annullandosi per effetto della termalizzazione dell'acqua scaricata con quella dell'ambiente circostante e per la contestuale diminuzione della temperatura esterna con la profondità. I risultati del modello di dispersione mostrano che si possono aspettare variazioni massime di temperatura poco superiori a  $4^{\circ}\text{C}$  ad una distanza di 5 m dallo scarico del Terminale e tra i 3 e i  $4^{\circ}\text{C}$  a 10 m di distanza, in linea con quanto mostrato dalle misure effettuate in Agosto 2017.

I risultati del modello dispersivo corrispondono infatti in maniera soddisfacente a quanto evidenziato dall'andamento del DT reale misurato in Agosto 2017 e riportato in Figura 4.3: il DT va rapidamente annullandosi nelle strette vicinanze dello scarico. A circa -14 m il DT diventa positivo, con un valore medio pari a circa  $1.7^{\circ}\text{C}$  e un valore massimo di circa  $3.7^{\circ}\text{C}$ , come precedentemente descritto (valori stimati dal modello sono cautelativamente superiori a quelli misurati), fino ad annullarsi, come correttamente riproduce il modello, a circa 35 m di profondità, punto in cui gli effetti dello scarico sono ormai nulli.

La traiettoria del plume è quella attesa, la transizione tra "near-field" e "far-field" si presenta intorno ai 27 m di profondità e il bloccaggio teorico risulta essere entro i 50 m di profondità (i.e. profondità massima di "far-field" oltre la quale non è prevista alcuna propagazione del plume). Nello specifico, una volta che le acque scaricate passano la zona di transizione entrando nella zona di "far-field" ci si aspetta che la loro dinamica sia governata non più dalle condizioni di scarico ma dai forzanti esterni quali la corrente locale e le differenze di temperatura con le acque circostanti. In questo caso infatti al di sotto dei 27-28 m le acque scaricate, caratterizzate da una maggiore temperatura rispetto a quella locale (i.e.  $\text{DT} > 0$ ) e quindi più leggere, sono oggetto di effetti di "far-field" che le portano a "galleggiare" e quindi a risalire la colonna d'acqua. Motivo per cui dalle misure reali non si osservano effetti legati al plume a profondità superiori ai 35 m (i.e. profondità DT trascurabile da misure, linea fuxia tratteggiata in Figura 4.3) e quindi ben al di sopra della profondità di bloccaggio teorica prevista dal modello dispersivo.

Concludendo, si ritiene che il modello dispersivo calibrato riproduca in maniera soddisfacente la fisica dello scarico nell'intorno del Terminale, specie nella zona di near-field, fornendo quindi risultati cautelativi rispetto alla realtà.

