

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Il Mediterraneo	1
1.1.1	Fisiografia	1
1.1.2	Ecosistema Mediterraneo	3
1.1.3	Dinamica delle masse d'acqua nel Bacino Mediterraneo	4
1.2	Il Mediterranean Forecasting System	13
1.2.1	Generalità	13
1.2.2	Il Voluntary Observing System	16
1.2.2.1	Le rotte	18
1.2.3	Cosa é un eXpendable BaThythermograph system	20
1.2.4	Utilizzo degli XBT e della tecnologia ARGOS	24
1.3	Obiettivi della tesi	27
2	Climatologia da dati XBT nel Mediterraneo	29
2.1	La banca dati Medatlas	29
2.2	Distribuzione dei dati	32
2.3	Climatologia fino a 400 metri	37
3	Disegno di un controllo di qualità per XBT	63
3.1	Struttura dei dati XBT	64
3.2	Analisi della posizione	64
3.3	Analisi sul profilo	68
3.3.1	Eliminazione spikes, interpolazione e filtraggio	68
3.3.2	Confronto con i profili climatologici	72

3.4	Prodotto finale in formato Medatlas	75
3.4.1	Descrizione degli indicatori utilizzati	75
4	Valutazione del sistema VOS nel Mediterraneo	79
4.1	I dati a disposizione	79
4.2	Analisi dei risultati del controllo di qualità	80
4.2.1	Analisi delle rotte	81
4.2.2	Analisi del segnale di temperatura	82
4.3	Efficienza del sistema di trasmissione ARGOS	114
5	Conclusioni	115
5.1	Riassunto dei temi trattati e conclusioni	115
5.2	Potenzialità del sistema di controllo di qualità	116
	Bibliografia	119

Capitolo 1

INTRODUZIONE

1.1 Il Mediterraneo

1.1.1 Fisiografia

Il Mediterraneo ha una superficie di 2.5 milioni di chilometri quadrati e un volume di 3.7 milioni di chilometri cubi. É posizionato tra 6°Ovest e 37°Est di longitudine e tra 30°N e 47°N di latitudine, con uno sviluppo di 3860 chilometri in longitudine e una media di 600 chilometri in latitudine.

La profondità media di questo mare é circa 1500 metri, la massima é 5020 metri ed é stata misurata nella fossa ellenica.

É diviso in due aree principali: il bacino occidentale e quello orientale, delimitati al centro dal Canale di Sicilia, una zona di piattaforma profonda poche centinaia di metri, attraversata da faglie che delimitano depressioni (come la Fossa di Pantelleria) profonde oltre 2000 metri.

All' interno di questi due bacini principali si distinguono, in ordine da Ovest a Est, i seguenti mari o bacini: mare di Alboran, Balearico, Ligure, Tirrenico, Ionico, Levantino, Adriatico e Egeo.

Il Mare di Alboran é interamente chiuso tra le catene montuose del Rif in Marocco e la catena Betica della Spagna meridionale; é una zona poco profonda e vi si trova una dorsale che, emergendo localmente, forma l'isola di Alboran.

Il Bacino Balearico delimitato a Nord-Ovest dalle coste Spagnole e Francesi,

si spinge fino al golfo di Genova ed é delimitato ad Est dalle isole Corsica e Sardegna; fanno parte di questo bacino le isole Baleari, poste vicino alla costa spagnola, separate da questa dalla fossa di Valencia. La caratteristica principale di questo bacino é l'estesa piana abissale, la piú vasta e piatta di tutto il Mediterraneo, avente profondità intorno ai 2800 metri e dalla quale risalgono lungo le scarpate circostanti profondi e netti canyons; anche il delta del Rodano giunge, con la sua parte sommersa, fino alla piana abissale.

Il Mare Tirreno, anche esso di forma triangolare come il Bacino Balearico, ha il suo lato piú lungo verso la penisola italiana e raggiunge profondità maggiori rispetto al Bacino Balearico. La piana abissale si estende fino a oltre 3500 metri. In questo mare si trovano numerose isole, poste lungo la costa italiana: tra esse Capraia, il Giglio, l'Elba, Montecristo, appartenenti all'arcipelago toscano e costituite da massicci granitici piuttosto recenti; Ischia, Procida, Ponza, le Eolie, di origine vulcanica e numerose altre. Nel Tirreno ci sono inoltre grandi vulcani sottomarini come Vavilov e Marsili che si elevano fino a poche centinaia di metri dalla superficie marina e che danno il nome agli omonimi bacini.

Il Bacino Ionico e quello Levantino sono divisi convenzionalmente dal 25° meridiano Est. In realtà non ci sono grosse differenze fisiografiche tra questi due bacini, infatti vi troviamo fosse che si estendono in tutti e due, quali la fossa Ellenica e il suo prolungamento con le fosse di Plinio, Strabone e Tolomeo, nonché la Dorsale Mediterranea.

La scarpata di Malta, limite Ovest del Bacino Orientale, prende il nome dall'arcipelago costituito da rocce sedimentarie che la sovrasta. É una struttura molto caratteristica del Mediterraneo, in quanto é costituita da pareti rocciose quasi verticali e presenta un dislivello di oltre 3000 metri; é qui infatti che si trovano le piane abissali piú profonde: quella di Messina (-4200 m), quella della Sirte (-4150 m) e quella di Erodoto, ambedue ai lati della Dorsale Mediterranea, la prima nel Bacino Ionico e la seconda nel Bacino Levantino.

Il Mare Adriatico, di forma stretta e allungata, si trova tra due grandi catene montuose, quella Appenninica a Ovest e quella Dinarica a Est, e si spinge

fin quasi ai piedi della catena Alpina. Questo grande golfo, lungo poco più di mille chilometri, è suddiviso in Alto e Basso Adriatico: nel primo si trova il delta del grande fiume Po, che determina le caratteristiche idrologiche e sedimentologiche dell'Adriatico. L'Alto Adriatico è delimitato a Sud dalla fossa di Pomo e raggiunge profondità mai superiori ai 200 metri. Questo ha permesso a questa zona di emergere più volte durante le glaciazioni dell'ultimo milione di anni. Le uniche isole che si affacciano sulla costa Italiana sono le Tremiti, all'altezza del Gargano, mentre sulla costa Dalmata, data la conformazione rocciosa, se ne trovano numerose. Il Basso adriatico ha invece caratteristiche più oceaniche, è più profondo e si affaccia sullo Ionio tramite il Canale d'Otranto.

