

ALMA MASTER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI

Corso di Laurea in SCIENZA AMBIENTALI

**CARATTERISTICHE BIOCHIMICHE
DEL MEDITERRANEO ANALIZZATE
ATTRAVERSO BANCHE DATI
STORICI**

Tesi di laurea in **OCEANOGRAFIA E METEOROLOGIA**

Relatore
Prof.ssa Nadia Pinardi

Presentata da
Alessio Antonelli

III sessione
Anno Accademico 2002/2003

INDICE

1. INTRODUZIONE: IL MAR MEDITERRANEO	3
CARATTERISTICHE GENERALI	3
<i>Mare di Alboran</i>	3
<i>Mar Tirreno</i>	3
<i>Mare Adriatico</i>	3
<i>Mar Egeo</i>	4
CARATTERISTICHE IDROLOGICHE	4
CARATTERISTICHE BIOGEOCHIMICHE	6
OBIETTIVI DELLA TESI.....	7
2. MATERIALI E METODI	7
DATI UTILIZZATI.....	8
<i>Proprietà Fisiche</i>	8
<i>Proprietà biogeochimiche</i>	8
3. RISULTATI	10
AREA 1 MARE DI ALBORAN	10
AREA 2 MARE BALEARICO MERIDIONALE.....	14
AREA 3 MAR BALEARICO SETTENTRIONALE.....	18
AREA 5 MARE ADRIATICO	22
4. CONCLUSIONI	26
APPENDICE	28
1. AREA 1 MARE DI ALBORAN	28
2. AREA 2 MAR BALEARICO MERIDIONALE	34
3. AREA 3 MAR BALEARICO SETTENTRIONALE E GOLFO DEL LEONE	40
4. AREA 4 MAR TIRRENO	46
5. AREA 5 MARE ADRIATICO	52
6. AREA 6 MAR IONIO SETTENTRIONALE	58
7. AREA 7 CANALE DI SICILIA	64
8. AREA 8 MAR IONIO MERIDIONALE E MAR LIBICO	70
9. AREA 9 MAR EGEO	76
10. AREA 10 MARE DI CRETA	82
11. AREA 11 BACINO LEVANTINO	88
12. AREA 12 BACINO LEVANTINO	94
13. AREA 13 BACINO LEVANTINO	100
BIBLIOGRAFIA	106

1. Introduzione: il Mar Mediterraneo

Caratteristiche generali

Il Mar Mediterraneo è un mare chiuso che si estende tra 45° N e 30° N circa in latitudine e tra 5° W e 36° E circa in longitudine, con una superficie di 2.560.000 km quadrati e una profondità massima di 5.020 metri. Compreso fra le coste dell'Europa Meridionale, dell'Asia Occidentale e dell'Africa Settentrionale, il Mar Mediterraneo si sviluppa per una lunghezza di 3.680 km, tra lo Stretto di Gibilterra e la costa orientale, e con una larghezza media di 700 km, la cui massima estensione di 1.665 km è compresa tra il Golfo della Sirte e quello di Trieste.

Il Mediterraneo è in comunicazione con l'Oceano Atlantico tramite lo Stretto di Gibilterra e con il Mar Nero tramite il Bosforo.

Il Mediterraneo è suddiviso in diversi sottobacini. Lo Zoccolo siculo-africano, ampio sollevamento del fondo tra la Sicilia e il Capo di Bon in Algeria, divide questo mare in un bacino orientale e uno occidentale, che a loro volta sono divisi in mari e bacini minori. Nel bacino occidentale, escludendo il sollevamento delle Baleari e qualche piccola piattaforma, si denota che la scarpata continentale, che raggiunge i 2.400 m di profondità, è molto ravvicinata alla costa mentre la piana abissale è quasi totalmente liscia.

Dal punto di vista del bilancio di massa il Mediterraneo è un bacino di evaporazione, mentre dal punto di vista della produttività può essere classificato come mare oligotrofico.

Mare di Alboran

Il Mare di Alboran è la porzione più occidentale del Mediterraneo, con profondità tra 1000 e 2000 m. Si estende tra la Spagna, il Marocco e lo Stretto di Gibilterra, che lo mette in comunicazione diretta con l'Oceano Atlantico.

Mar Tirreno

Settore del Mediterraneo compreso tra la penisola italiana e Sardegna, Corsica e Sicilia. È in comunicazione con il Mar Ionio attraverso lo Stretto di Messina.

Mare Adriatico

L'Adriatico è un tipico mare interno del Mediterraneo, caratterizzato da bassa salinità e ampia escursione di marea in particolari condizioni meteorologiche. I massicci apporti fluviali ne fanno un bacino di diluizione (Béthoux et al.,1999), diversamente dal Mediterraneo nel suo complesso, e ne abbassano la salinità. L'ampiezza di marea superiore, in determinate

condizioni, a quella del Mediterraneo è dovuta alla conformazione del bacino in congiunzione con particolari eventi meteorologici.

Sulla base della profondità, il Mare Adriatico può essere suddiviso in una porzione settentrionale, una centrale e una meridionale.

L'Adriatico Settentrionale si estende dall'estremo settentrionale del bacino alla congiungente Ancona-Zara, ed è caratterizzato da basse profondità (attorno ai 35 m).

L'Adriatico Centrale si estende dalla congiungente Ancona-Zara alla congiungente Gargano-Lastovo. Questa porzione del bacino è caratterizzata dalla Depressione Meso-adriatica o sacca di Pomo, una serie di tre depressioni del fondale, che porta la profondità massima a valori di 250 m circa.

L'Adriatico Meridionale è compreso tra la congiungente Gargano-Lastovo ed il parallelo di Otranto. Questo settore dell'Adriatico ha una profondità massima di 1200 m ed è in comunicazione diretta con il Mar Ionio attraverso una soglia a circa -800 m in corrispondenza del Canale d'Otranto.

Mar Egeo

Gli apporti di acqua a bassa salinità dal Mar Nero gli conferiscono caratteristiche di bacino di diluizione (Béthoux et al., 1999).

Caratteristiche idrologiche

Il Mediterraneo è un bacino di evaporazione, in quanto le perdite di acqua dolce per evaporazione sono maggiori degli apporti dovuti alle precipitazioni e agli apporti fluviali. Il bilancio di massa e di sale è però mantenuto in stato stazionario attraverso gli scambi con l'Oceano Atlantico che avvengono attraverso lo stretto di Gibilterra. Il deficit di acqua dolce è bilanciato dall'ingresso nel Mediterraneo di acqua superficiale atlantica relativamente poco salata e dalla fuoriuscita di acqua a salinità elevata. La differenza di densità (circa $1,6 \sigma_t$, Béthoux et al., 1999) confina il flusso entrante alla superficie (0-150 m), mentre il flusso in uscita scorre sul fondo della soglia (150-300 m) presente nello stretto di Gibilterra. Questa differenza di densità è dovuta principalmente alla salinità (35,9 psu per le acque atlantiche e 37,9 psu per il flusso uscente, Béthoux et al., 1999), ed è tanto significativa da mantenere riconoscibile l'acqua atlantica presente nel Mediterraneo come Atlantic Water (AW). L'AW scorre poi principalmente verso est fino alla parte orientale del Mediterraneo, confinata dalla forza di Coriolis alla parte meridionale del bacino. Nonostante l'influsso delle masse d'acqua che attraversa e i parziali rimescolamenti che ne attenuano le particolarità in modo crescente con il movimento verso est, l'AW resta identificabile in ogni parte del bacino.

Nel Mediterraneo sono inoltre presenti processi di formazione di acque profonde e intermedie, rappresentati dallo sprofondamento di masse d'acqua superficiale. La formazione delle acque è il risultato dell'aumento di densità provocato dall'aumento di salinità dovuto alla forte evaporazione estiva e dal forte raffreddamento invernale che si verifica in aree caratteristiche. Nello specifico, si ha formazione di acque profonde nel Golfo del Leone e nell'Adriatico Meridionale, mentre nel bacino levantino si ha formazione di acque intermedie. Nel Golfo del Leone il raffreddamento invernale è causato dal maestrale, vento freddo e secco incanalato dai Pirenei e dal Massiccio Centrale francese in direzione nord-ovest. Nell'Adriatico è solamente il raffreddamento invernale a guidare il flusso di densità (Béthoux et al., 1999), poiché l'evaporazione e le precipitazioni si equivalgono. È quindi la bora, vento freddo proveniente da nord-est, a raffreddare le masse d'acqua che poi muovono verso sud lungo le coste italiane. La Levantine Intermediate Water (LIW) è una massa d'acqua che si forma nel Bacino Levantino dalla trasformazione dell'AW. A causa dell'evaporazione la LIW acquista elevata salinità e si estende per tutto il Mediterraneo orientale a una profondità che varia tra 100-150 m nella porzione più orientale del bacino e 250-300 m nella parte più occidentale. La LIW poi oltrepassa lo Zoccolo siculo-africano e attraversa il Mediterraneo occidentale ad una profondità di circa 400 m, andando a costituire una parte importante del flusso uscente da Gibilterra. La LIW subisce un rimescolamento con le acque sottostanti e soprastanti, entrambe a salinità inferiore, che attenua il caratteristico massimo di salinità a profondità intermedia man mano che si procede da est verso ovest.

AW e LIW, insieme alla formazione di acque profonde, compongono il forzante termoalino del Mediterraneo. Questa forza è l'origine della circolazione nel Mediterraneo, circolazione che riproduce in scala ridotta quella degli oceani (Figura 1). La presenza della LIW infatti gioca un ruolo importante nella formazione delle acque profonde, connettendo le celle di circolazione meridionali delle acque profonde con le celle zonali formate da AW e LIW.

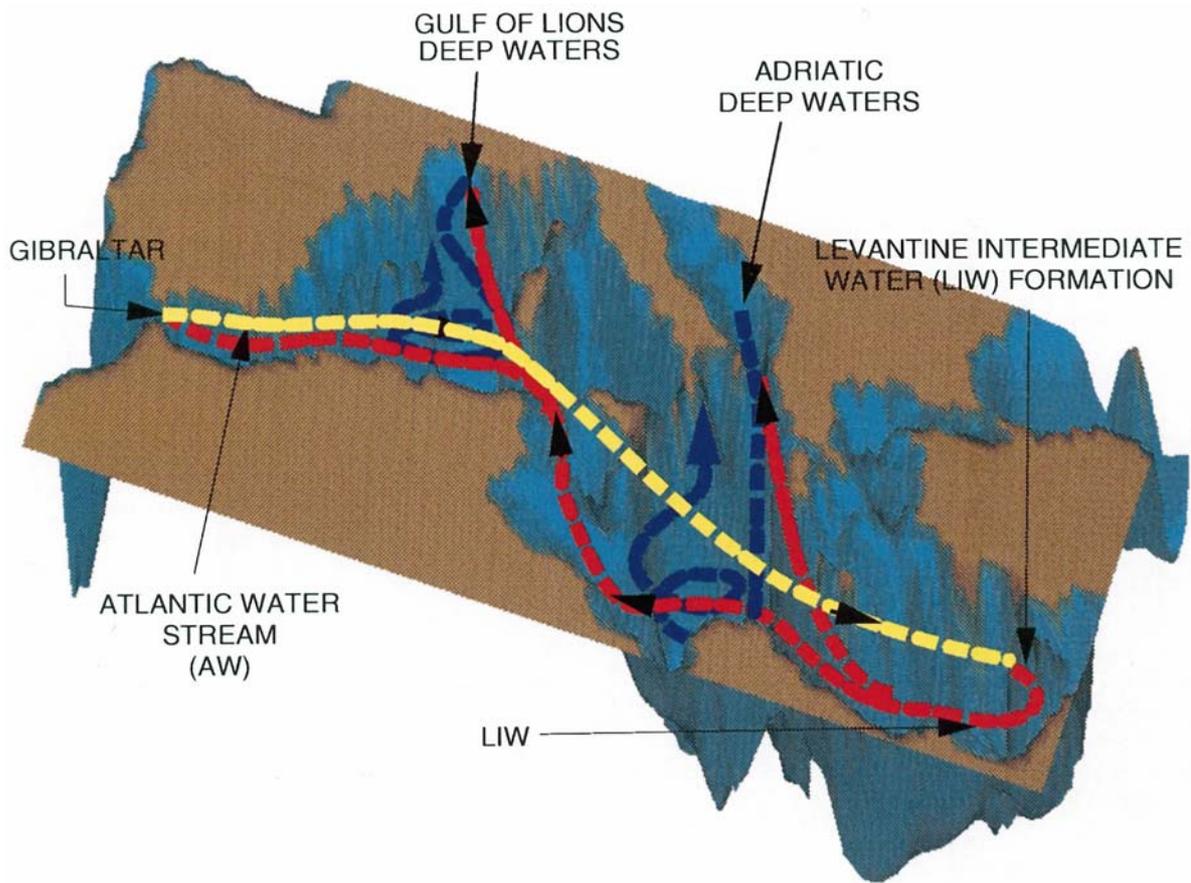


Figura 1. Circolazione e formazione delle acque nel Mar Mediterraneo (da Pinardi e Masetti, 2000)

Caratteristiche biogeochimiche

La circolazione antiestuarina del Mediterraneo causa la fuoriuscita di acque intermedie e profonde, arricchite in nutrienti, e l'ingresso di acque superficiali, povere di nutrienti.

Il caso del fosforo può essere servito a schematizzare il comportamento degli elementi con lunghi tempi di residenza nell'acqua marina. Per il fosforo si può assumere lo stato di equilibrio (Béthoux, 1981) dato che la concentrazione di questo elemento non mostra variazioni significative nel tempo. Béthoux (1991) stima la quantità di fosforo uscente da Gibilterra ($433 \cdot 10^6 \text{ kg P anno}^{-1}$) bilanciata dal fosforo trasportato dal flusso in entrata ($86 \cdot 10^6 \text{ kg P anno}^{-1}$) e, soprattutto, dall'apporto terrestre ($357 \cdot 10^6 \text{ kg P anno}^{-1}$). L'utilizzo del fosforo da parte della vita biologica avviene principalmente negli strati più superficiali, mentre negli strati intermedi e profondi questo elemento può essere considerato conservativo al pari della salinità.

Il fosforo inorganico disciolto, quindi nella forma utilizzata come nutrimento per la vita biologica, è altresì il maggiore fattore limitante per la produttività del Mediterraneo. Il rapporto tra nitrati e fosfati (N/P) per l'Oceano Atlantico è di circa 16:1, e corrisponde al

tipico utilizzo di nutrienti da parte del fitoplancton (Redfield et al., 1963), mentre nel Mediterraneo il valore tipico è di 22:1. Questo ultimo valore, pur essendo una schematizzazione del bacino nel suo complesso, indica da solo l'impoverimento dei fosfati. Bisogna però sottolineare che nel tipico profilo verticale questo elemento presenta un impoverimento superficiale, ovvero nella zona fotica, proprio dove è necessario per la vita. Anche l'azoto presenta un profilo simile, ma il nitroclino si verifica ad una profondità inferiore a quella del fosfoclino, portando il rapporto N/P nelle acque superficiali a valori ben superiori a 22:1. In aggiunta a ciò, recenti esperimenti (Diaz et al. 2001) hanno evidenziato che l'aggiunta di fosfati in campioni d'acqua superficiale aumenta la produttività e la richiesta fitoplanctonica di azoto, suggerendo quindi il fosforo nel ruolo di fattore limitante.

Obiettivi della Tesi

Definire le caratteristiche biogeochimiche del mare Mediterraneo a scala annuale climatologica in sottoaree considerate omogenee dal punto di vista delle caratteristiche dinamiche di circolazione.

2. Materiali e metodi

I dati utilizzati per questo lavoro provengono dal dataset MEDATLAS (MEDAR Group, 2002), che contiene dati idrologici e biogeochimici del Mar Mediterraneo e del Mar Nero. Questi dati sono stati raccolti grazie ad un'ampia collaborazione tra Istituti di ricerca oceanografica di diversi paesi, e comprende dati raccolti con diverse metodiche quali CTD (Conducibility Temperature Depth, sonda multiparametrica), bottiglie, MBT (Mechanical Bathythermograph), thermistor chain e XBT (eXpendable Bathythermograph). Nel loro complesso i dati contenuti nel dataset coprono il periodo 1889-2000.

Lo scopo del progetto MEDATLAS è quello di facilitare l'accesso a questa massa di dati eterogenei e controllarne la qualità.

La CTD, sonda multiparametrica, è uno strumento elettronico che permette di raccogliere, attraverso la misurazione diretta di conducibilità, resistenza elettrica e pressione, misurazioni indirette di profondità, temperatura, densità, salinità, ossigeno e fluorescenza. I dati raccolti da questa sonda possono essere direttamente trasmessi ad un computer attraverso un cavo oppure registrati dallo strumento e successivamente scaricati su PC.

Le bottiglie sono strumenti meccanici costituito da un recipiente, generalmente munito di termometri, con un sistema di chiusura comandato dall'imbarcazione attraverso il messaggero, un contrappeso rilasciato dall'operatore quando la bottiglia ha raggiunto la profondità desiderata. Il messaggero scorre lungo il cavo della bottiglia, colpendola fa scattare un

meccanismo di chiusura a molla. L'acqua raccolta in questo modo viene poi analizzata secondo le metodologie desiderate, mentre la temperatura viene letta immediatamente.

L'MBT è uno strumento meccanico che registra pressione e temperatura. Questo dispositivo contiene un tubo di rame riempito di xilene e un diaframma sensibile alla pressione che tracciano, tramite pennini, i valori rispettivamente di temperatura e profondità su un vetrino ricoperto d'oro. Il vetrino viene poi letto attraverso un visore contenente le scale dei due valori misurati. La portata di questo strumento è limitata ai primi 100 – 200 m della colonna d'acqua. Il thermistor chain è una catena di strumenti elettronici lungo la colonna d'acqua che registrano la temperatura attraverso misurazioni di resistenza elettrica. Questo strumento ha una portata di circa 7000 m.

L'XBT è uno strumento elettronico che registra profondità e temperatura attraverso misurazioni di pressione e resistenza elettrica. Questo dispositivo ha la forma di un piccolo siluro che, una volta lanciato da un'imbarcazione o da un aereo, gli permette di mantenere una velocità costante di discesa in acqua. Raccoglie profili di tempo di discesa, attraverso cui si ricava la profondità, e resistenza elettrica (e quindi temperatura). La portata di questo strumento è di circa 1000 m.

Dati utilizzati

I dati contenuti in Medatlas e utilizzati per questo lavoro riguardano le seguenti proprietà idrologiche e biogeochimiche:

Proprietà Fisiche

- Temperatura
- Salinità

Proprietà biogeochimiche

- Ossigeno disciolto
- Fosfati
- Nitrati
- Silicati

I dati sono associati a indici numerici ottenuti dal controllo di qualità del dato effettuato secondo le procedure suggerite da IOC, MAST e ICES (MEDAR Group, 2002). Per i controlli di qualità sono state seguite le procedure suggerite da IOC, MAST e ICES. Gli indici sono associati al singolo dato numerico, al profilo nel suo complesso, ed ai gruppi di profili appartenenti a una singola campagna di campionamenti.

La lista degli indici numerici indicanti la qualità dei dati è riportata in tabella 1.

<i>Flag</i>	<i>Significato</i>
0	Valore non controllato
1	Valore corretto
2	Valore discordante con le statistiche
3	Valore dubbio
4	Valore falso
5	Valore modificato
6 – 8	(non utilizzati)
9	Valore assente

Tabella 1. Indici di qualità.

Per il presente lavoro sono stati utilizzati solamente i dati aventi indice numerico di qualità 1 (valore corretto).

Per questa relazione i dati sono stati estratti con riferimento a 18 livelli standard di pressione (0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 250, 300, 400, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500 decibar), sono stati considerati solo i valori corretti (flag 1) e interpolati dove necessario.

Il bacino Mediterraneo è stato suddiviso in 13 sottoaree (Tabella 2. Aree, Figura 1. Aree). Ciascuna area è considerata omogenea dal punto di vista delle caratteristiche dinamiche.

Per ciascuna area sono stati calcolati i profili medi annuali per ciascuna delle proprietà sopra riportate.

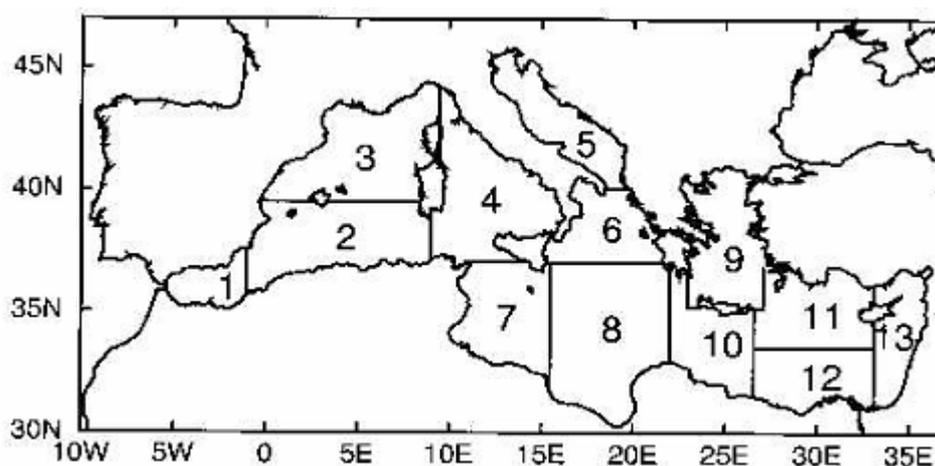


Figura 2. Aree

<i>Area</i>	<i>Nome</i>
1	Mare di Alboran
2	Mar Balearico Meridionale
3	Mar Balearico Settentrionale e Golfo del Leone
4	Mar Tirreno
5	Mare Adriatico
6	Mar Ionio Settentrionale
7	Canale di Sicilia
8	Mar Ionio Meridionale e Mar Libico
9	Mar Egeo
10	Mare di Creta
11	Bacino Levantino
12	
13	

Tabella 2. Aree

3. RISULTATI

Nella Appendice a questo elaborato sono riportati tutti i profili annuali estratti da MEDATLAS relativamente alle proprietà fisiche e biogeochimiche sopra descritte. Qui per brevità verranno descritti solamente i profili relativi alle sottoaree maggiormente rappresentative.

AREA 1 Mare di Alboran

Questo sotto bacino, situato immediatamente ad Est dello stretto di Gibilterra è quello che risente maggiormente del flusso superficiale di acqua Atlantica, chiaramente rilevabile dai bassi valori, rispetto agli altri sottobacini, di salinità negli strati superficiali (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

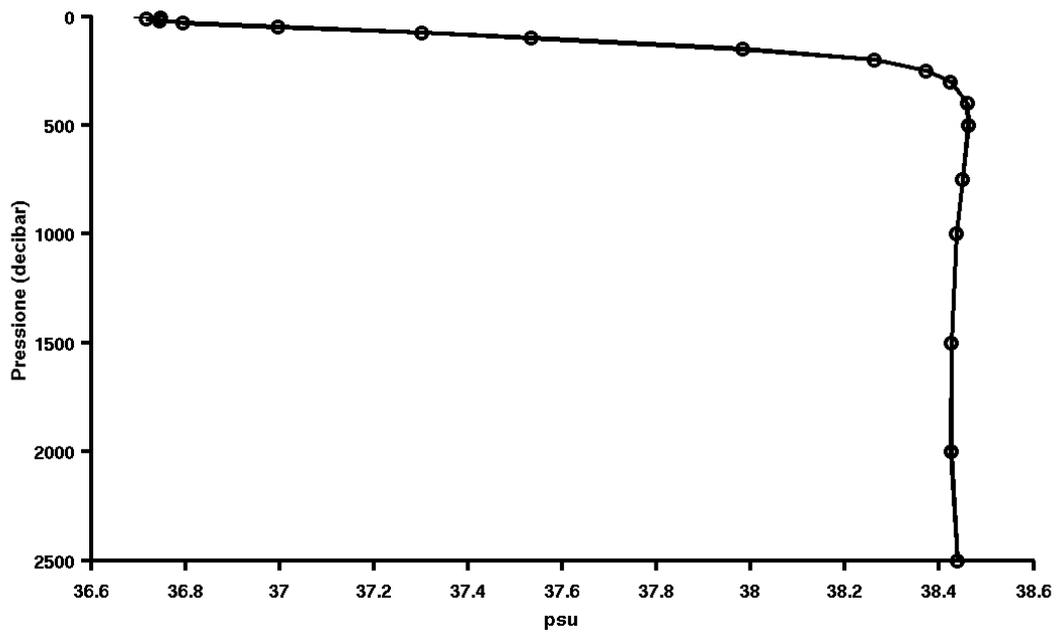


Figura 3. Profilo verticale di salinità, area 1 (Mare di Alboran)

Il profilo di Ossigeno disciolto (Figura 4) è inoltre caratterizzato ad una profondità di circa 500 m da un minimo caratteristico delle acque Mediterranee intermedie che costituiscono il flusso di acqua uscente dal Mare Mediterraneo. Al di sotto dello strato intermedio le concentrazioni di ossigeno delle masse d'acqua profonde presentano valori maggiori rispetto alla zona intermedia, come risultato del processo di formazione delle acque dense che avviene nella area 3 e che determina la ventilazione degli strati profondi del Mediterraneo occidentale.

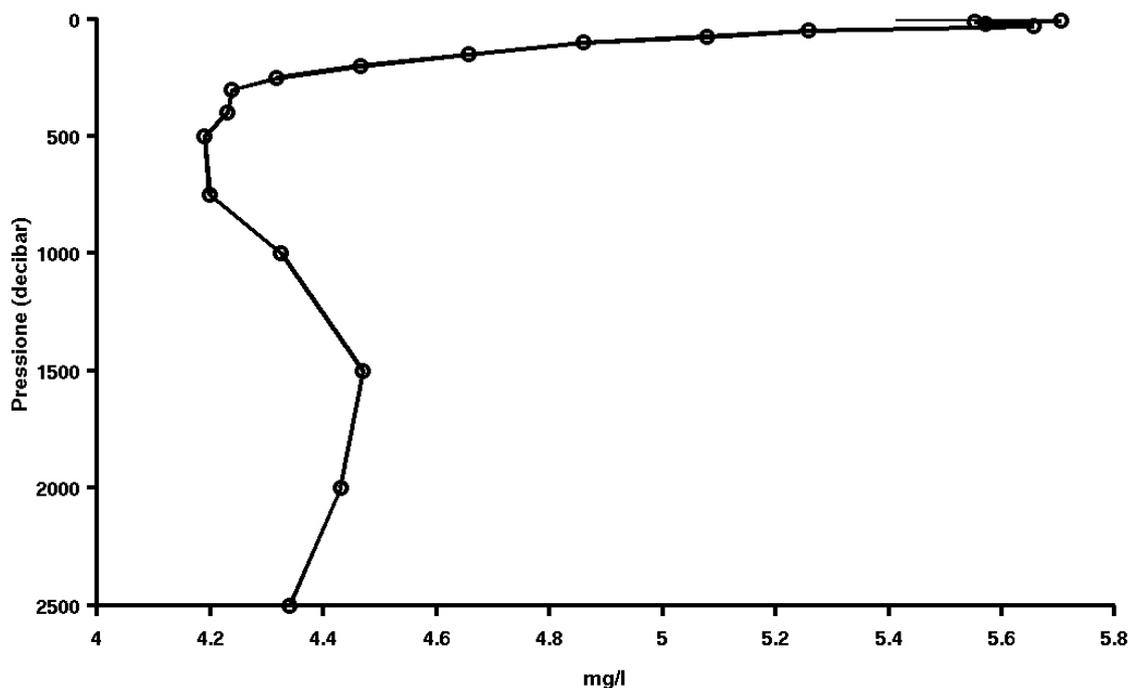


Figura 4. Profilo verticale di ossigeno disciolto, area 1 (Mare di Alboran)

I profili relativi ai fosfati ed ai nitrati (Figura 5, Figura 6) indicano un relativo arricchimento in Sali nutritivi dovuto all'ingresso delle acque atlantiche. I valori di concentrazione sono infatti (particolarmente per i fosfati) relativamente più alti (con l'eccezione di alcune aree) rispetto agli altri sottobacini considerati). Nel loro complesso comunque l'andamento dei profili indica un più o meno regolare aumento del valore di concentrazione con l'aumentare della profondità, che raggiunge valori di circa 0.45 microg-at/l per i fosfati e 8.5 migrog-at/l per i nitrati, che corrisponde infatti ad una proporzione N/P di 18:1.

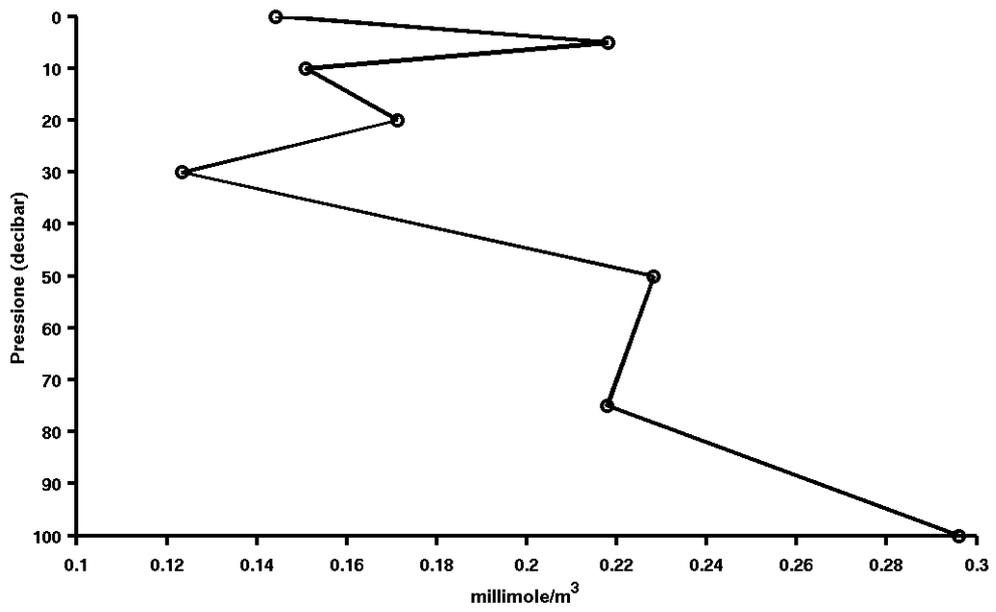
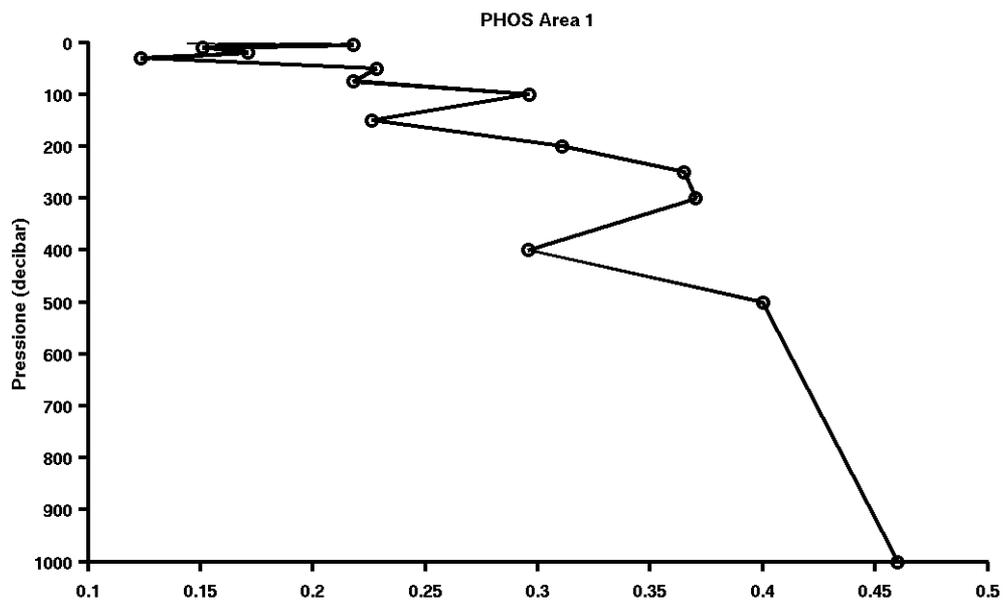


Figura 5. Profilo verticale di fosfati (P-PO₄), area 1 (Mare di Alboran)

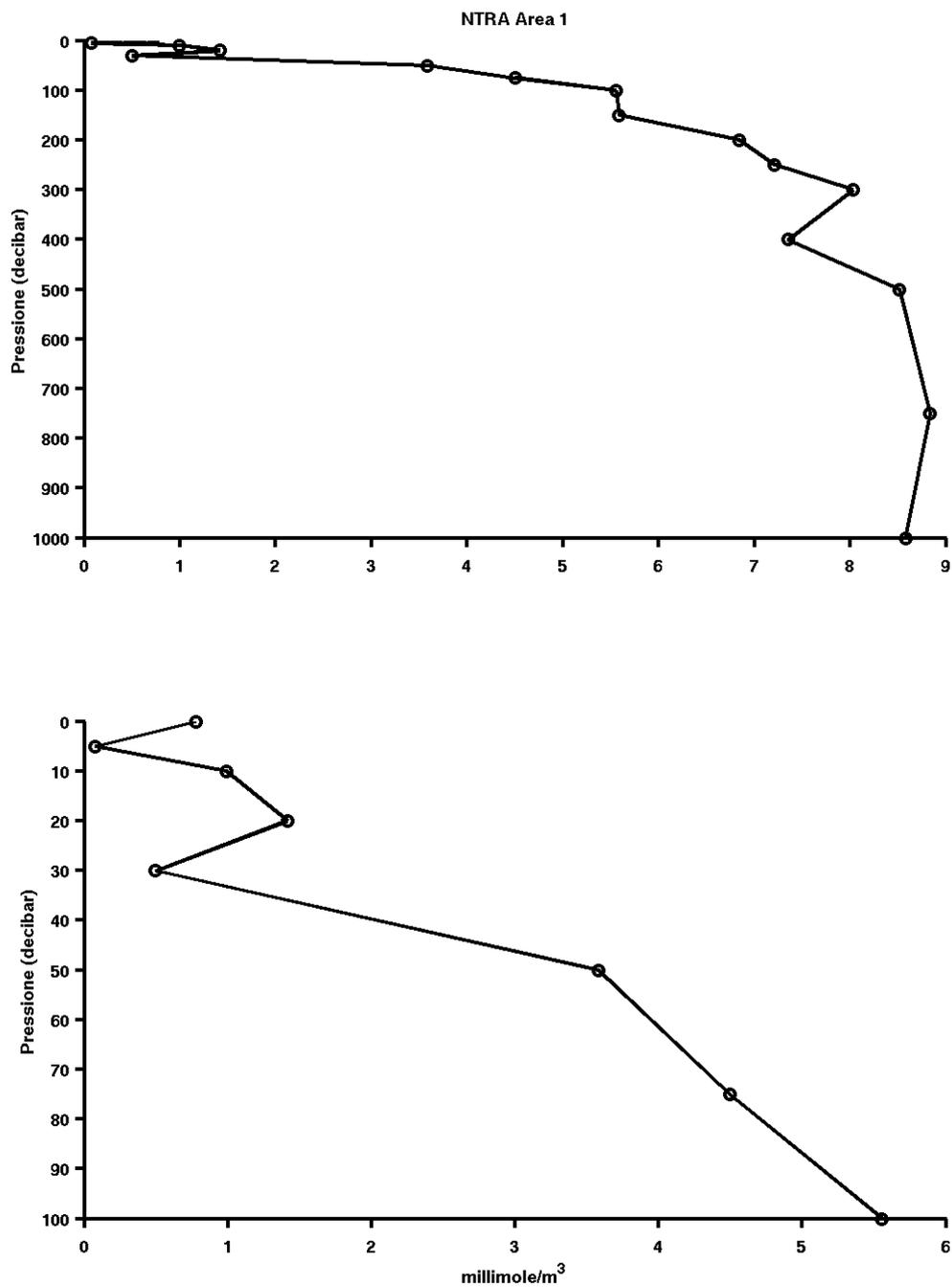


Figura 6. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 1 (Mare di Alboran)

AREA 2 Mare Balearico meridionale

Questa zona è dinamicamente caratterizzata dalla cosiddetta corrente algerina che costituisce il principale percorso delle acque superficiali atlantiche fra lo stretto di Gibilterra ed il canale

di Sicilia. I valori di salinità nello strato superficiale (Figura 7) appaiono maggiori rispetto a quelli tipici del Mare di Alboran ma comunque ancora minori rispetto a quelli di altri bacini mediterranei. A profondità intermedie è ben evidenziato il segnale delle Acque levantine intermedie (massimo sottosuperficiale di salinità) che compare anche nel profilo di ossigeno disciolto come minimo di concentrazione (Figura 8).

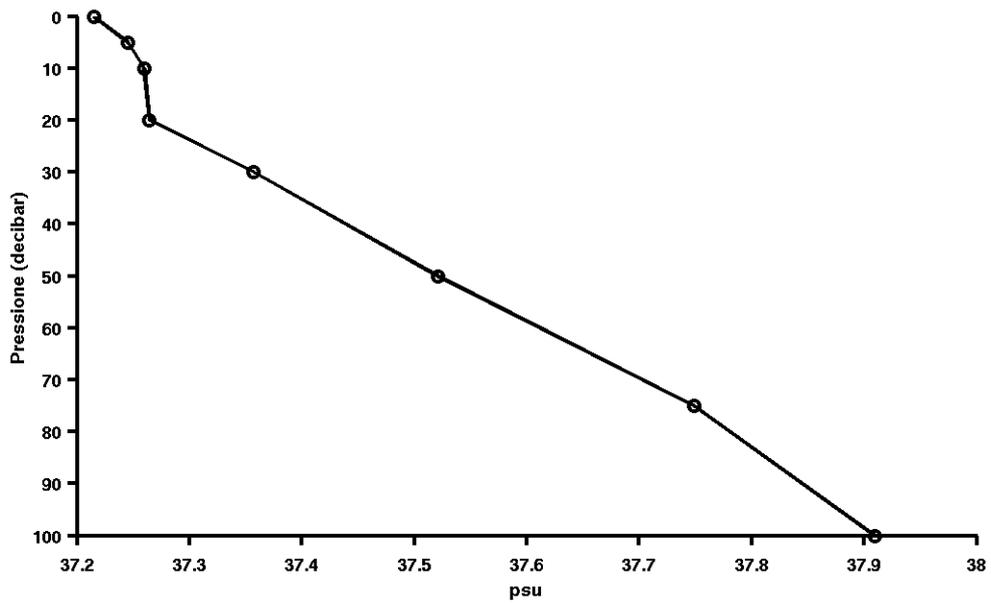
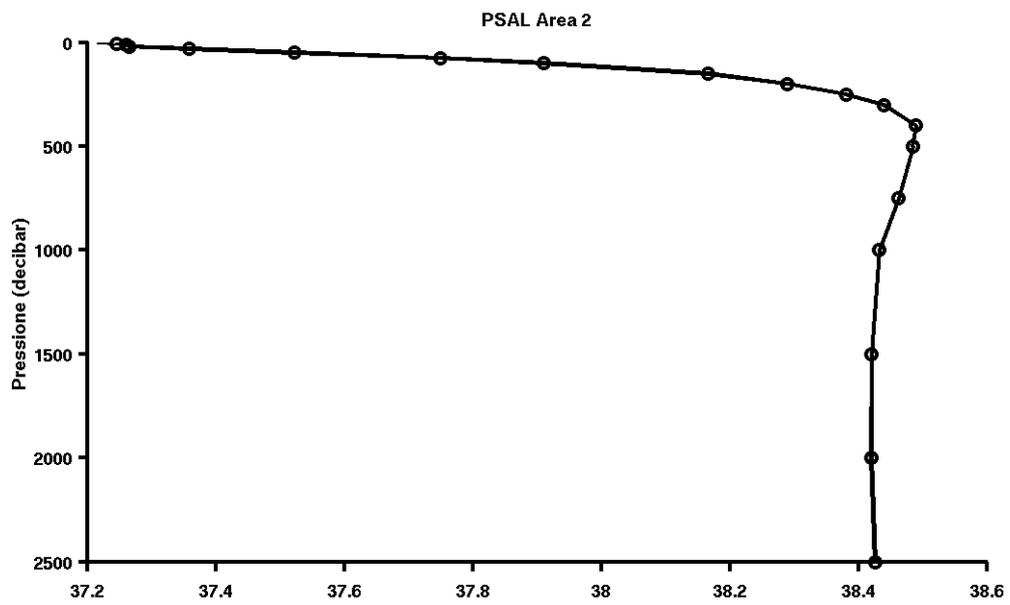


Figura 7. Profili verticali di salinità, area 2 (Mar Balearico meridionale)

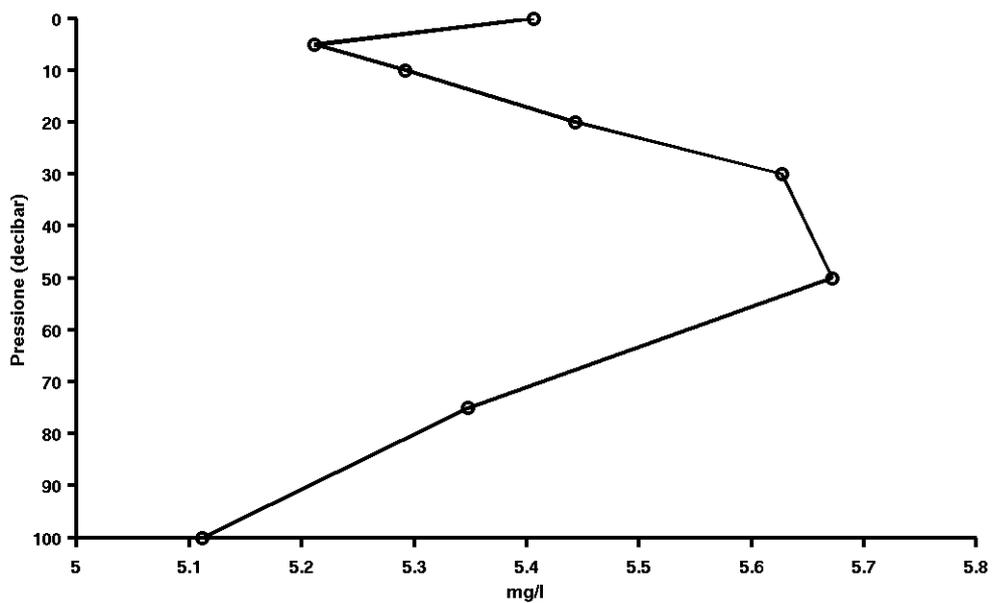
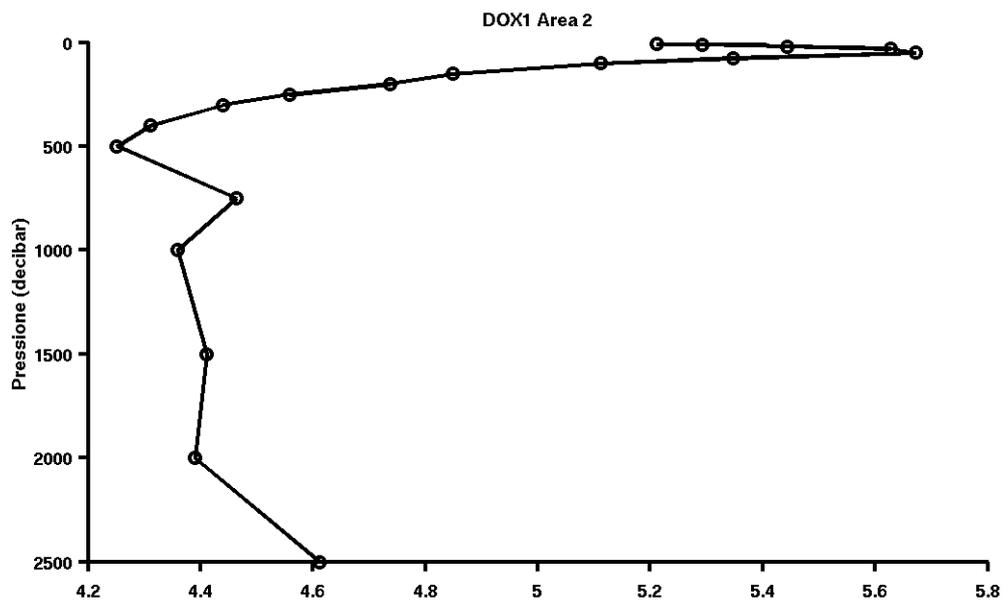


Figura 8. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 2 (Mar Balearico meridionale)

Anche in questo caso al di sotto dello strato delle acque intermedie le concentrazioni di ossigeno disciolto hanno valori superiori in conseguenza del processo di ventilazione operato dal processo di formazione delle acque profonde. Una peculiarità del profilo di ossigeno disciolto per questa zona è la presenza di un marcato valore massimo alla profondità di circa

50 m. La formazione di massimi sottosuperficiali di ossigeno è un processo tipico della stagione estiva ed è dovuto allo sviluppo di popolazioni fitoplanctoniche. La presenza di questo segnale anche nel profilo medio annuale potrebbe indicare forti processi di produzione primaria sottosuperficiali durante l'estate.

Per i fosfati ed i nitrati valgono le considerazioni fatte per l'area 1, ma si nota un marcato impoverimento di fosfati rispetto all'area 1 negli strati superficiali (Figura 9).

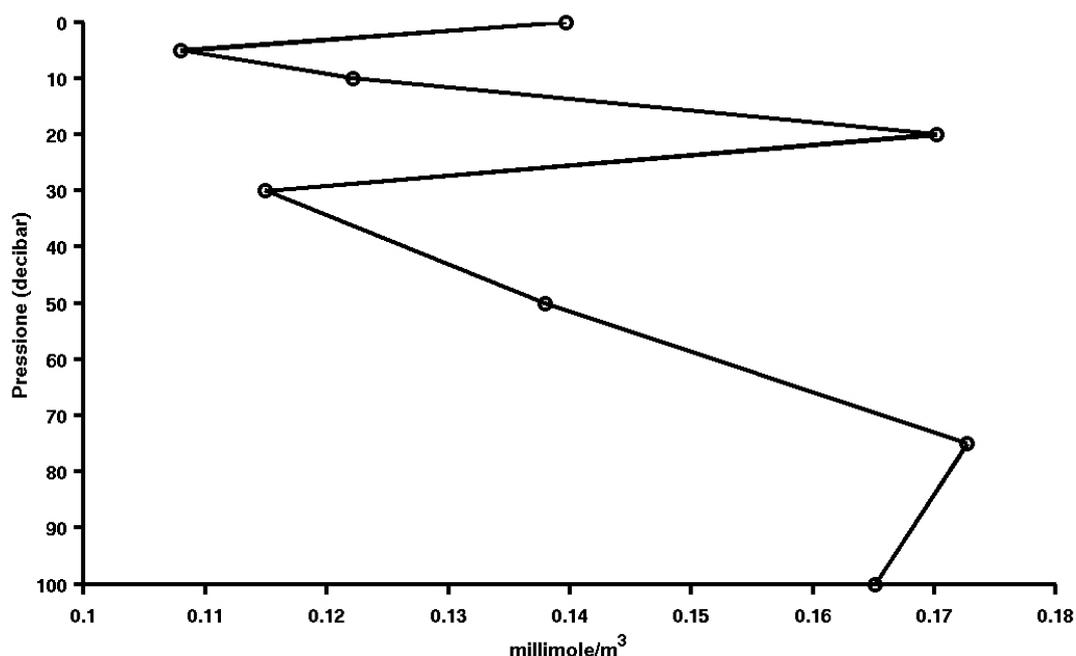


Figura 9. Profilo superficiale di fosfati (P-PO₄), area 2 (Mar Balearico meridionale)

AREA 3 Mar Balearico settentrionale

Questa sotto area comprende la zona del Golfo del Leone che è l'area di formazione (durante la stagione invernale) delle acque dense del Mediterraneo Occidentale. Per questa regione il profilo di salinità (Figura 10) indica anche per questa area chiaramente (a profondità comprese fra 300 e 600 m) la presenza delle acque Levantine intermedie, caratterizzate da un massimo relativo sia salinità Al di sotto di tale strato i valori di temperatura e salinità si mantengono su valori costanti, tipici della massa d'acqua profonda del Mediterraneo Occidentale.