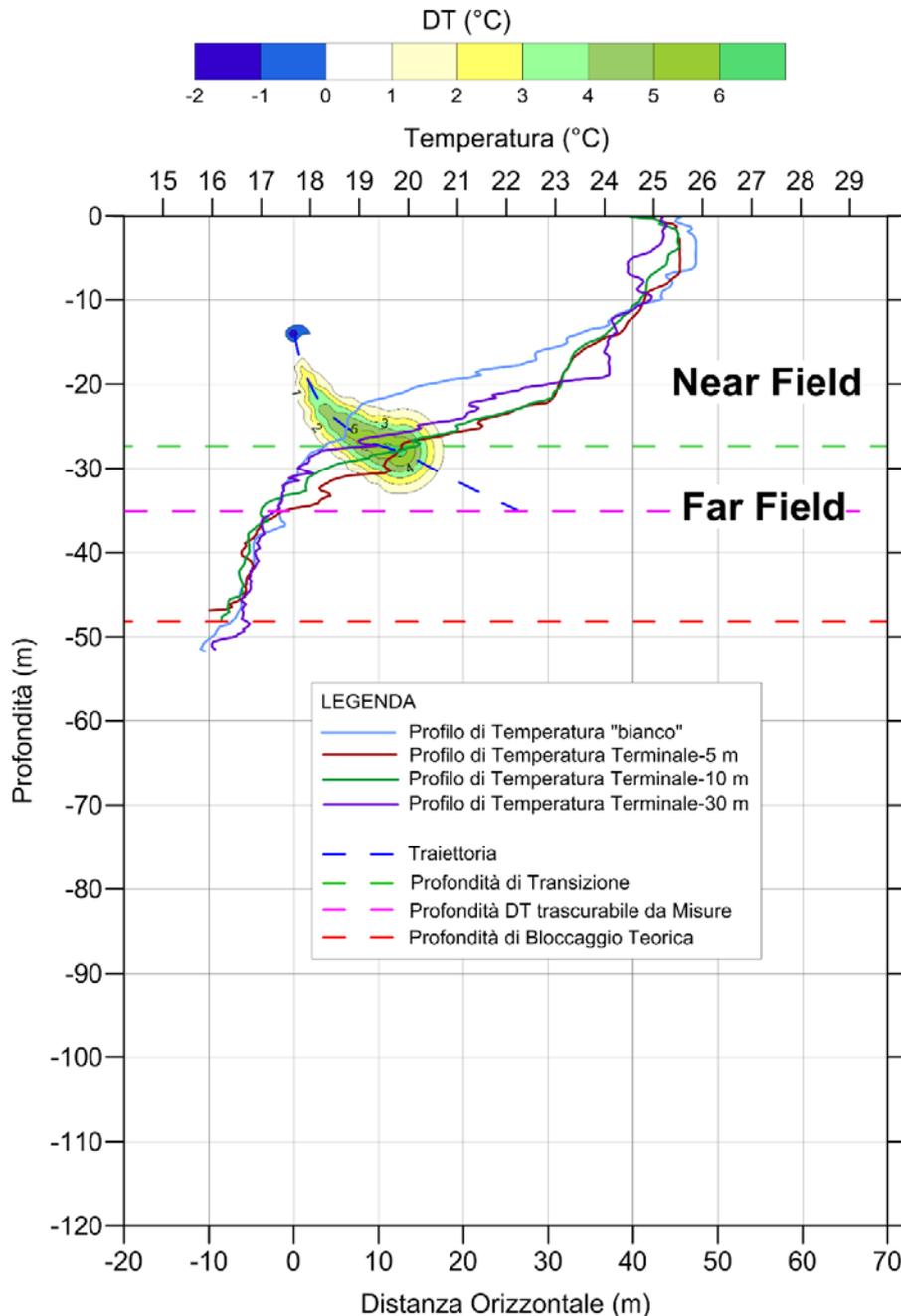


Figura 4.4: Condizioni Estive - Near Field,  $\Delta T$  (ingresso-uscita) =  $-3.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  – Campo di Dispersione del  $\Delta T(^{\circ}\text{C})$  e Profili di Temperatura Misurati in Agosto 2017

## 5 CONCLUSIONI

La presente relazione tecnica riporta i risultati della validazione e analisi delle misure appositamente effettuate nell'area di ubicazione del Terminale "FSRU Toscana" nel suo quarto 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 Giugno 2017 – Ottobre 2017, e fa inoltre riferimento ai rapporti R2012, R2014, R2015 e R2016 precedentemente emessi.

I dati 2017 sono stati opportunamente validati e analizzati, e mostrano in generale un buon accordo con la fenomenologia attesa, e con quanto riprodotto dal modello di dispersione messo a punto per OLT e appositamente calibrato. Non si rilevano differenze significative rispetto ai valori medi attesi, e il confronto con agli anni di esercizio precedenti (R2016, R2015 e R2014) e con le condizioni di "bianco" iniziale (R2012) evidenzia che le caratteristiche delle masse d'acqua rilevate in questo quarto anno di esercizio sono molto simili a quelle osservate nei precedenti anni.

**Nelle condizioni misurate, il modello** dispersivo OLT riproduce in maniera soddisfacente la fisica dello scarico nell'intorno del Terminale, specie nella zona di near-field, fornendo quindi risultati cautelativi rispetto alla realtà. Sia le misure effettuate che i risultati del modello mostrano come **gli effetti dello scarico del Terminale si sviluppano principalmente entro i 30-35 m di profondità.**

Infine, si sottolinea che tutto quanto effettuato e qui riportato, compresa la verifica del modello dispersivo, è in totale accordo con quanto contenuto nel Piano di Monitoraggio.

EDI/ETE/ALN:tds

---

## REFERENZE

- [1] CIBM, 2017, Piano di Monitoraggio dell'Ambiente Marino - Fase di Esercizio (terzo report).
- [2] CIBM, 2016, Piano di Monitoraggio dell'Ambiente Marino - Fase di Esercizio (secondo report).
- [3] CIBM, 2015, Piano di Monitoraggio dell'Ambiente Marino - Fase di Esercizio (primo report).
- [4] CIBM, 2011, Terminale Galleggiante di Rigassificazione FSRU Toscana - "Piano di Monitoraggio dell'Ambiente Marino", Rev. 2.
- [5] D'Appolonia, 2017, "Analisi Dei Dati Correntometrici Misurati nell'area di Installazione del Terminale, Terzo Anno Di Esercizio", Doc. No. 12-982-H5 Rev.0, Febbraio 2016\_ R2016.
- [6] D'Appolonia, 2016, "Analisi Dei Dati Correntometrici Misurati nell'area di Installazione del Terminale, Secondo Anno Di Esercizio", Doc. No. 12-982-H4 Rev.1, Febbraio 2016\_ R2015.
- [7] D'Appolonia, 2015, "Analisi Dei Dati Correntometrici Misurati nell'Area di Installazione del Terminale, Primo Anno Di Esercizio (Dicembre 2013 - Ottobre 2014)", Doc. No. 12-982-H3 Rev.0, Febbraio 2015 - R2014.
- [8] 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 R2012.
- [9] D'Appolonia, 2012, "Validazione della Metodologia di Acquisizione delle Misure Correntometriche", Doc. No. 12-982-H1 Rev.0, Novembre 2012.
- [10] DEAM, 2012, Specifica Tecnica per l'Esecuzione di Misure CTD e ADCP – Fase di Collaudo, Rev. 0.



**RINA Consulting S.p.A.** | Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA S.p.A.  
Via San Nazaro, 19 - 16145 GENOVA | P. +39 010 3628148 | [rinaconsulting@rinaconsulting.org](mailto:rinaconsulting@rinaconsulting.org) | [www.rinaconsulting.org](http://www.rinaconsulting.org)  
C.F./P. IVA/R.I. Genova N. 03476550102 | Cap. Soc. €20.000.000,00 i.v.