Il Mare Egeo è caratterizzato dalle numerose isole, appartenenti a due diverse unità geologiche, quella delle Ellenidi e quella delle Tauridi.

1.1.2 Ecosistema Mediterraneo

Il Mediterraneo, ad esclusione delle zone costiere, è un mare oligotrofico. La produzione primaria è rappresentata dagli organismi planctonici unicellulari, la cui attività è controllata dall'apporto di nutrienti e di radiazione solare.

I nutrienti sono generalmente presenti a basse concentrazioni nella zona eufotica, che arriva fino a 100-120 metri in mare aperto, perché immediatamente utilizzati dal fitoplancton. La degradazione batterica provoca la rimineralizzazione degli stessi in profondità, rimettendoli a disposizione della catena trofica primaria. I processi che verranno descritti nel paragrafo 1.1.3 contribuiscono al trasporto dei nutrienti dalle zone più profonde verso la superficie permettendone il riutilizzo. I nutrienti sono fattori limitanti della produzione primaria; ad esempio la limitazione da fosforo che caratterizza il Mediterraneo Orientale inibisce la produzione primaria nello stesso (in maniera crescente spostandosi da Ovest a Est del bacino). Questo bacino è sede delle più basse concentrazioni di nitrati e fosfati nonché dei più alti afflussi di polveri atmosferiche. La limitazione da fosforo potrebbe essere causata da processi inorganici di assorbimento del fosfato da parte degli idrossidi di ferro presenti nelle polveri sahariane, con

conseguente intrappolamento nei sedimenti; inoltre anche lo scarso apporto fluviale contribuisce a mantenere basse le concentrazioni di questo nutriente.

La profondità della colonna d'acqua, il tasso di produttività, la presenza di ossidanti, l'attività batterica e il tasso di sedimentazione influenzano fortemente il flusso di materiale organico verso il fondo e i processi a cui questo è sottoposto lungo la colonna d'acqua. Una buona parte di materiale biogenico prodotto nelle acque superficiali si dissolve lungo la colonna d'acqua prima di raggiungere il fondo. In generale la solubilità del silicio diminuisce con l'aumentare della pressione e il diminuire della temperatura, quindi la maggior parte della dissoluzione dei resti silicei avviene nelle acque sottosuperficiali, processo amplificato dalla sottosaturazione in silice delle acque sottosuperficiali stesse. La dissoluzione del carbonato è funzione della profondità, della produttività nelle acque superficiali e della chimica delle acque di fondo. A differenza dei silicati, i carbonati tendono a dissolversi meglio al crescere della profondità in quanto la sottosaturazione, in questo caso, è propria delle acque di fondo. Con l'aumentare della produttività la dissoluzione del bicarbonato diventa più forte, solo però fino a quando è disponibile ossigeno sul fondo (Diester-Hass, 1995).

Lo sviluppo di anossia dipende dall'equilibrio tra apporto di ossigeno, attraverso la dissoluzione in superficie, fotosintesi e ventilazione delle acque profonde e rimozione da parte dei processi di respirazione e di ossidazione.

Il tasso medio di sedimentazione è di circa 2-3 cm/1000 anni.

1.1.3 Dinamica delle masse d'acqua nel Bacino Mediterraneo

La circolazione generale di tutto il bacino è guidata da tre forzanti principali (vedi figura 1-1): il sistema di ingresso e uscita di acque dallo Stretto di Gibilterra, i flussi termici di evaporazione all'interfaccia aria-mare (circolazione termoalina), lo stress del vento.

I flussi termici di evaporazione all'interfaccia aria mare creano gradienti

superficiali di temperatura e salinitá, quindi gradienti superficiali di densitá. Questi gradienti superficiali generano a loro volta profili verticali di temperatura e salinitá, risultato del rimescolamento turbolento della colonna d'acqua e del trasporto orizzontale delle masse d'acqua. Il forzante termico all'interfaccia aria mare é importante alla scala temporale stagionale, controllando i processi di formazione delle acque profonde ed intermedie in tutto il bacino. La formazione di acque profonde ed intermedie con determinate caratteristiche, costituisce un fenomeno di "memorizzazione" dell'interazione aria-mare che ha conseguenze sulle scale temporali. Lo stress del vento forza la circolazione dalla scala temporale corta (ore) fino a quella stagionale, nella scala spaziale dei maggiori bacini descritti sopra. Cosí é possibile che il forzante termico e quello dovuto al vento agiscano sulla stessa scala temporale, il primo provocando i processi di trasformazione delle acque e l'ultimo causandone il trasporto nonché la dispersione. In ogni area del bacino si possono ottenere profili medi caratteristici, sia di temperatura che di salinitá, i quali identificano diversi strati lungo la verticale che rappresentano diverse masse d'acqua.

Si possono individuare tre masse d'acqua che vengono identificate in base al luogo in cui si formano (vedi figura 1-2). Bisogna comunque tener presente che gli intensi processi d'interazione aria-mare e di rimescolamento verticale con gli strati adiacenti fanno sí che le temperature, le salinitá e le profonditá, caratteristiche di queste diverse masse d'acqua, varino per ogni subregione dei due bacini principali del Mediterraneo (Hecht, 1988).