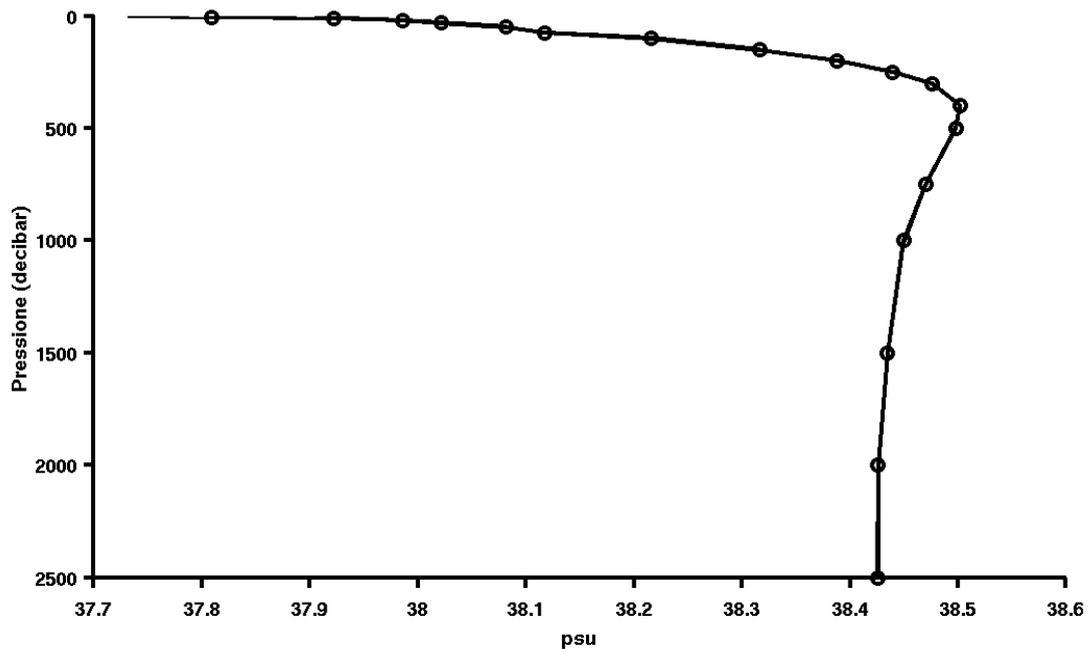


Figura 10. Profilo verticale di salinità, area 3 (Mar Balearico settentrionale)

La presenza delle acque Intermedie Levantine è anche in quest'area chiaramente rilevabile dal profilo di concentrazione dell'ossigeno disciolto (Figura 11) che presenta, a profondità corrispondenti a quelle del massimo di salinità il tipico minimo di concentrazioni di ossigeno caratteristico delle acque Levantine intermedie.

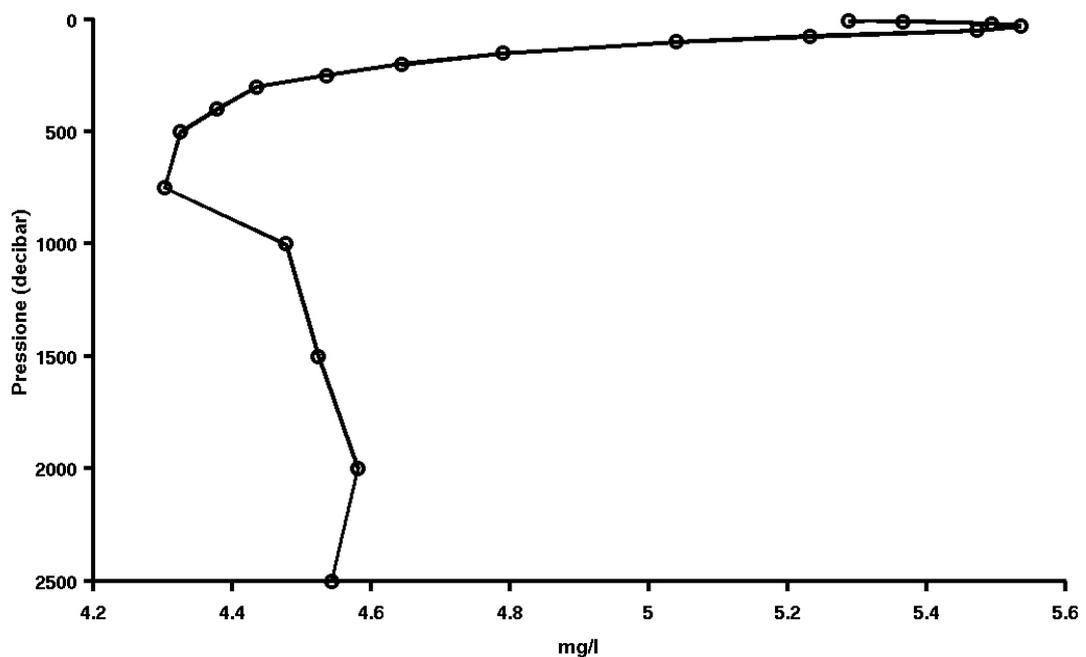


Figura 11. Profilo verticale di ossigeno disciolto, area 3 (Mar Balearico settentrionale)

I profili verticali di fosfati e nitrati (Figura 12 e Figura 13) mostrano come peculiare

caratteristica valori di concentrazione particolarmente elevati alla superficie.

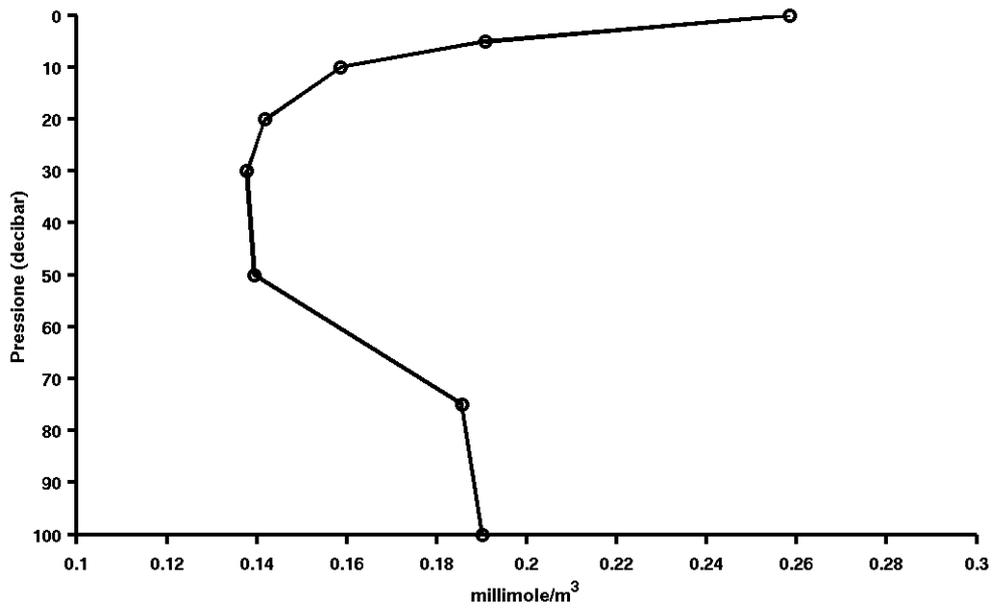
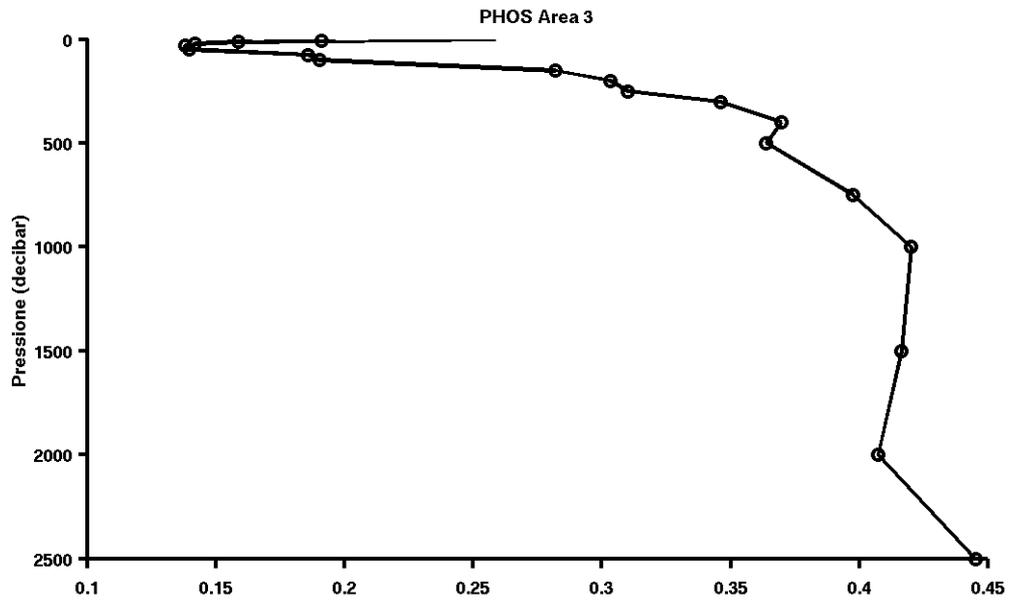


Figura 12. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 3 (Mar Balearico settentrionale)

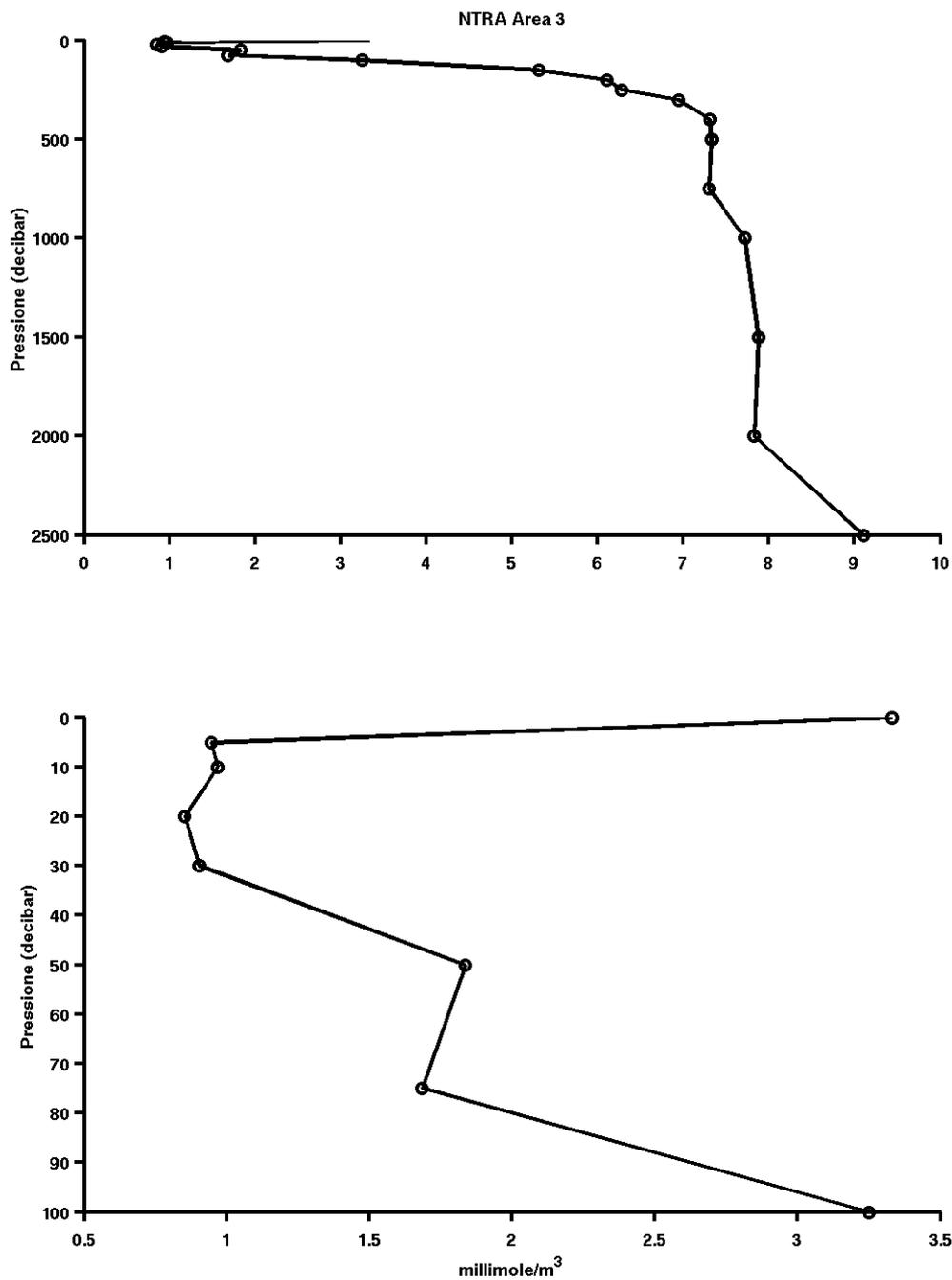


Figura 13. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 3 (Mar Balearico settentrionale)

Il motivo di questa caratteristica, molto diversa da quella dei corrispondenti profili relativi agli altri bacini, è dovuto al fatto che in questa area è compresa la regione del delta del Fiume Rodano. Questo fiume è uno dei maggiori fiumi che sversano nel Mediterraneo e costituisce una importante fonte di Sali nutritivi di origine continentale. Tuttavia le elevate

concentrazioni superficiali di Sali nutritivi potrebbero essere un effetto dell'elevato numero di dati raccolti in prossimità della regione del delta e pertanto potrebbero non essere correttamente rappresentativi dell'intera area considerata.

AREA 5 Mare Adriatico

Anche questo bacino è fortemente influenzato dagli scarichi fluviali, particolarmente nella sua parte maggiormente settentrionale, dove fortissimo è l'effetto di diluizione operato dallo scarico del fiume Po, che si riflette sui minimi valori superficiali di salinità (Figura 14).

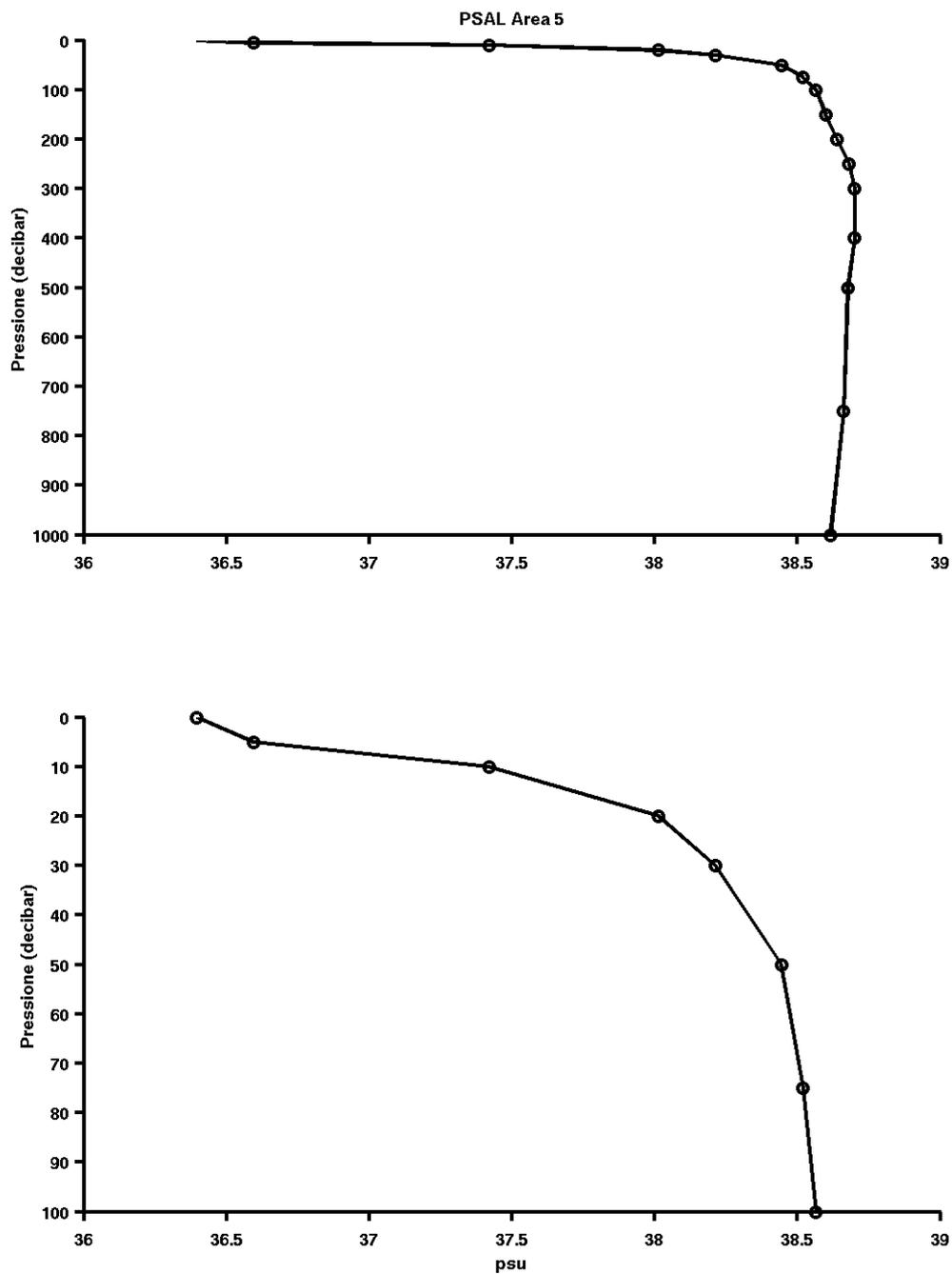


Figura 14. Profili verticali di salinit , area 5 (Mare Adriatico)

Il segnale delle acque Levantine intermedie (che penetrano nel bacino Adriatico) non   particolarmente evidente nel profilo di salinit , ma lo   nel profilo di ossigeno disciolto (Figura 15) che presenta il caratteristico minimo di concentrazione alla profondit  di circa 300 m.

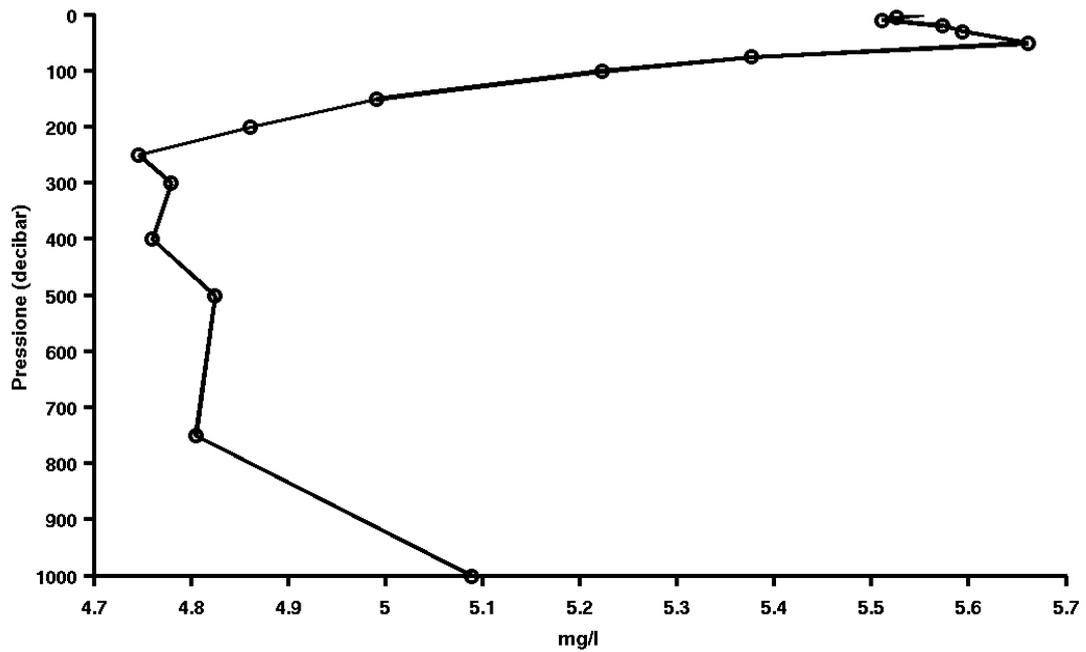


Figura 15. Profilo verticale di ossigeno disciolto, area 5 (Mare Adriatico)

I profili di fosfati e nitrati (Figura 16 e Figura 17) evidenziano l'arricchimento superficiale di Sali nutritivi dovuto agli apporti fluviali. Ciononostante i valori negli strati profondi (benché superiori a quelli degli strati superficiali) presentano valori di concentrazione inferiori a quelli rilevati nei sottobacini del Mediterraneo Occidentale. E' questa una caratteristica comune a tutti i profili di Sali nutritivi relativa a tutti i sottobacini del Mediterraneo orientale e testimonia le condizioni di maggiore oligotrofia del Mediterraneo orientale rispetto a quello occidentale.

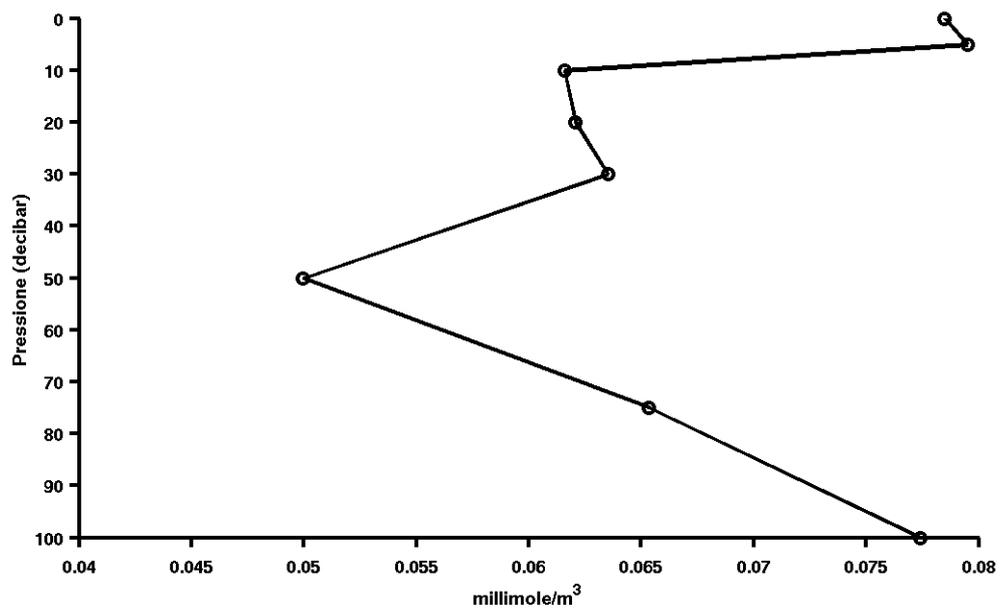
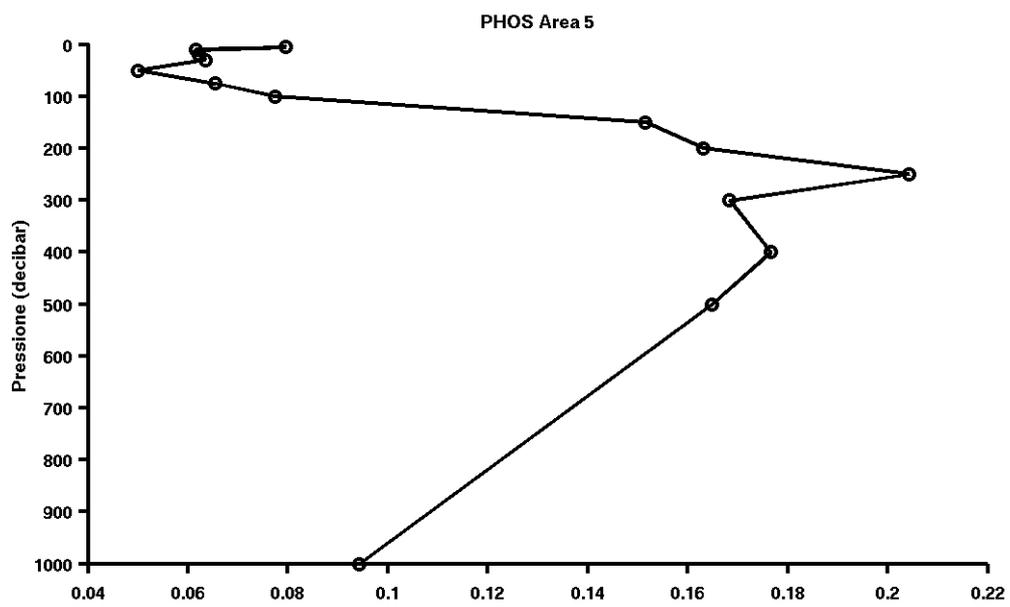


Figura 16. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 5 (Mare Adriatico)

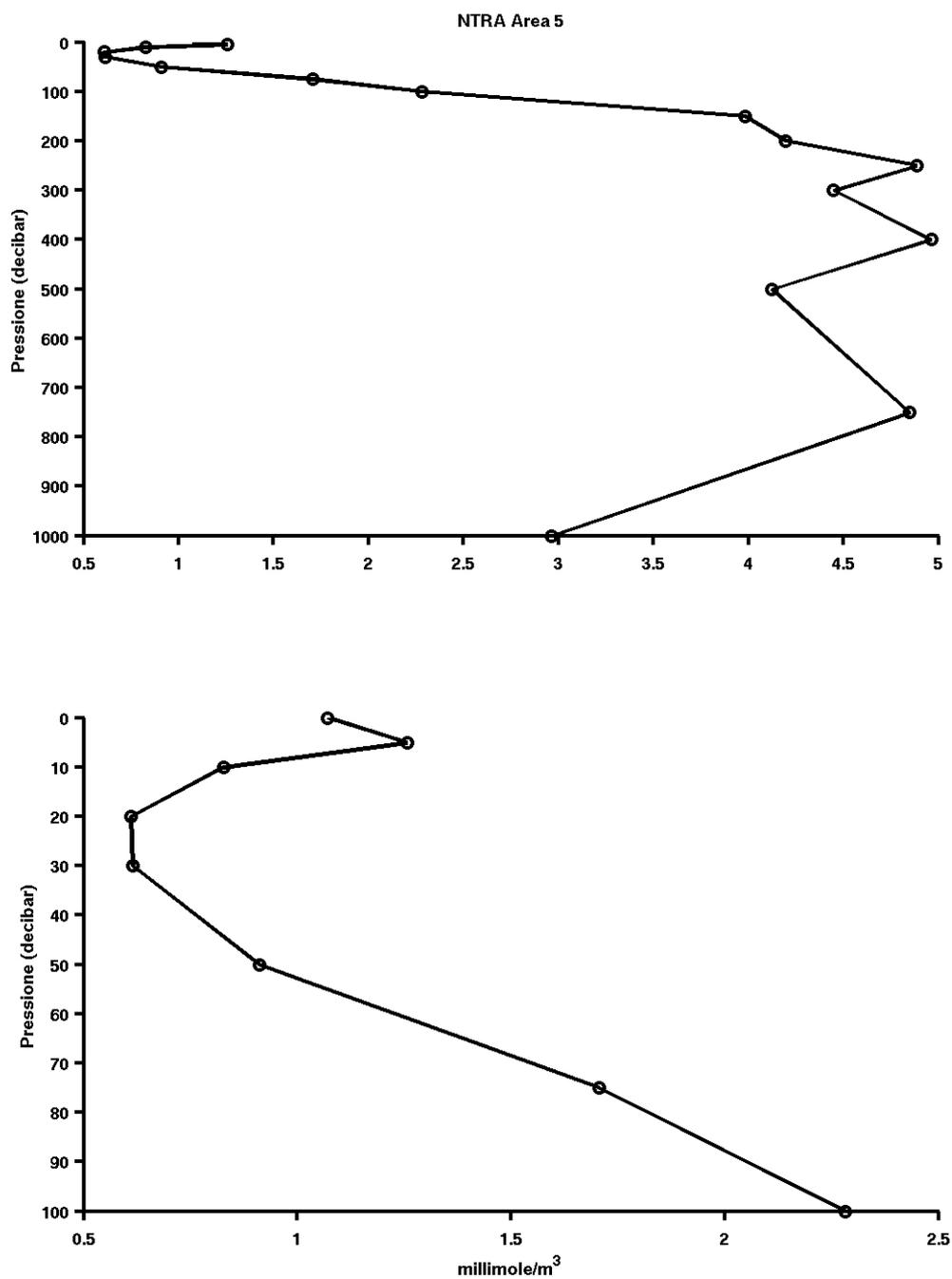


Figura 17. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 5 (Mare Adriatico)

4. CONCLUSIONI

L'analisi preliminare dei profili verticali di proprietà ideologiche e biogeochimiche estratti dal dataset MEDATLAS indica che da questi dati sono ricostruibili in maniera abbastanza

dettagliata sia le principali caratteristiche idrologiche (distribuzione verticale delle principali masse d'acqua) che quelle biogeochimiche ad esse associate relativamente ai vari sottobacini mediterranei considerati. In particolare i profili verticali analizzati indicano che:

- 1) Il segnale di bassa salinità tipico delle acque atlantiche superficiali si attenua progressivamente lungo il percorso da Gibilterra al Bacino Levantino, pur rimanendo evidente.
- 2) Le acque Levantine intermedie sono molto ben marcate da un massimo di salinità e di concentrazione di ossigeno disciolto
- 3) Le acque profonde hanno valori di concentrazione di ossigeno superiori a quelli tipici delle acque Levantine intermedie.
- 4) Il bacino orientale è caratterizzato da concentrazioni di Sali nutritivi inferiori a quelle del bacino occidentale.
- 5) Le scarse concentrazioni di fosfati rispetto a quelle dei nitrati osservabili in ogni sottobacino esaminato concordano con l'ipotesi della limitazione da fosforo dei processi di produzione primaria.
- 6) Gli scarichi fluviali possono localmente aumentare i valori di concentrazione superficiale di Sali nutritivi.

Appendice

1. Area 1 Mare di Alboran

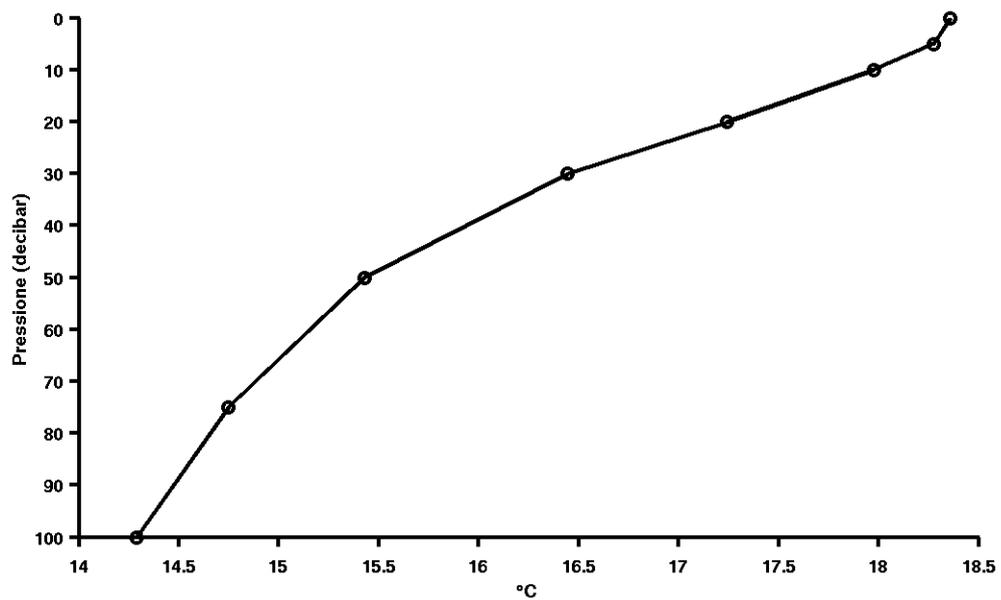
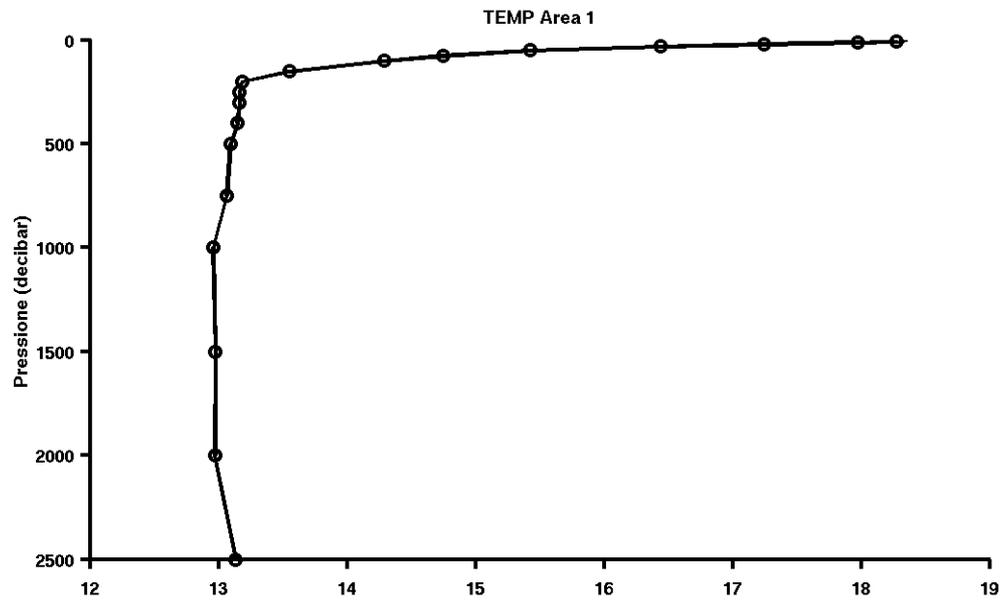


Figura 18. Profili verticali di temperatura, area 1 (Mare di Alboran)

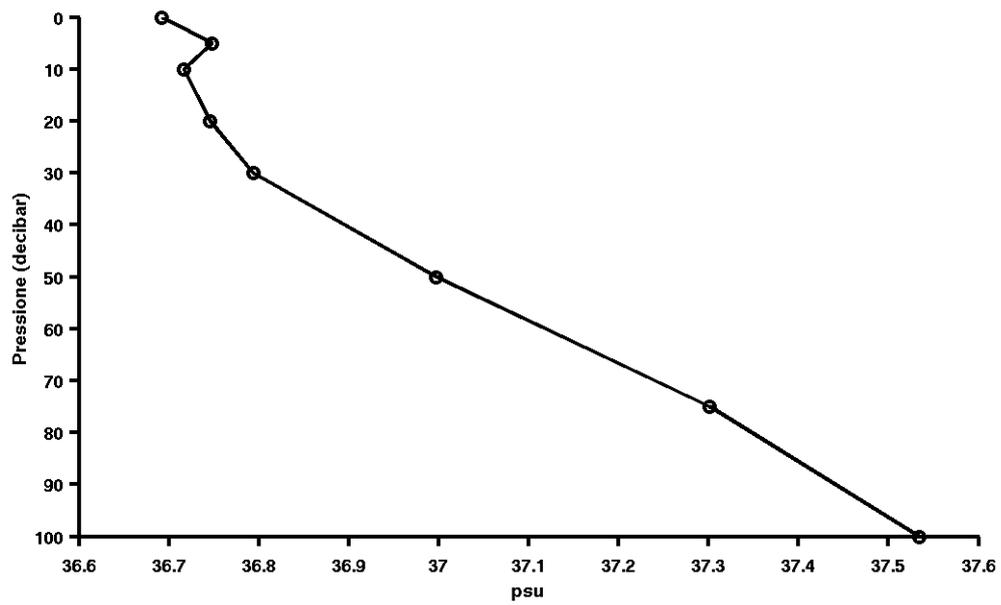
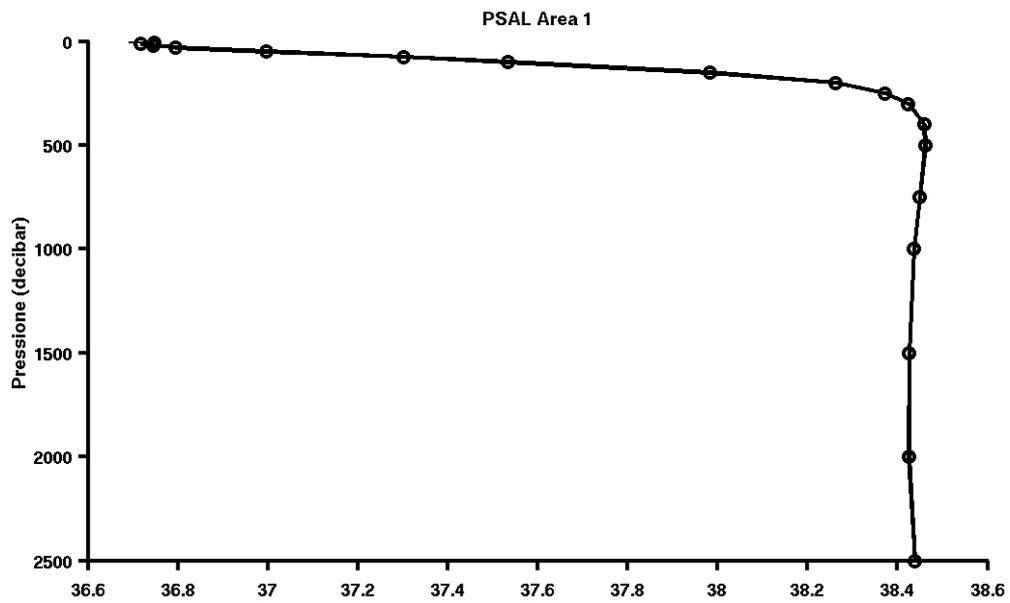


Figura 19. Profili verticali di salinità, area 1 (Mare di Alboran)

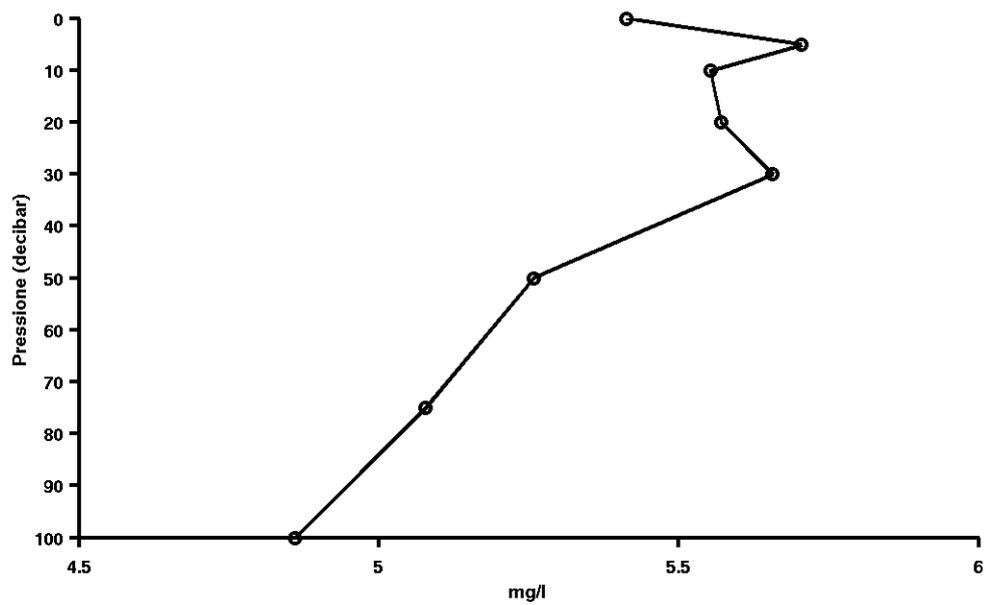
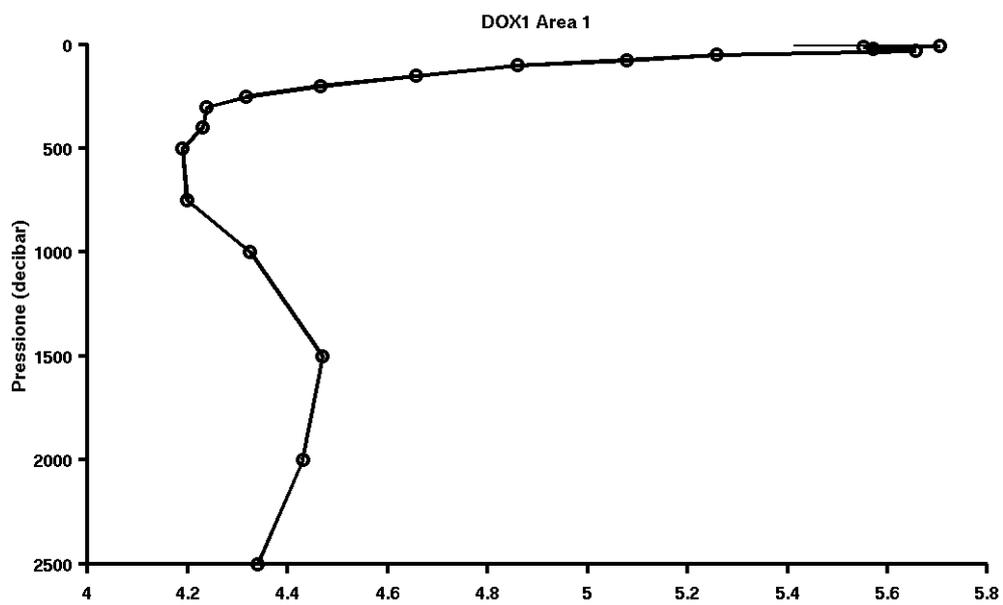


Figura 20. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 1 (Mare di Alboran)

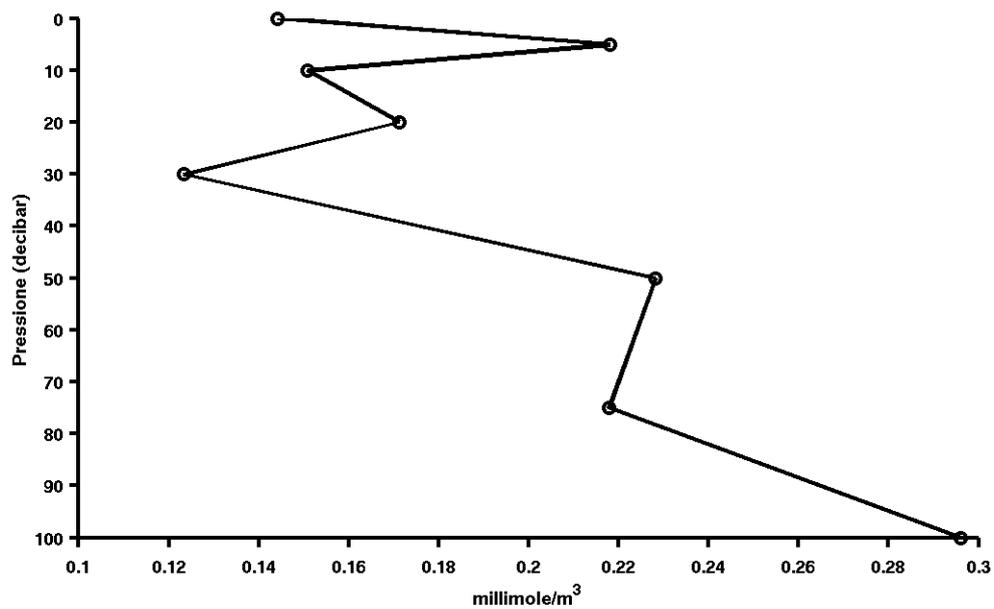
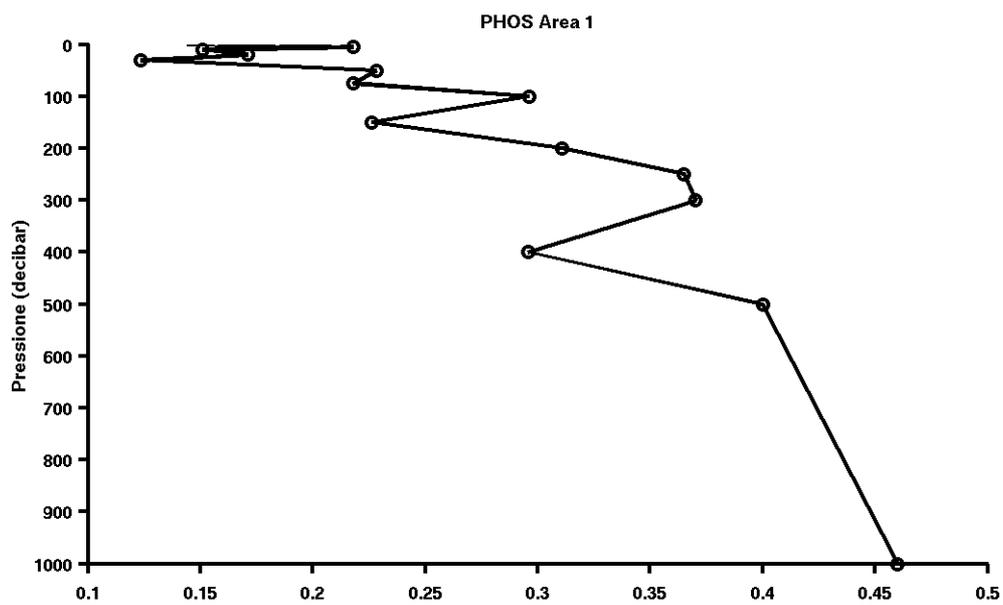


Figura 21. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 1 (Mare di Alboran)

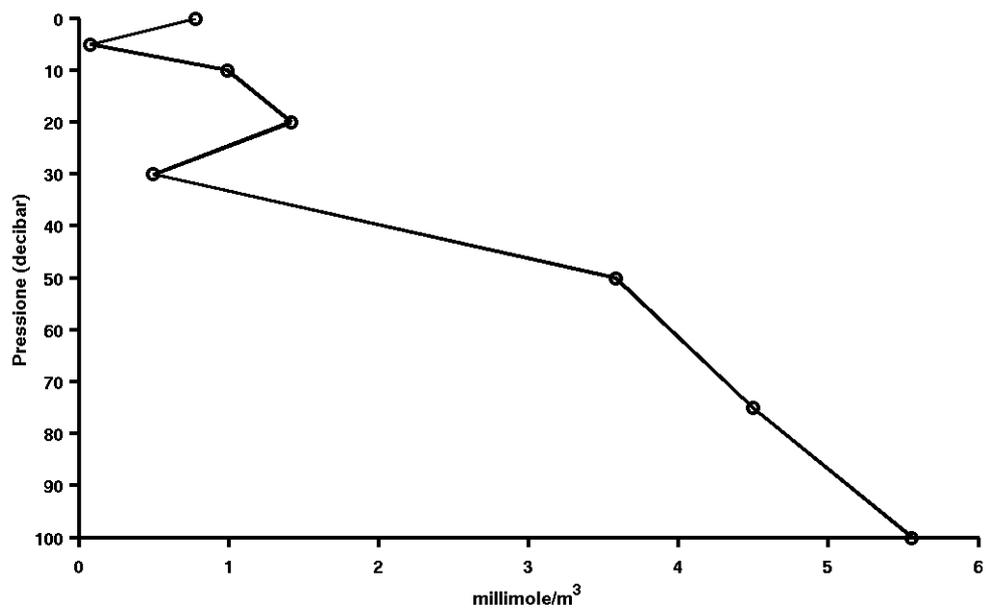
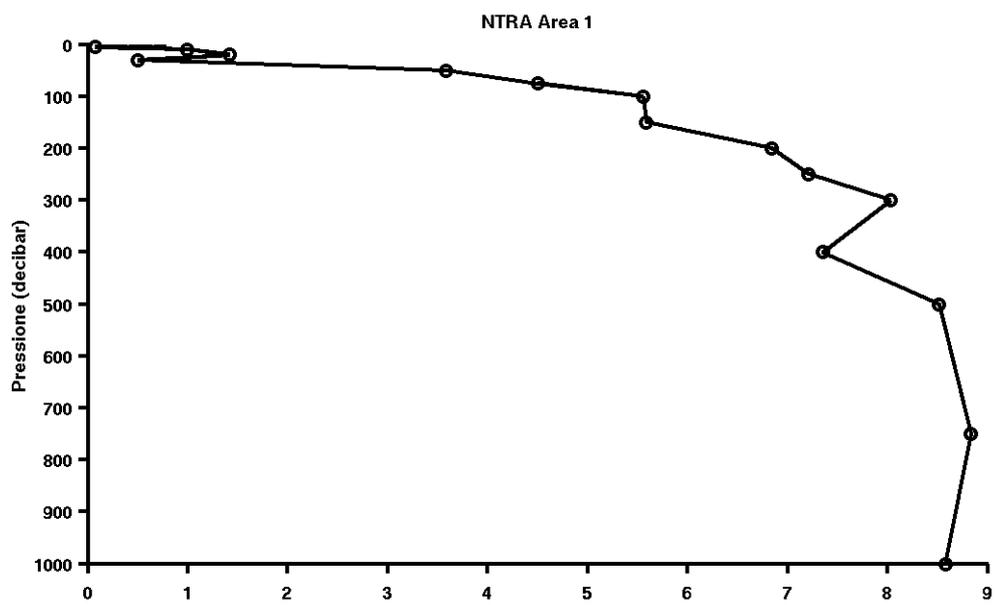


Figura 22. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 1 (Mare di Alboran)

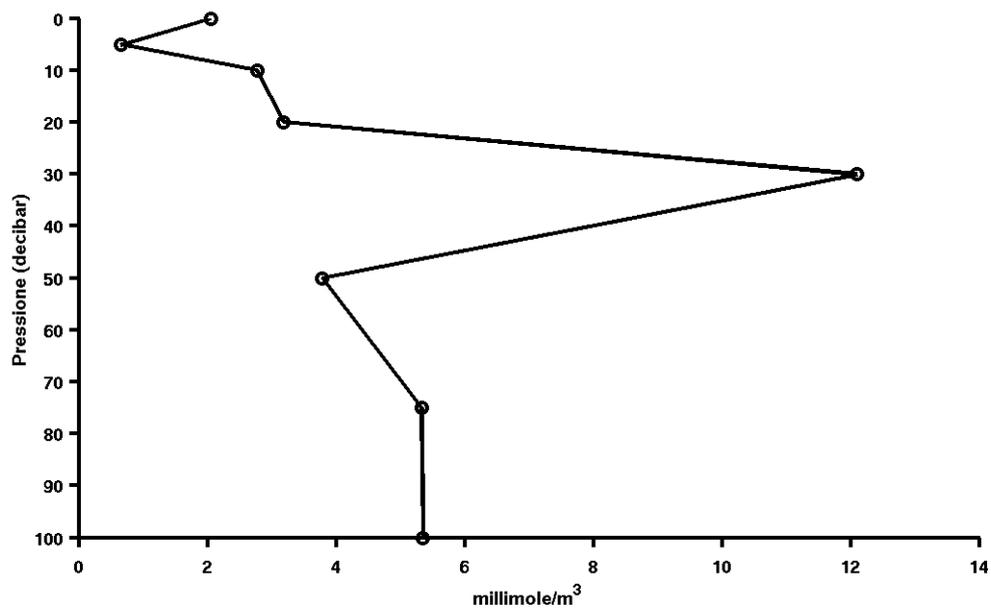
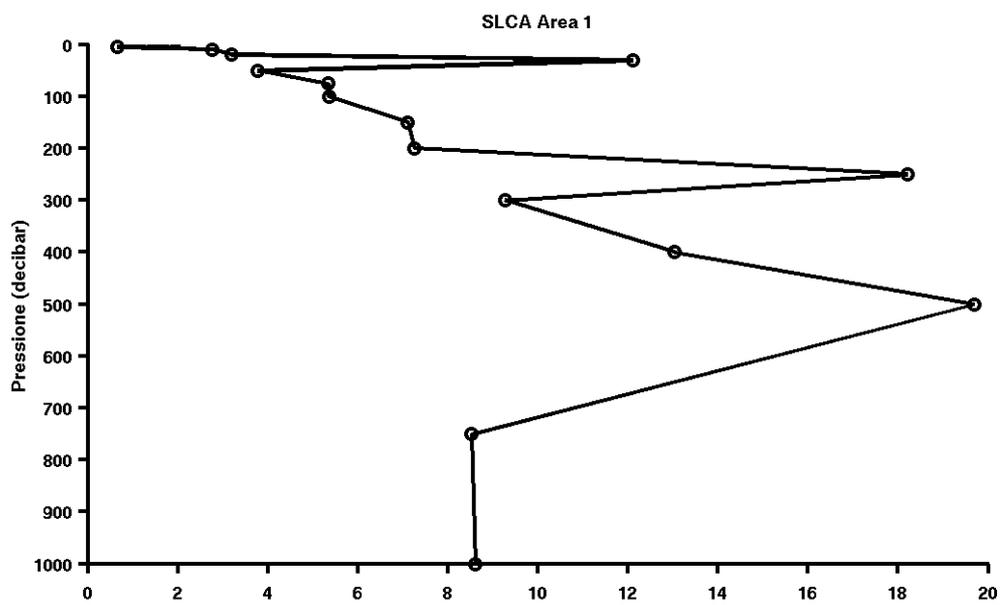


Figura 23. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 1 (Mare di Alboran)

2. Area 2 Mar Balearico Meridionale

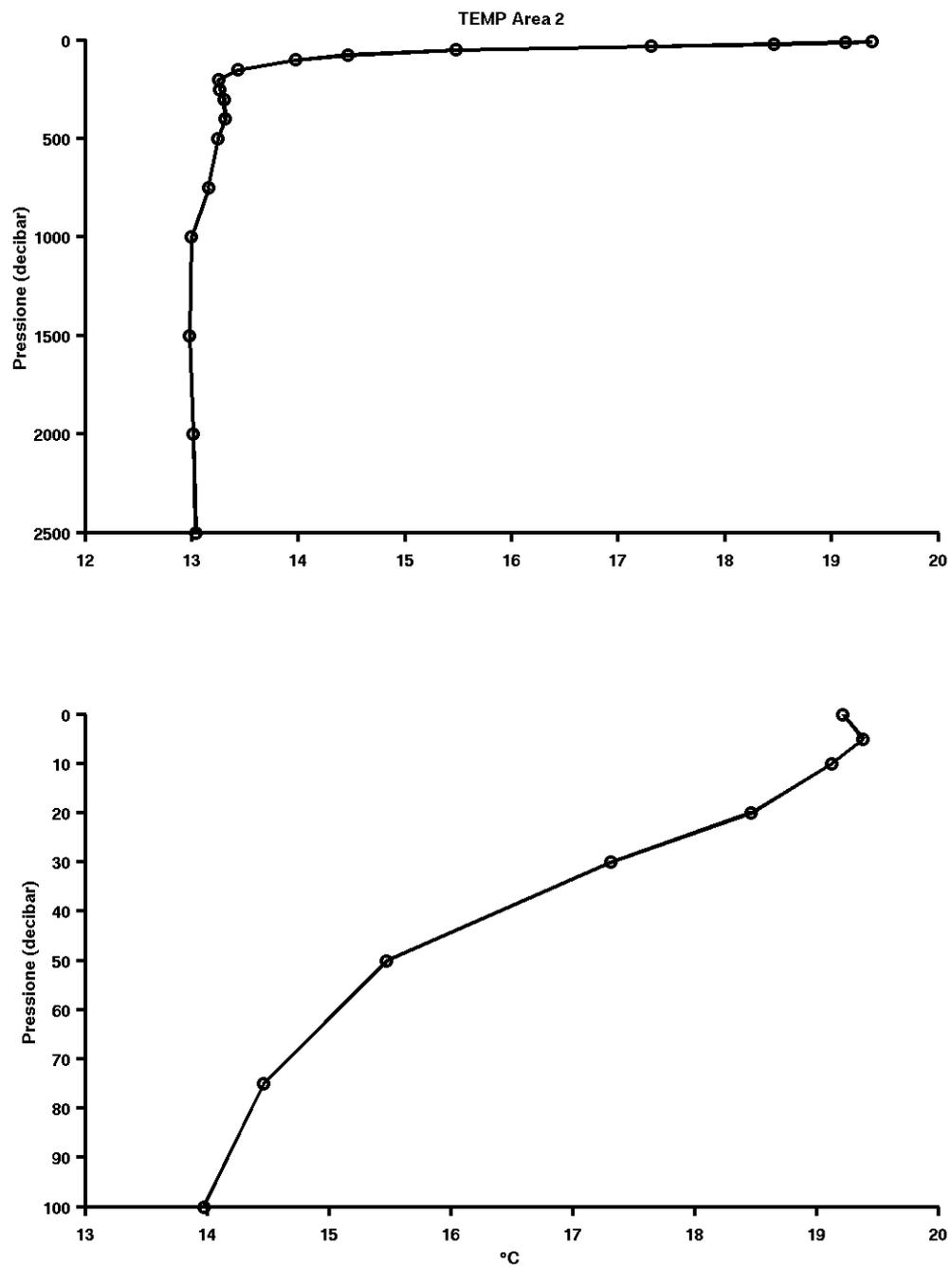


Figura 24. Profili verticali di temperatura, area 2 (Mar Balearico Meridionale)

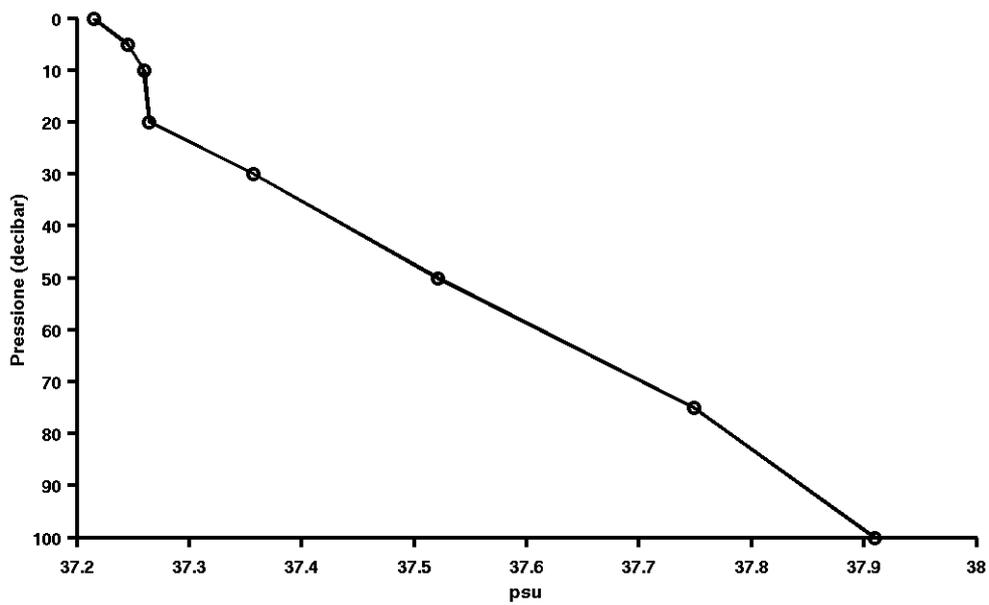
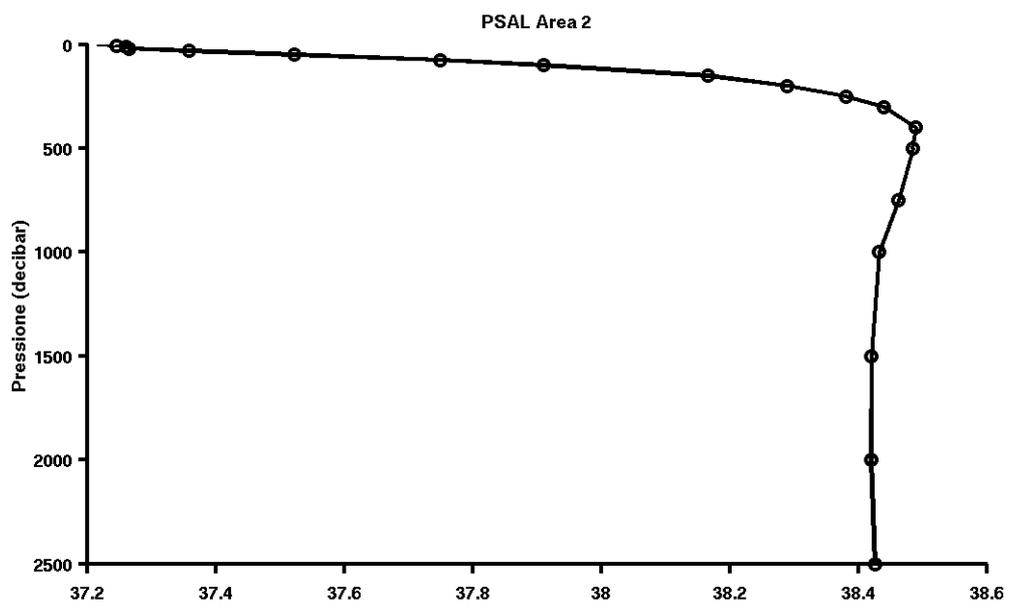


Figura 25. Profili verticali di salinità, area 2 (Mar Balearico Meridionale)

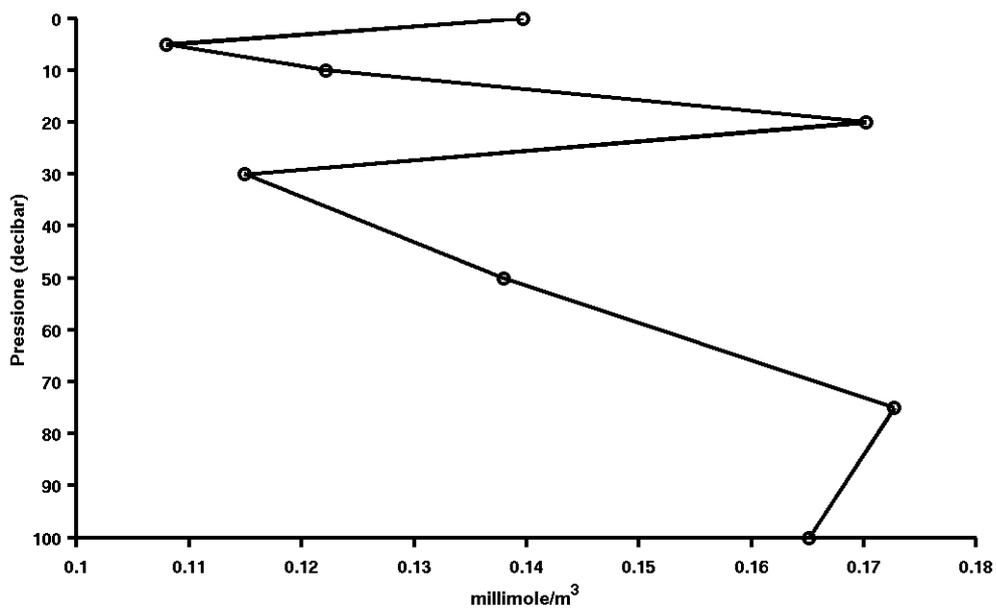
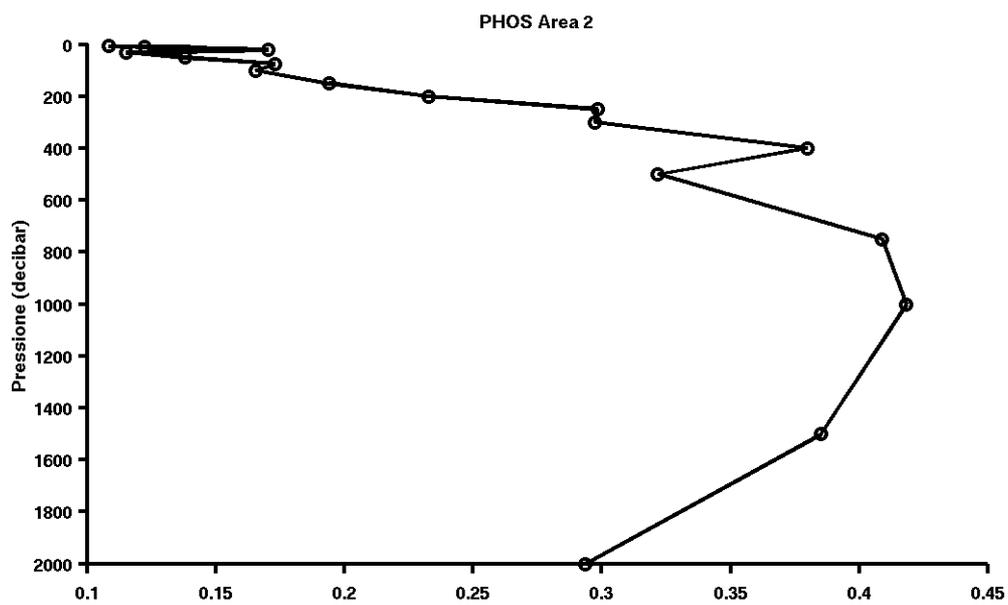


Figura 27. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 2 (Mar Balearico Meridionale)

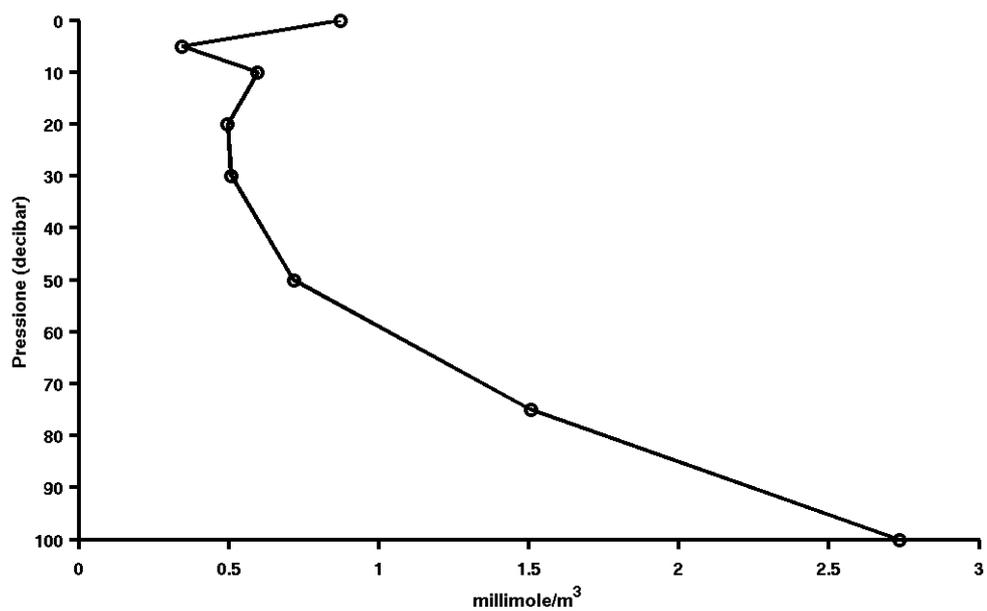
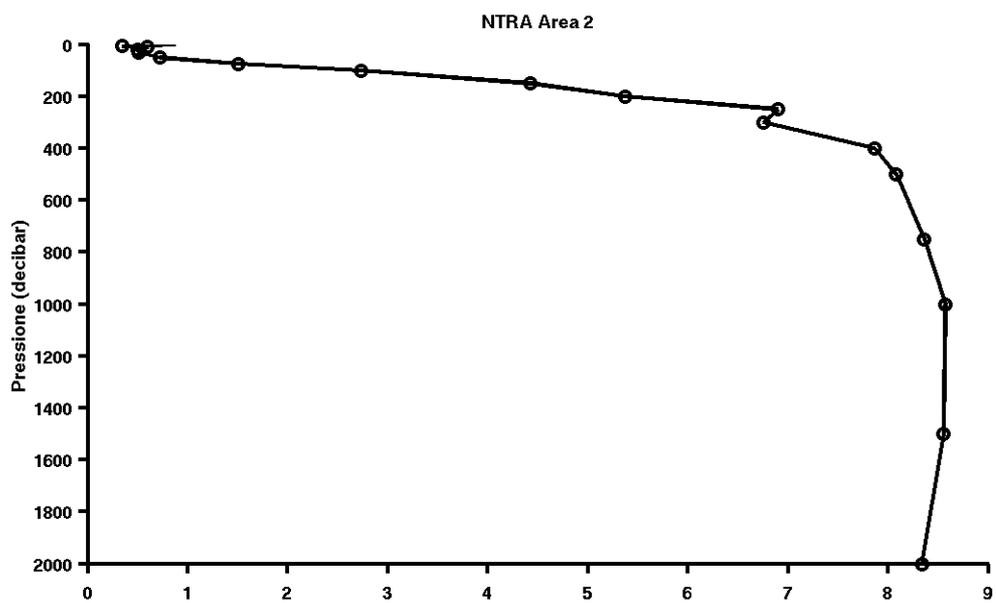


Figura 28. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 2 (Mar Balearico Meridionale)

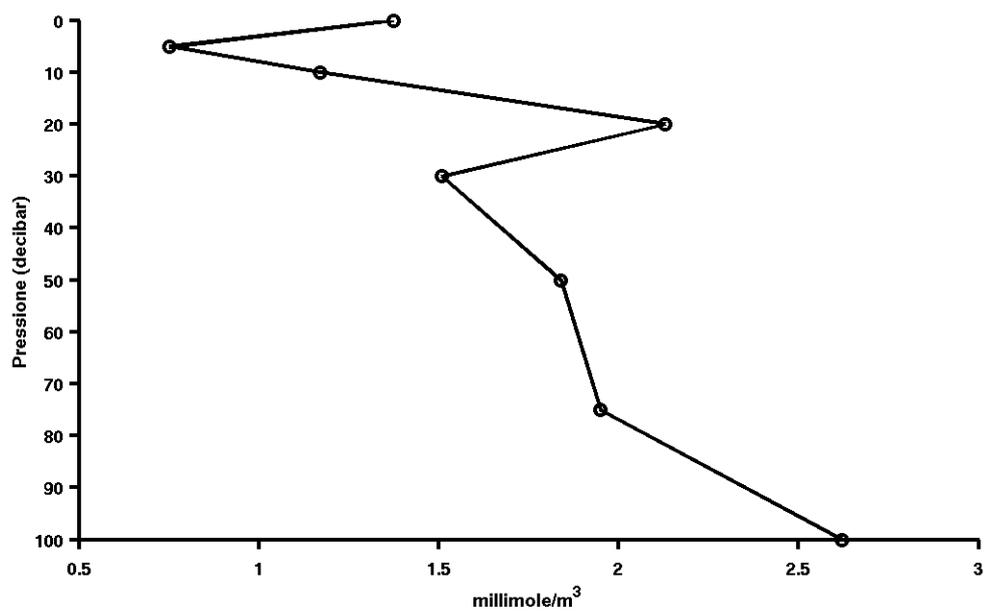
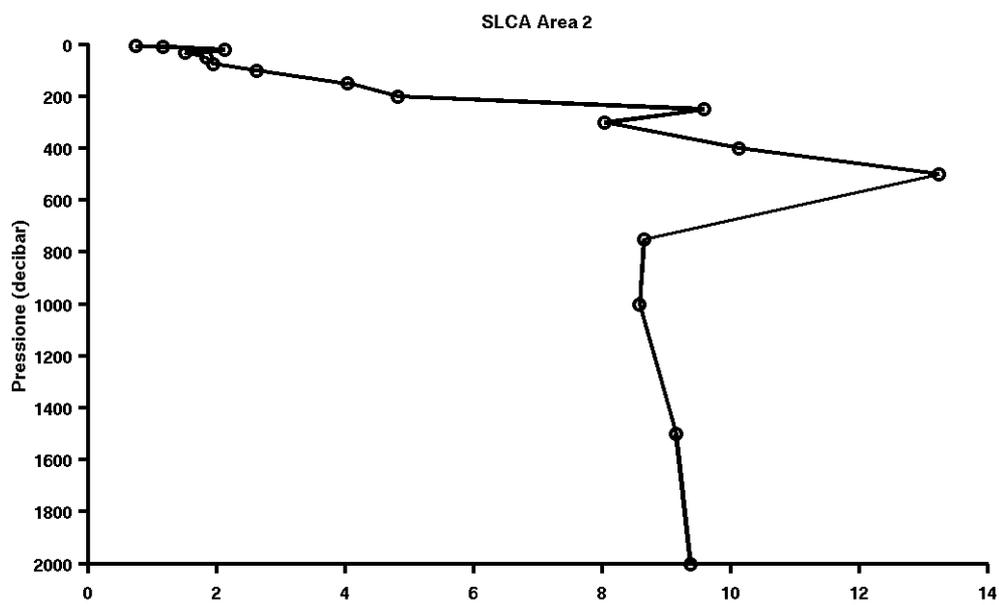


Figura 29. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 2 (Mar Balearico Meridionale)

3. Area 3 Mar Balearico Settentrionale e Golfo del Leone

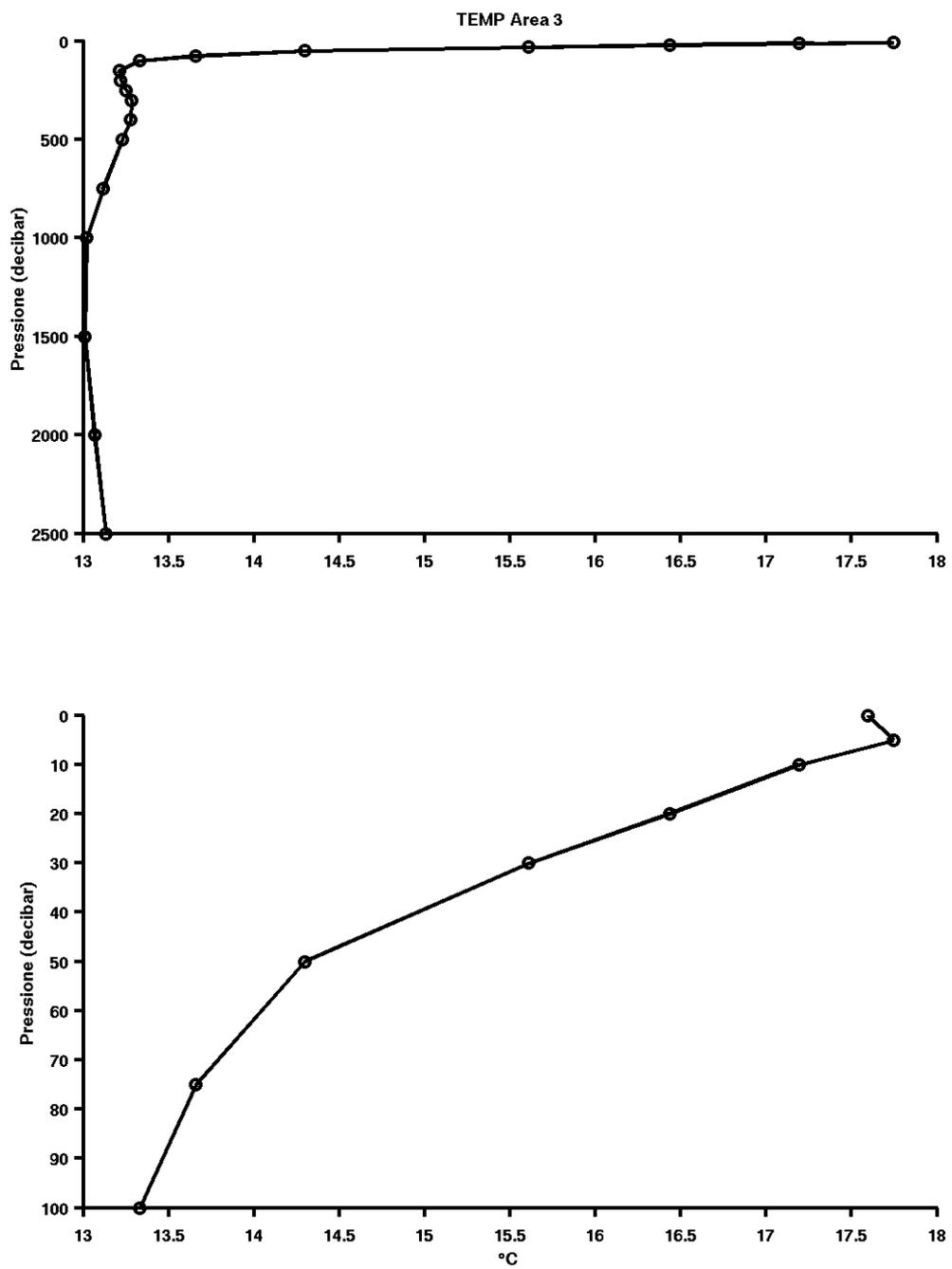


Figura 30. Profili verticali di temperatura, area 3 (Mar Balearico Settentrionale e Golfo del Leone)

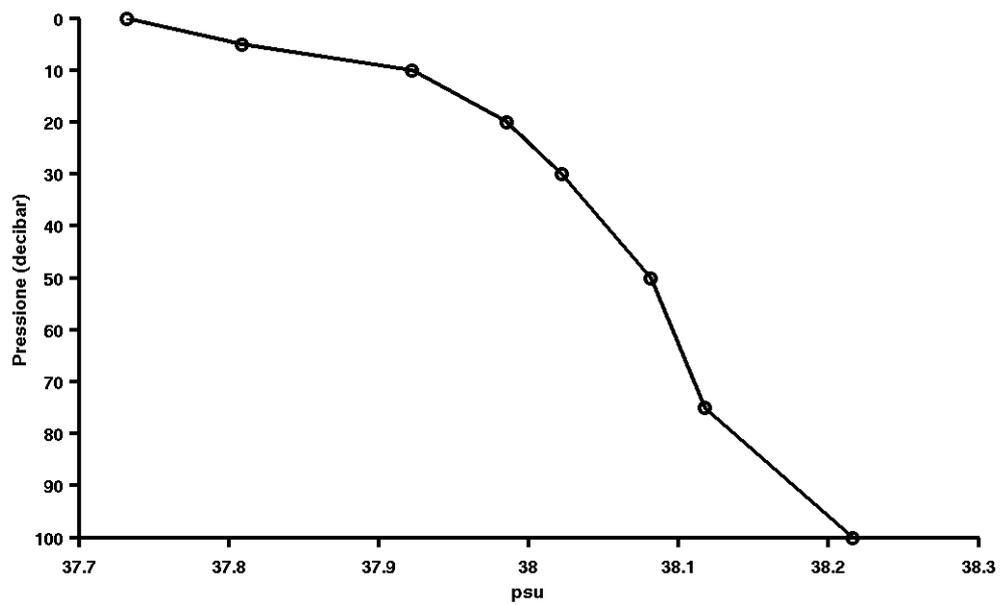
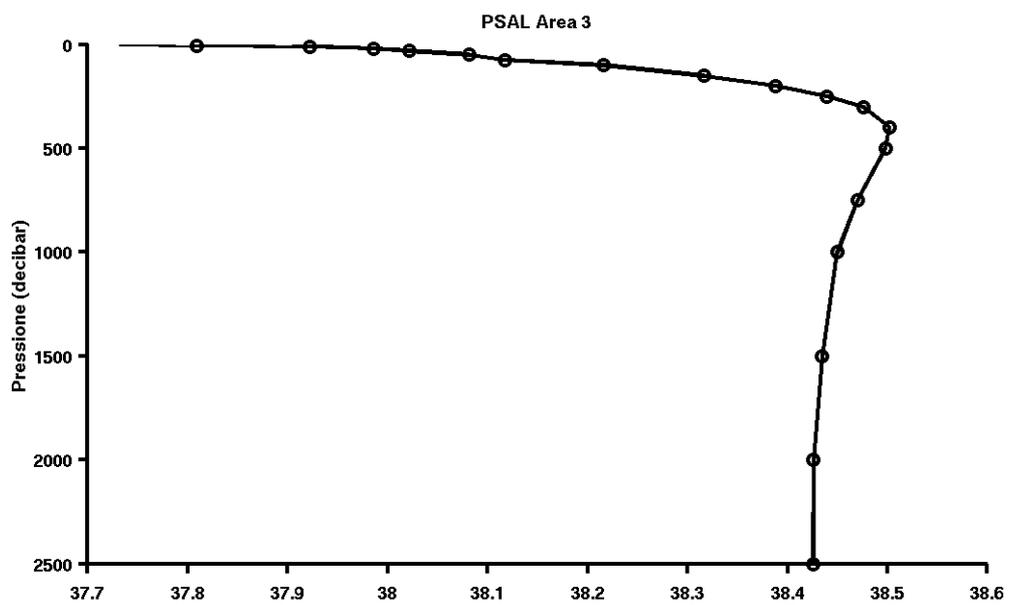


Figura 31. Profili verticali di salinità, area 3 (Mar Balearico Settentrionale e Golfo del Leone)

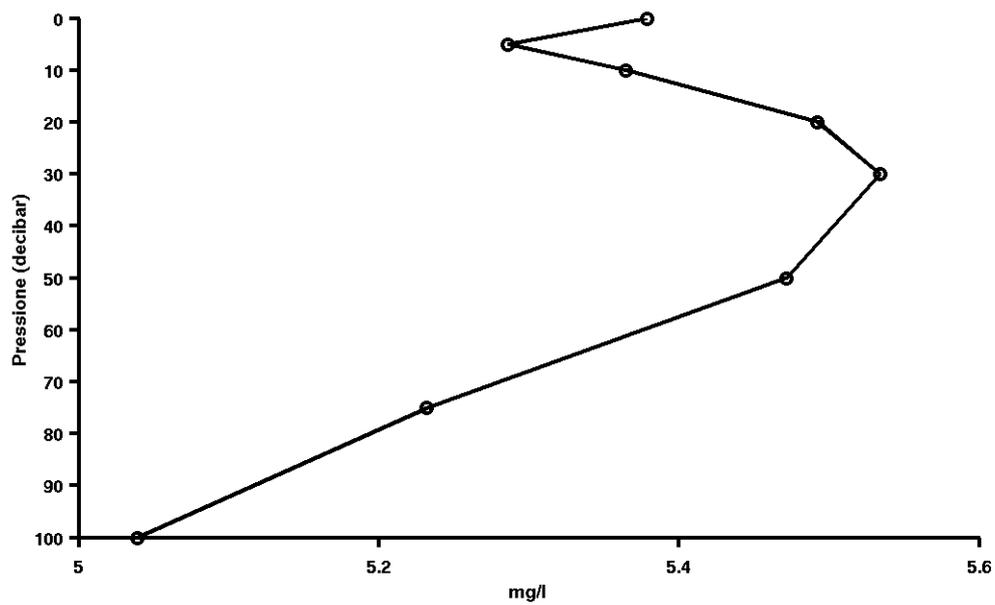
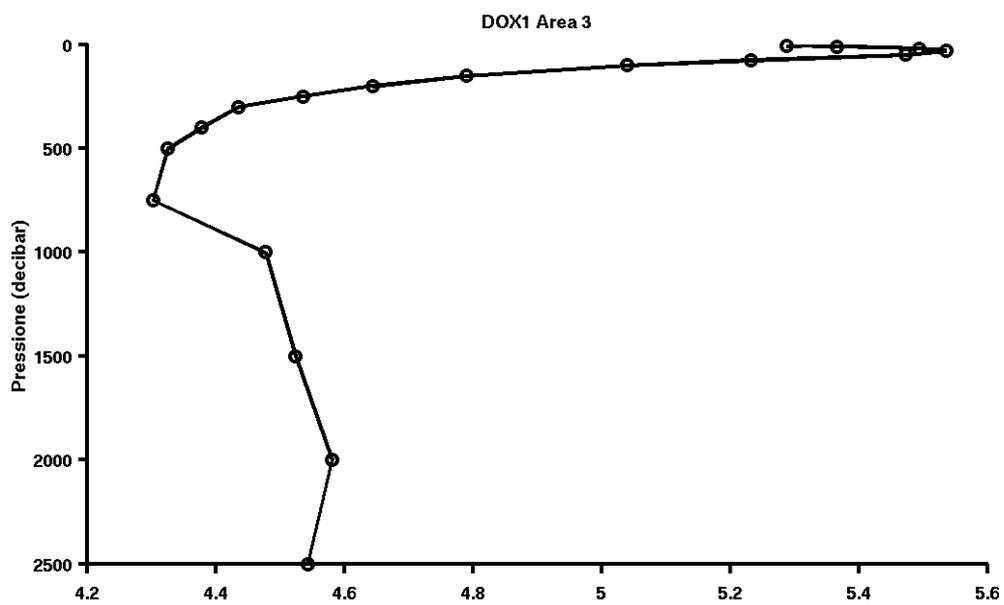


Figura 32. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 3 (Mar Balearico Settentrionale e Golfo del Leone)

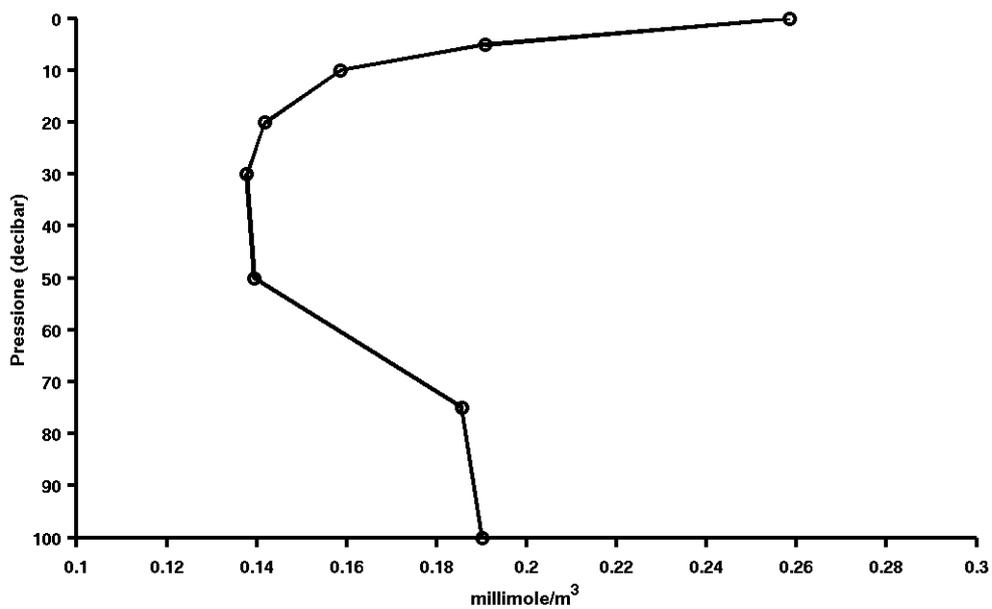
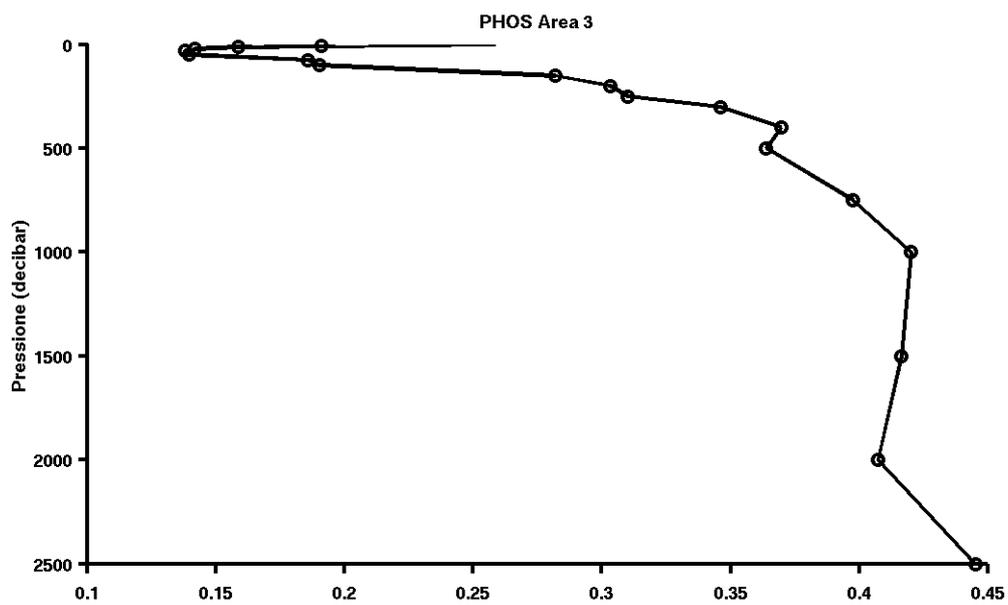


Figura 33. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 3 (Mar Balearico Settentrionale e Golfo del Leone)

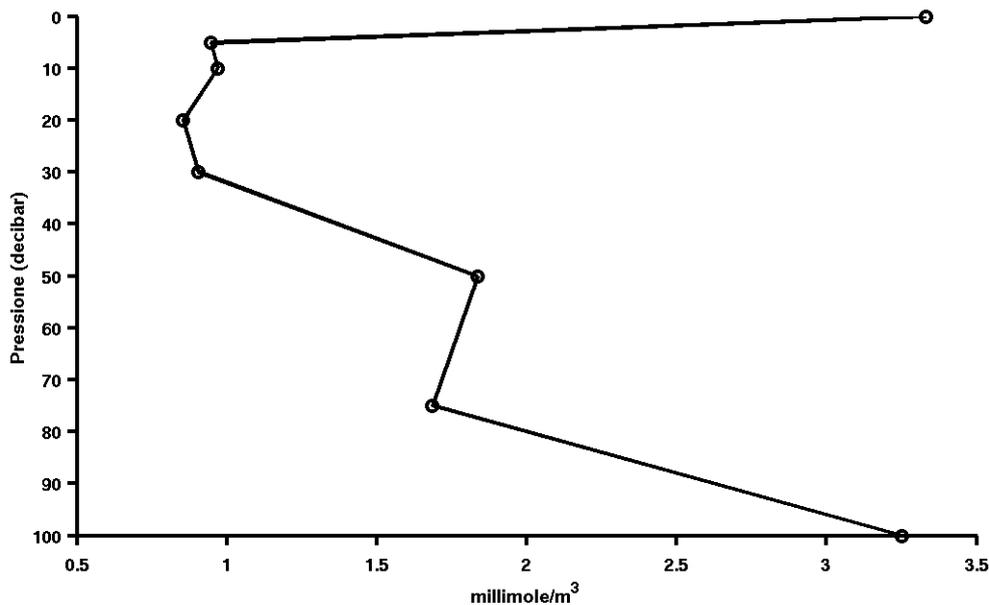
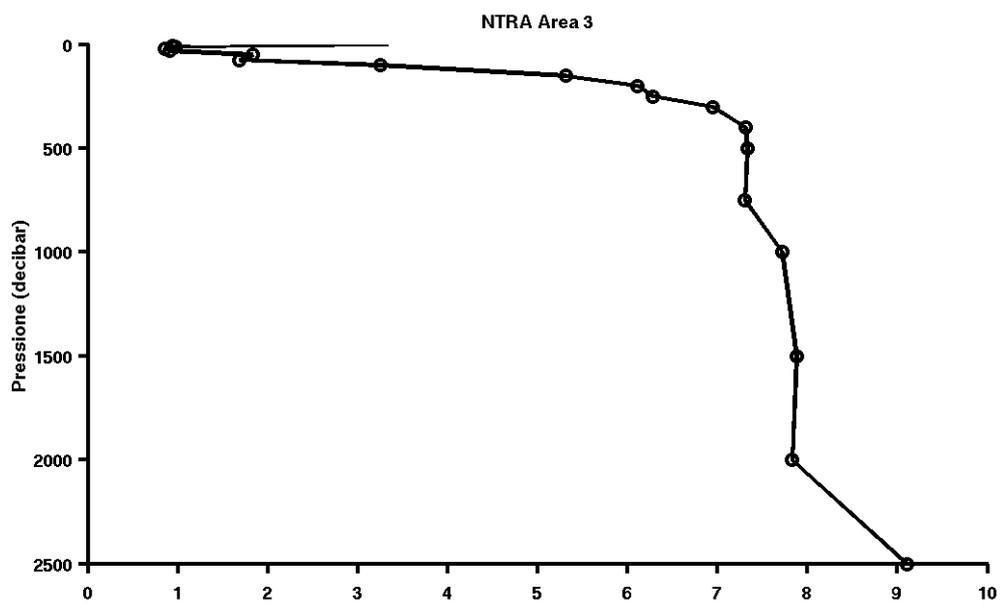


Figura 34. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 3 (Mar Balearico Settentrionale e Golfo del Leone)