Le tre masse d'acqua principali sono:

ACQUA ATLANTICA MODIFICATA (MAW, "Modified Atlantic Water"): é uno strato di acqua superficiale di origine Atlantica che si trova a partire dalla superficie fino a circa 100 metri di profonditá e che entra dallo Stretto di Gibilterra. É caratterizzata da bassa salinitá (da 36.5 psu a 38.5 psu rispettivamente a Ovest e a Est della Sicilia). Il suo percorso da Ovest verso Est nell'intero Mar Mediterraneo può essere tracciato come un minimo subsuperficiale di salinitá che progressivamente sprofonda passando da una profonditá di 20 a una di 50 metri. Questi complessi processi di trasforma-

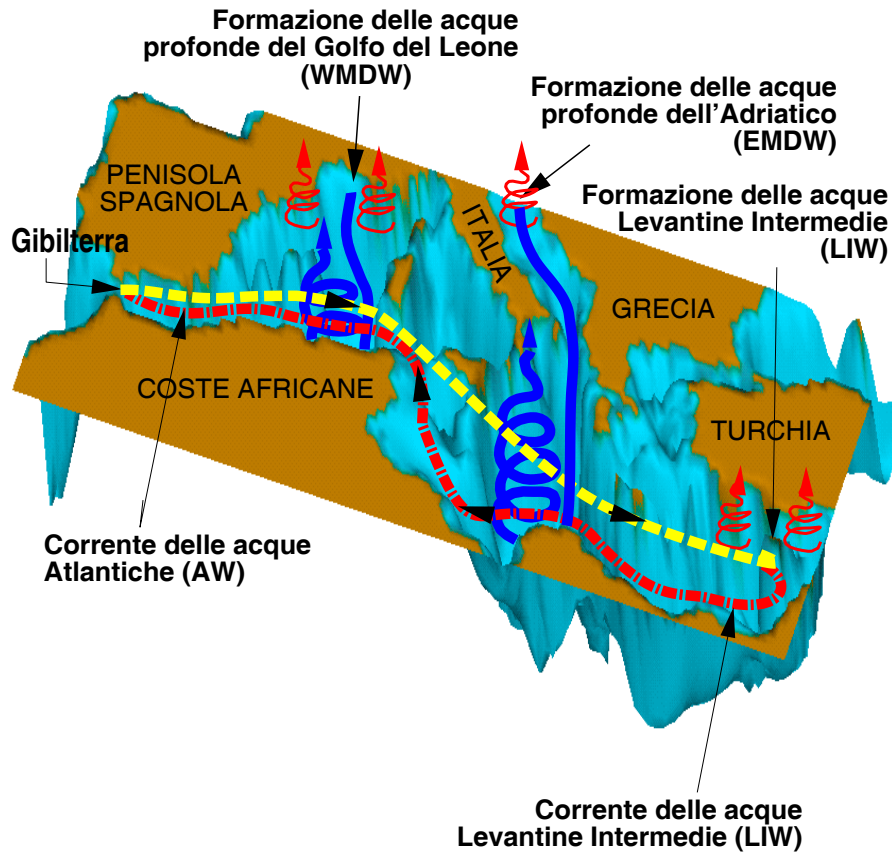


Figura 1-1: Circolazione verticale termoalina nel Mediterraneo (ripresa da Pinardi e Masetti, 2000).

zione delle acque avvengono stagionalmente sia nel bacino Ovest che in quello Est e sono accompagnati da flussi termici e di evaporazione su larga scala, da processi di rimescolamento verticale turbolento e dai fenomeni regionali di formazione delle acque profonde. Questa componente della circolazione termoalina può essere vista come un nastro trasportatore, “conveyor belt”, nella direzione zonale del bacino.

ACQUA LEVANTINA INTERMEDIA (LIW, “Levantine Intermediate Water”): si forma nel bacino levantino Nord-orientale tramite processi di convezione che avvengono nel periodo invernale. Da qui si propaga verso il bacino occidentale a 200-300 metri di profondità mescolandosi gradualmente con le masse d’acqua circostanti. Nel bacino occidentale si trova ad una profondità intermedia tra i 300-700 metri. La LIW costituisce un massimo sottosuperficiale di salinità con una media di 38.4 psu. È proprio la LIW che forma la

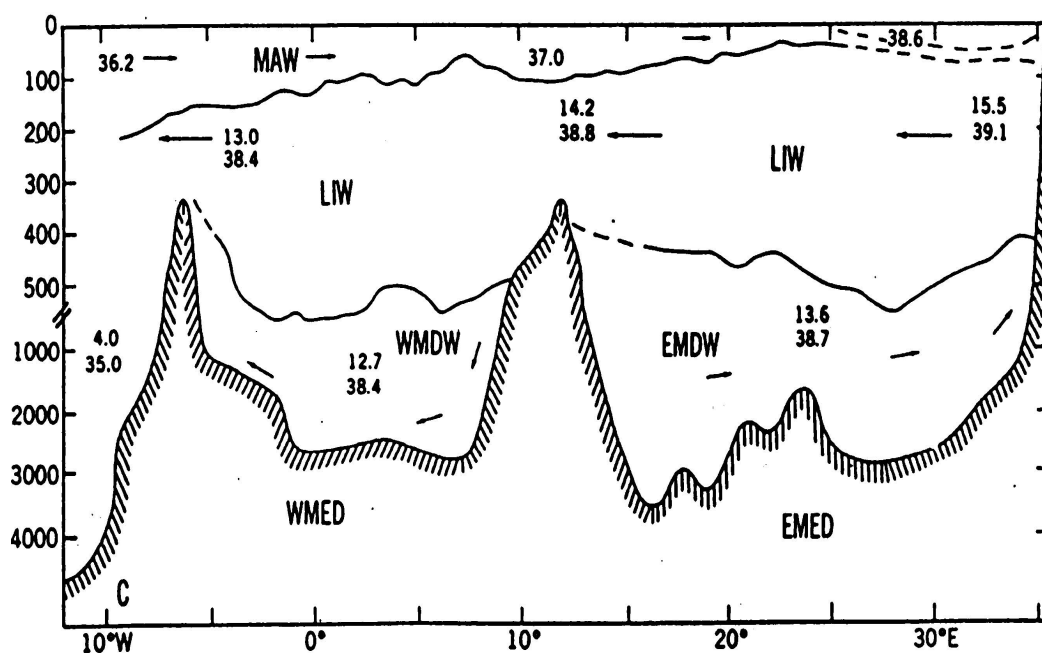


Figura 1-2: Masse d'acqua nel Mediterraneo.

maggior parte della massa d'acqua mediterranea in uscita da Gibilterra.