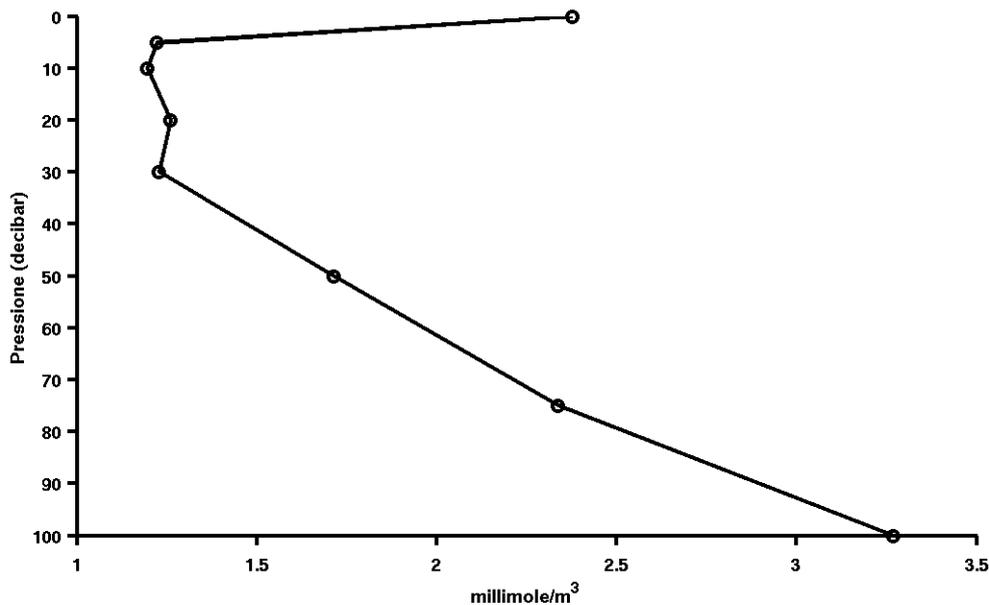
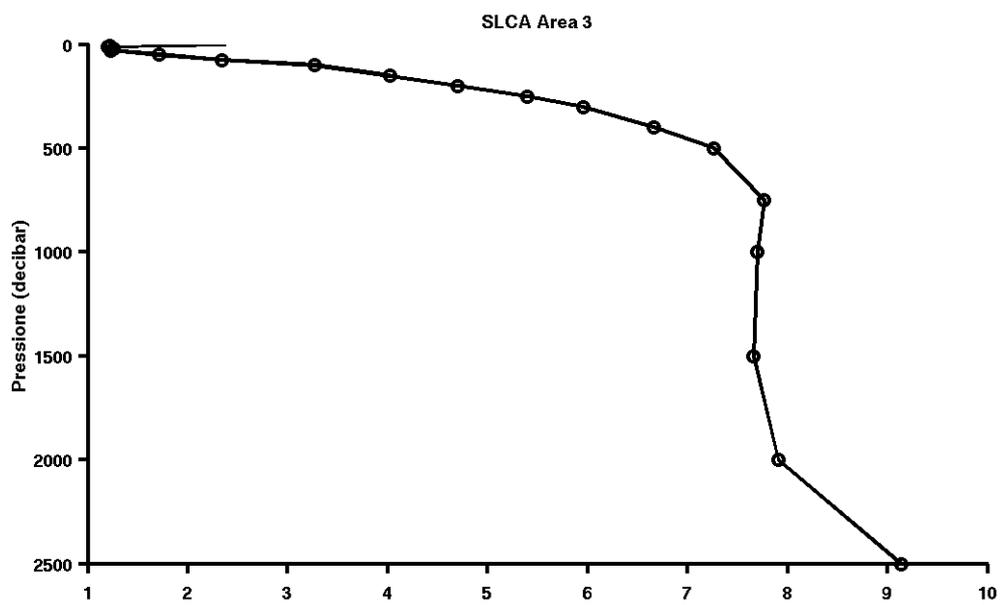


Figura 35. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 3 (Mar Balearico Settentrionale e Golfo del Leone)

4. Area 4 Mar Tirreno

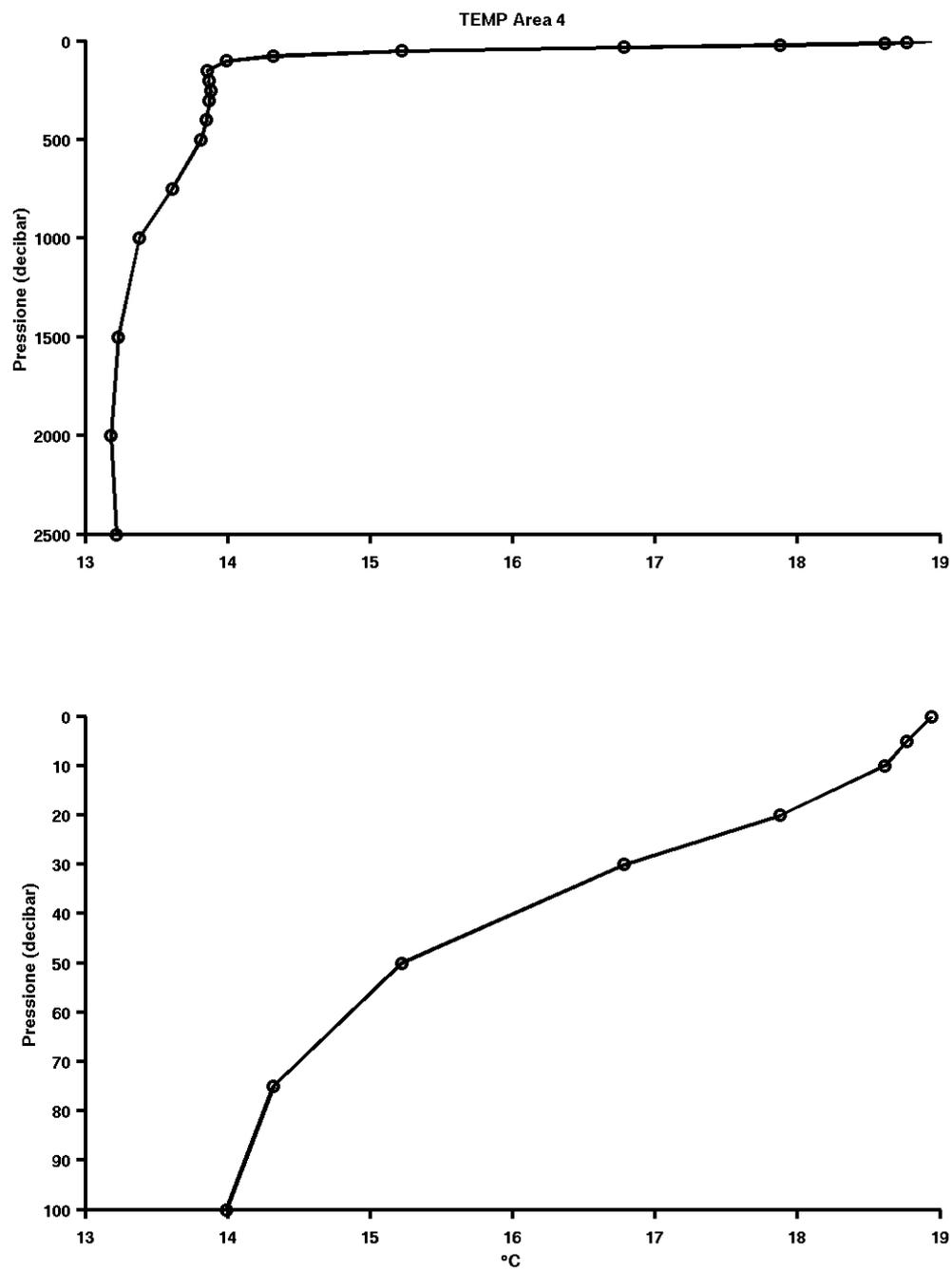


Figura 36. Profili verticali di temperatura, area 4 (Mar Tirreno)

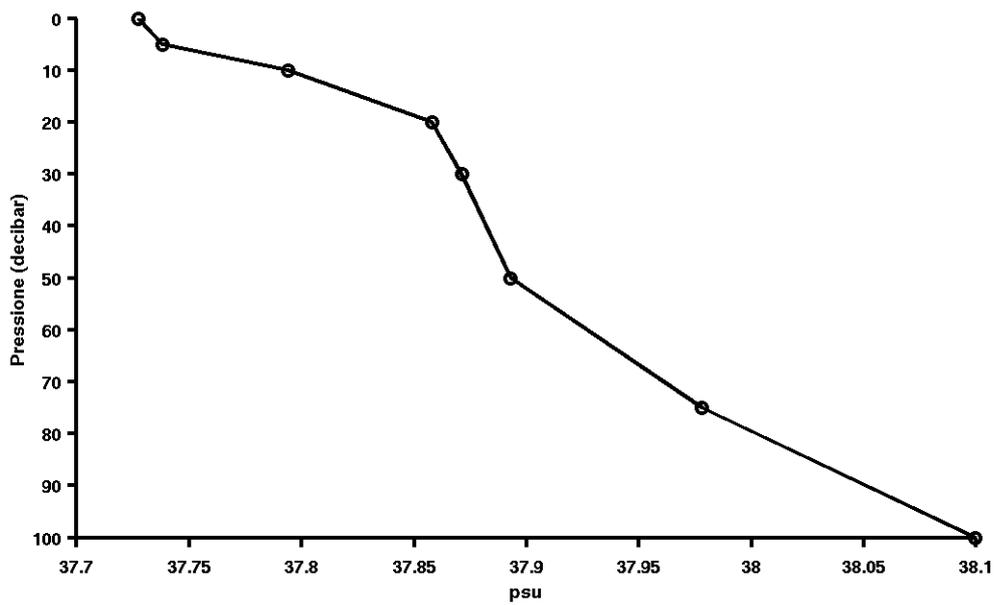
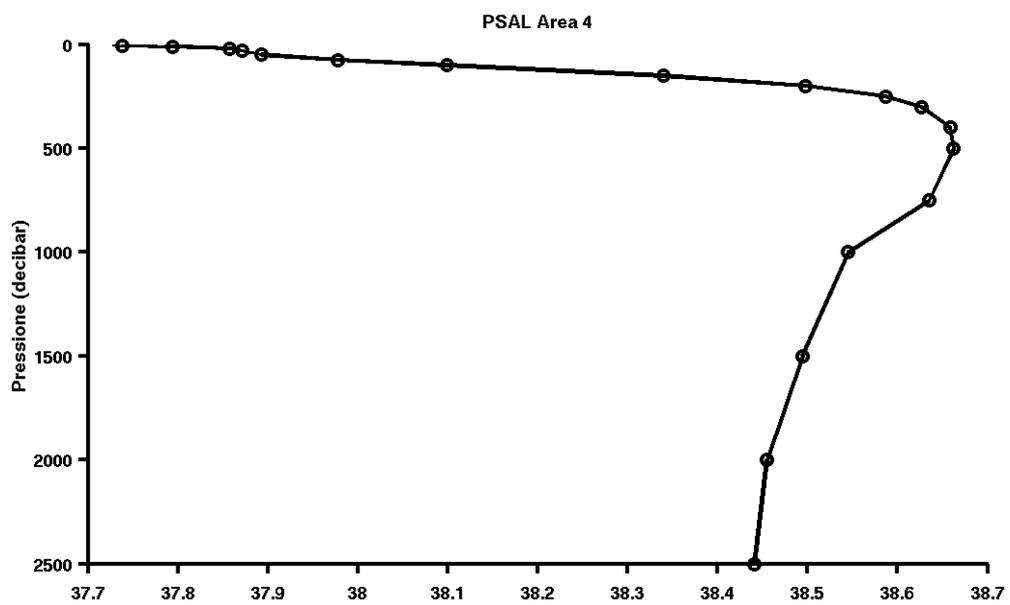


Figura 37. Profili verticali di salinità, area 4 (Mar Tirreno)

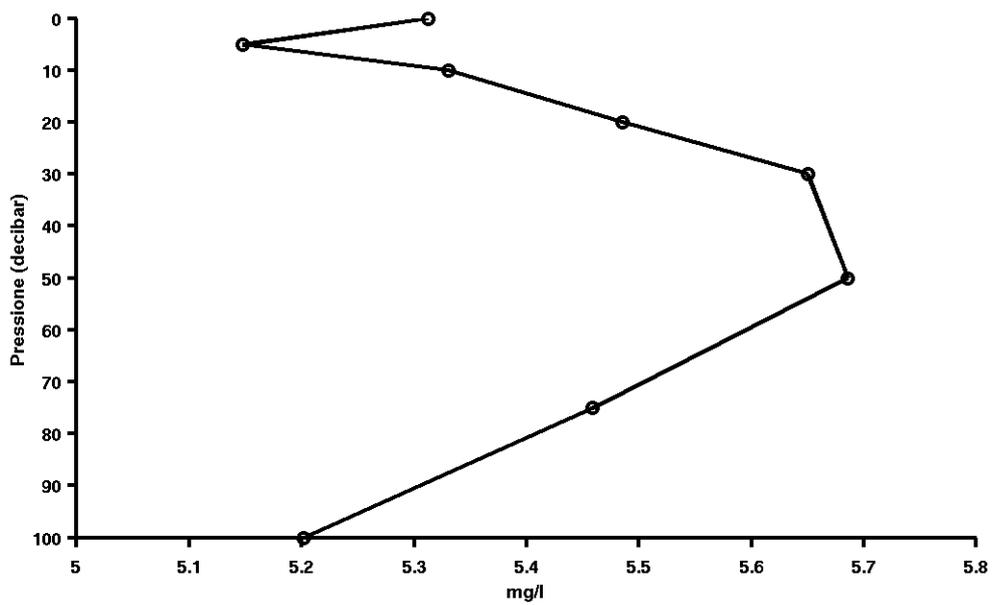
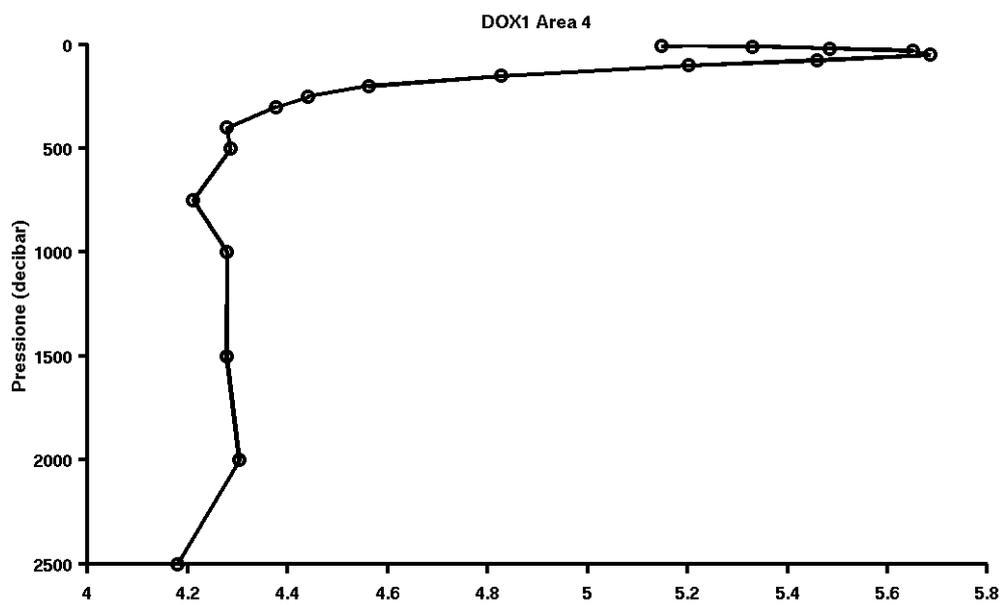


Figura 38. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 4 (Mar Tirreno)

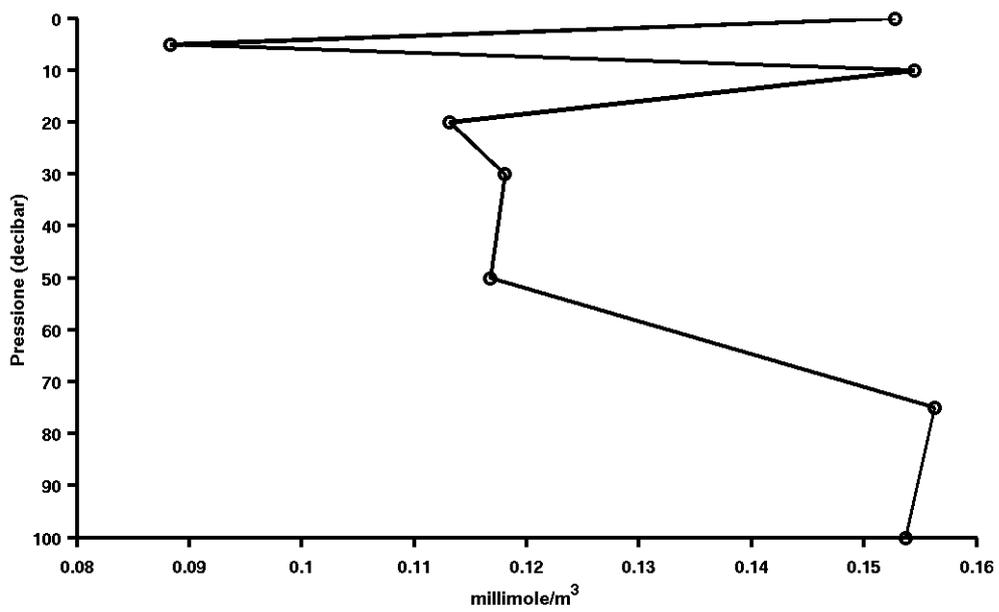
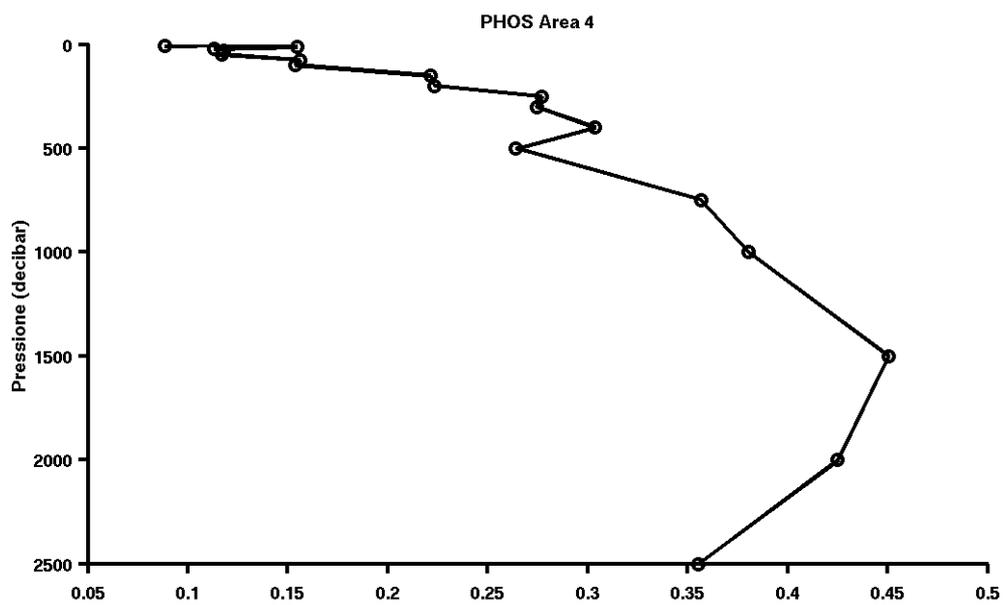


Figura 39. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 4 (Mar Tirreno)

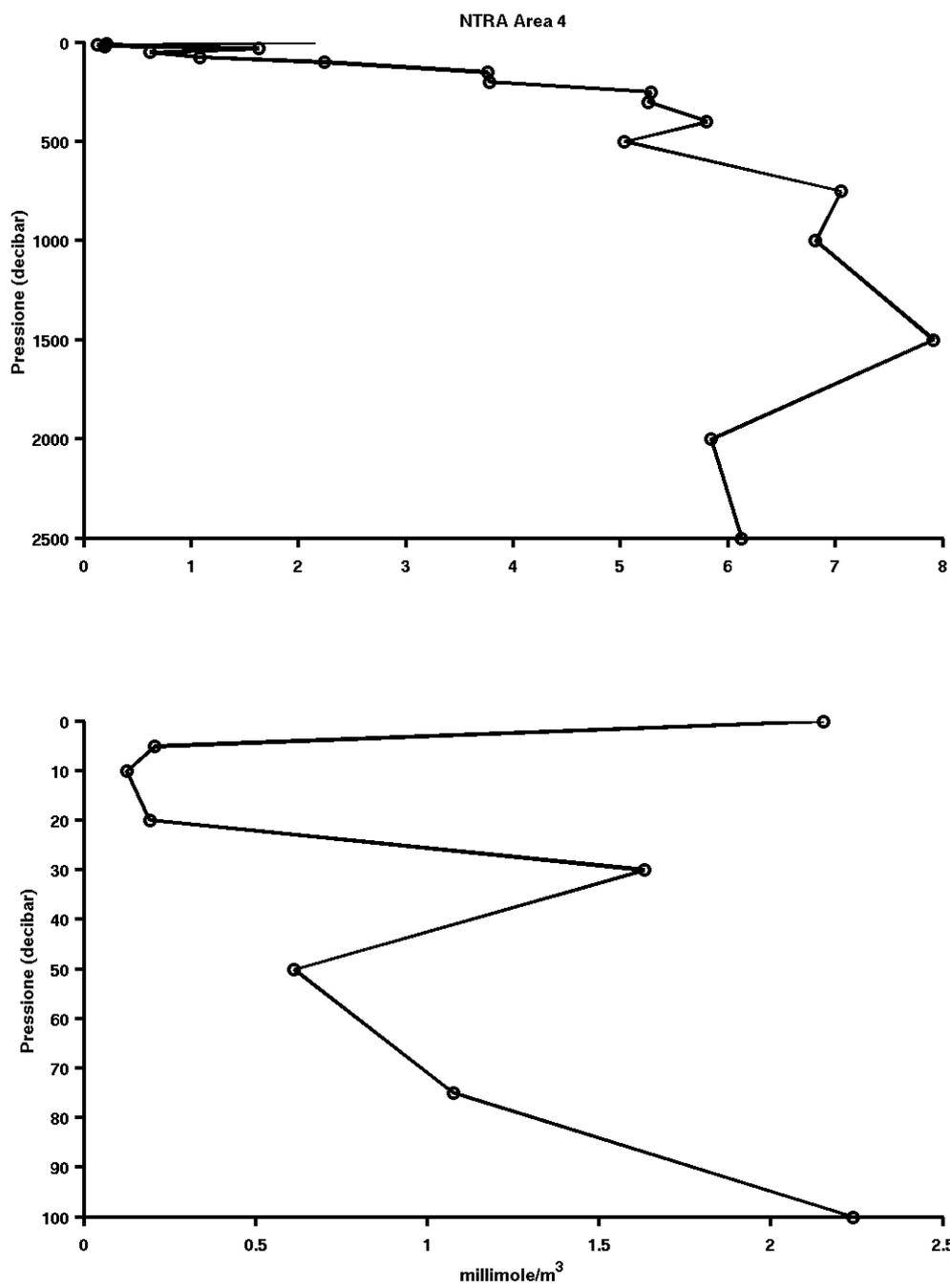


Figura 40. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 4 (Mar Tirreno)

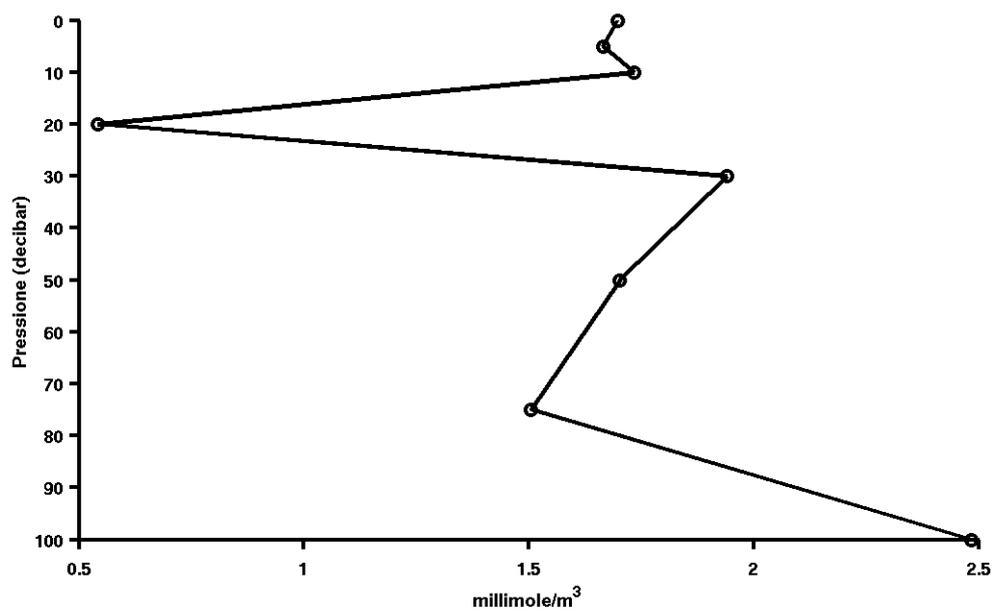
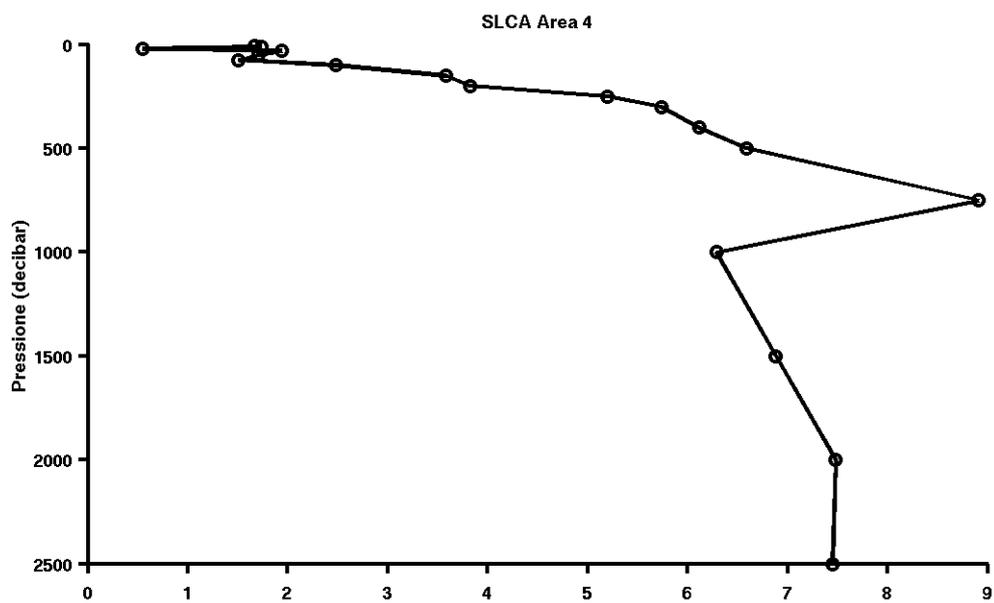


Figura 41. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 4 (Mar Tirreno)

5. Area 5 Mare Adriatico

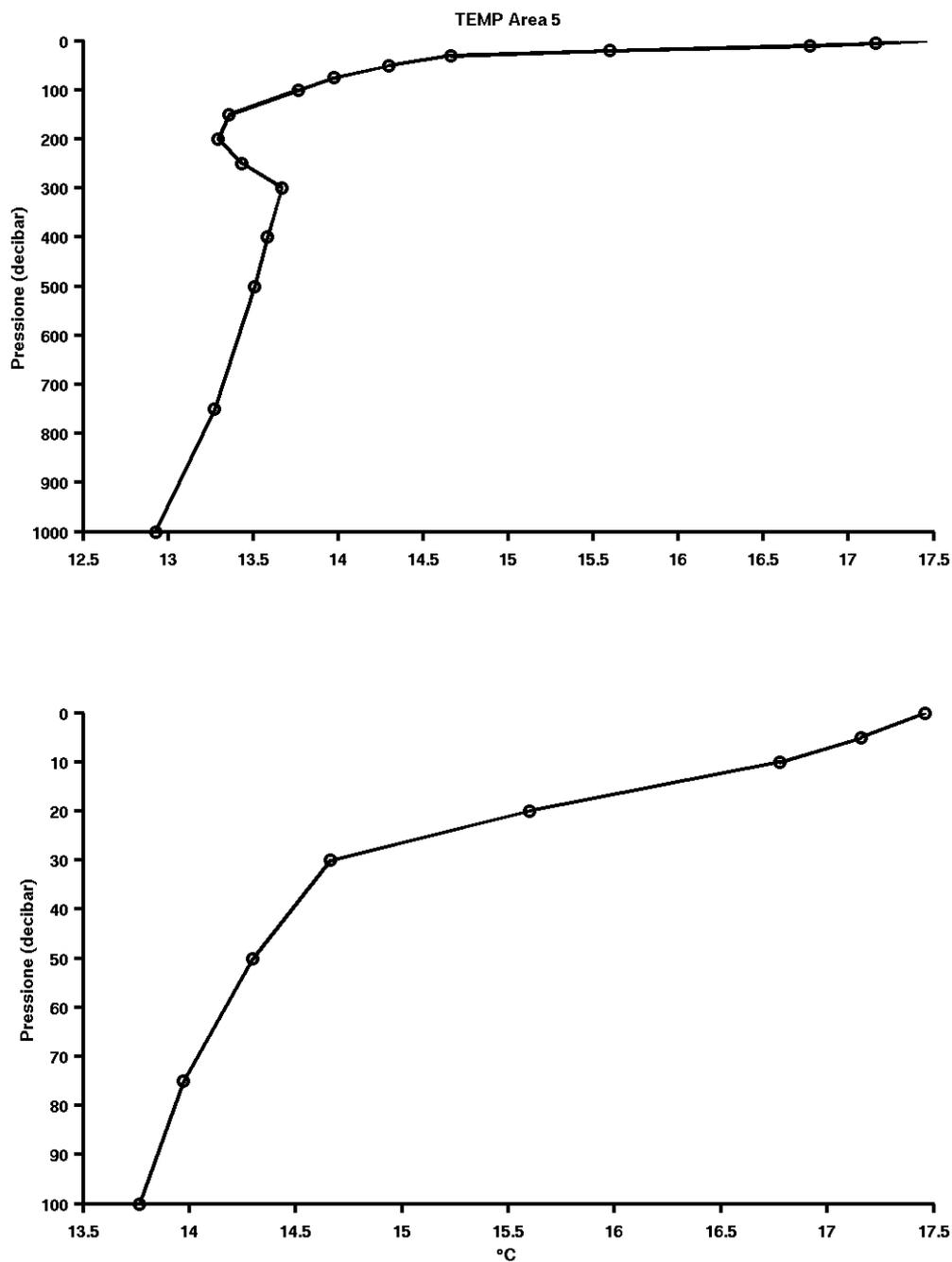


Figura 42. Profili verticali di temperatura, area 5 (Mare Adriatico)

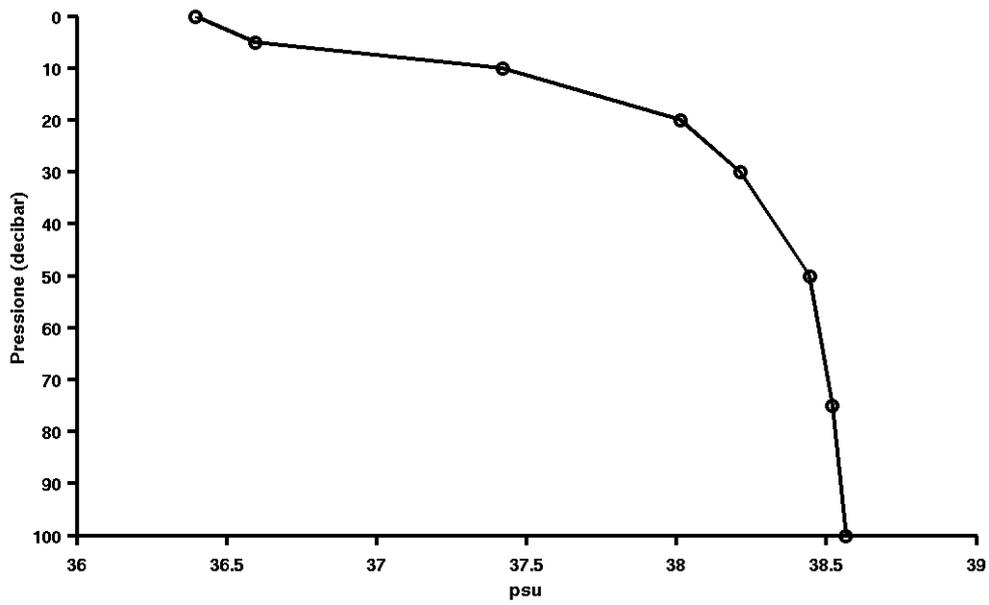
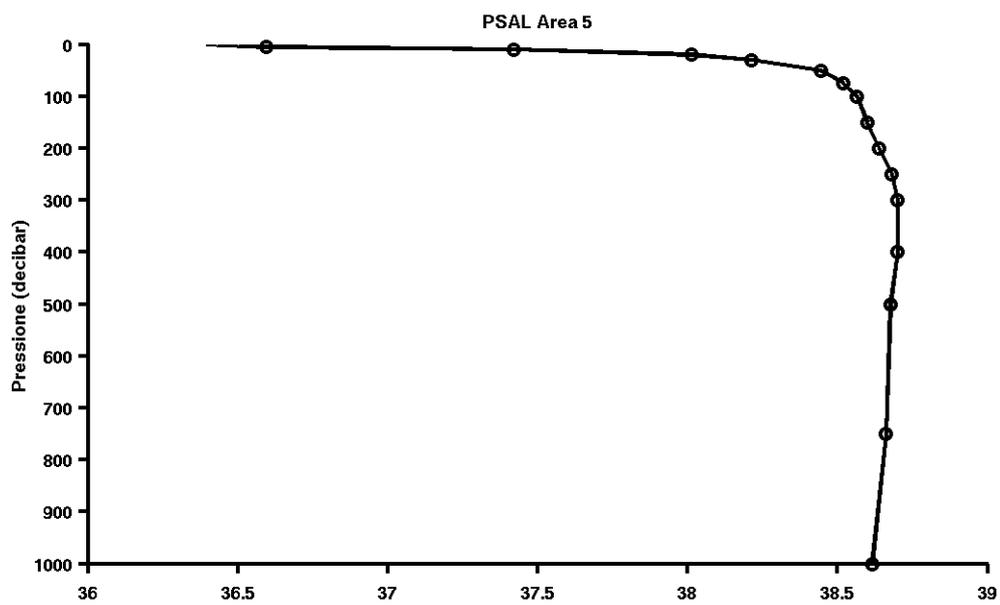


Figura 43. Profili verticali di salinità, area 5 (Mare Adriatico)

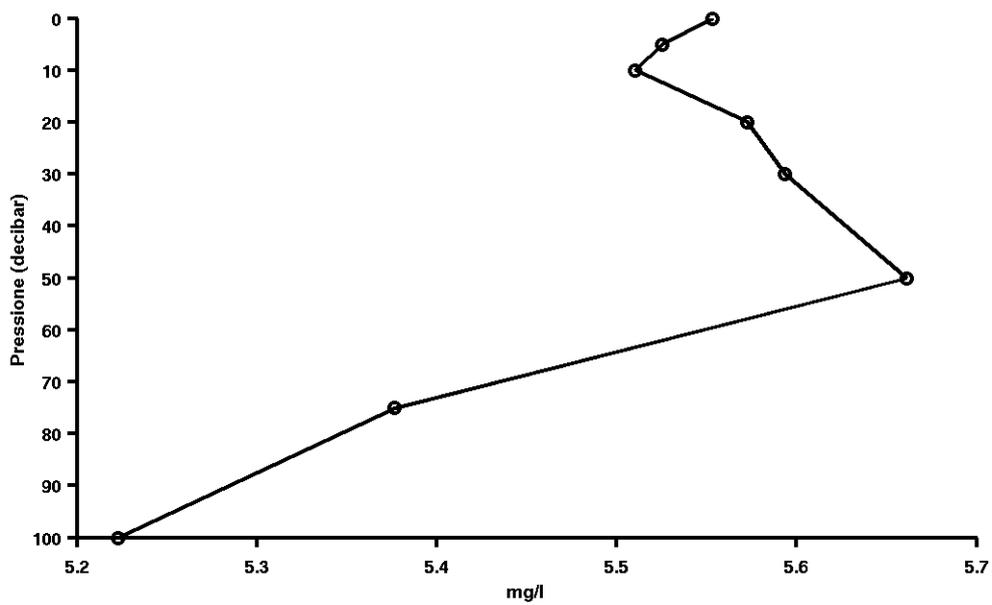
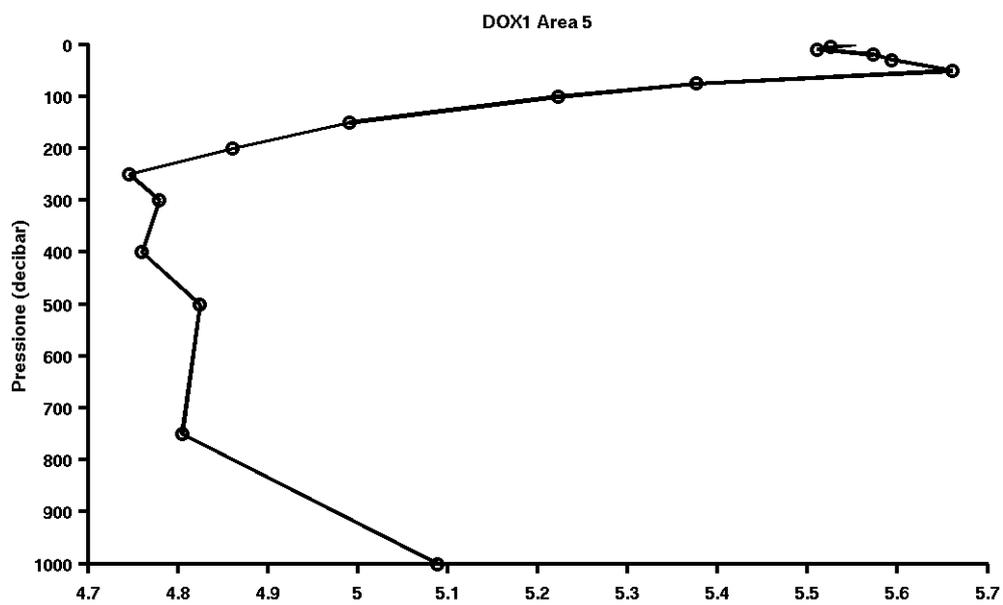


Figura 44. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 5 (Mare Adriatico)

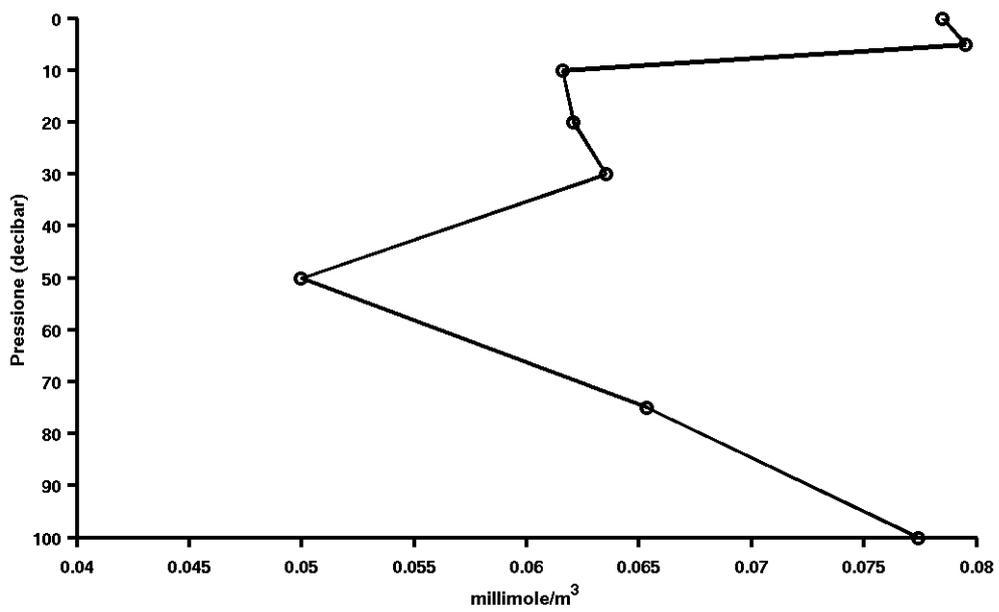
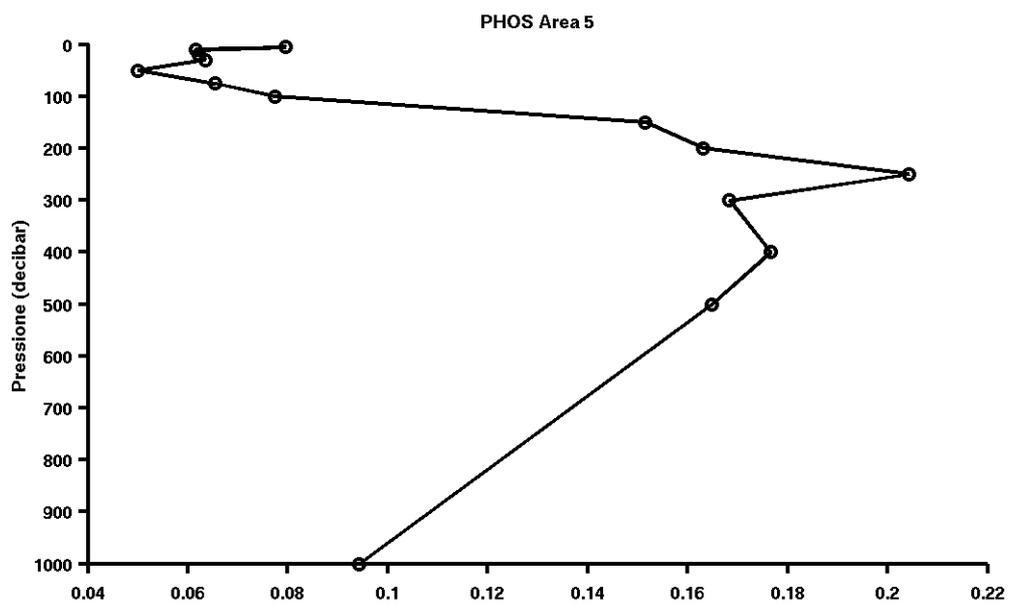


Figura 45. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 5 (Mare Adriatico)

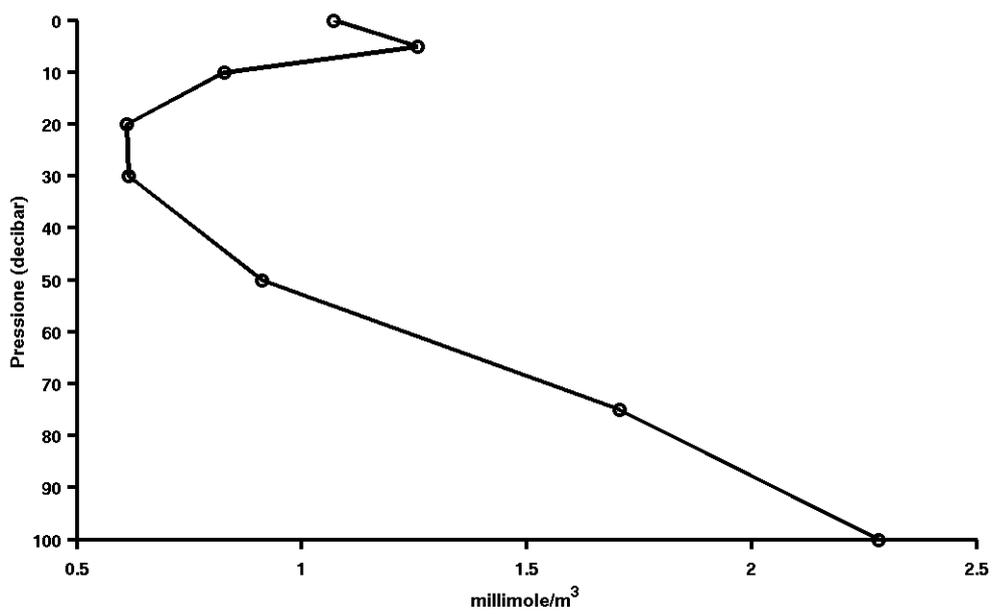
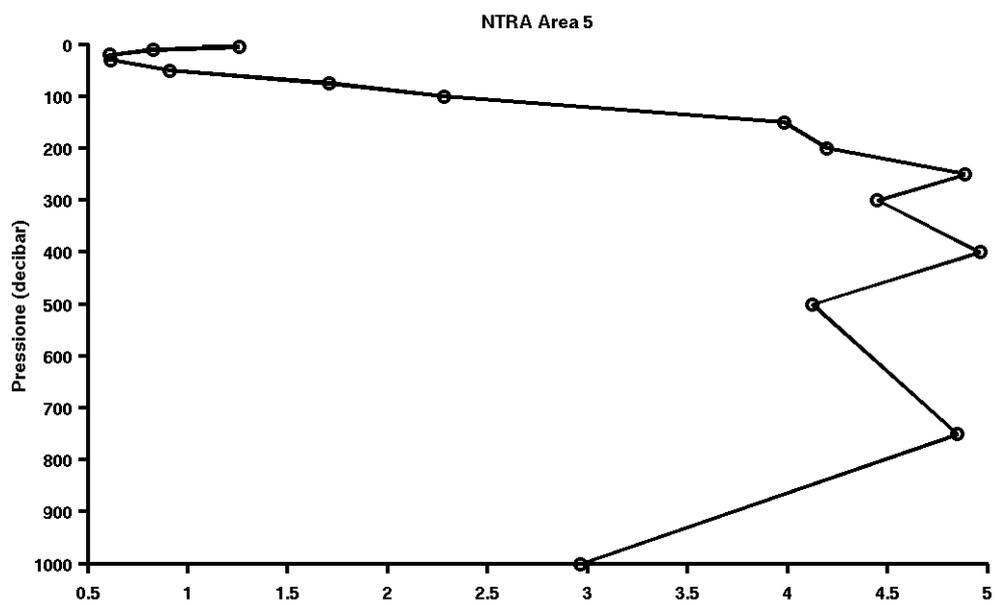


Figura 46. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 5 (Mare Adriatico)