ACQUA MEDITERRANEA PROFONDA (MDW, "Mediterranean Deep Water"): viene prodotta durante l'inverno nel Golfo del Leone per il bacino Ovest, nell'Adriatico e nell'Egeo per il bacino Est. La MDW, trovandosi a profondità superiori di quella dello stretto di Sicilia (vedi figura 1-2), non può lasciare il bacino in cui si è formata e quindi non sono possibili rimescolamenti tra la MDW del bacino occidentale (WMDW) e quella del bacino orientale (EMDW). Analizziamo ora in dettaglio la circolazione nelle sue diverse componenti:

La circolazione e l'idrografia del Mar Mediterraneo sono guidate dalla perdita netta di acqua e calore con l'atmosfera e dagli scambi di salinità e calore con l'Oceano Atlantico che avvengono attraverso lo stretto di Gibilterra. La perdita per evaporazione eccede l'apporto dovuto alle precipitazioni, ai fiumi e agli scambi col Mar Nero. Possiamo quindi definire questo mare un bacino di concentrazione perché ha un bilancio (evaporazione-guadagno d'acqua) positivo. Il bilancio tra l'apporto di acqua poco salata di provenienza atlantica e la perdita netta di acqua all'interfaccia aria-mare è uno dei motori principali della circolazione verticale nel bacino nelle prime centinaia di metri. I flussi

entranti ed uscenti da Gibilterra sono il meccanismo di controllo delle riserve di sale e di massa di tutto il Mare Mediterraneo su una scala temporale di parecchie decadi (il tempo di residenza dell'acqua nel Mediterraneo occidentale è stimato essere dell'ordine dei 100 anni). Una volta entrata attraverso lo Stretto di Gibilterra, l'acqua atlantica poco salata che si trova alla superficie è soggetta ad evaporazione e al rimescolamento con l'acqua più densa degli strati più bassi. Ciò causa un progressivo aumento della salinità dell'acqua atlantica; il valore superficiale passa da 36.25 psu nell'area di Gibilterra fino a 37.25 psu nello Stretto di Sicilia e a valori più alti di 38.50 psu nel bacino levantino.

Questa è la circolazione verticale “classica” degli oceani che avviene nel piano meridionale dei bacini profondi. Essa connette le aree di formazione delle acque profonde con le zone abissali e superficiali degli oceani. Questa circolazione verticale è schematizzata in figura 1-1 dal nastro trasportatore di colore blu. Le zone di formazione delle acque profonde sono distinte nel bacino Ovest e in quello Est così si instaurano due nastri trasportatori meridionali separati. Il luogo di formazione delle acque profonde nel Mediterraneo orientale è il Mar Adriatico, dove in inverno si forma una massa d'acqua che poi si diffonde in tutto il bacino Est. L'interpretazione tradizionale della formazione delle acque profonde nell'Adriatico assegna un ruolo chiave ai processi di raffreddamento e di evaporazione che agiscono sulle acque nel Sud e Nord dell'Adriatico causando la formazione e lo sprofondamento di acque molto dense fuori dallo Stretto di Otranto. Il luogo di formazione delle acque profonde nel Mediterraneo Occidentale è il Golfo del Leone (Leaman and Schott, 1991). In questa zona, venti invernali freddi e secchi provocano intensi movimenti convettivi che possono avere come conseguenza il rimescolamento fino a 1200-1500 metri dell'acqua superficiale relativamente fredda e salata con quella sottostante. La massa d'acqua che si viene a formare in seguito a questi processi fa parte del flusso d'acqua mediterranea uscente da Gibilterra (Kinder e Parilla, 1987).

Le strutture orizzontali della circolazione nel bacino sono mostrate nella figura 1-3 dove sono anche elencati i nomi delle ricircolazioni o giri che a loro

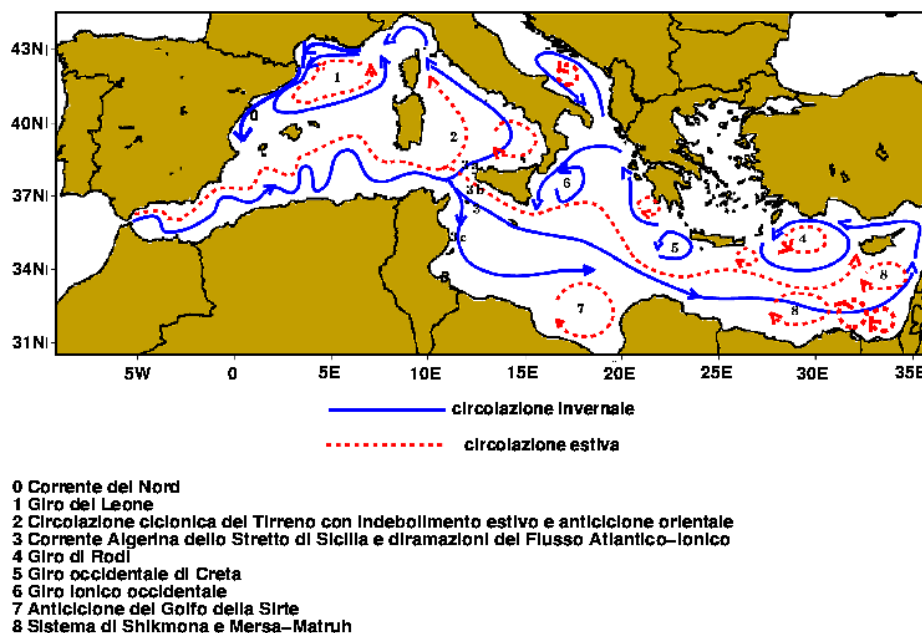


Figura 1-3: Circolazione superficiale (ripresa da Pinardi e Masetti).

volta prendono il nome dalle aree geografiche in cui vengono osservati.

Il flusso di acqua atlantica entrante da Gibilterra forma nel Mar di Alboran due giri anticiclonici: il giro occidentale e quello orientale, la cui diramazione più a Est costituisce il fronte di Almeria-Oran, caratterizzato da un forte contrasto di densità tra l'acqua atlantica entrante e l'acqua mediterranea. Questi giri possono variare in posizione e in dimensioni ed essere assenti anche per mesi. Proseguendo il suo percorso verso Est, l'acqua atlantica si sposta dalla Spagna verso la costa africana dando origine alla corrente Algerina. Questa, spostandosi verso Est, diventa instabile e forma dei meandri dai quali si staccano vortici sia ciclonici che anticiclonici. Questi vortici si muovono verso oriente ma è stato osservato, da dati satellitari, che solo quelli anticiclonici aumentano di dimensioni fino a raggiungere un diametro di 50-100 km (Milot, 1991). La corrente Algerina prosegue poi lungo la costa africana in direzione dello Stretto di Sicilia dove si divide: una parte entra nel bacino orientale e un'altra va verso Nord, nel Mar Tirreno, passando per il Canale di Sardegna.



Figura 1-4: Circolazione Levantina (ripresa da Pinardi e Masetti).

Qui la circolazione invernale é caratterizzata da un giro ciclonico che si estende a tutto il bacino. La MAW che entra dal Canale di Sardegna-Sicilia viene trasportata cosí verso Nord dove o attraversa il canale di Corsica e va nel Mar Ligure, oppure prosegue il giro nella cella di circolazione ciclonica scorrendo lungo la costa meridionale della Sardegna. In estate il giro é confinato nella parte settentrionale e nella parte meridionale la circolazione puó invertirsi e passare da ciclonica ad anticiclonica (Ayoub, 1996).

Nella parte settentrionale del bacino Algero-Provenzale la circolazione é debole e ciclonica per tutto l'anno ed é caratterizzata da un indebolimento nel periodo estivo.

Nella regione piú a Nord, lungo le coste italiane, francesi e spagnole la circolazione é dominata dalla presenza della Corrente del Nord che scorre dal Mar Ligure verso Ovest. Questa corrente presenta una variazione d'intensità stagionale: in inverno é abbastanza intensa e forma dei meandri, mentre in estate tende ad indebolirsi.

La ramificazione della corrente Algerina che invece raggiunge il Mar Ionio prende il nome di corrente Ionico-Atlantica, la quale attraversa il bacino ionico ad una latitudine di circa 36°N dividendo lo Ionio in due aree: in quella Nord troviamo il giro ciclonico dello Ionio occidentale mentre, in quella Sud, troviamo uno o piú giri di tipo anticiclonico. A Sud dell'isola di Creta la corrente Ionico-Atlantica prende il nome di Corrente a getto Medio-Oceanica e si

spinge fino alle coste dell'Asia Minore. All'altezza di Cipro abbiamo una biforcazione di quest'ultima corrente verso Nord con un giro ciclonico chiamato giro di Rodi. Nel bacino levantino sono presenti due giri anticiclonici a Sud della dorsale, quello di Mersa-Matruh e quello di Shikmona. Tali giri si pensa siano ricorrenti nel tempo ma la ragione della loro esistenza deve essere ancora capita. In generale possiamo quindi affermare che la circolazione orizzontale alla superficie del Mediterraneo può essere suddivisa nella parte settentrionale, a Nord della corrente Atlantica, dove abbiamo una prevalenza di circolazioni di tipo ciclonico, e nella parte meridionale dove si osservano strutture di tipo anticiclonico.

Nella figura 1-4 è rappresentato uno schema della circolazione sottosuperficiale all'altezza del termoclino, cioè ad una profondità tra i 300 ed i 500 metri. Come si vede nello schema, la corrente nel Canale di Sicilia è ora in senso opposto a quella che si osserva alla superficie e si ha un trasporto di acqua levantina nel bacino occidentale. Quest'ultima corrente è formata dalle acque levantine intermedie (LIW) che si sono formate nel giro di Rodi (la parte tratteggiata nella figura 1-4). Nel bacino ionico tale corrente si biforca in un ramo verso Nord attraverso lo Stretto di Otranto e uno diretto al centro dello Ionio. Oltrepassato il canale di Sicilia, nel bacino occidentale, vediamo che la corrente levantina si insinua nel bacino del Tirreno in una struttura ciclonica, già osservata alla superficie, per poi entrare nel bacino balearico passando a Sud della Sardegna. Qui è presente un'ulteriore biforcazione: un ramo si dirige verso Nord contribuendo, con il suo apporto di acqua salata nel giro del Golfo del Leone, alla formazione delle acque profonde al centro del ciclone, mentre l'altro ramo si dirige verso lo Stretto di Gibilterra per riversarsi nell'Atlantico. La circolazione descritta fino a questo punto è chiamata circolazione a grande scala o climatologica. Il Mediterraneo è ricco però di strutture a mesoscala che modificano alla scala temporale della settimana la circolazione media. La dimensione orizzontale dei processi di mesoscala è generalmente 4-5 volte il raggio di Rossby. Il raggio di deformazione di Rossby è una misura usata in oceanografia per definire le scale spaziali alle quali i processi adiabatici verticali

sono dello stesso ordine di grandezza di quelli orizzontali. Nel Mediterraneo il raggio di deformazione di Rossby é di circa 10-14 km ed i processi di mesoscala hanno una dimensione spaziale di circa 50 km (Federica Grilli, “Le cause dinamiche della stratificazione verticale del Mediterraneo”).

Millot et al. (1991) hanno messo in evidenza il fatto che nelle correnti superficiali principali che caratterizzano la circolazione nel Mediterraneo Occidentale possono verificarsi processi di instabilità che possono provocare l’insorgere di vortici di mesoscala. Questi vortici o “eddies” possono dar luogo a correnti molto intense e modificare le caratteristiche idrografiche introducendo una forte eterogeneità spazio-temporale. Un esempio tipico di questi fenomeni sono gli “eddies” che si staccano dalla corrente algerina, vortici di natura sia ciclonica che anticiclonica.

Nel bacino levantino sono stati condotti campionamenti ad alta risoluzione da Robinson et al. (1987) che hanno mostrato l’esistenza di vortici di mesoscala tipici dell’oceano aperto. Tali vortici sono importanti perchè contribuiscono al trasporto delle acque levantine. Le acque vengono intrappolate all’interno del vortice e poi trasportate.

Hecht et al. (1988), analizzando le proprietà delle masse d’acqua all’interno dei vortici nel bacino orientale, hanno trovato che la distribuzione spaziale delle LIW é fortemente correlata con la variabilità dei processi di piccola scala nel trasporto di massa.

Si possono quindi immaginare i vortici della mesoscala come un meccanismo di trasporto delle acque, le quali durante il trasporto riescono a mantenere le loro caratteristiche. Recentemente si é visto che la comprensione e lo studio di tali processi é molto importante per lo studio della variabilità spaziale e temporale delle strutture della circolazione generale del Mediterraneo.