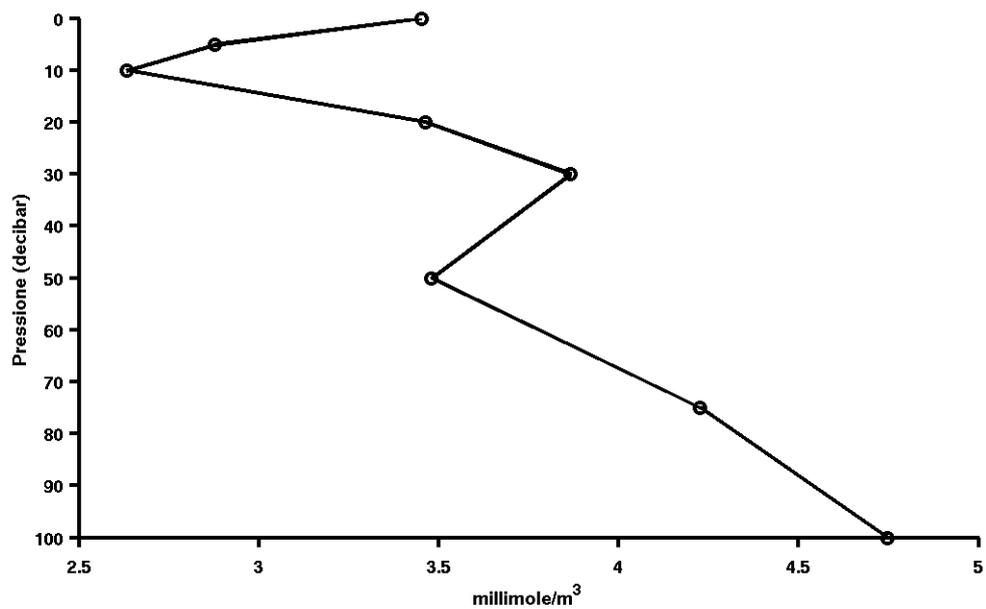
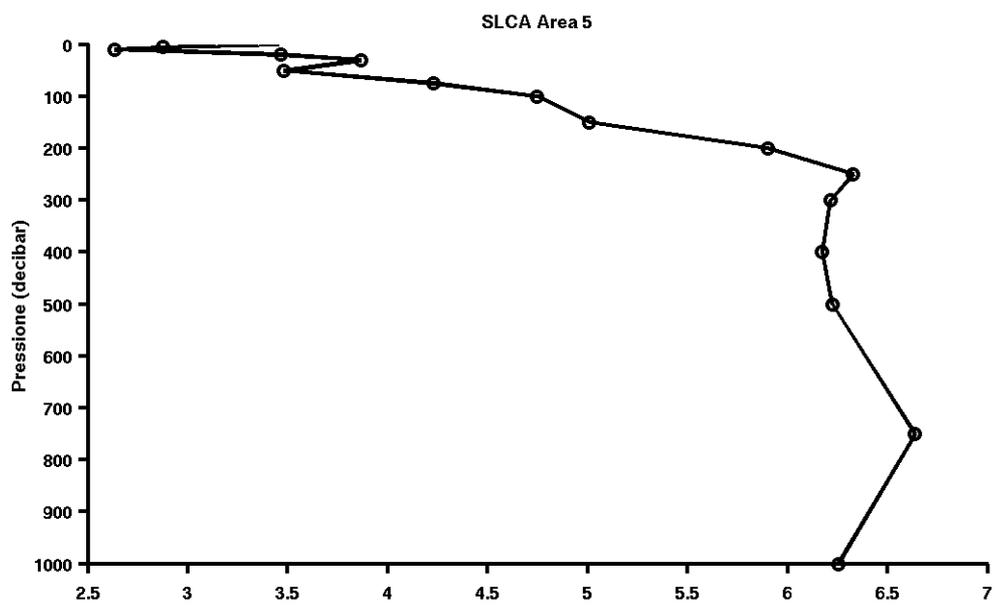


Figura 47. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 5 (Mare Adriatico)

6. Area 6 Mar Ionio Settentrionale

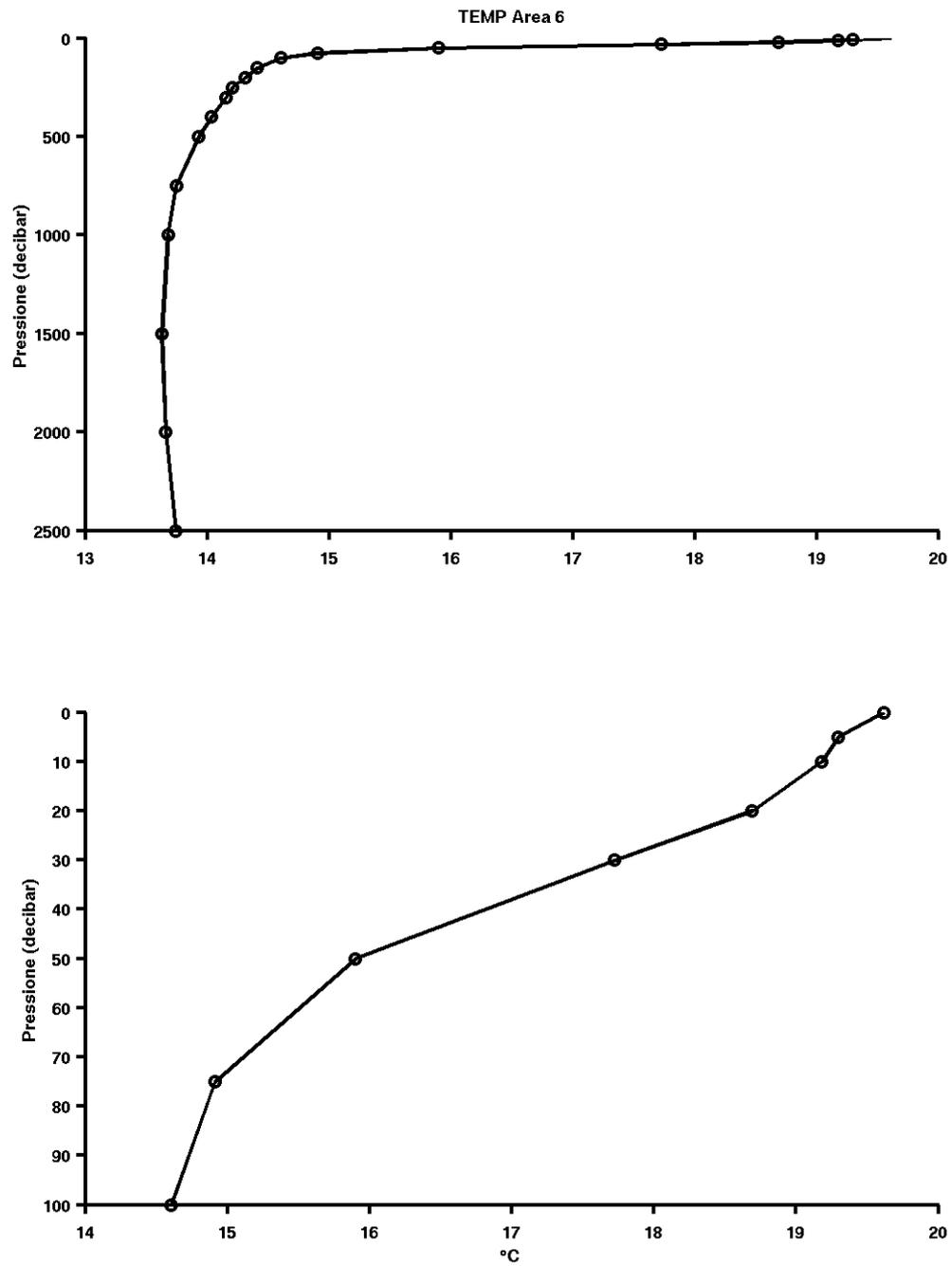


Figura 48. Profili verticali di temperatura, area 6 (Mar Ionio Settentrionale)

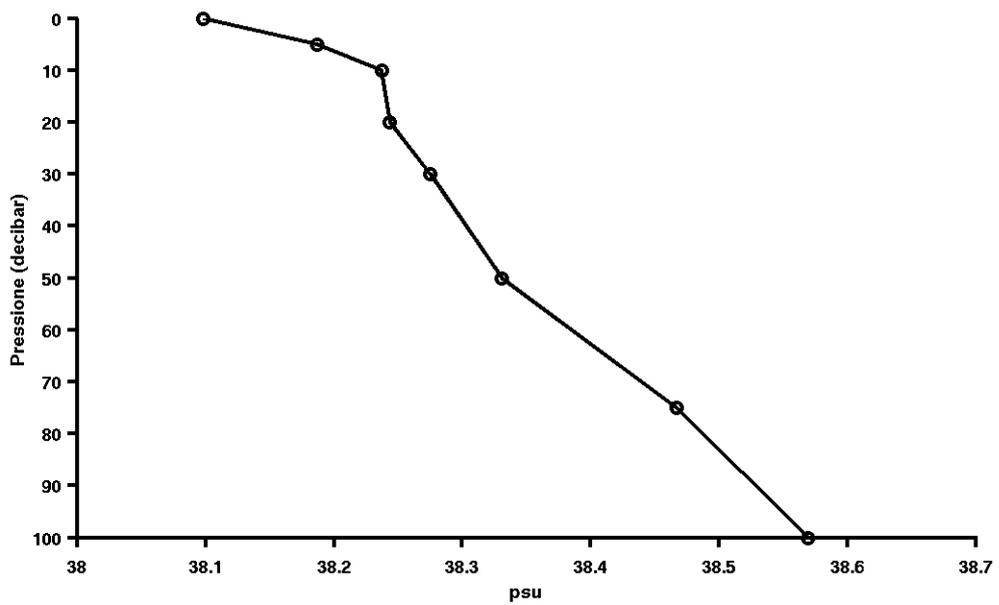
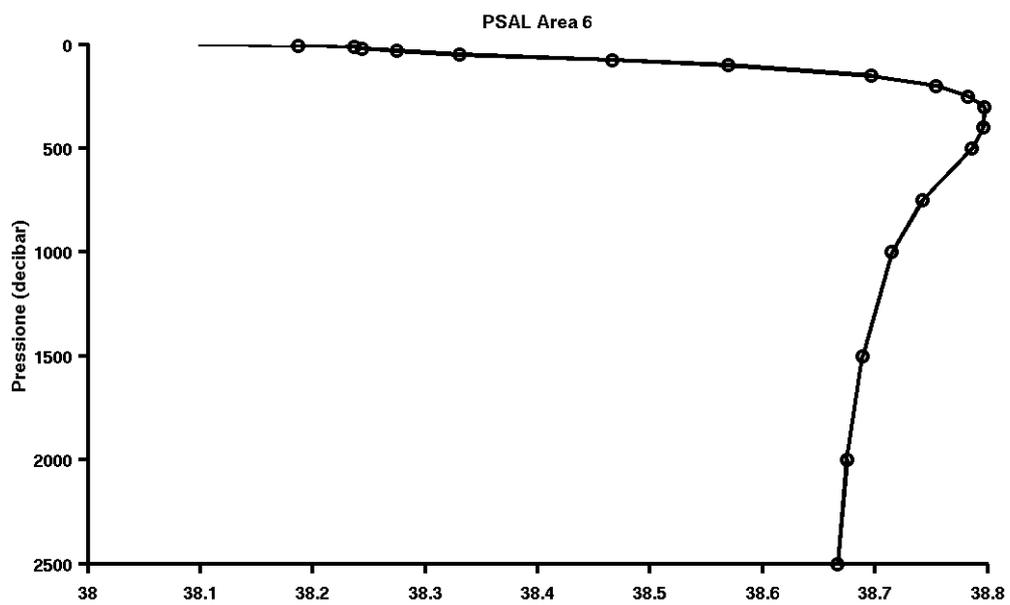


Figura 49. Profili verticali di salinità, area 6 (Mar Ionio Settentrionale)

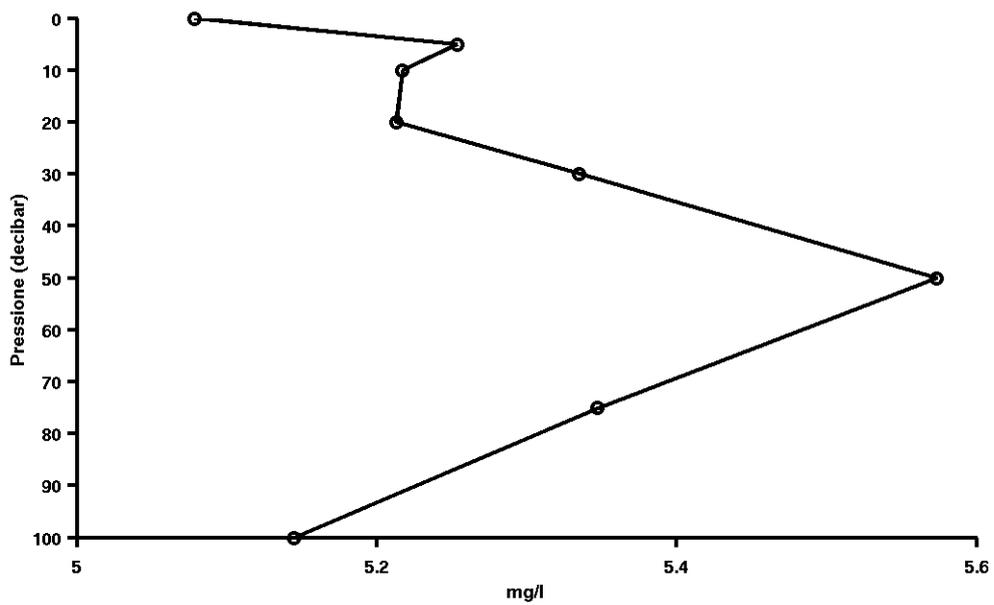
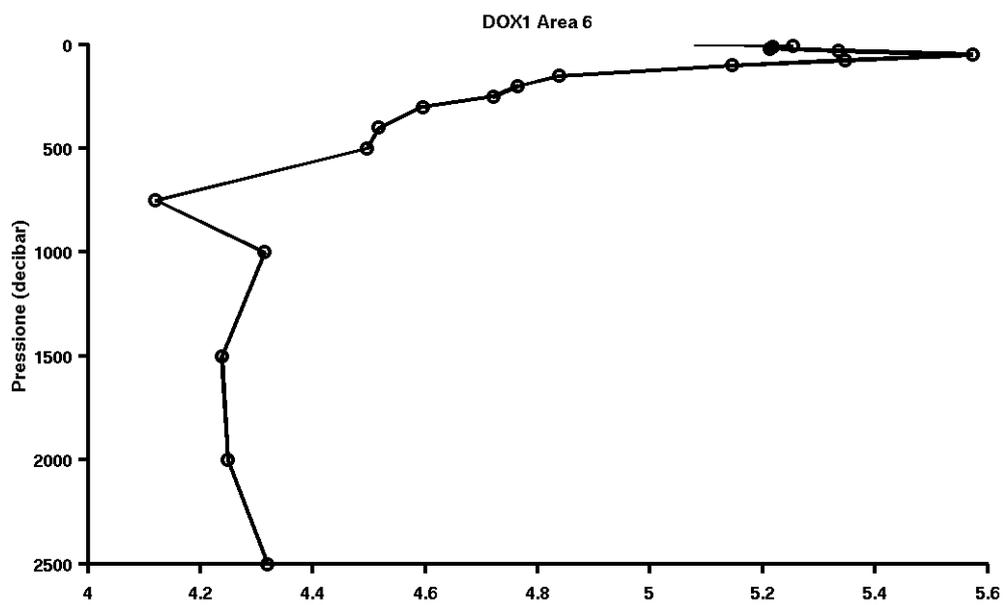


Figura 50. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 6 (Mar Ionio Settentrionale)

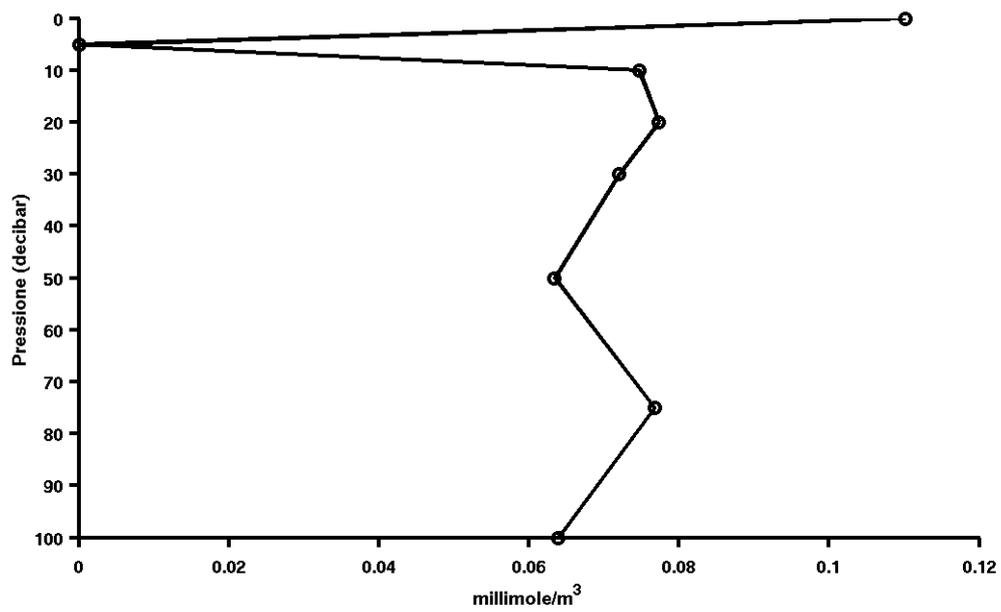
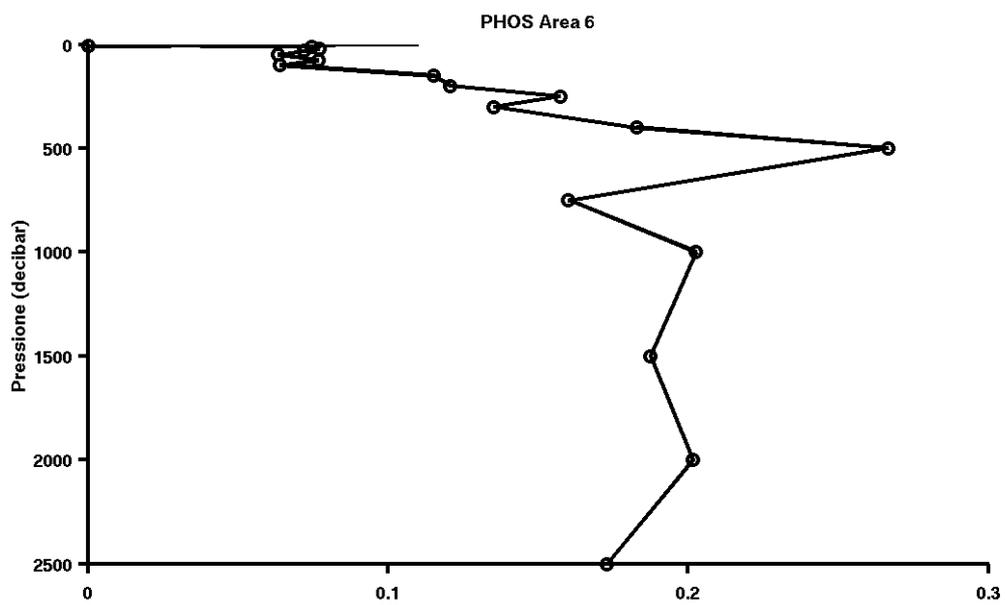


Figura 51. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 6 (Mar Ionio Settentrionale)

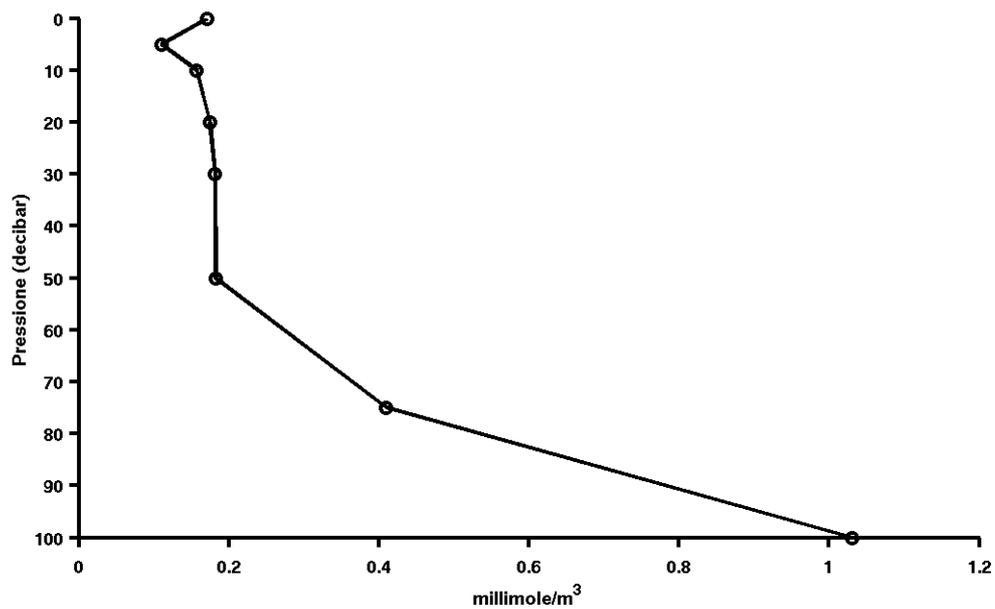
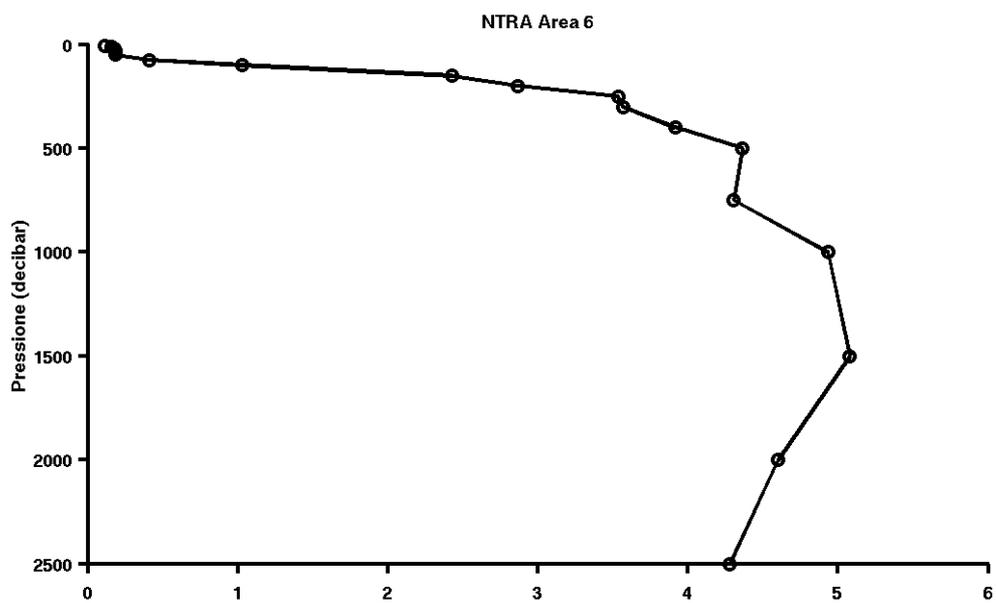


Figura 52. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 6 (Mar Ionio Settentrionale)

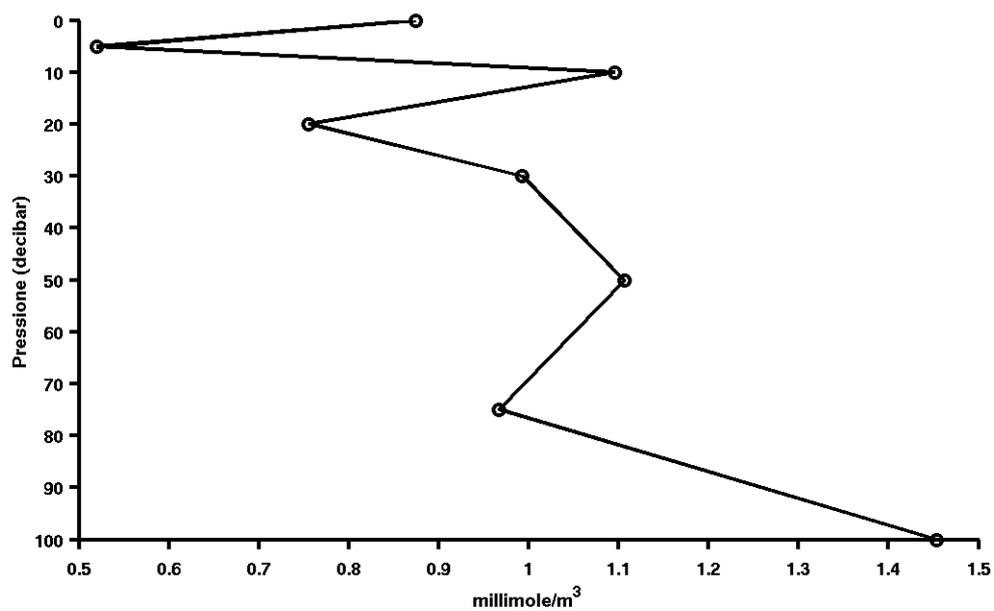
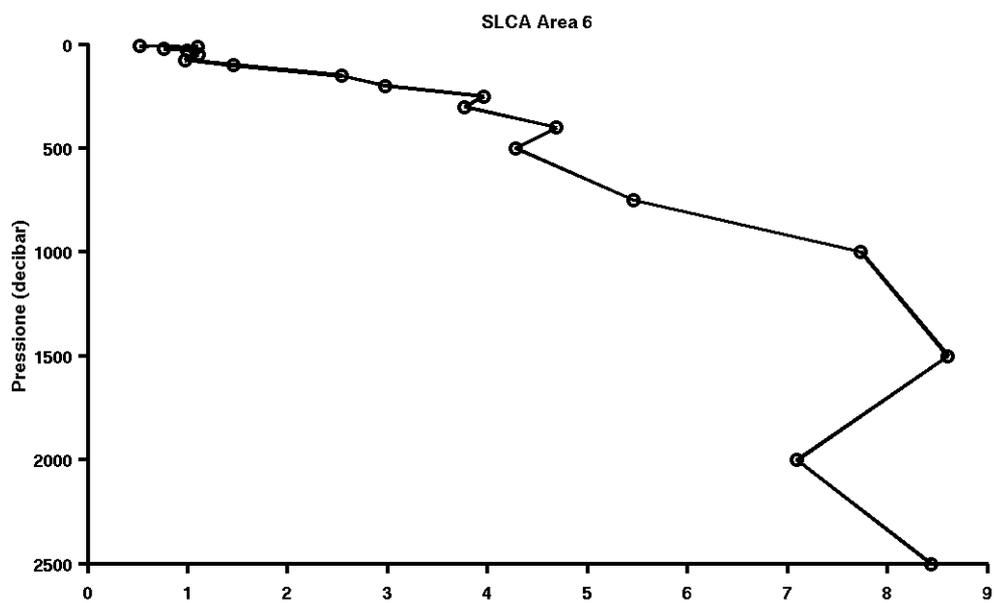


Figura 53. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 6 (Mar Ionio Settentrionale)

7. Area 7 Canale di Sicilia

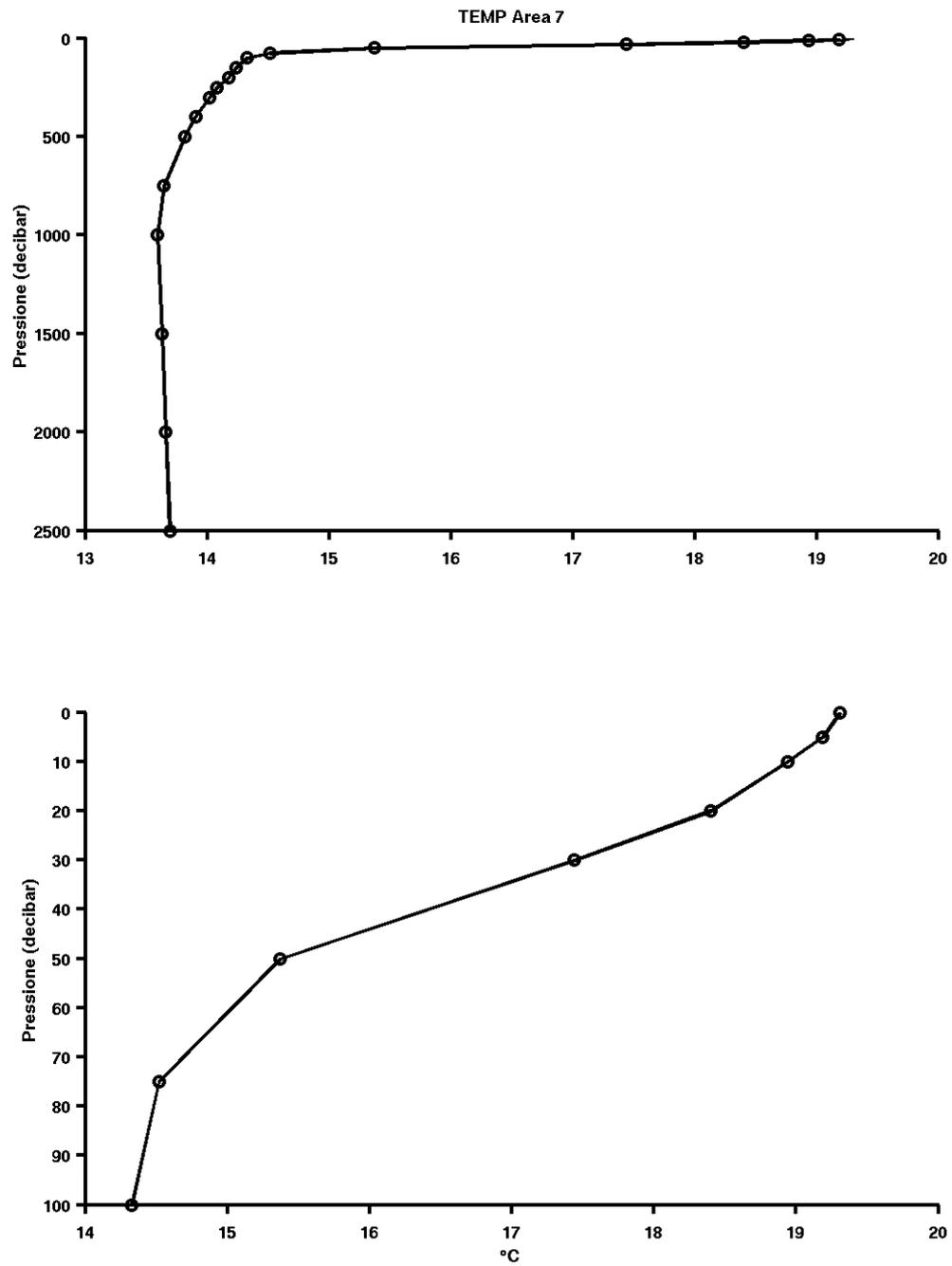


Figura 54. Profili verticali di temperatura, area 7 (Canale di Sicilia)

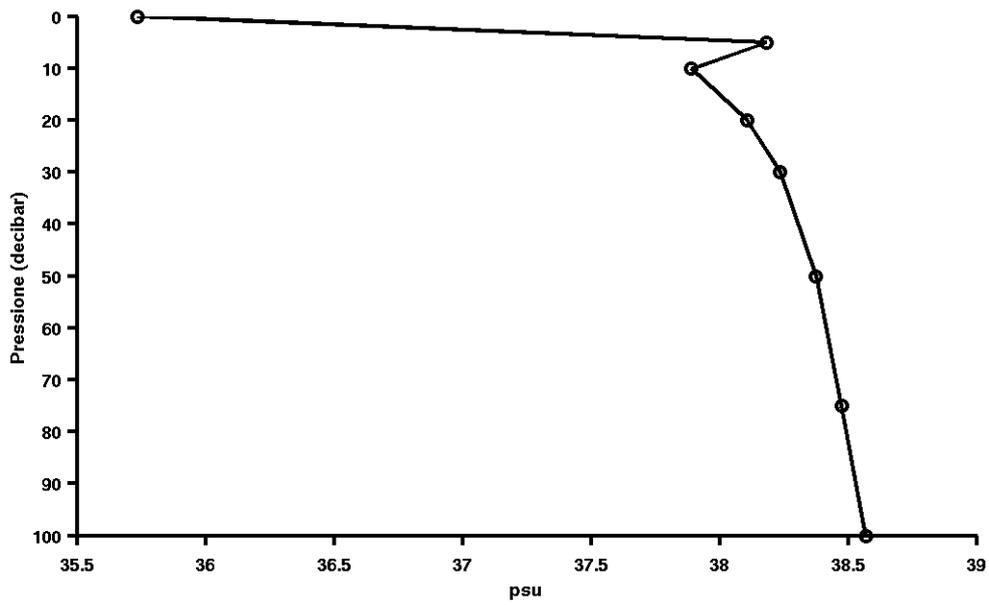
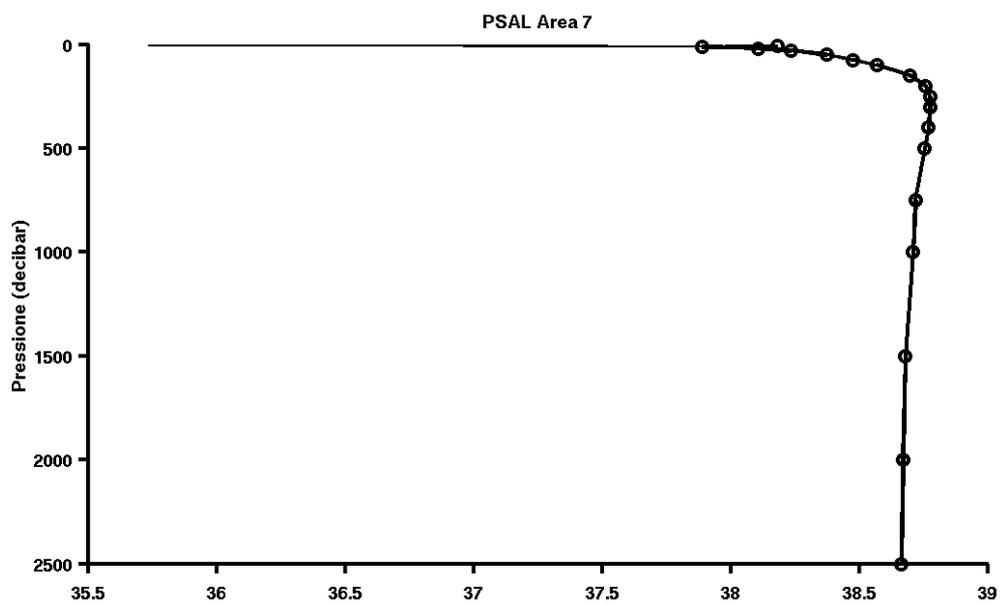


Figura 55. Profili verticali di salinità, area 7 (Canale di Sicilia)

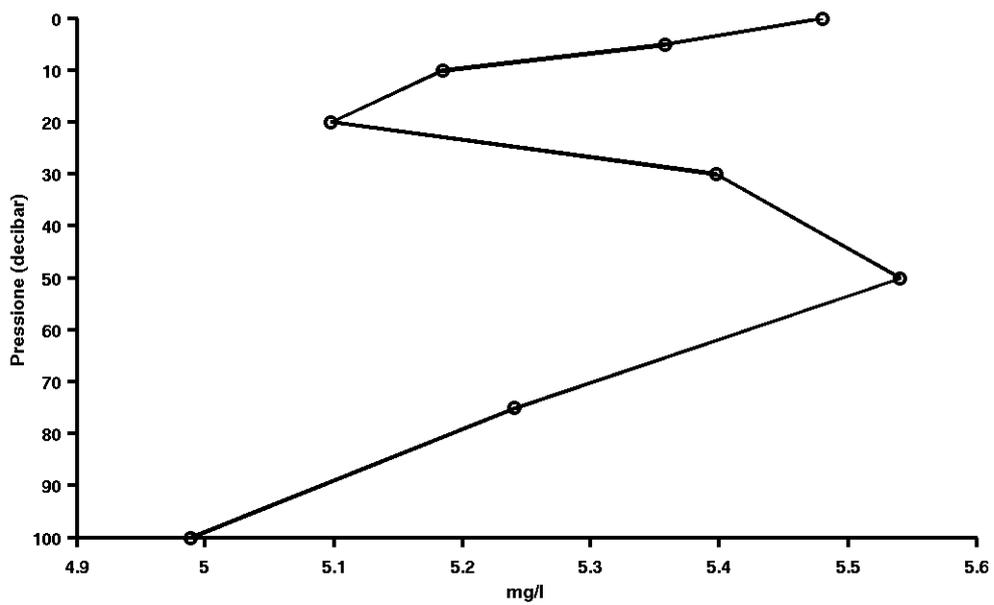
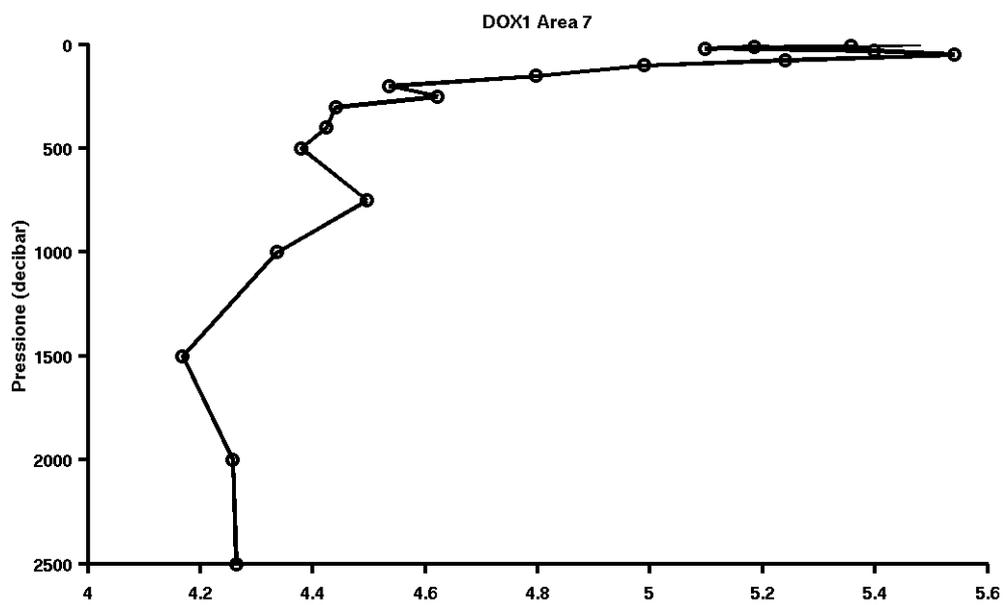


Figura 56. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 7 (Canale di Sicilia)

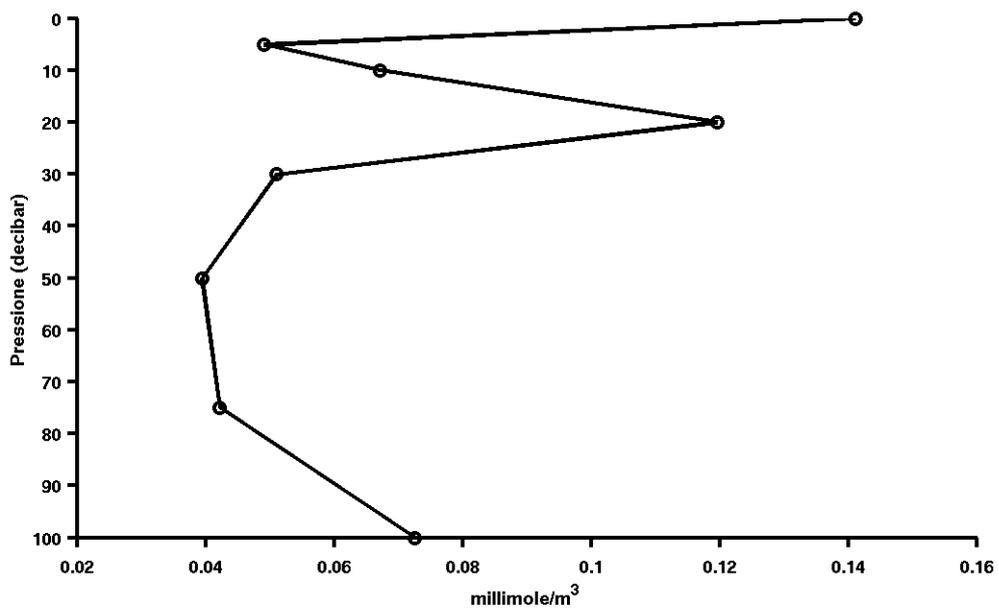
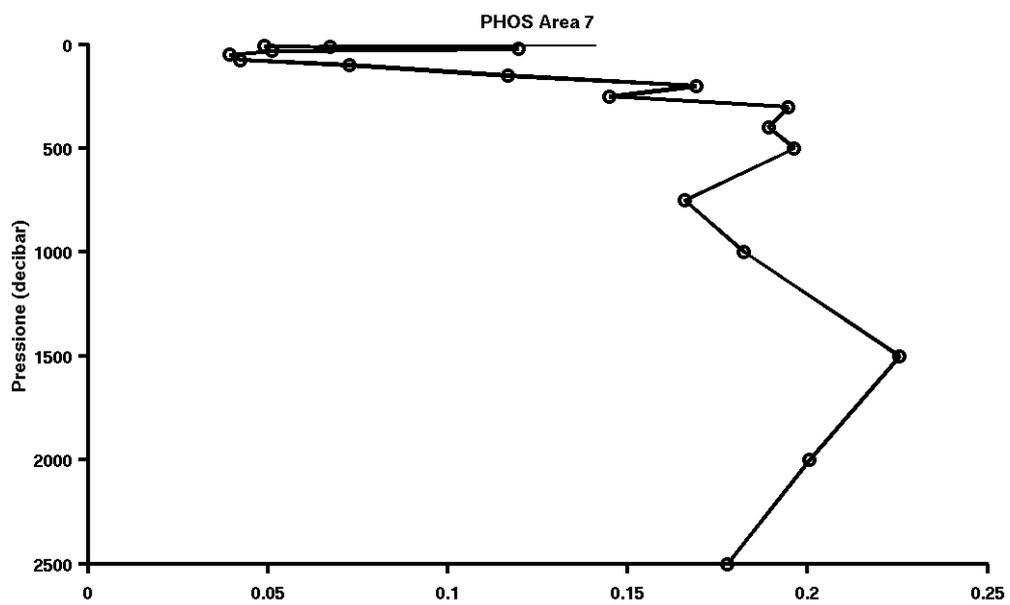


Figura 57. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 7 (Canale di Sicilia)

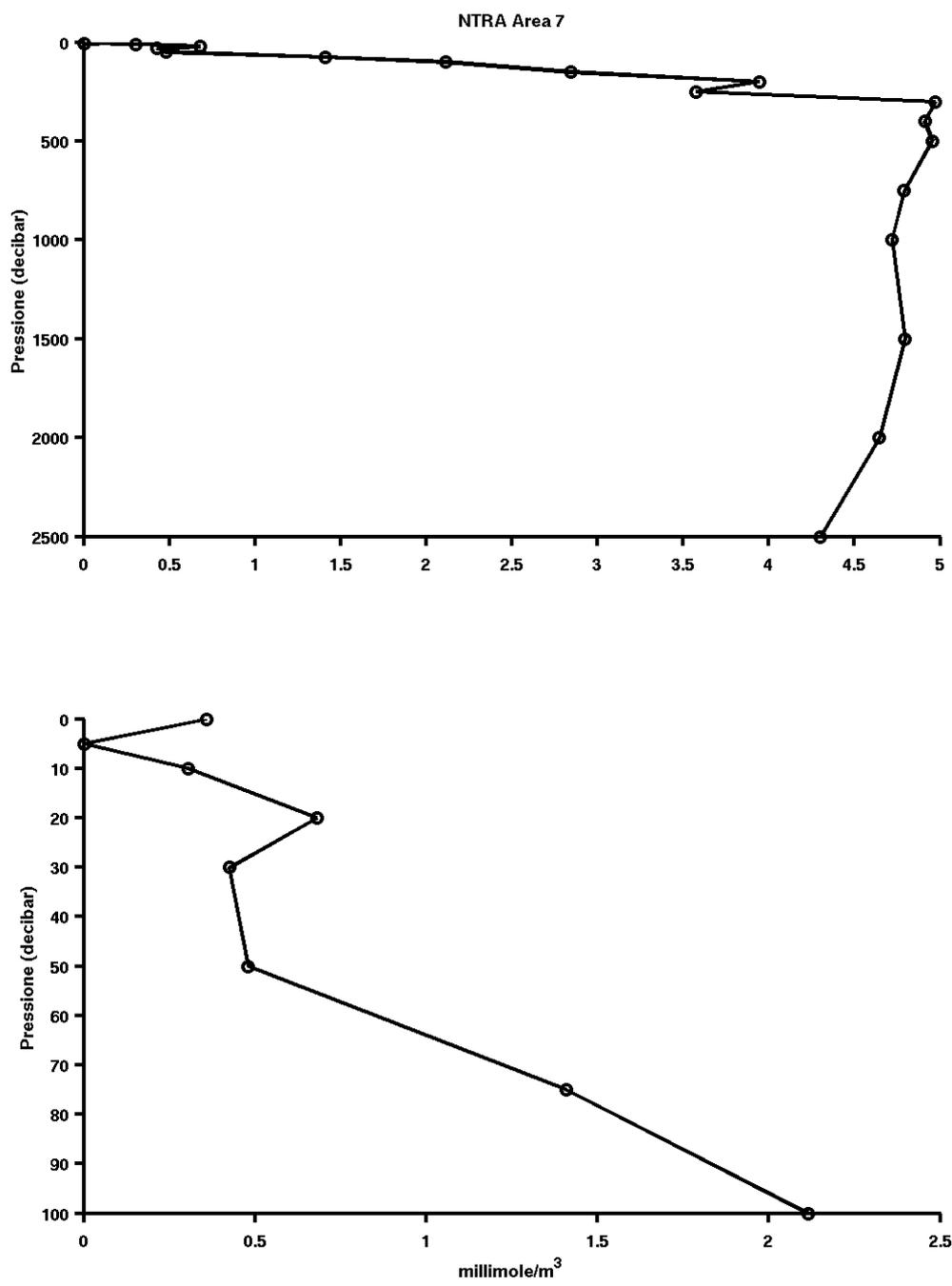


Figura 58. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 7 (Canale di Sicilia)