1.2 Il Mediterranean Forecasting System

1.2.1 Generalità

Il Mediterranean Forecasting System (MFS) fa parte del Global Ocean Observing System (GOOS), organizzazione che si propone di preparare le osservazioni dell'oceano a supporto delle previsioni marine. L'obiettivo principale dell' MFS é esplorare e quantificare la predicibilità potenziale delle fluttuazioni degli ecosistemi a livello di produzione primaria, in zona costiera, attraverso lo studio delle variazioni su grande scala di bacino (Pinardi e Flemming, 1998) attraverso la divulgazione e l' implementazione di un sistema di monitoraggio automatico e l'utilizzo di modelli previsionali.

L'MFS é programma decennale diviso in tre fasi temporali:

1998-2001) Previsione a breve termine (10 giorni) dei processi fisici del Mare Mediterraneo nel suo complesso e validazione delle simulazioni ecologiche sui cicli stagionali dei nutrienti e della produzione primaria;

2002-2005) Previsione a corto raggio, nelle aree costiere del Mediterraneo, tramite un modello numerico accoppiato oceano-atmosfera ed esperimenti di previsione con modelli di ecosistemi;

2005-2009) Preoperatività. I sistemi di monitoraggio e i modelli ottenuti verranno rilasciati alle agenzie marine nazionali ed internazionali.

Le ragioni che hanno spinto alla creazione del Mediterranean Forecasting System sono legate alla necessità di incrementare la disponibilità di dati sia in numero che in qualità sullo stato del mare, di procedere alla previsione delle correnti sulla base dei dati collezionati in quasi tempo reale e di migliorare le conoscenze sui processi chiave della circolazione marina.

La prima fase del programma si é inaugurata nel progetto pilota (Mediterranean Forecasting System Pilot Project, MFSP) iniziato nel Settembre 1998 e coordinato dall'Unione Europea, Dipartimento di Ricerca e Sviluppo, sezione

Marine Sciences and Technology (MAST). Questo progetto ha l'obiettivo di divulgare e implementare una strategia iniziale per la realizzazione del sistema previsionale per il Mediterraneo descritto sopra.

Ogni sistema previsionale necessita di due parti essenziali: un sistema di osservazione e un sistema di modellazione numerica in grado di elaborare i dati acquisiti per effettuare la previsione.

Un'ipotesi sulla quale si basa la struttura del progetto é che la zona costiera sia strettamente connessa alle correnti al largo e che la variabilità della biomassa fitoplanctonica nelle aree costiere sia connessa principalmente al forzante fisico. E' quindi necessario innanzitutto osservare e modellare accuratamente il sistema fisico fino alle coste e calibrare/validare i modelli di ecosistema nella zona costiera.

Un'obiettivo importante é quello di avvicinarsi il più possibile all'acquisizione ed elaborazione dati in tempo reale (Near Real Time), almeno per quanto riguarda i parametri fisici degli ecosistemi.

Il progetto é suddiviso in otto gruppi di lavoro distinti (WorkPackage WP1-8). Di seguito ne illustriamo gli scopi.

WP1) Collezione di dati di temperatura attraverso il Voluntary Observing Ship

In questo gruppo di lavoro si deve realizzare un sistema di acquisizione dati di temperatura a scala di bacino e che li fornisca in Near Real Time (NRT), ossia tempo quasi reale (con quasi si intende entro 2 giorni), tramite il Voluntary Observing Ship-VOS system. In altre parole il sistema di monitoraggio si avvale del supporto di una serie di navi commerciali, non dedite alla ricerca, ma che si rendono disponibili durante la normale attività di navigazione. L'acquisizione di questi dati di temperatura avviene tramite sonde eXpandable BathyTermograph- XBT, che sono "a perdere", poiché al termine dell'operazione non recuperate.

L'argomento di questa tesi é strettamente correlato a questo primo obiettivo dell' MFSPP. In seguito verrà analizzata la struttura di VOS nel mondo e

quindi nel Mediterraneo, nonché il funzionamento degli XBT e di tutto ciò che ne supporta l'utilizzo.

WP2) Sistema a boe del Mediterranean Multisensor Moored Array (M3A)

É una rete di boe galleggianti in grado di acquisire un set completo di dati quali temperatura, salinità, intensità della corrente, parametri biogeochimici e parametri ottici; si vuole infatti testare la fattibilità di un' estesa rete di monitoraggio fissa che riesca a fornire dati su tutto il Bacino Mediterraneo.

WP3) Analisi in NRT di dati da satellite

É un sistema di acquisizione ed elaborazione dati da satellite, quali l'altezza della superficie del mare (sea surface height-SSH), la temperatura della superficie del mare (sea surface temperature-SST) e il "colore del mare", trasformato in clorofilla.

WP4) Assimilazione dati oceanografici ed impatto della strategia di accoppiamento dei dati atmosferici e oceanografici

L'obiettivo di questo gruppo é divulgare e testare tecniche di assimilazione dei dati ottenuti dai tre precedenti gruppi in modo tale da poter inizializzare il modello idrodinamico a scala di bacino. Tali tecniche usano criteri di ottimalità statistica nel fondere l'informazione proveniente dai dati e quella proveniente dal modello idrodinamico.

WP5) Esperimenti numerici di previsione durante il periodo operativo (Target Operational Period,TOP)

In questo quinto gruppo di lavoro si deve implementare un modello numerico a larga scala e produrre ogni settimana una previsione delle correnti a 10 giorni.

WP6) Simulazioni ad alta risoluzione nella zona costiera e implementazione del modello

Questo gruppo si occupa della simulazione ad alta risoluzione nella zona costiera; per fare ciò sviluppa le tecniche di accoppiamento tra il modello a scala di bacino e quelli a scala costiera.

WP7) Validazione del modello ecosistemico e assegnazione delle condizioni iniziali

L'obiettivo di questo gruppo é quello di implementare un modello numerico degli ecosistemi costieri, con validazione e calibrazione mediante i dati della boa M3A; si possono inoltre così sviluppare i metodi per l'assimilazione di nutrienti, clorofilla e PAR.

WP8) Gestione dei dati

Come ultimo obiettivo si vuole realizzare una banca dati globale, disponibile in tempo quasi reale, che possa essere accessibile in rete per tutta la comunità scientifica impegnata nella modellistica previsionale.

Al Progetto Pilota, che é uno dei piú grandi finanziati dall'Unione Europea, partecipano 30 istituzioni di 10 paesi Europei e Mediterranei.