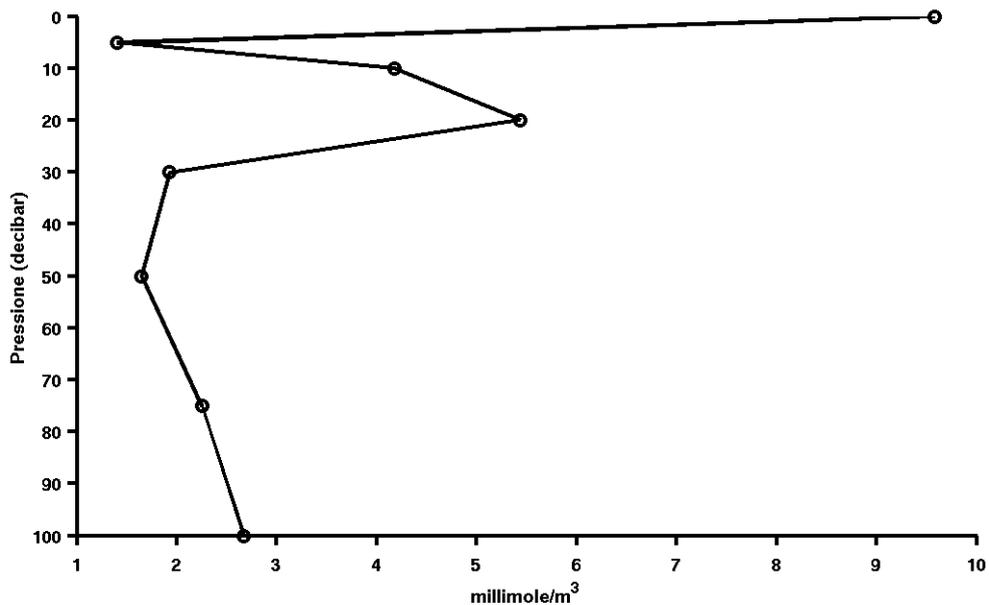
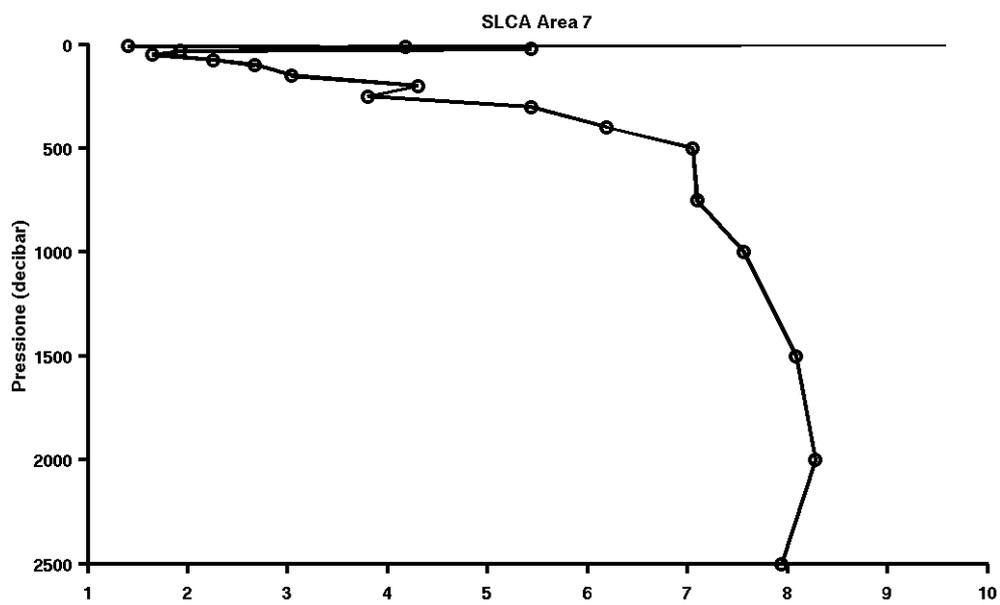


Figura 59. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 7 (Canale di Sicilia)

8. Area 8 Mar Ionio Meridionale e Mar Libico

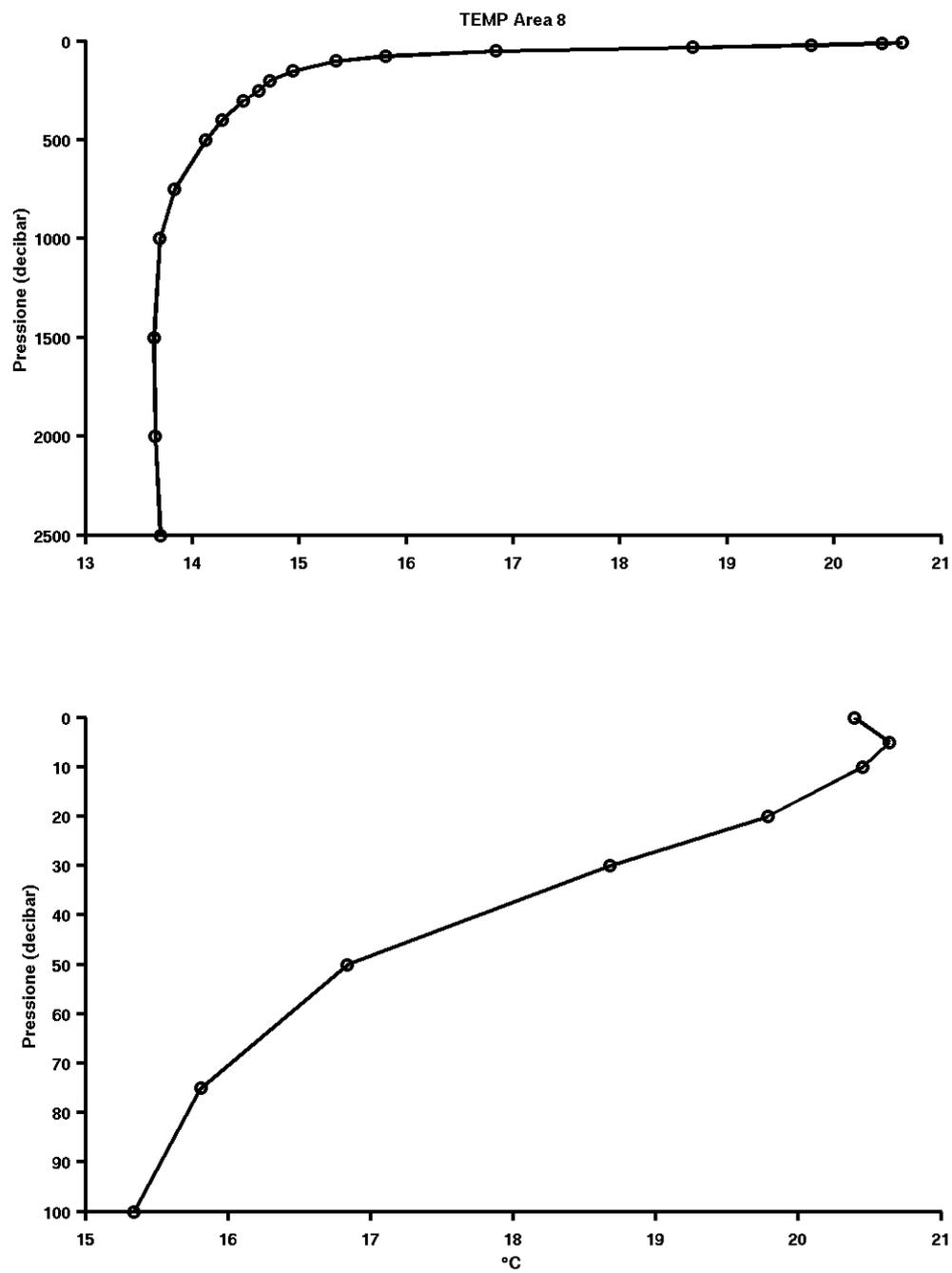


Figura 60. Profili verticali di temperatura, area 8 (Mar Ionio Meridionale e Mar Libico)

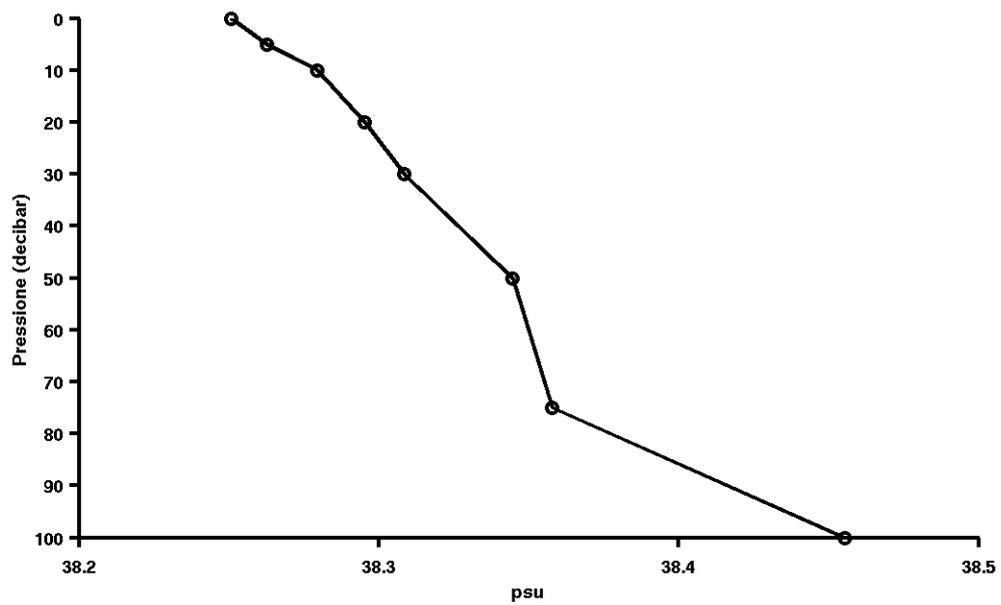
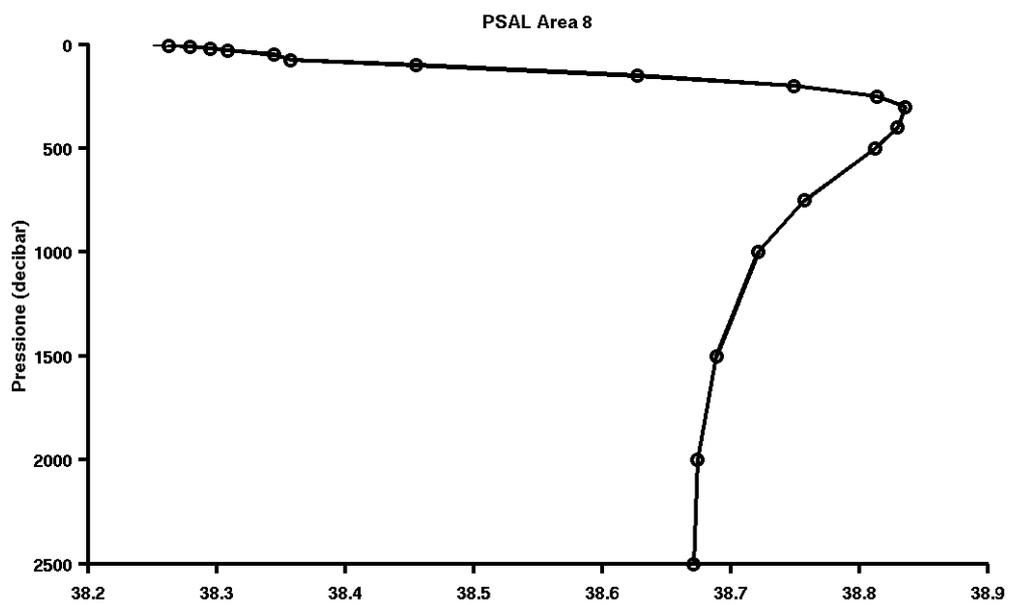


Figura 61. Profili verticali di salinità, area 8 (Mar Ionio Meridionale e Mar Libico)

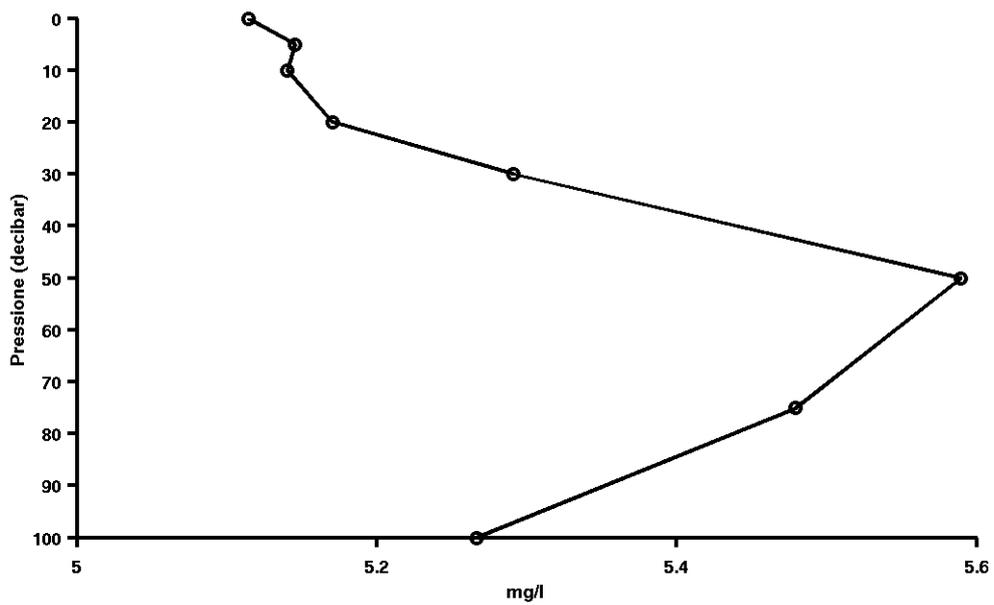
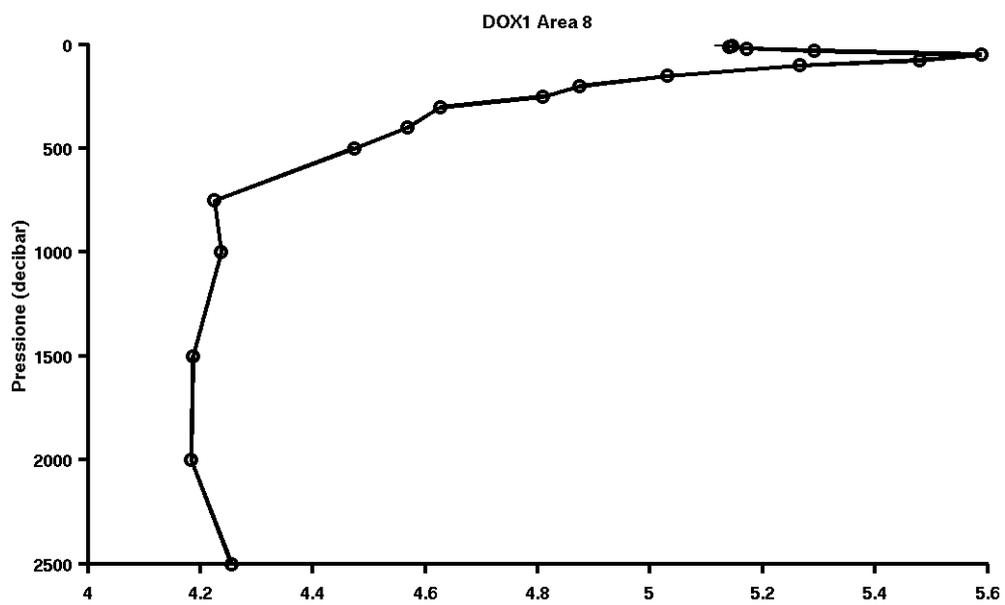


Figura 62. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 8 (Mar Ionio Meridionale e Mar Libico)

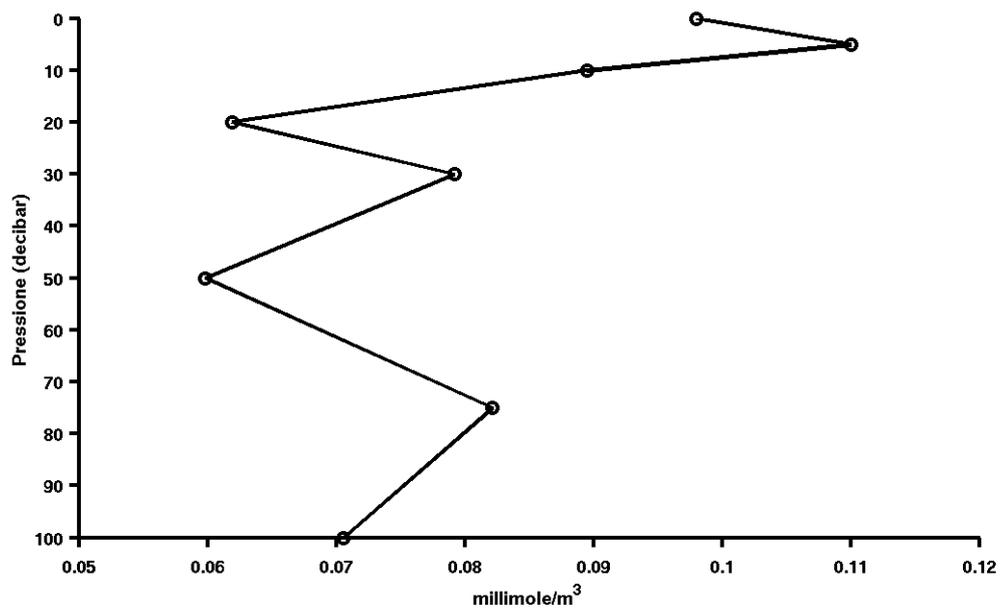
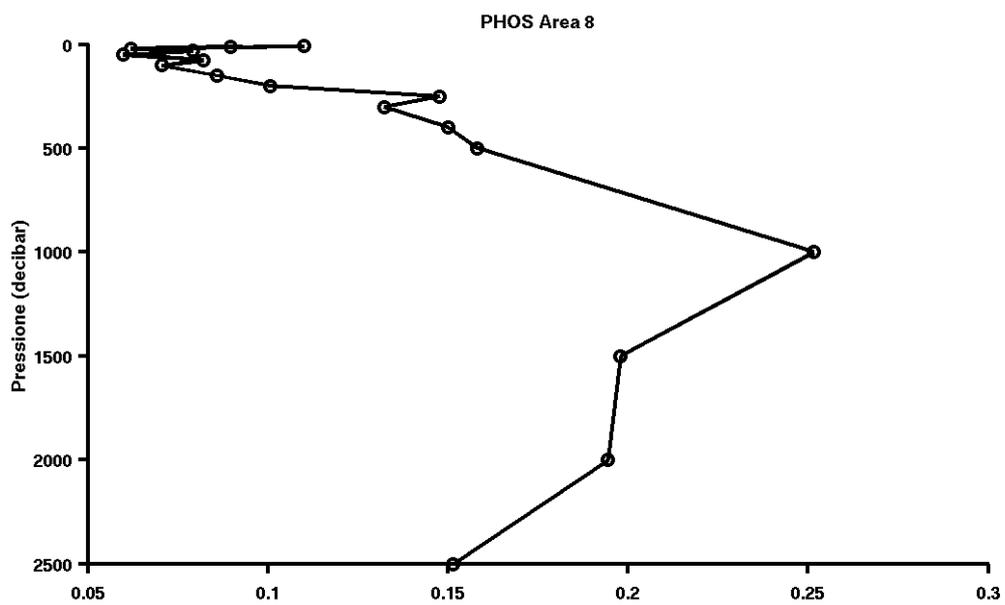


Figura 63. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 8 (Mar Ionio Meridionale e Mar Libico)

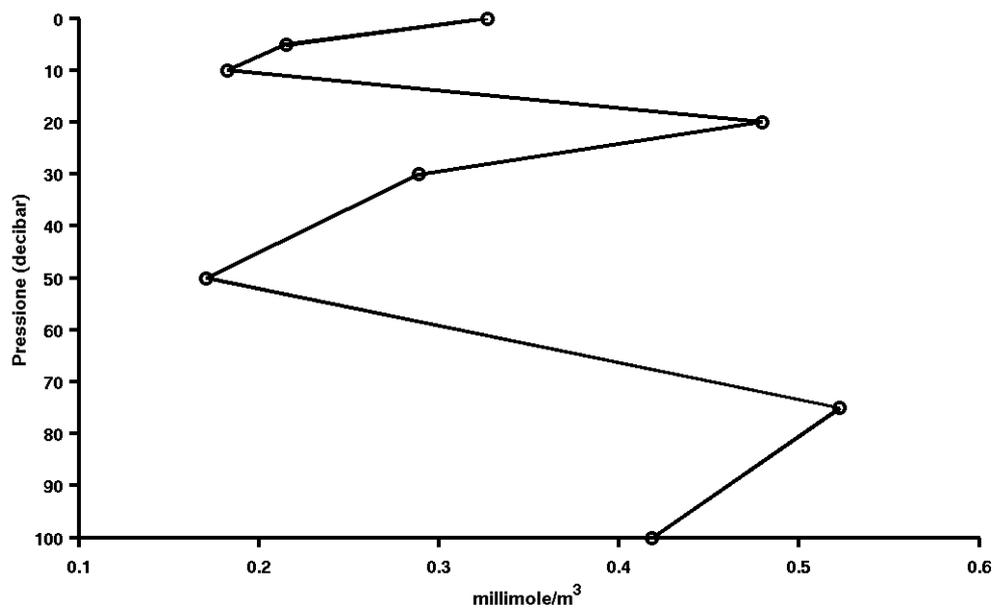
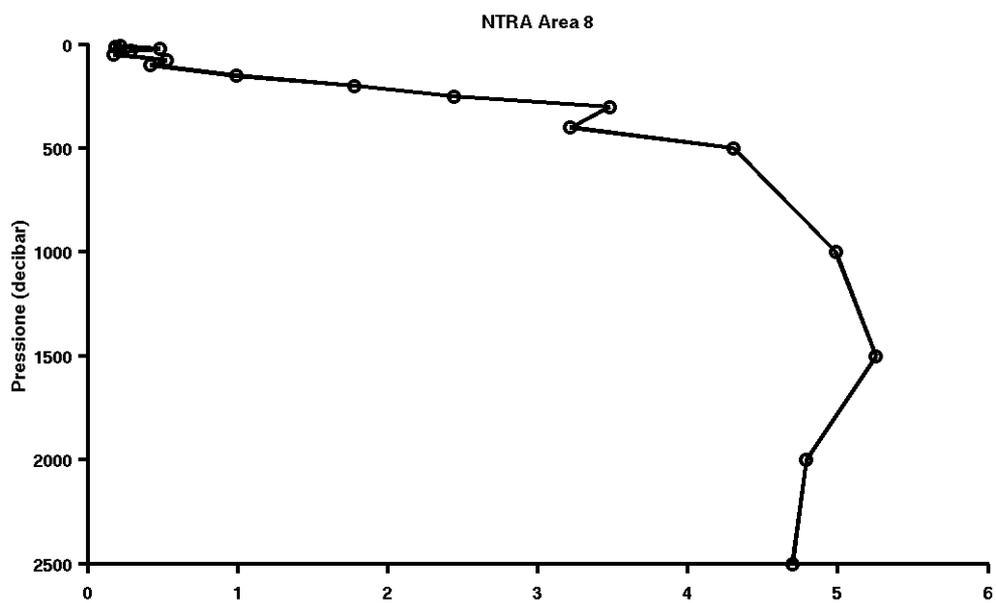


Figura 64. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 8 (Mar Ionio Meridionale e Mar Libico)

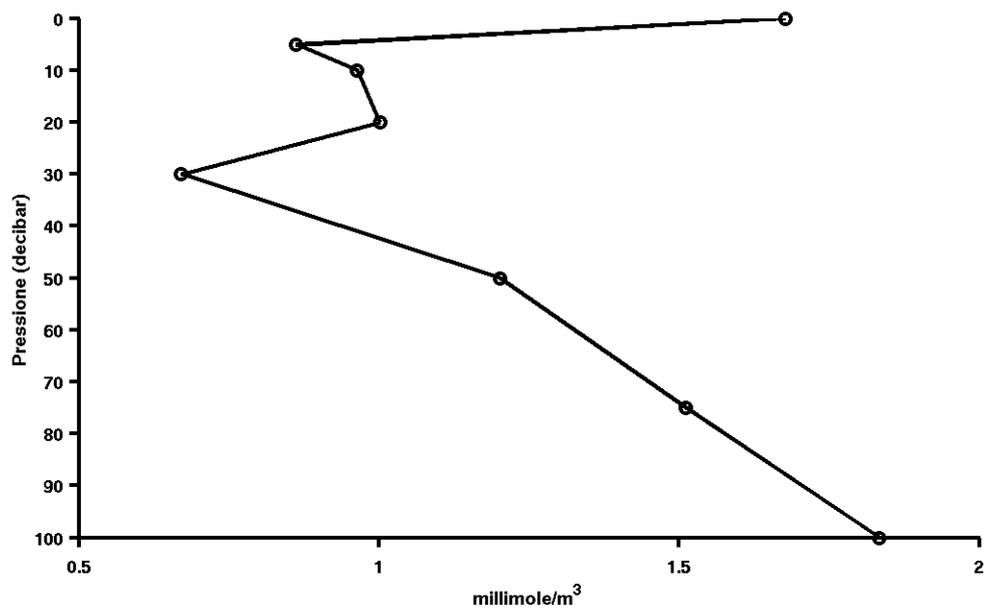
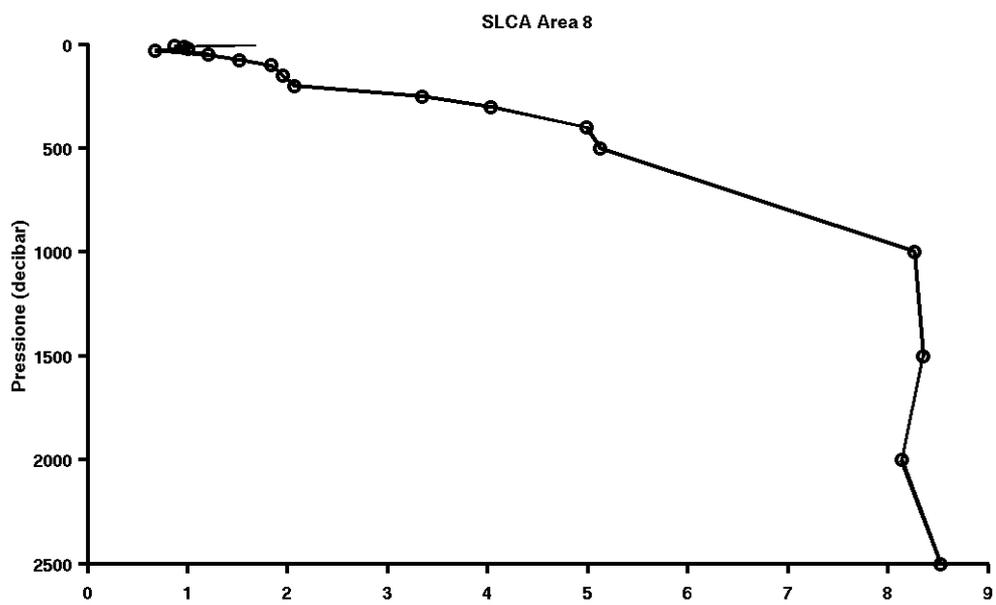


Figura 65. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 8 (Mar Ionio Meridionale e Mar Libico)

9. Area 9 Mar Egeo

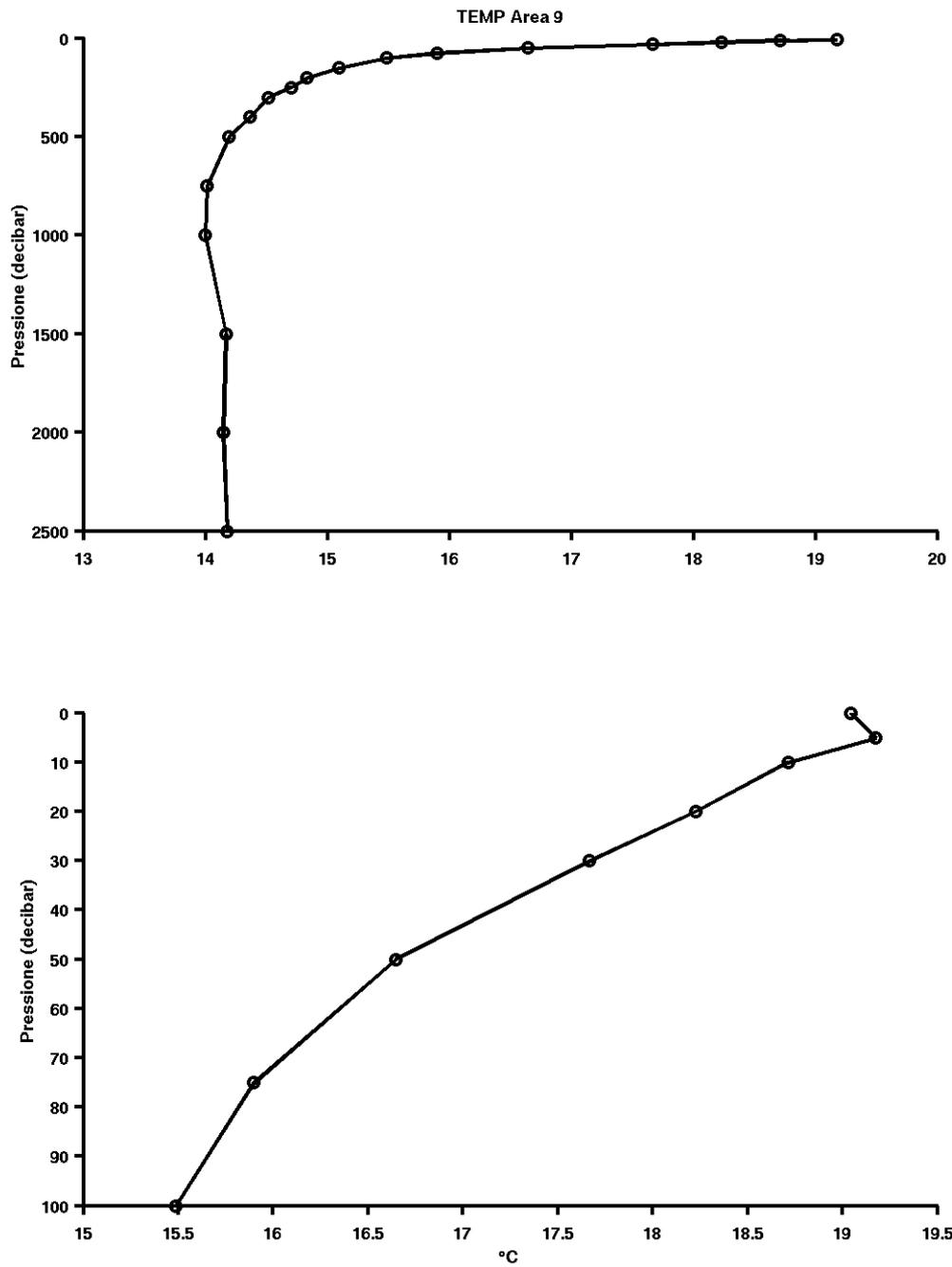


Figura 66. Profili verticali di temperatura, area 9 (Mar Egeo)

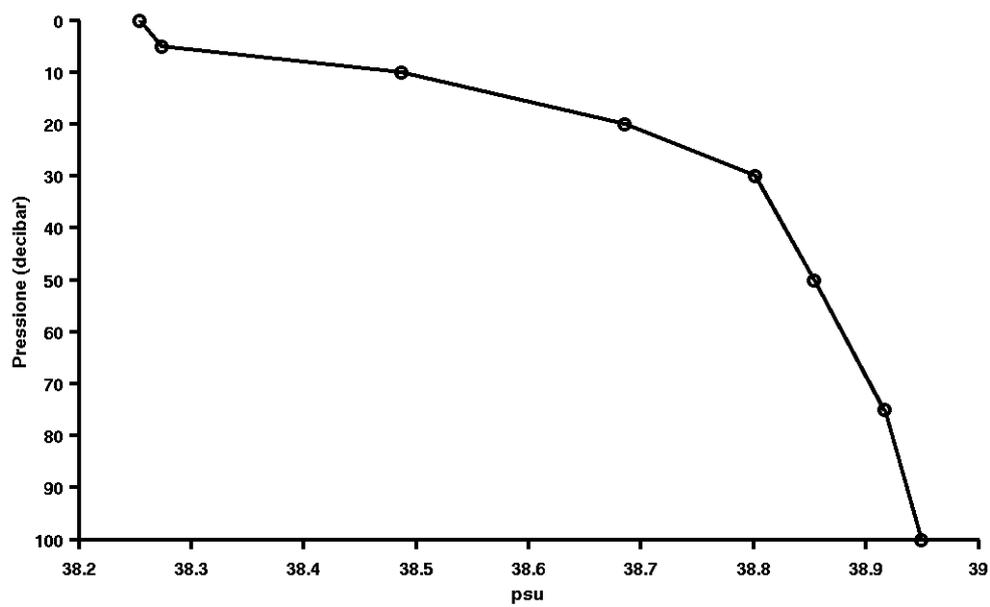
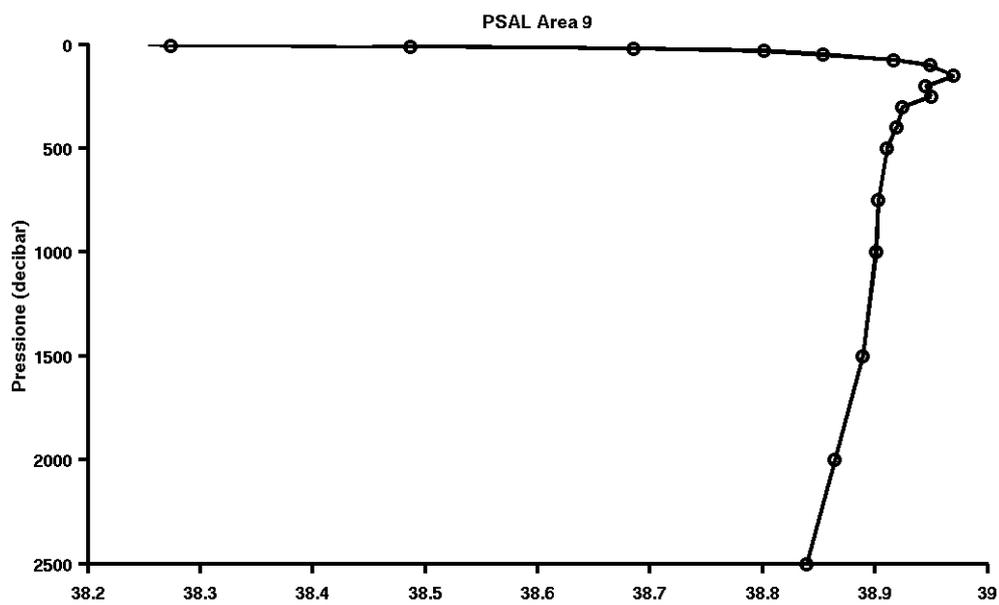


Figura 67. Profili verticali di salinità, area 9 (Mar Egeo)

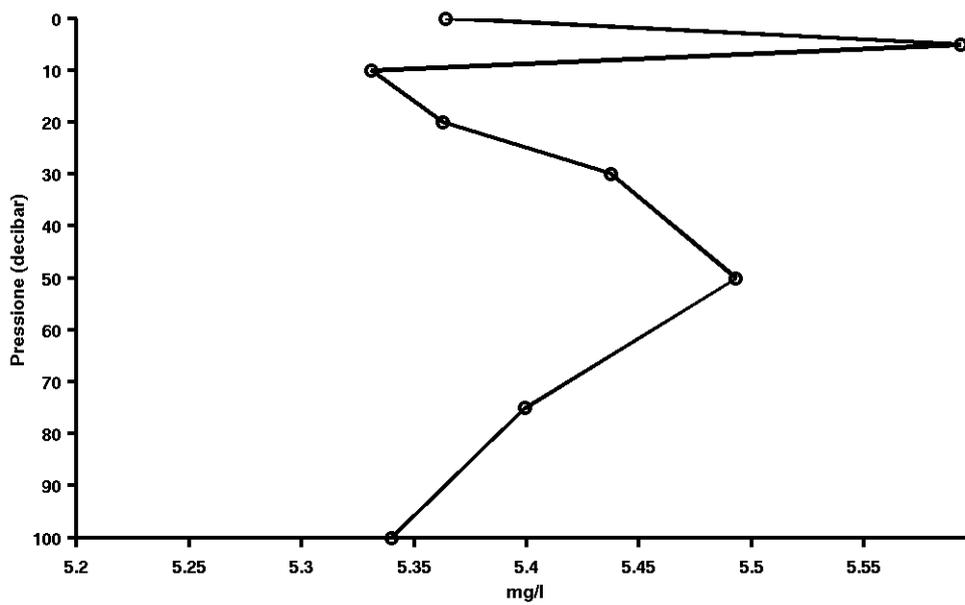
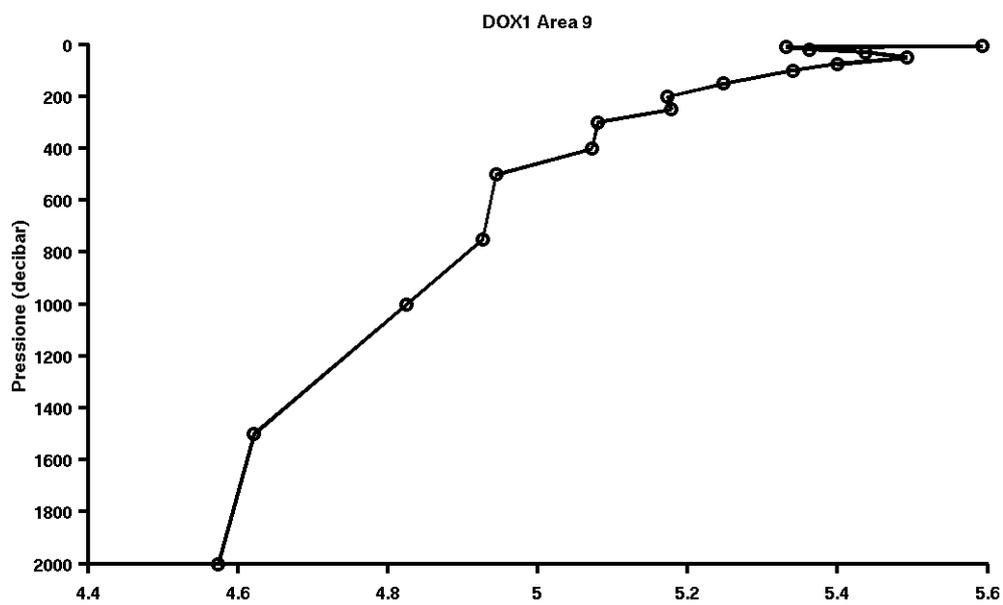


Figura 68. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 9 (Mar Egeo)

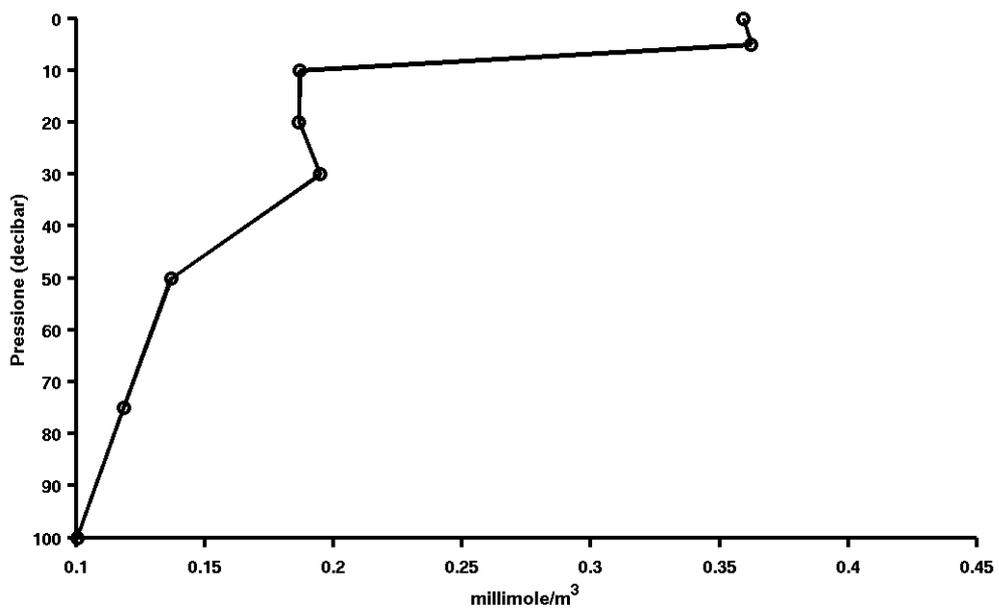
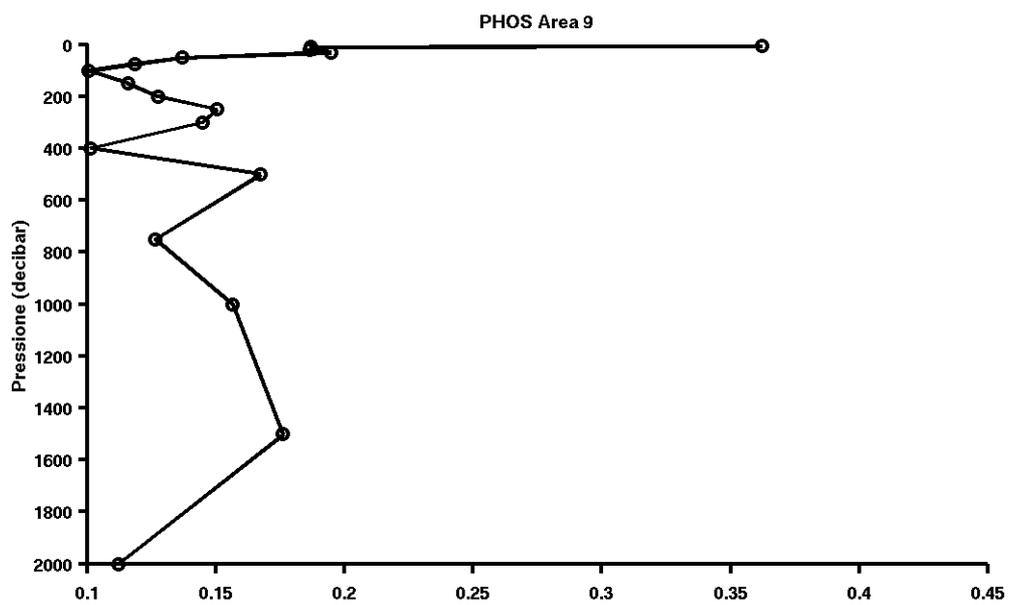


Figura 69. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 9 (Mar Egeo)

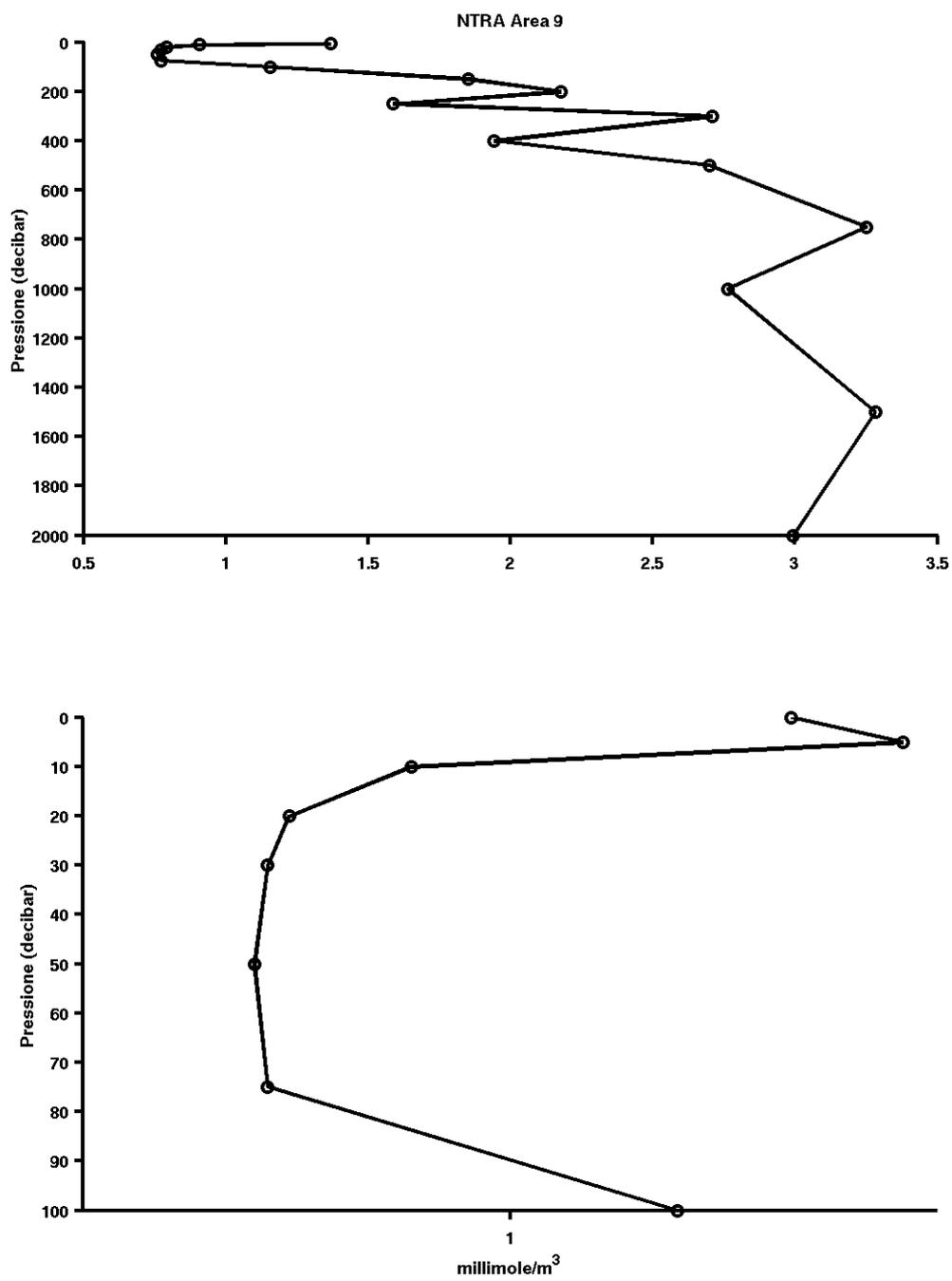


Figura 70. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 9 (Mar Egeo)