1.2.2 Il Voluntary Observing System (VOS)

Vari programmi internazionali negli scorsi venti anni hanno definito gli scopi e le procedure osservative del VOS. Il piú importante é il SOOP che provvede a coordinare tutti i sistemi VOS organizzati dalle nazioni in varie regioni della terra. L'MFSPP é di recente entrato a fare parte di questo sistema internazionale.

Il VOS supporta l'acquisizione dati tramite navi commerciali che si rendono disponibili per il trasporto delle persone e degli strumenti.

Il contributo delle diverse nazioni all' acquisizione dati XBT nel mondo é indicato in figura 1-5.

I requisiti particolari del programma VOS dell'MFSPP sono i seguenti:

- 1) I dati devono essere raccolti per risolvere la mesoscala spaziale (10-12 nm) e la scala temporale sinottica (15 gg).

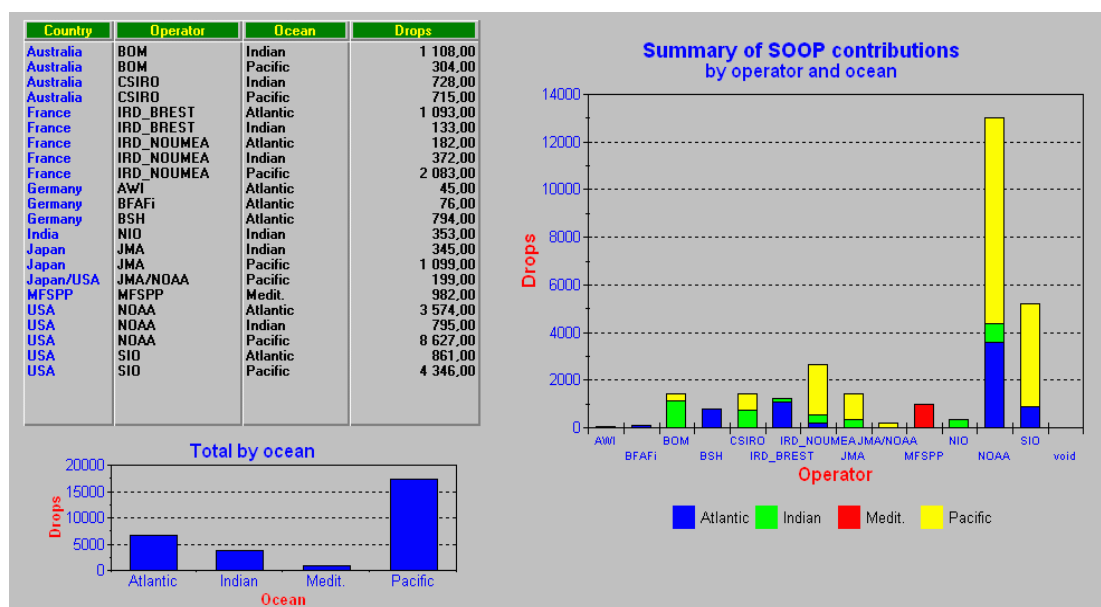


Figura 1-5: I contributi al SOOP nel mondo (ripresa da ifremer/soopip).

- 2) I dati devono essere disponibili in Near Real Time, ossia entro al massimo 2 giorni dall'acquisizione. Questo avviene decimando i dati in verticale su di un massimo di 15 punti.
- 3) L'accesso ai dati avviene tramite il sistema GTS (Global Telecommunication System) definito dal WMO per distribuire dati nella rete mondiale meteorologica.
- 4) Prima della divulgazione i dati devono aver subito il controllo di qualità.

L'utilizzo di linee guida comuni a tutti i gruppi del Mediterraneo partecipanti (elencati in seguito) garantisce una buona qualità nella raccolta dei dati, nonostante l'uniformizzazione delle procedure richieda un notevole impegno da parte dei partecipanti. I dati ottenuti tramite sonda XBT vengono immagazzinati in due forme:

- 1) Dati decimati automaticamente su 15 punti in verticale scelti automaticamente sui punti di cambiamento di gradiente del profilo;
- 2) Dati continui, ossia con valori ogni 60 centimetri di profondità.

I dati decimati sono trasmessi tramite sistema satellitare (ARGOS) ad un

centro di raccolta (nel nostro caso residente a Tolosa) che li invia poi nel GTS globale.

Il controllo di qualità dei dati avviene in più fasi:

- 1) Direttamente a bordo delle navi, applicando un controllo automatico di eliminazione dei profili di temperatura che presentino anomalie caratteristiche di malfunzionamento della sonda.
- 2) Presso il centro di raccolta MFSPP residente all'ENEA di La Spezia (Italia), dove vengono presi in esame sia i profili decimati che quelli continui.
- 3) Nel centro di raccolta dati permanente del progetto (IFREMER, Brest, Francia), dove vengono archiviati solamente i profili continui.

Uno degli obiettivi di questa tesi, come verrà discusso in seguito, è proprio quello di creare un software per il controllo di qualità dei dati continui acquisiti a livello di centro Mediterraneo quale è quello oggi presente a La Spezia.

1.2.2.1 Le rotte

Il disegno delle rotte lungo le quali effettuare il campionamento è stato definito sulla base delle più avanzate conoscenze sulla circolazione del Mediterraneo. I transetti sono stati tracciati con l'obiettivo di seguire la diffusione delle acque Atlantiche nel bacino, campionare i giri principali, identificare la variabilità delle zone di formazione delle acque profonde.

Questo disegno è stato poi modificato in base alla disponibilità delle navi commerciali; il risultato finale è rappresentato nella figura 1-6 e nella tabella 1.1.

Durante questa prima fase (da settembre 1999 fino a giugno 2000), la copertura spaziale non è stata ottimale poiché le navi occupavano le rotte ogni due settimane ma senza coordinamento tra loro.