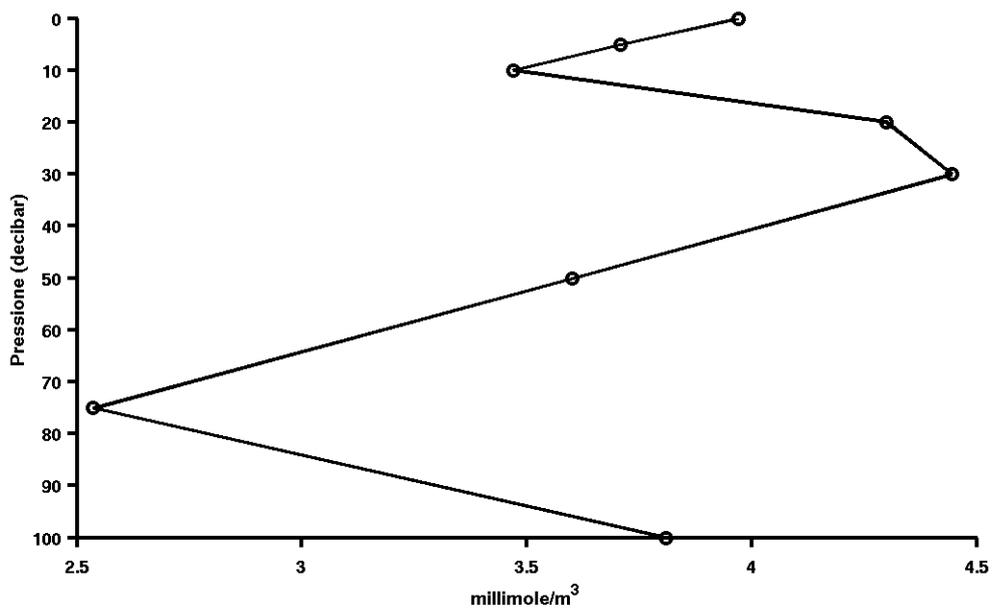
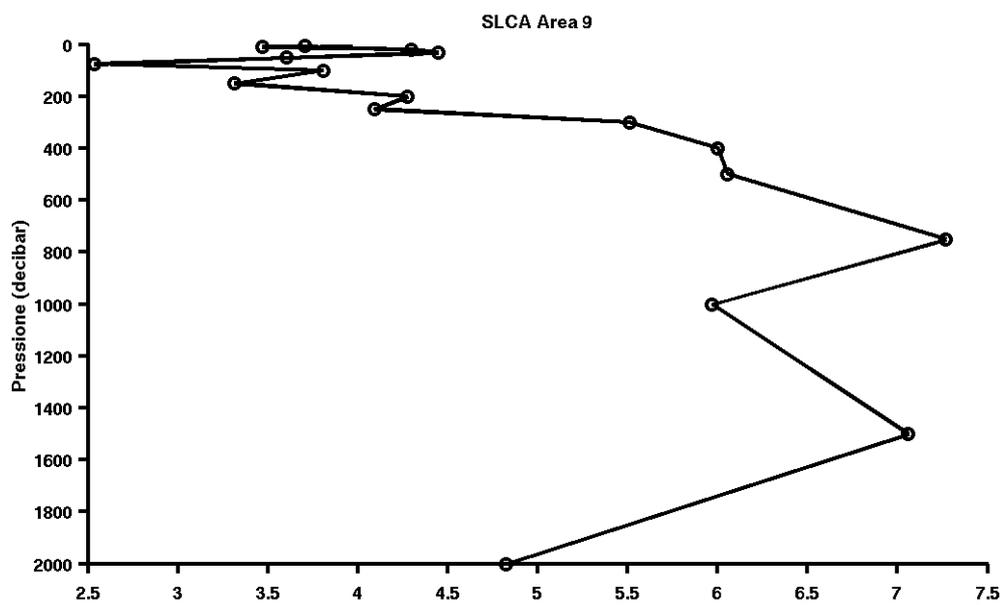


Figura 71. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 9 (Mar Egeo)

10. Area 10 Mare di Creta

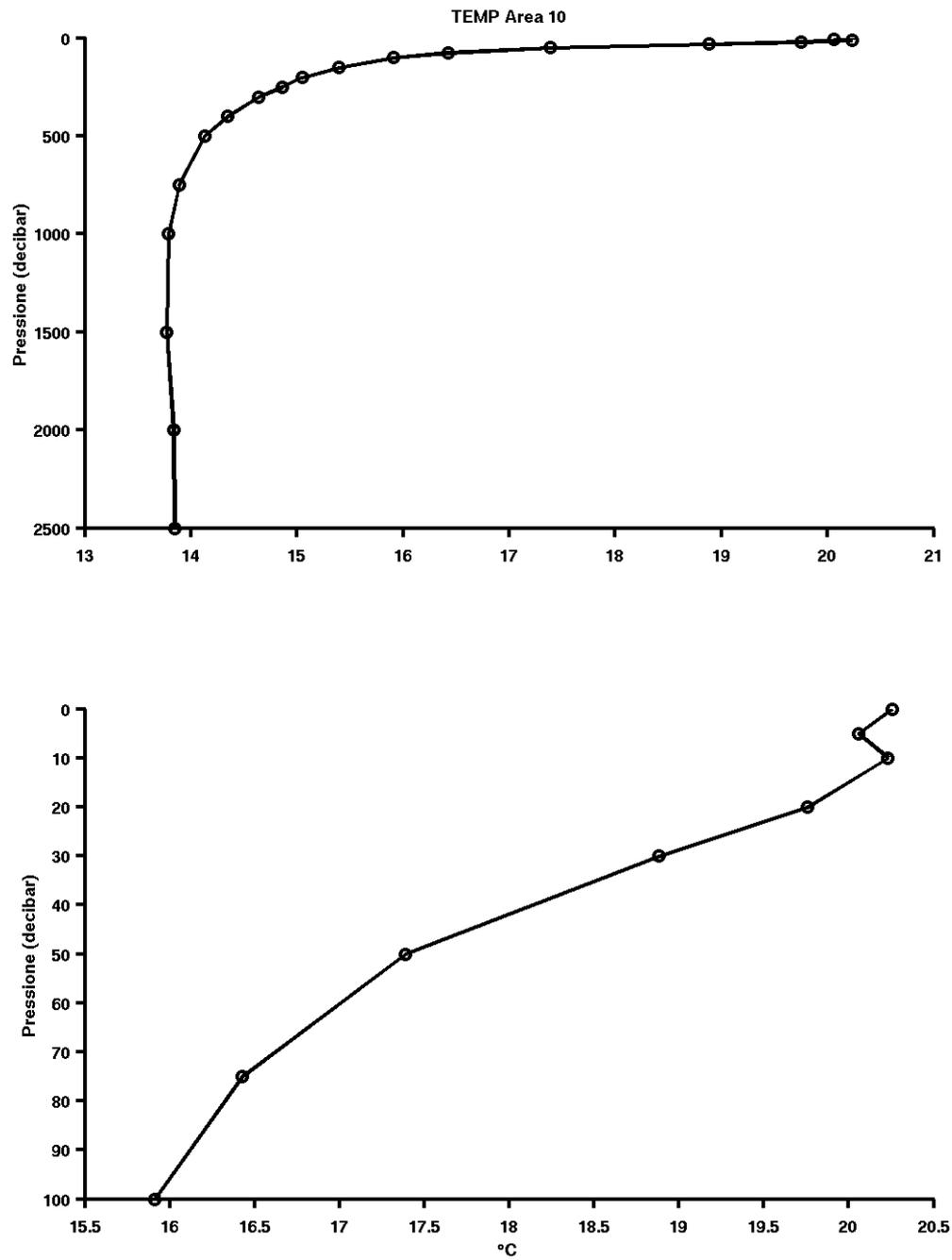


Figura 72. Profili verticali di temperatura, area 10 (Mare di Creta)

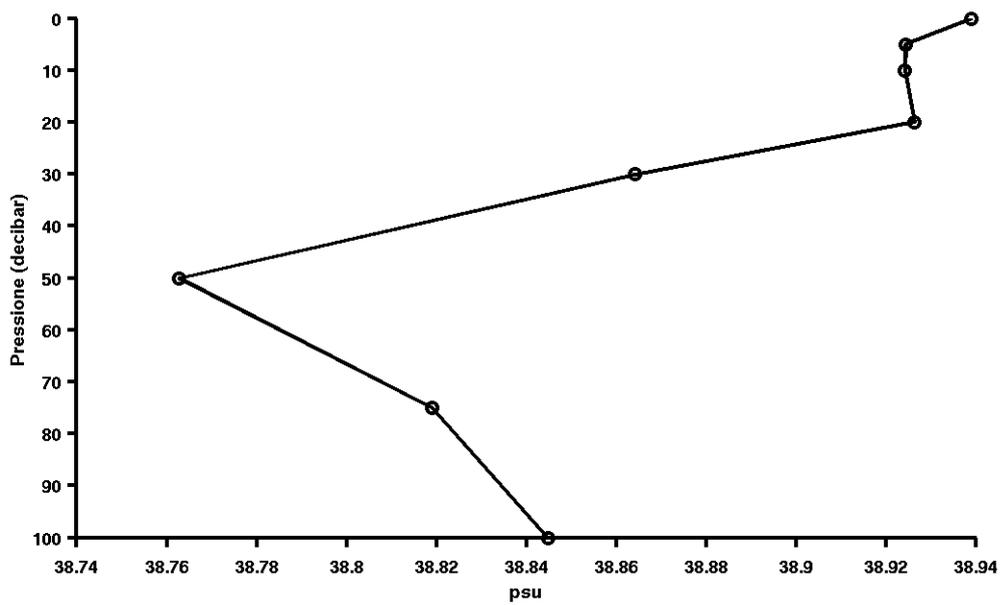
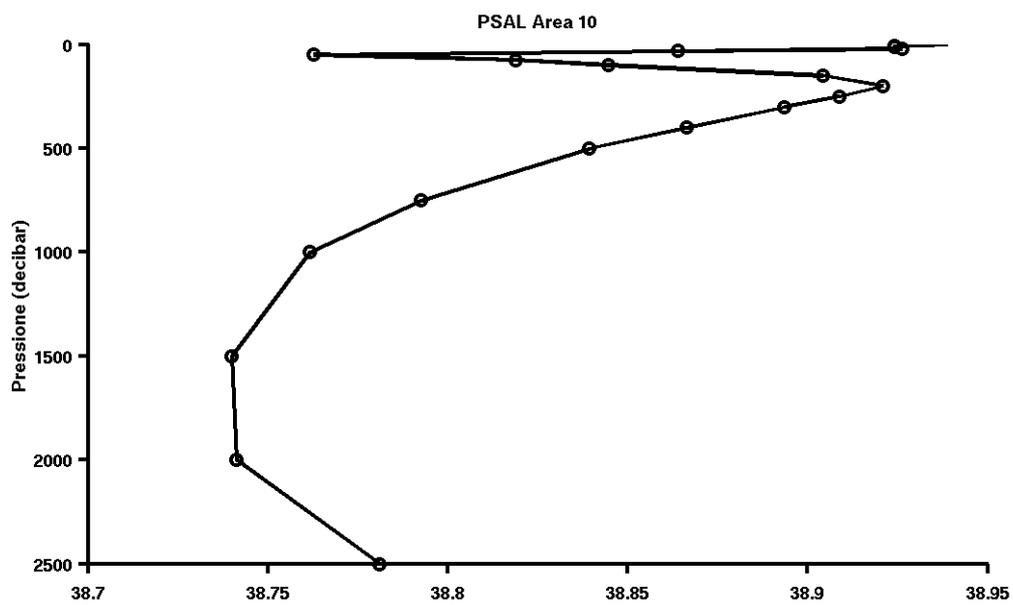


Figura 73. Profili verticali di salinità, area 10 (Mare di Creta)

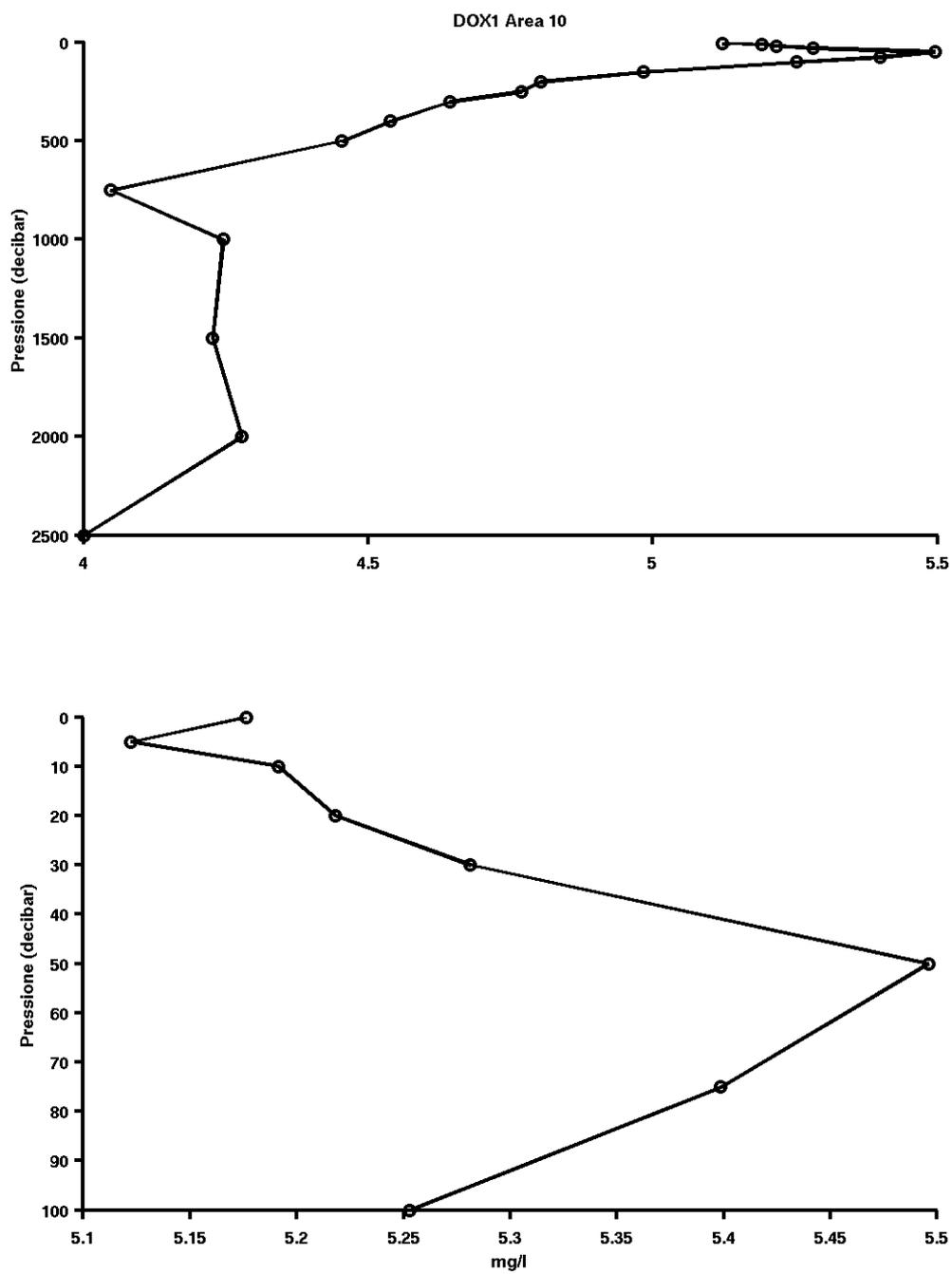


Figura 74. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 10 (Mare di Creta)

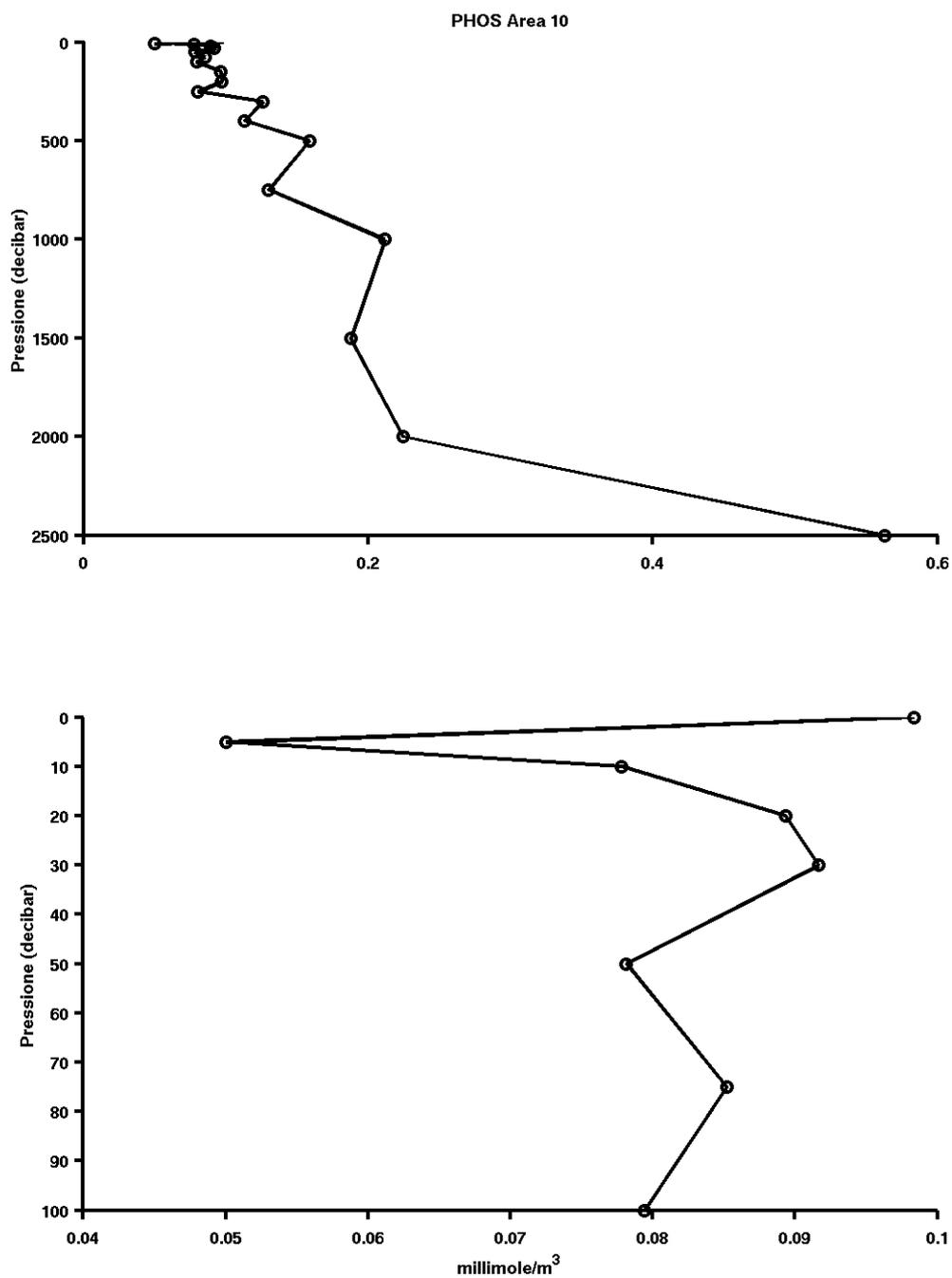


Figura 75. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 10 (Mare di Creta)

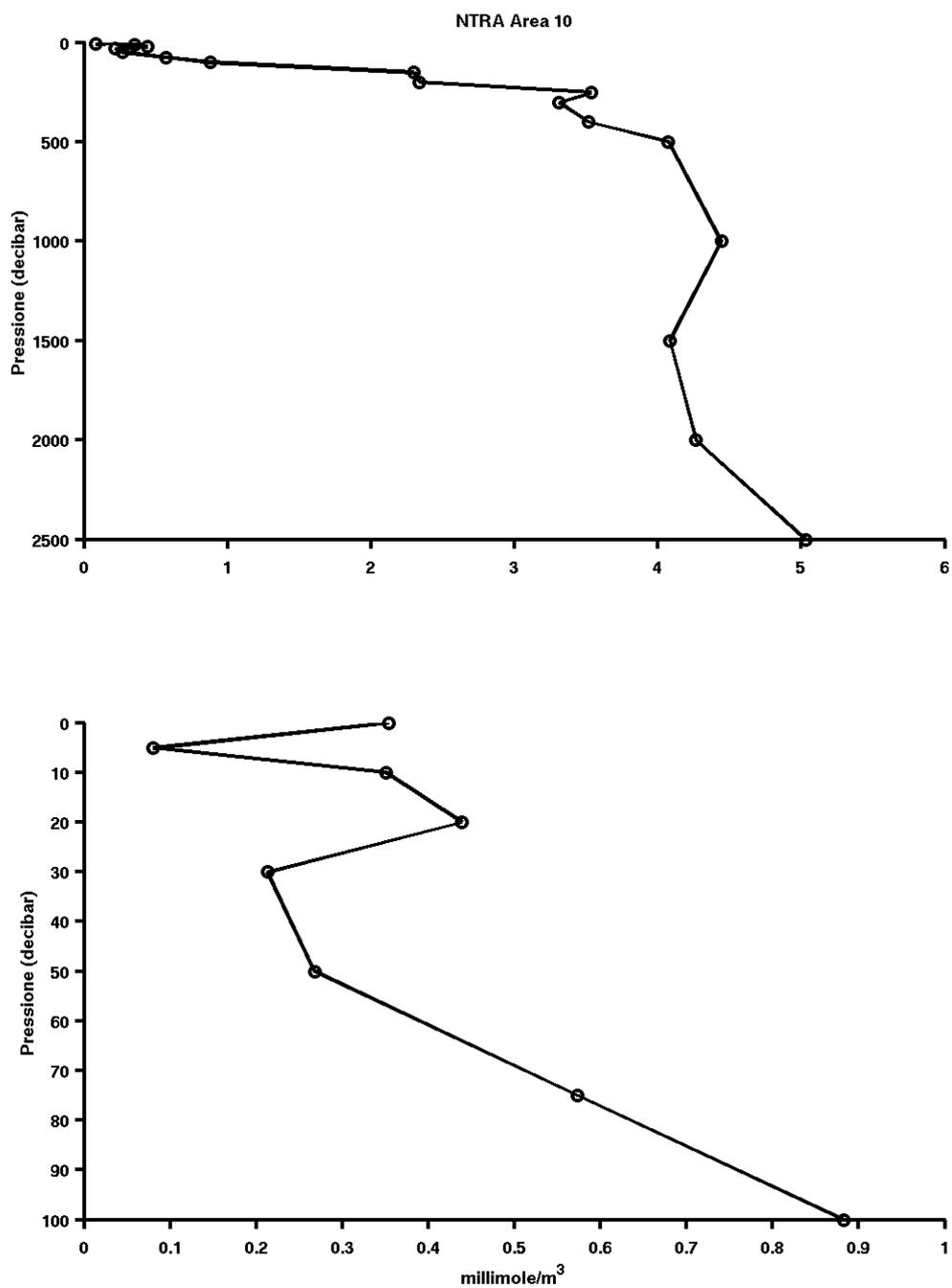


Figura 76. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 10 (Mare di Creta)

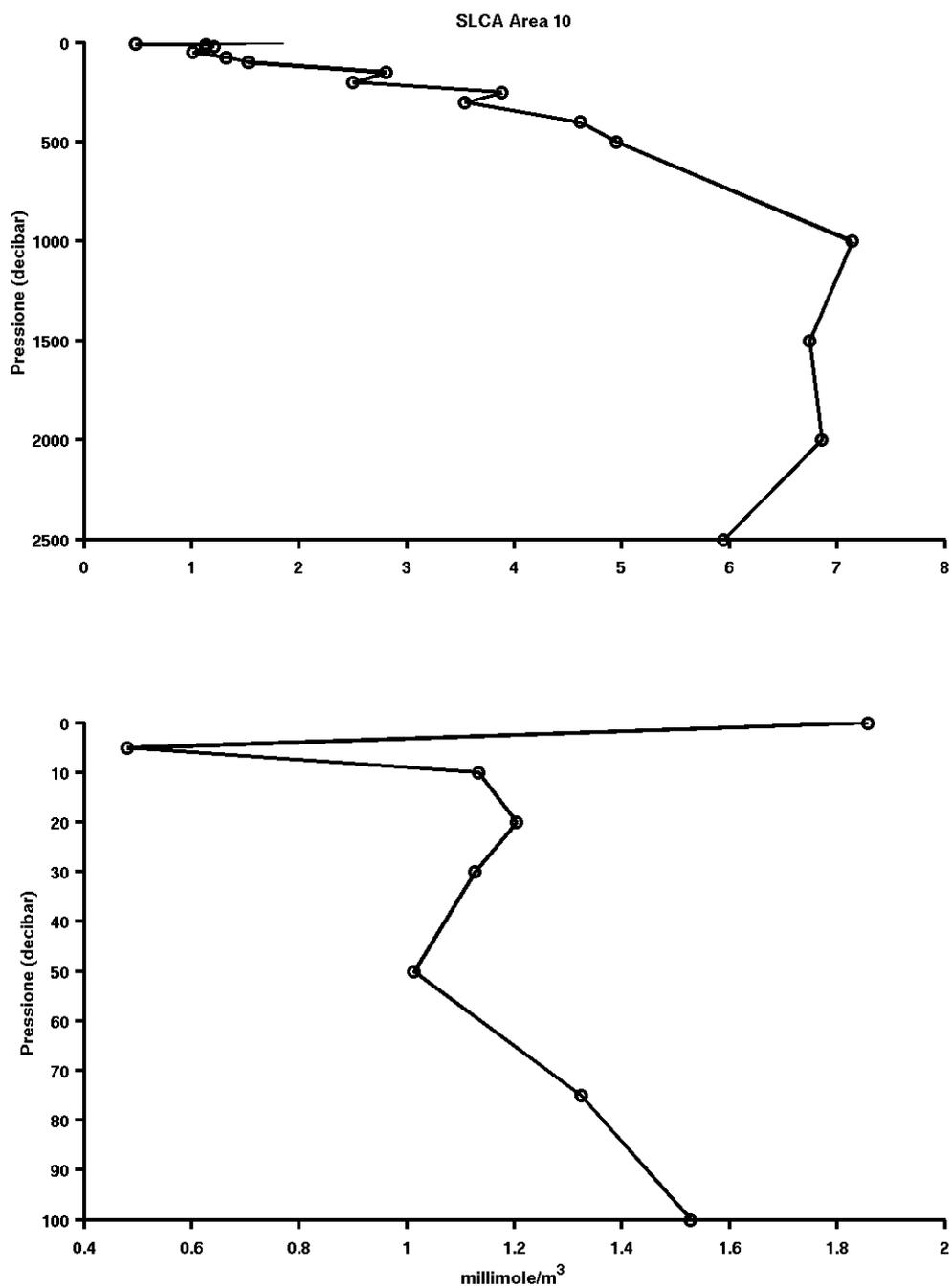


Figura 77. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 10 (Mare di Creta)

11. Area 11 Bacino Levantino

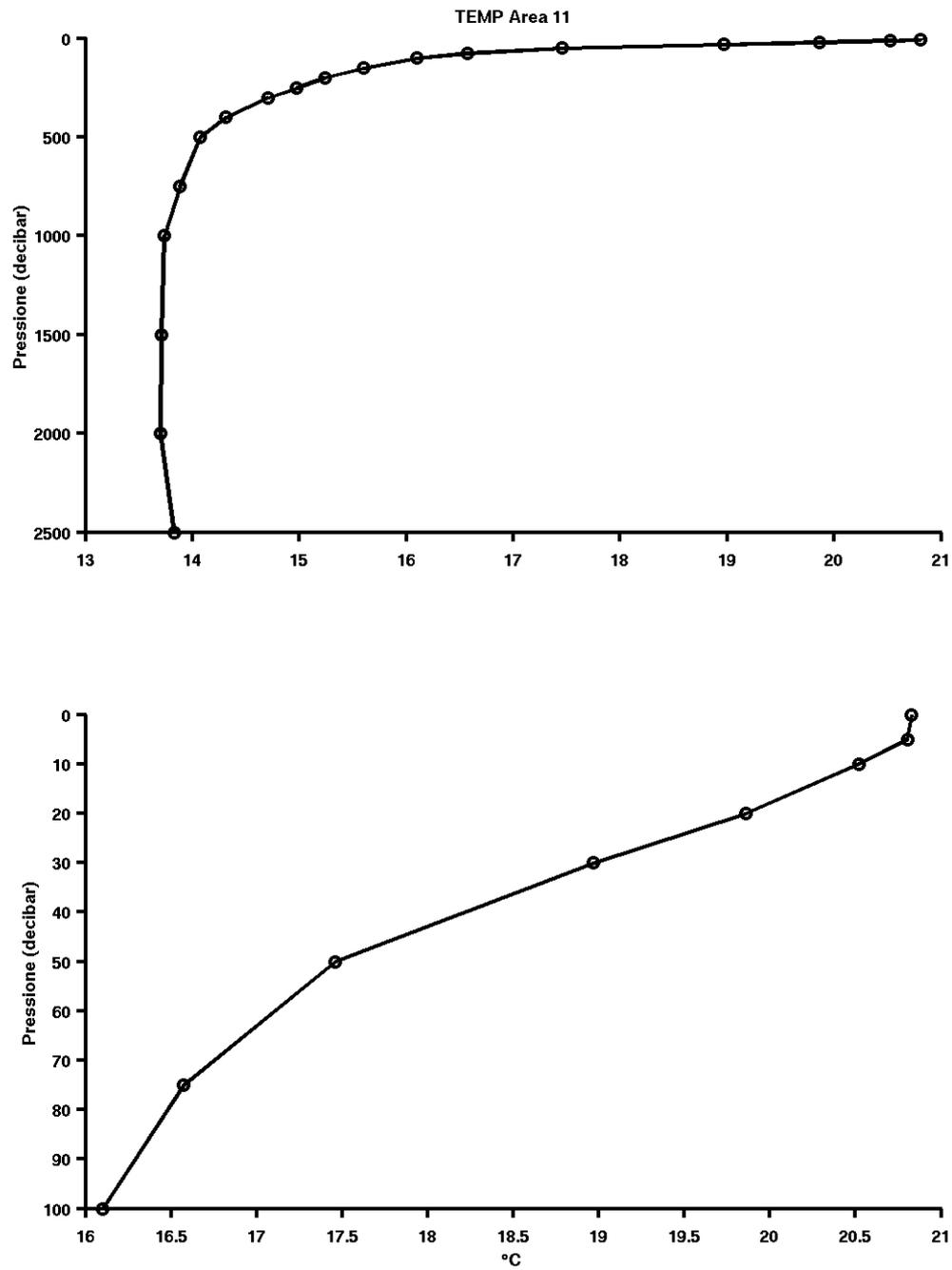


Figura 78. Profili verticali di temperatura, area 11 (Bacino Levantino)

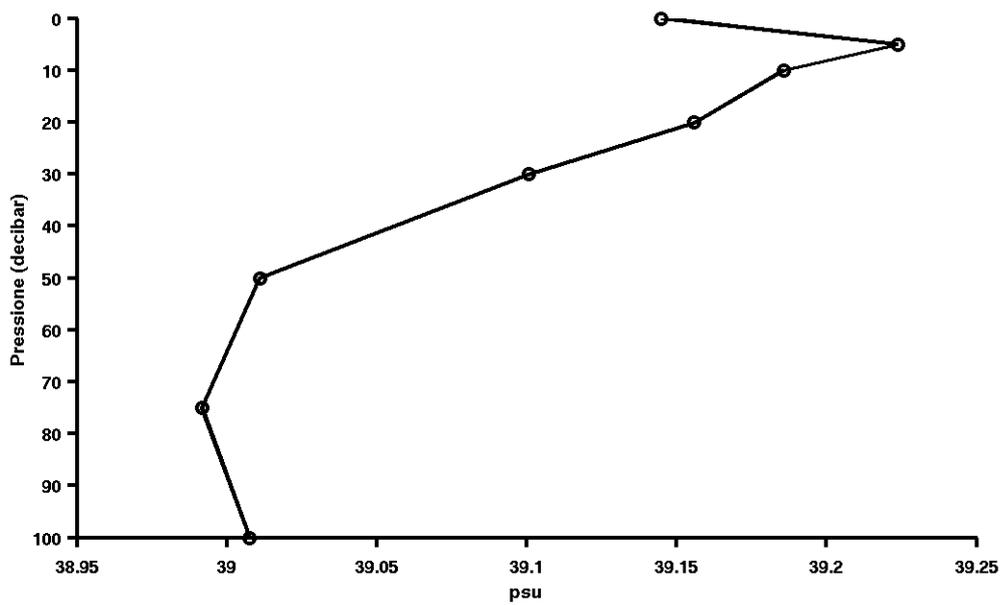
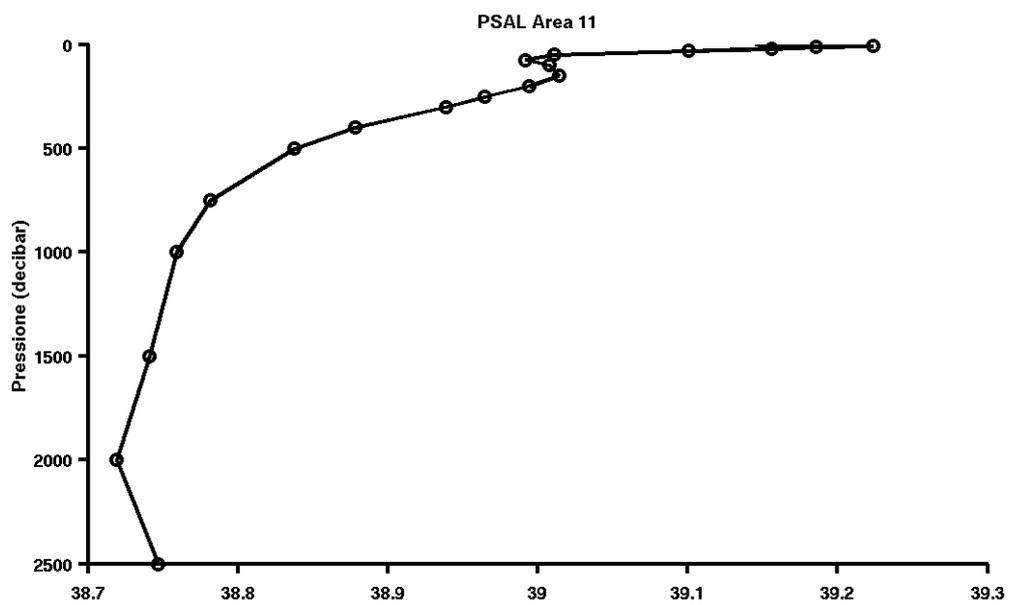


Figura 79. Profili verticali di salinità, area 11 (Bacino Levantino)

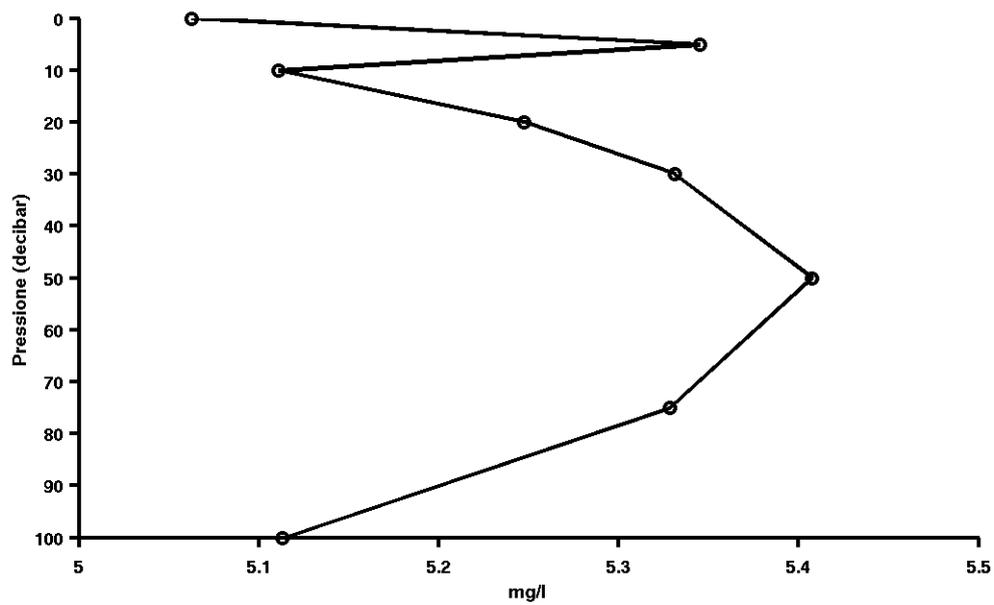
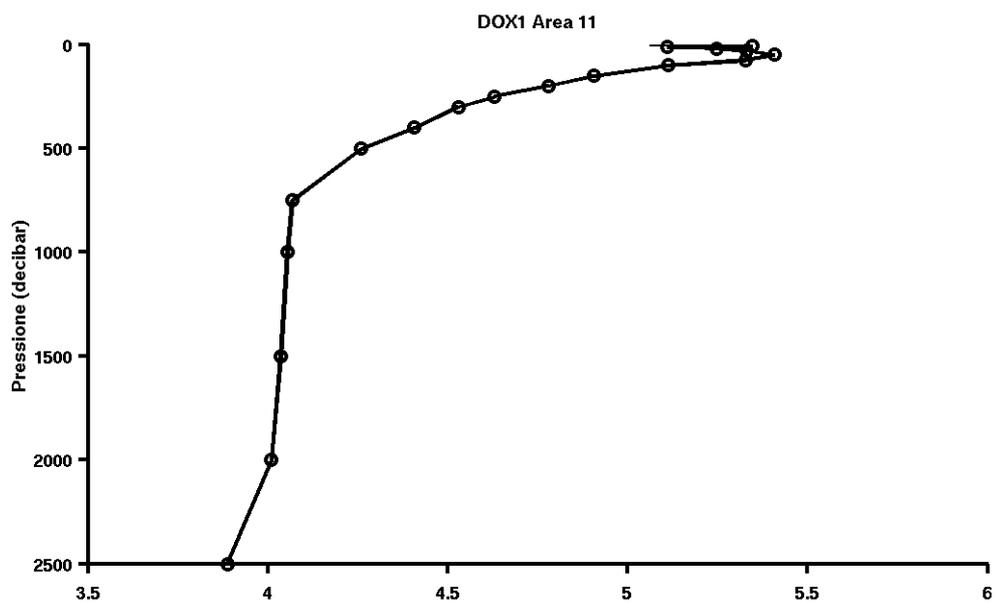


Figura 80. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 11 (Bacino Levantino)

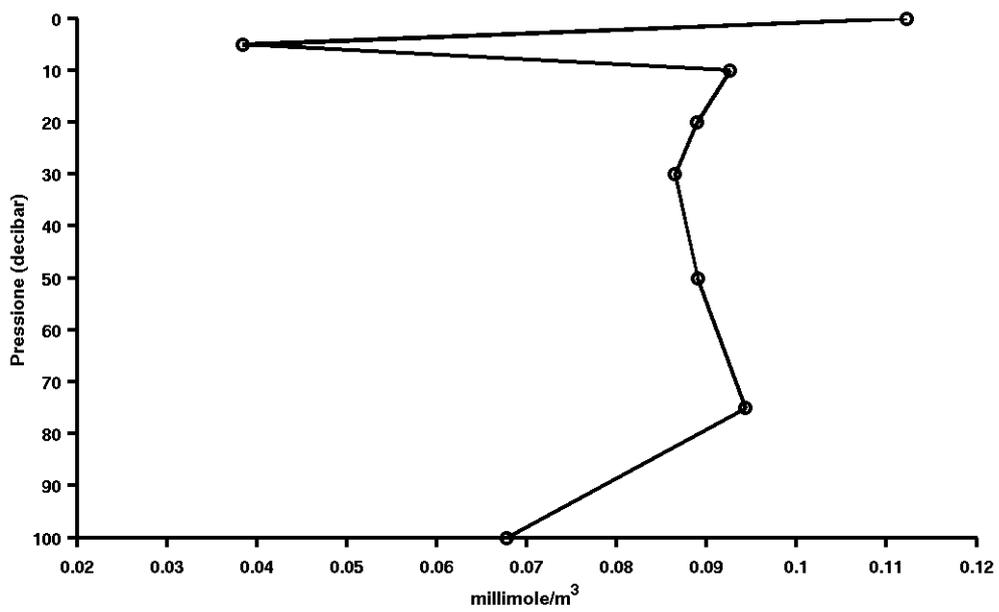
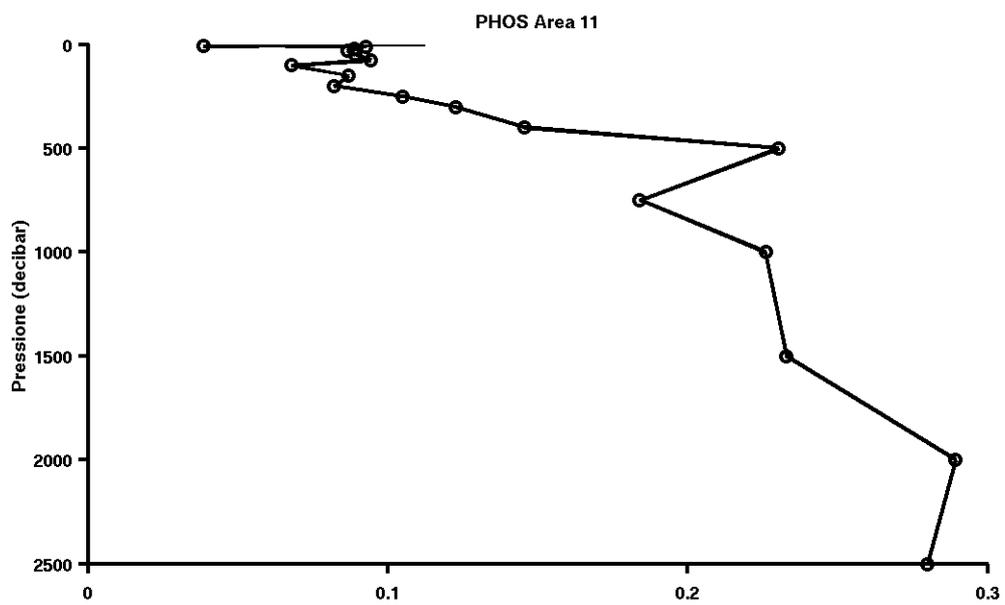


Figura 81. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 11 (Bacino Levantino)

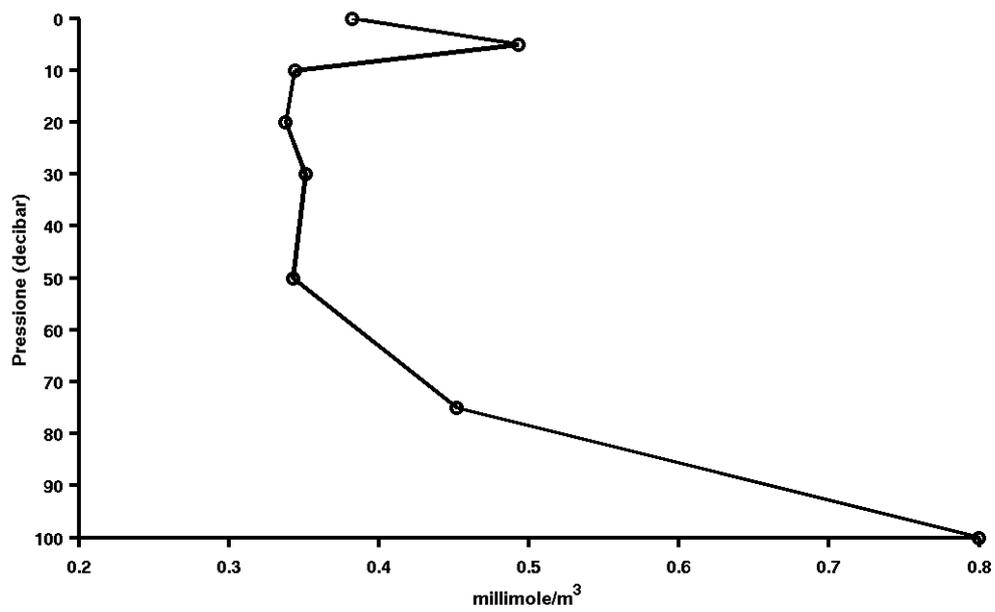
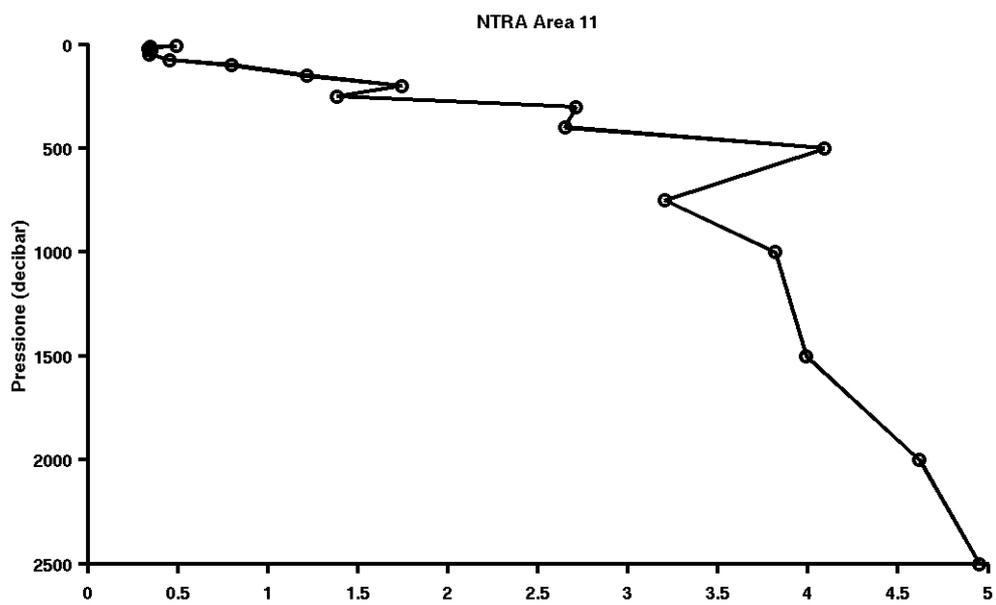


Figura 82. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 11 (Bacino Levantino)

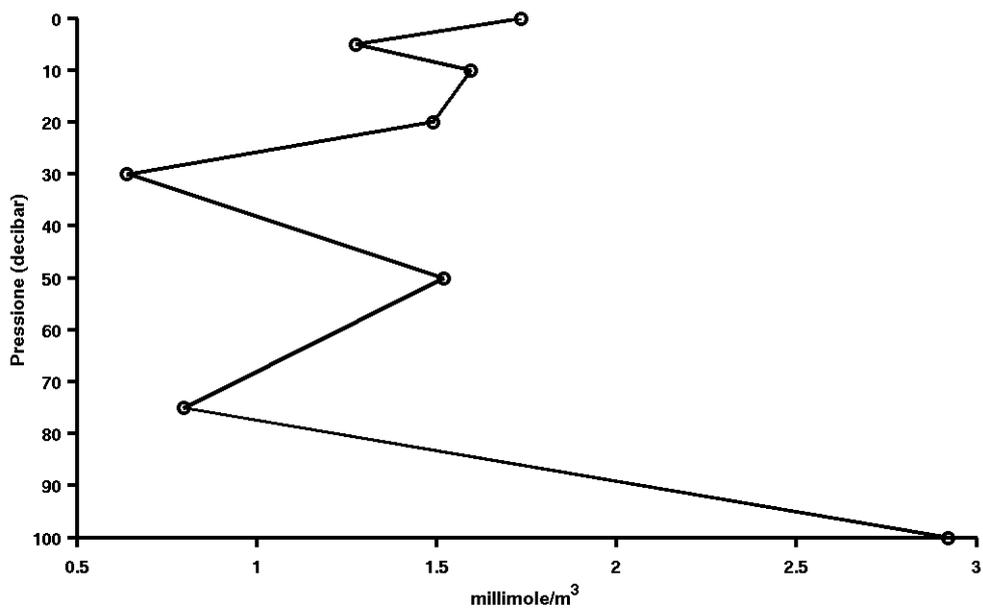
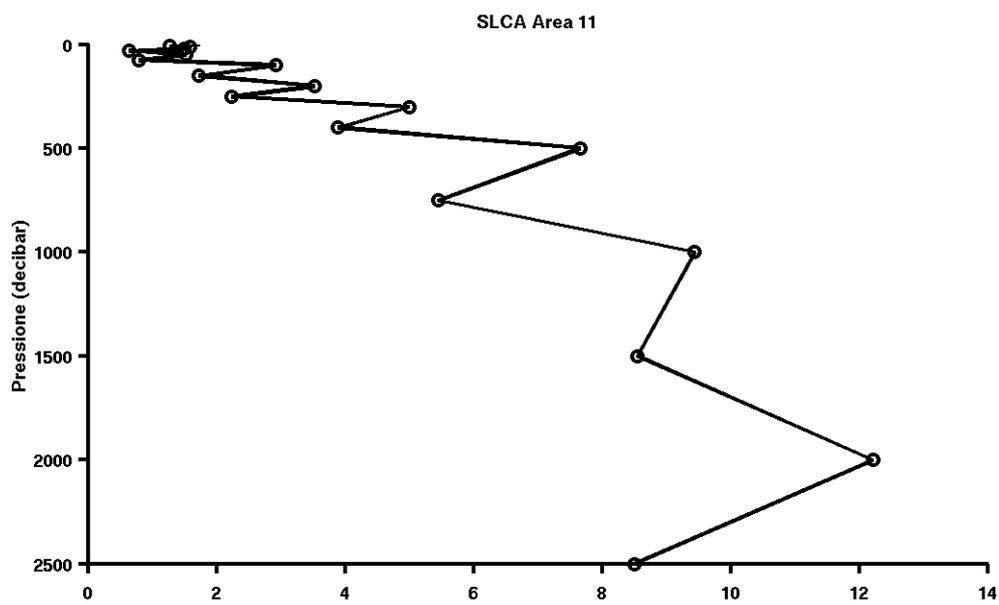


Figura 83. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 11 (Bacino Levantino)

12. Area 12 Bacino Levantino

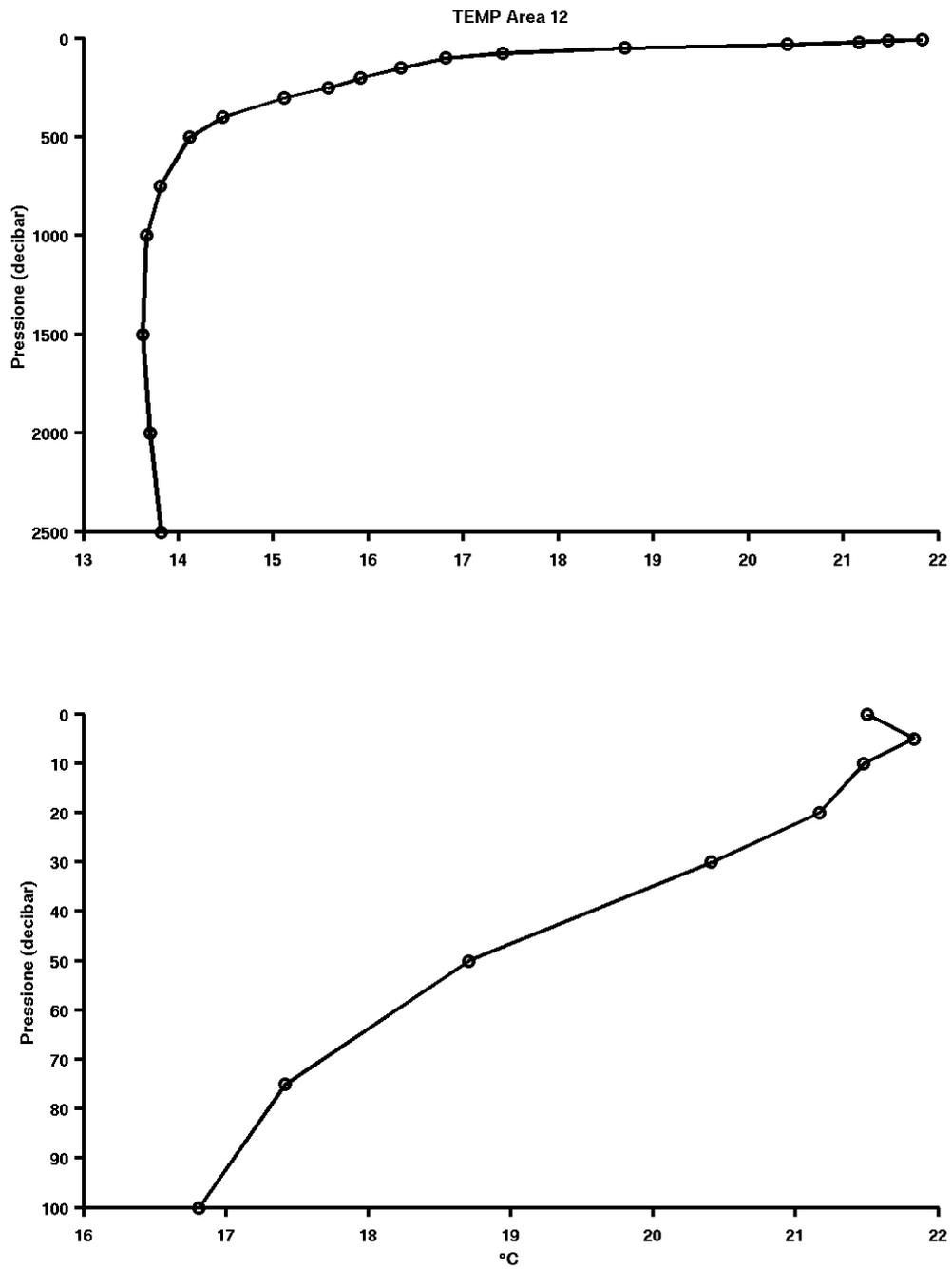


Figura 84. Profili verticali di temperatura, area 12 (Bacino Levantino)

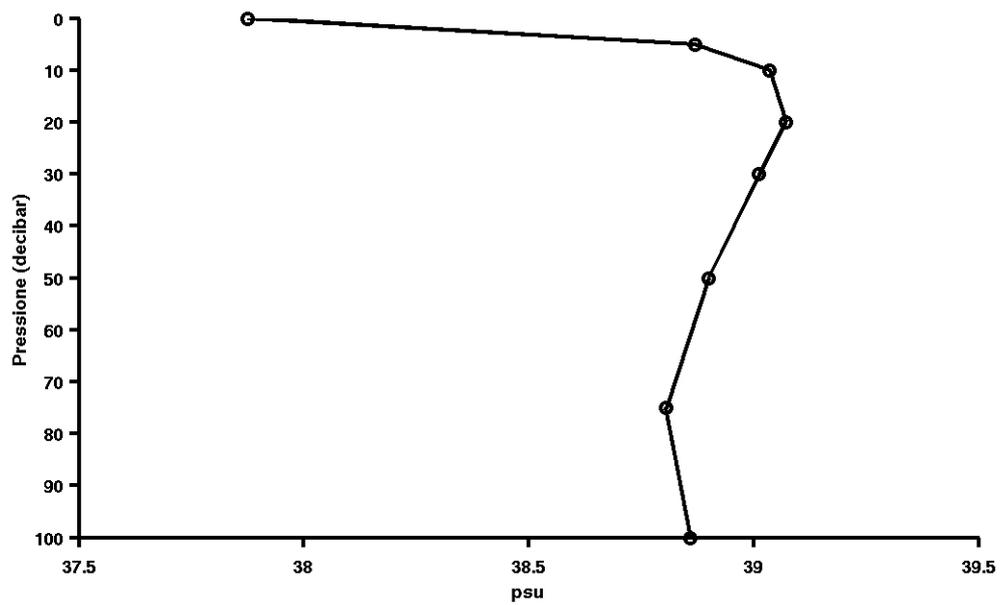
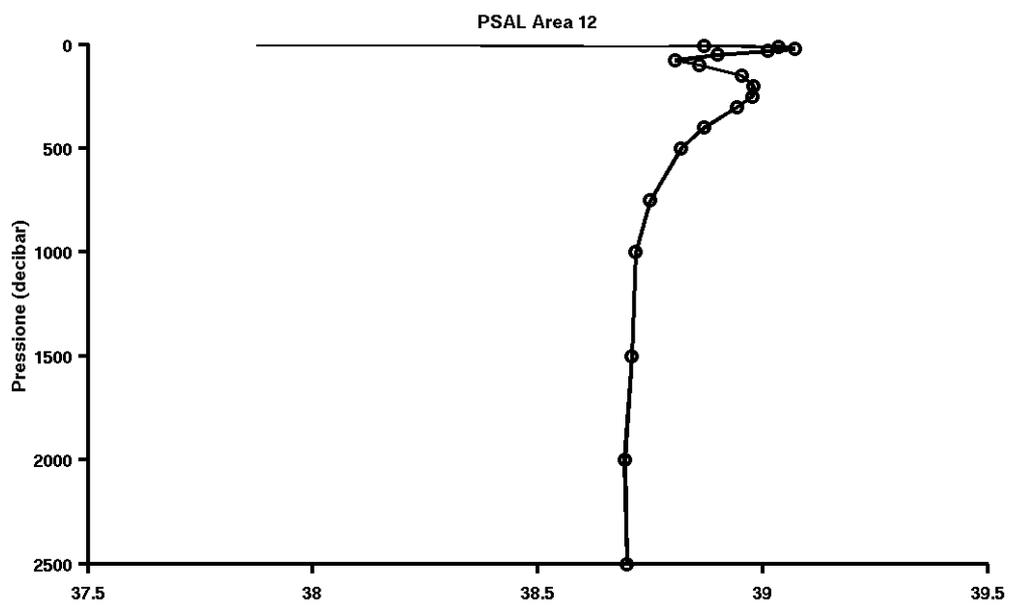


Figura 85. Profili verticali di salinità, area 12 (Bacino Levantino)

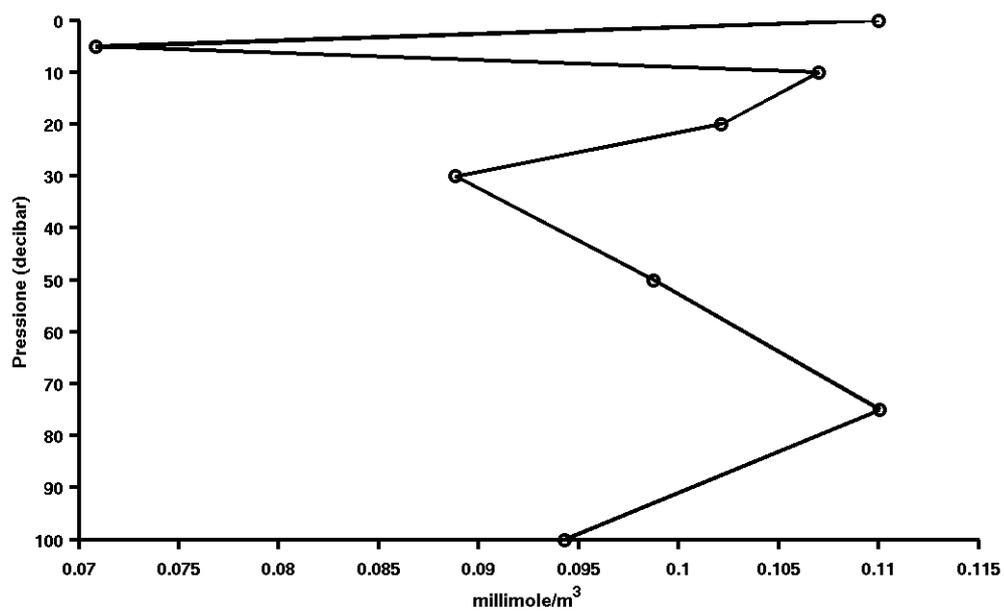
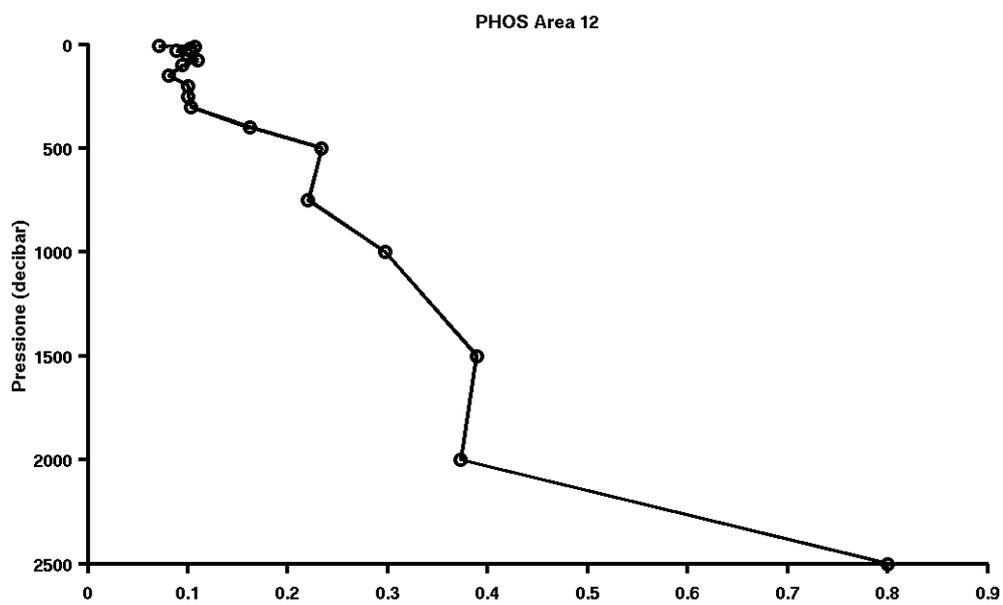


Figura 87. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 12 (Bacino Levantino)

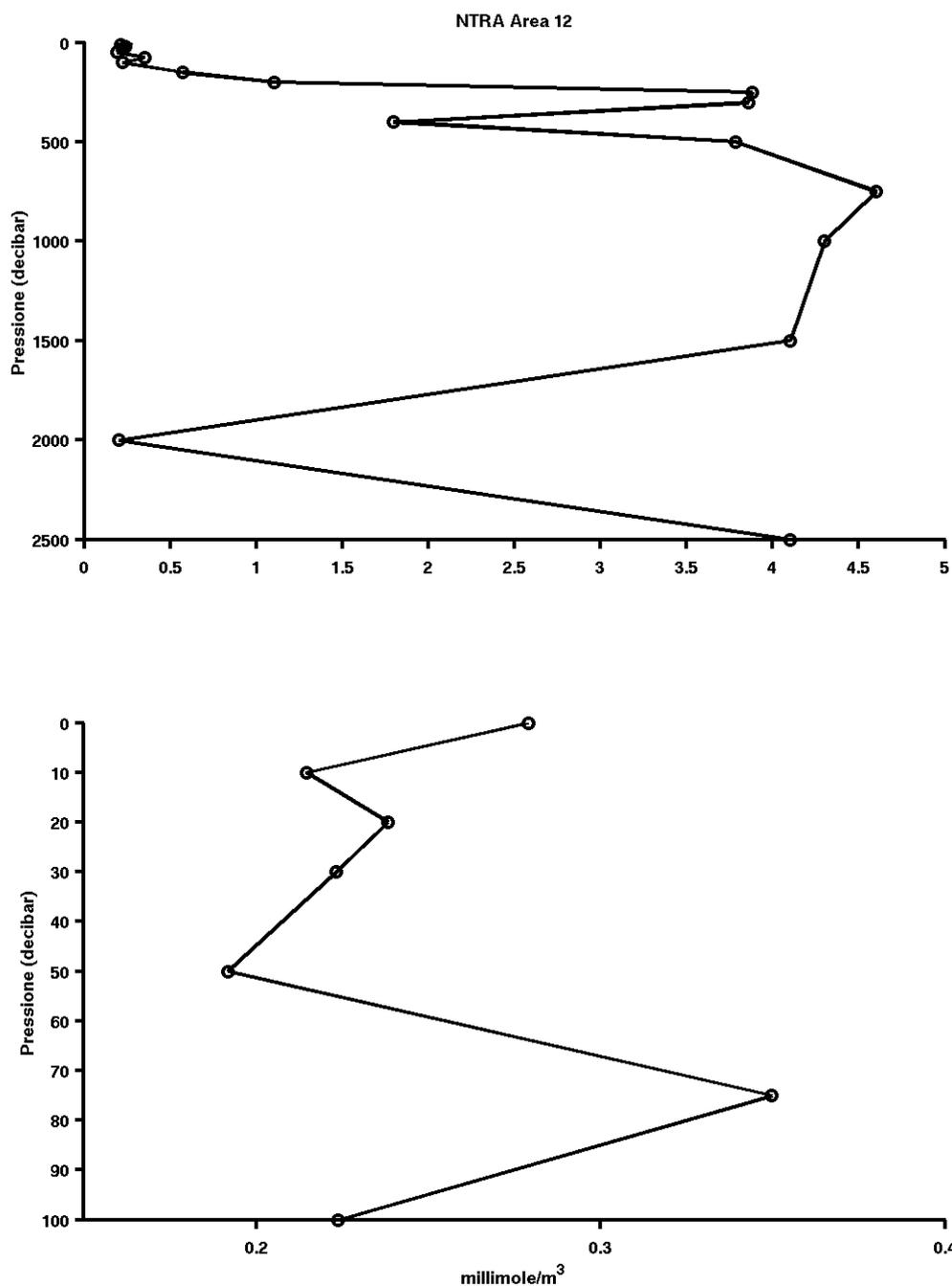


Figura 88. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 12 (Bacino Levantino)

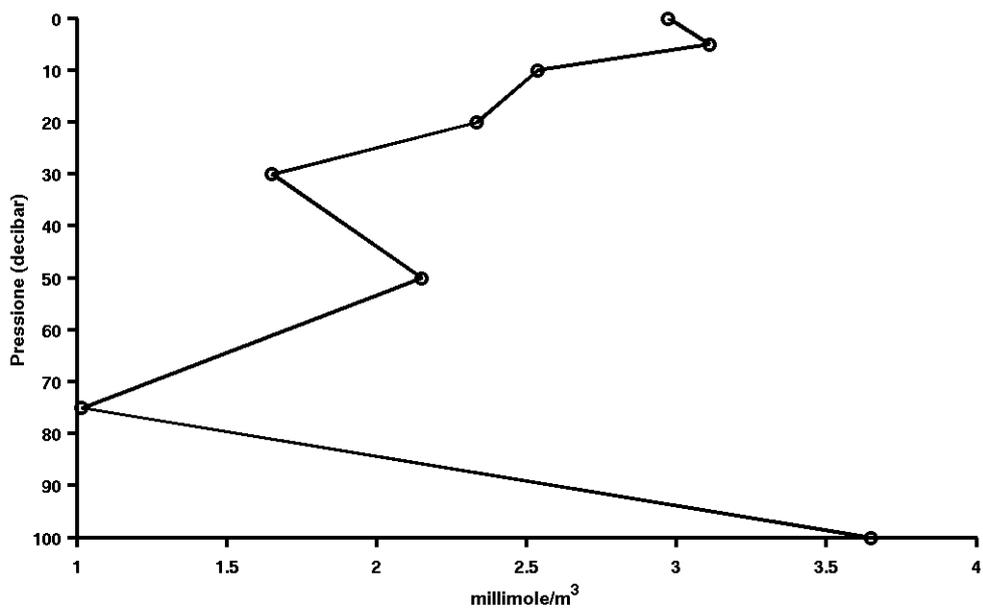
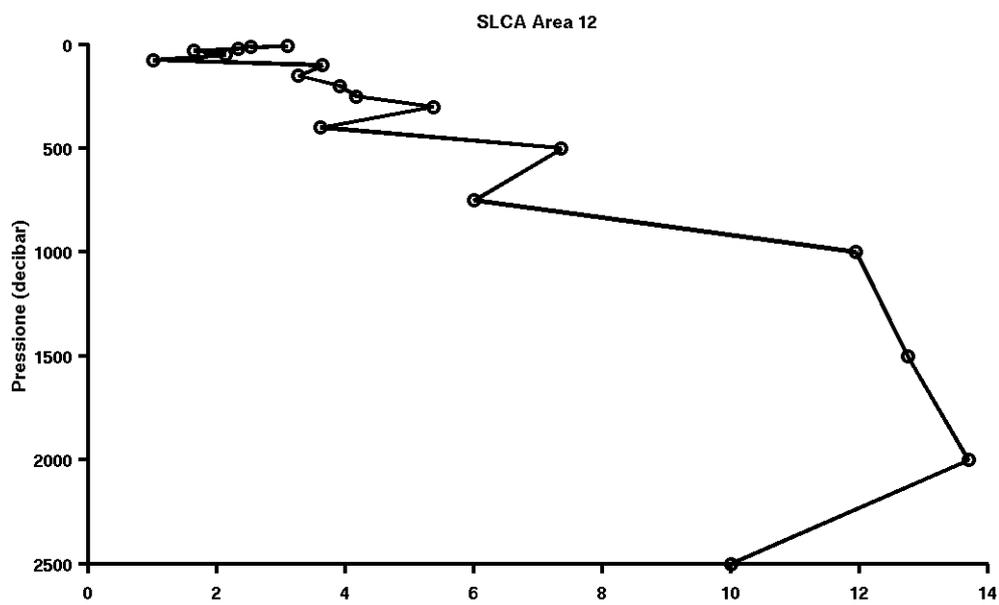


Figura 89. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 12 (Bacino Levantino)

13. Area 13 Bacino Levantino

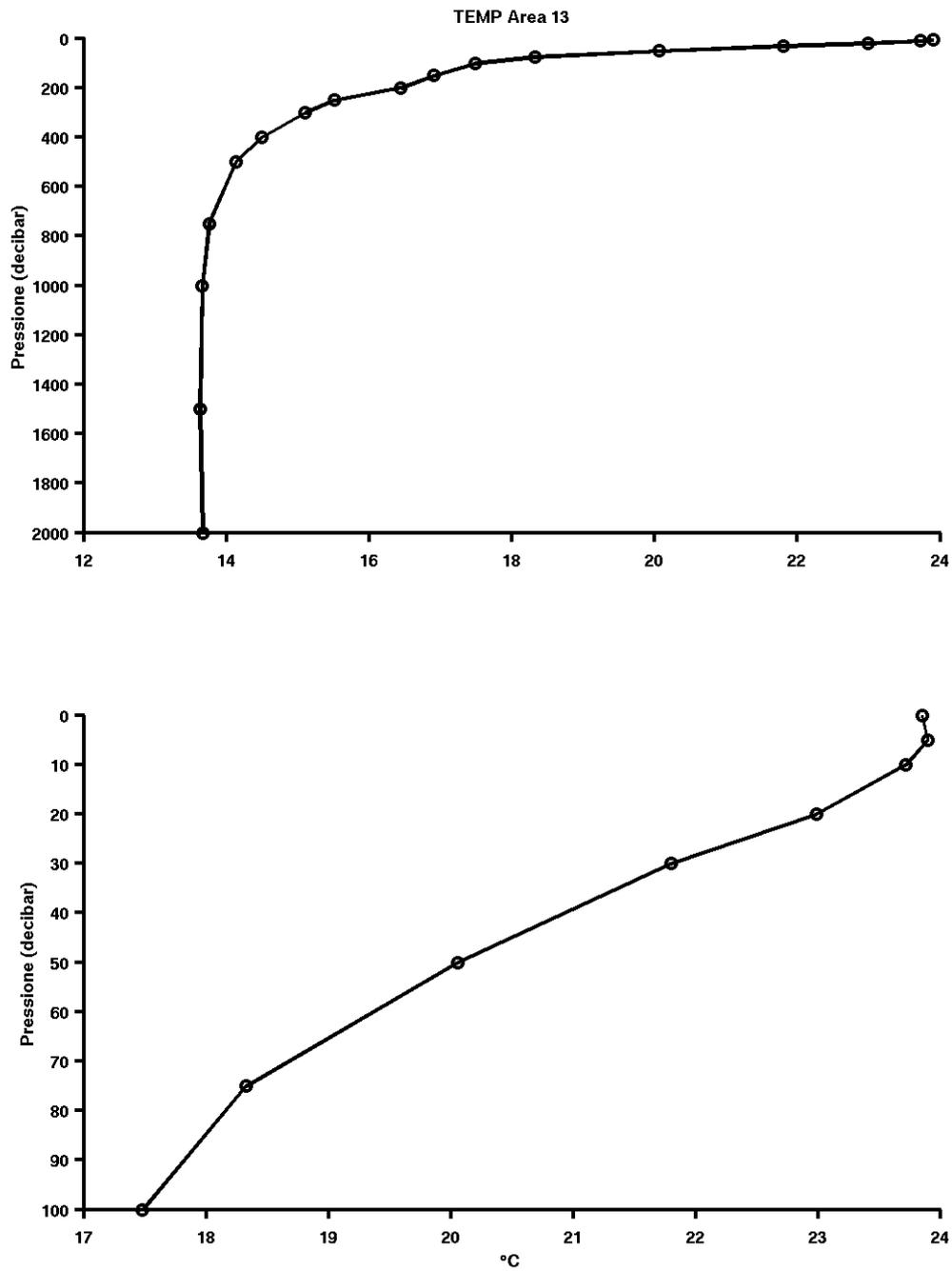


Figura 90. Profili verticali di temperatura, area 13 (Bacino Levantino)

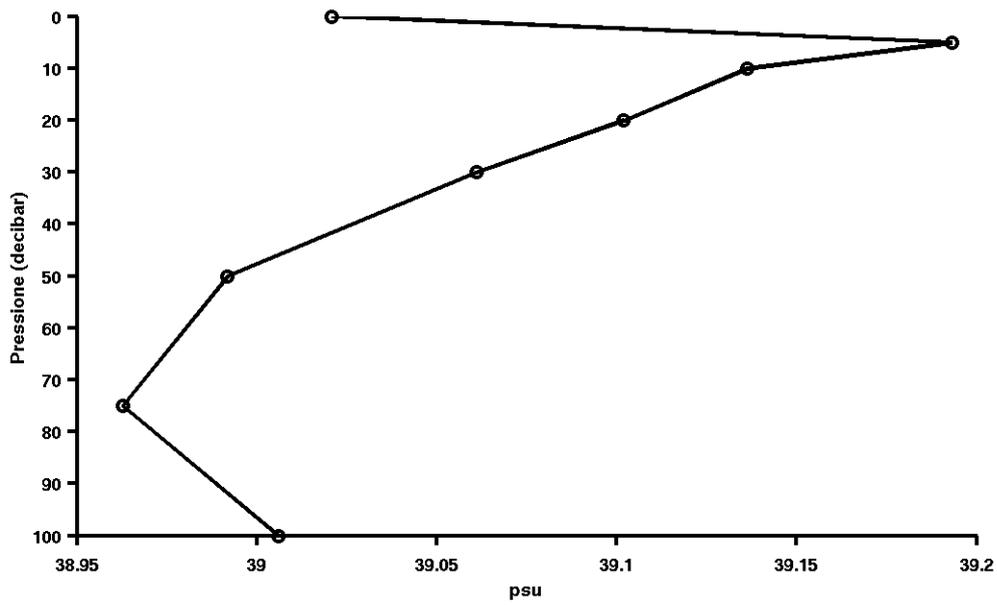
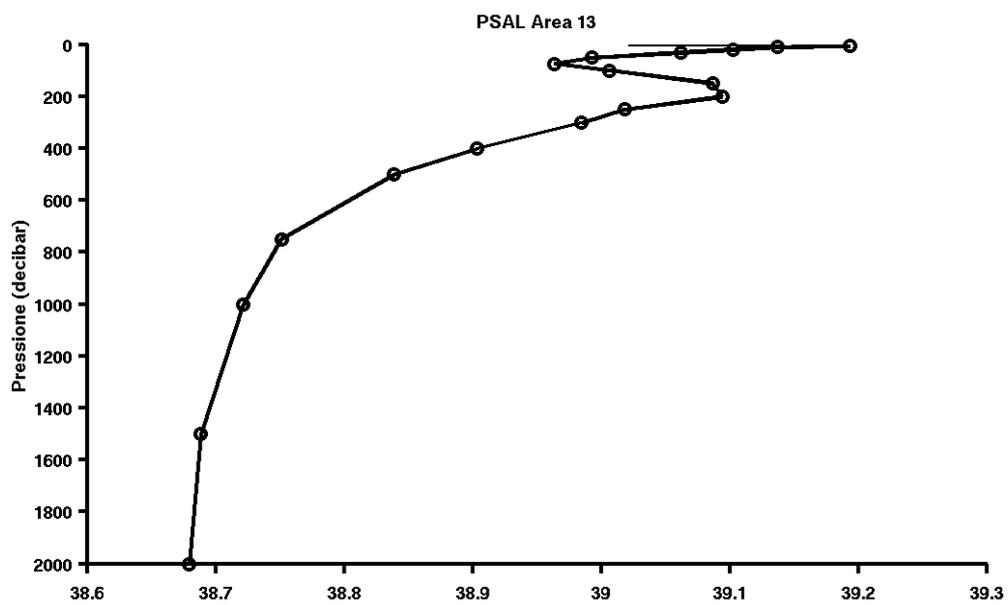


Figura 91. Profili verticali di salinità, area 13 (Bacino Levantino)

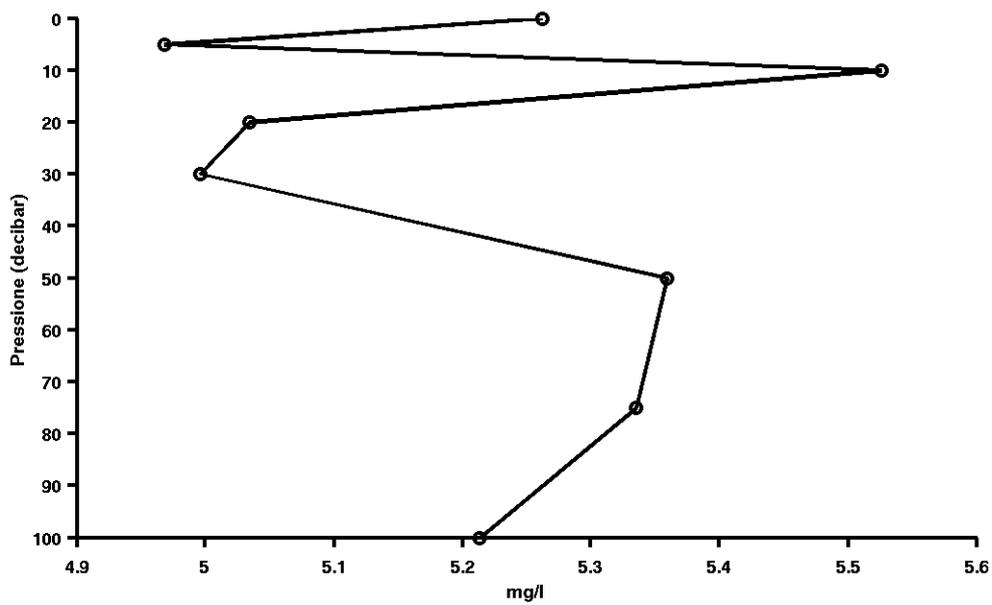
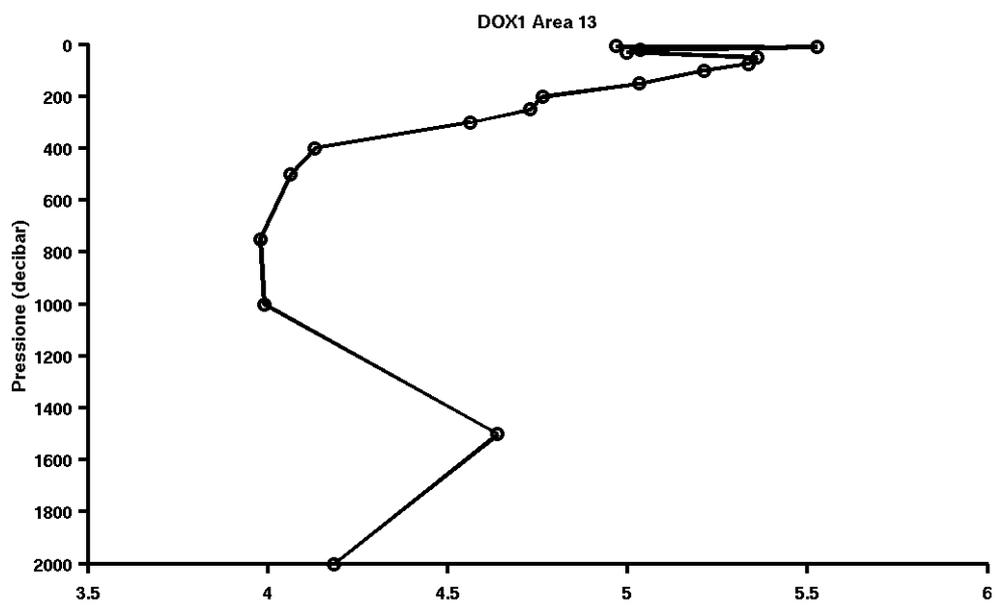


Figura 92. Profili verticali di ossigeno disciolto, area 13 (Bacino Levantino)

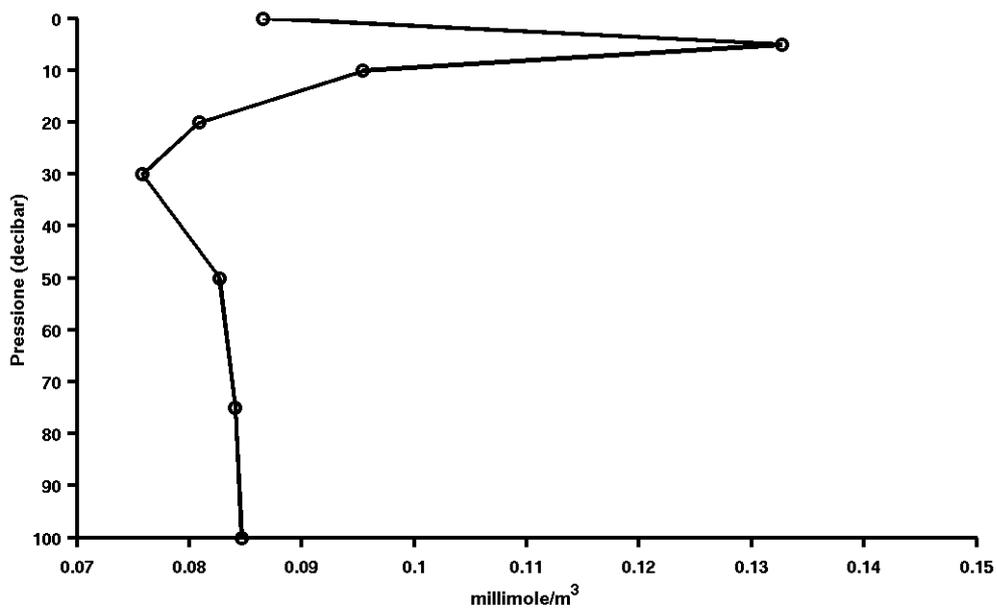
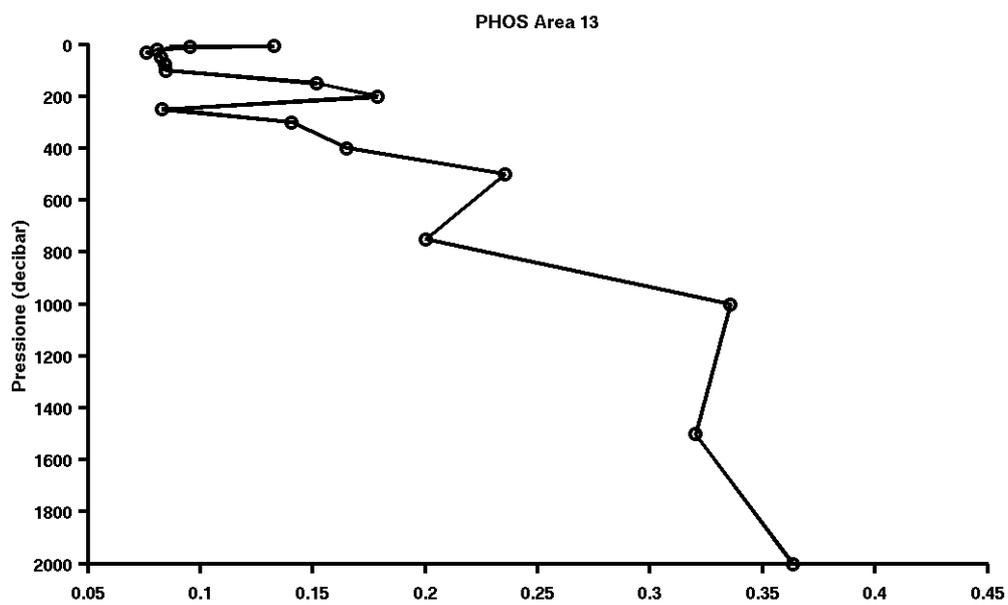


Figura 93. Profili verticali di fosfati (P-PO₄), area 13 (Bacino Levantino)

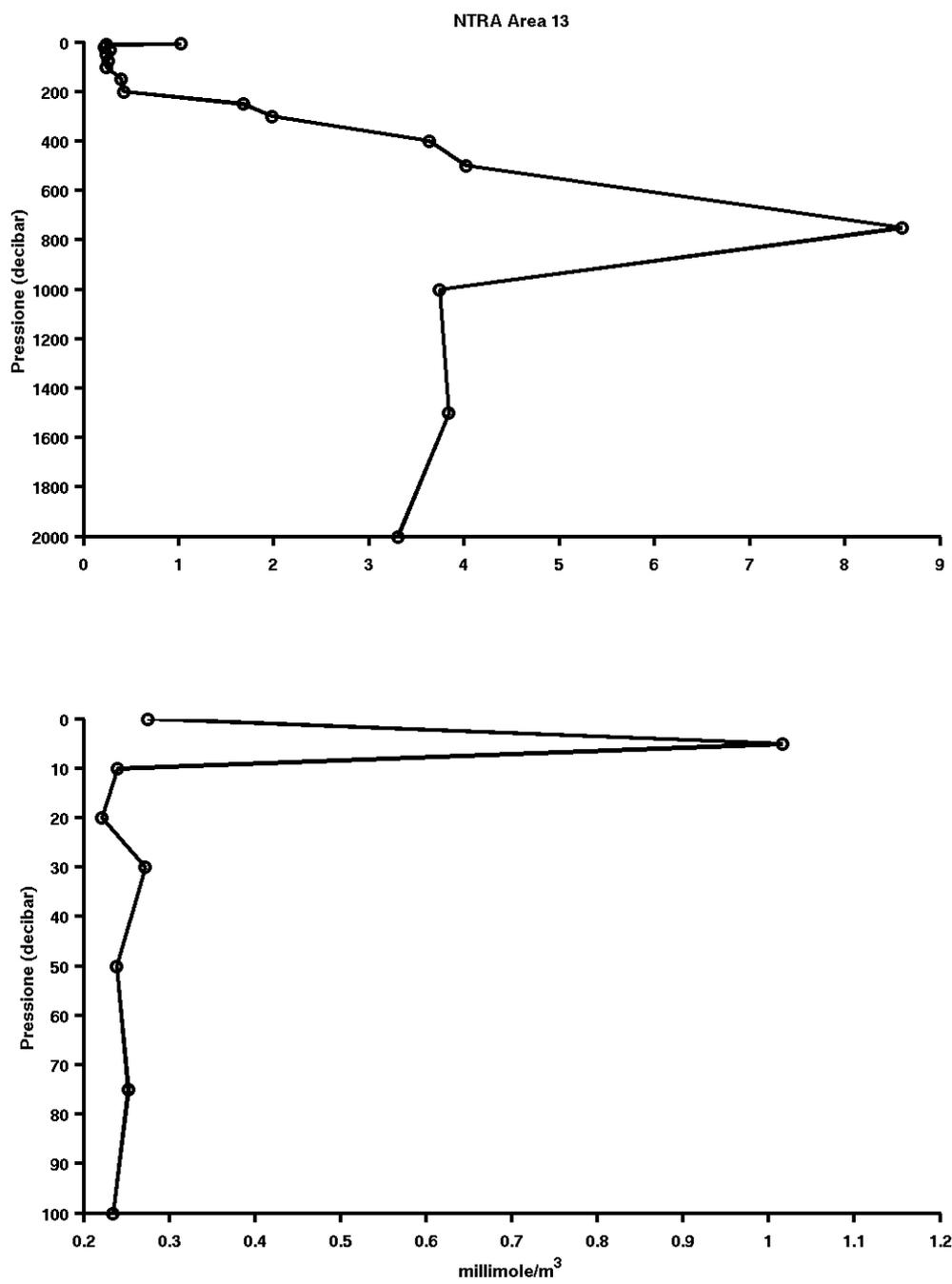


Figura 94. Profili verticali di nitrati (N-NO₃), area 13 (Bacino Levantino)

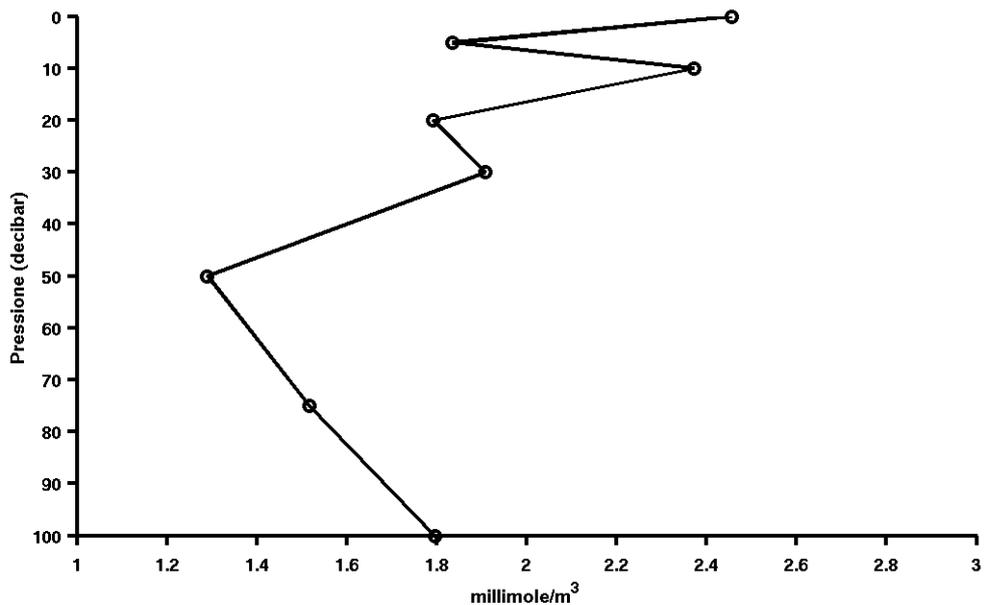
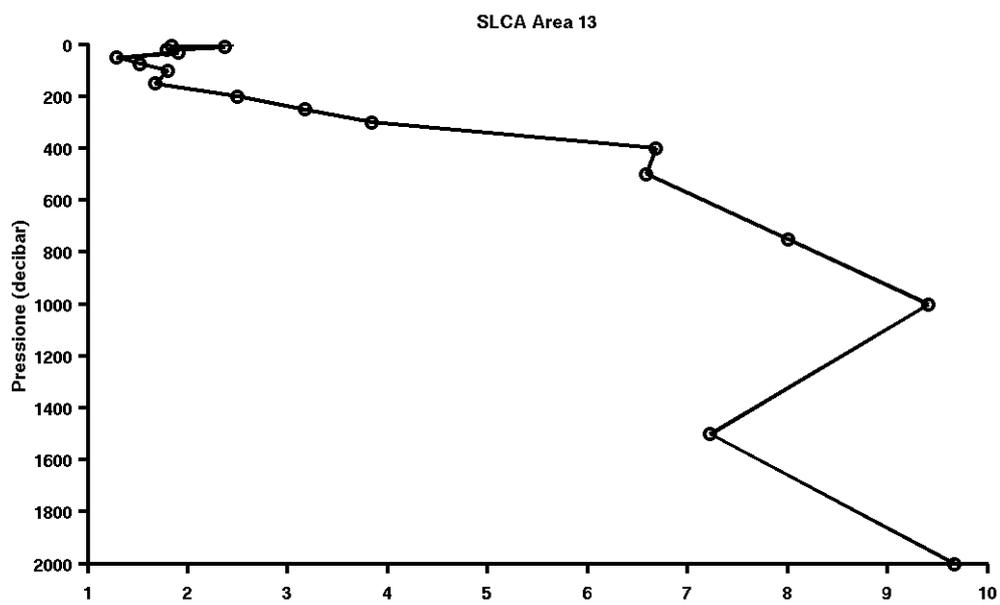


Figura 95. Profili verticali di silicati (Si-SiO₄), area 13 (Bacino Levantino)

Bibliografia

- Agostini V.N., Bakun A. (2002). "Ocean triads' in the Mediterranean Sea: physical mechanism potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*)." Fish. Oceanogr. **11:3**: 129-142.
- Béthoux J.P. (1981) "Le phosphore e l'azote en la Mer Méditerranée, bilans et fertilité potentielle." Marine Chemistry **10** : 141-158.
- Béthoux J.P., Durieu de Madron X., Nyffler F., Tailliez D. (2002). "Deep water in the western Mediterranean: peculiar 1999 and 2000 characteristics, shelf formation hypothesis, variability since 1970 and geochemical inferences." Journal of Marine Systems **33-34**: 117-131.
- Béthoux J.P., Gentili B. (1999). "Functioning of the Mediterranean Sea: past and present changes related to freshwater input and climate changes." Journal of Marine Systems **20**: 33-47.
- Béthoux J.P., Morin P., Chaumery C., Connan O., Gentili B., Ruiz-Pino D. (1998). "Nutrients in the Mediterranean Sea, mass balance and statistical analysis of concentrations with respect to environmental change." Marine Chemistry **63**: 155-169.
- Béthoux J.P., Morin P., Ruiz-Pino D.P. (2002). "Temporal trends in nutrient ratios: chemical evidence of Mediterranean ecosystem changes driven by human activity." Deep-Sea Research II **49**: 2007-2016.
- Diaz F., Raimbault P., Boudjellal B., Garcia N., Moutin T. (2001) "Early spring phosphorus limitation of primary productivity in a NW Mediterranean Coastal Zone." Mar Ecol Prog Ser **211**: 51-62.
- MEDAR Group (2002) . MEDATLAS 2002, Mediterranean and Black Sea database of temperature, salinity and bio-chemical parameters and climatological atlas (4 CDROM).
- Migon C., Sandroni V., Béthoux J.P. (2001). "Atmospheric input of anthropogenic phosphorus to the northwest Mediterranean under oligotrophic conditions." Marine Environmental Research **52**: 413-426.

Pinardi N., Masetti E. (2000). "Variability of large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modeling: a review." Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **158**: 153:173.

Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A. (1963). "The influence of organisms on the composition of sea water." In: Hill M.N. (Ed.), The sea, vol. 2, Interscience, New York: 26-77

Zavatarelli M., Raicich F., Bregant D., Russo A., Artegiani A. (1998). "Climatological biogeochemical characteristics of the Adriatic Sea." Journal of Marine Systems **18**: 227-263.