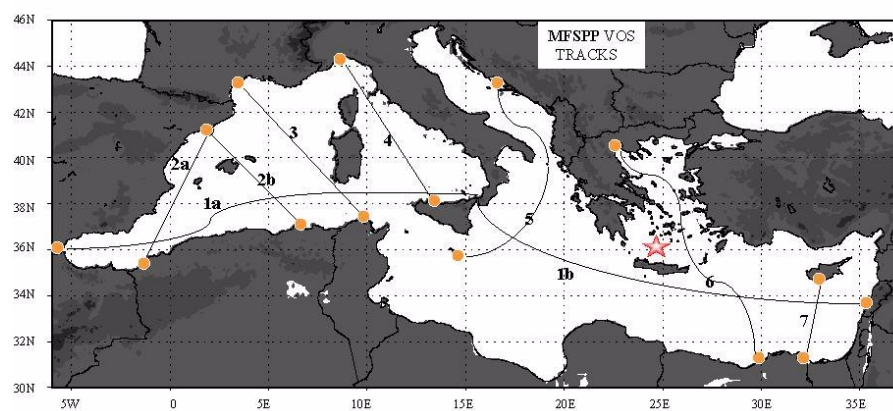


Figura 1-6: Rotte VOS nel Mediterraneo.

#rotta	porto di partenza	porto di arrivo	istituto	codice
1a	Gibilterra	Palermo	SAHFOS	010
1b	Messina	Haifa	SAHFOS	010
2a	Barcellona	Arzew	CSIC CEAB	020
2b	Barcellona	Skidda	CSIC CEAB	020
3	Sete	Tunisi	CNRS LOB	030
4	Genova	Palermo	CNR ENEA	040
5	Ploce	Malta	OGS	050
6	Thessaloniki	Alessandria	NCMR	060
7	Limasol	Port Said	FD LPO	070

Tabella 1.1: Porti di partenza e arrivo delle rotte.

Le istituzioni partecipanti al VOS:

Il CSIC-CEAB di Blanes in Spagna, il cui responsabile é A.Cruzado; il LOB/COM di Seyne sur Mer in Francia, il cui responsabile é C.Millot; l'ENEA di La Spezia in Italia, il cui responsabile é G.Manzella; l'OGS di Trieste in Italia, il cui responsabile é M.Gacic; l'NCMR di Atene in Grecia, il cui responsabile é I.Tziavos; l'FDMR-LPO di Nicosia a Cipro, il cui responsabile é G.Zodiatis; il SAHFOS di Plymouth in Inghilterra, il cui responsabile é P.C.Reid.

1.2.3 Cosa é un eXpendable BathyThermograph system (XBT)

Come già accennato, un XBT é costituito principalmente da una sonda di temperatura che associa ad una serie crescente di profondità la serie corrispondente di valori di temperatura.

Il sistema completo é costituito dalla sonda a perdere (figura 1-7), dal lanciatore (figura 1-8) e dall'elaboratore/registratore (figura 1-9).

La connessione elettrica tra sonda e registratore (MK12) viene effettuata quando il contenitore della sonda viene posto nel lanciatore. Al momento del lancio, quando mediante il lanciatore viene tolta la spoletta che impedisce la fuoriuscita della sonda dal contenitore, simultaneamente iniziano a svolgersi due bobine di filoconduttore: una é propria della sonda e quindi scende con essa mentre si svolge, l'altra invece é propria del contenitore che rimane nel lanciatore.

Questo sistema di srotolamento sdoppiato, creato per potere usare gli XBT anche dalla barca in movimento, permette infatti di alleviare le negative influenze di allungamento del filo indotte dallo spostamento della barca, dal vento e dalla corrente. Proprio alla superficie del mare, zona ove si accentuano maggiormente le variazioni di tensione sul filo, grazie al doppio srotolamento, si viene a determinare un punto fisso in cui il filo resta fermo: da questo punto parte sia lo svolgimento verso il basso della bobina della sonda, sia lo svolgimento verso la barca della bobina del contenitore.



Figura 1-7: Contenitore e Sonda XBT.



Figura 1-8: Lanciatori di XBT.

La punta del siluro della sonda (figura 1-7 B) contiene una termoresistenza che varia il suo valore di resistenza in base alla temperatura dell'acqua nella quale si trova immersa. Questa variazione di resistenza induce una variazione di intensità di corrente lungo il filo, in quanto il sistema é mantenuto a differenza di potenziale costante, che viene misurata sulla barca dal registratore/elaboratore MK12 (figura 1-9) nel quale, tramite un software, i cambi di corrente sono tradotti in variazioni di temperatura.

Le temperature misurate vanno poi associate ai corrispondenti valori di profondità. In realtà la misura della profondità non viene effettuata direttamente, come potrebbe essere fatto con una sonda dotata di manometro, ma attraverso un algoritmo che associa i valori di quota ai tempi intercorsi dal momento del lancio, tramite la relazione che lega spazio e tempo attraverso la velocità di discesa e l'accelerazione subita; questi due parametri sono stati calibrati in



Figura 1-9: Registratore MK-12.

Tabella 1.2: Caratteristiche sonde XBT
(F-D=Fast Deep, D-B=Deep Blue, MMA=Marina Militare Americana, P=profondità, V=velocità, ris.=risoluzione).

sonda	applicazione	massima profondità	massima velocità	ris. verticale
T-4	Standard MMA	460 m	30 nodi	65 cm
T-5	alte P bassa V	1830 m	6 nodi	65 cm
F-D	alte V e P	1000 m	20 nodi	65 cm
T-6	oceanografica	460 m	15 nodi	65 cm
T-7	applicazioni sonar	760 m	15 nodi	65 cm
D-B	T-7 per alte V	760 m	20 nodi	65 cm
T-10	aziende di pesca	200 m	10 nodi	65 cm
T-11	massima ris.	460 m	6 nodi	18 cm

fase costruttiva della sonda e sono l'argomento di discussione ogni volta che si affronta lo studio della precisione e della risoluzione verticale dello strumento. Le formule di connessione tra tempo di caduta e profondità assumono valori diversi nei coefficienti in base al tipo di sonda usata. Le caratteristiche delle diverse sonde sono illustrate in tabella 1.2.

In generale l'accuratezza con cui viene associata la profondità al tempo è del 2% sulla profondità totale.

La precisione con cui viene acquisita la temperatura è di ± 0.1 °C.

Una volta raggiunta la massima profondità, caratteristica del tipo di sonda, il filo si spezza e termina la registrazione dei dati sull'MK12.

Come si vede nella figura 1-8, i lanciatori sono di tre tipi:

LM-2A montato sul ponte e di facile installazione su ogni tipo di barca;

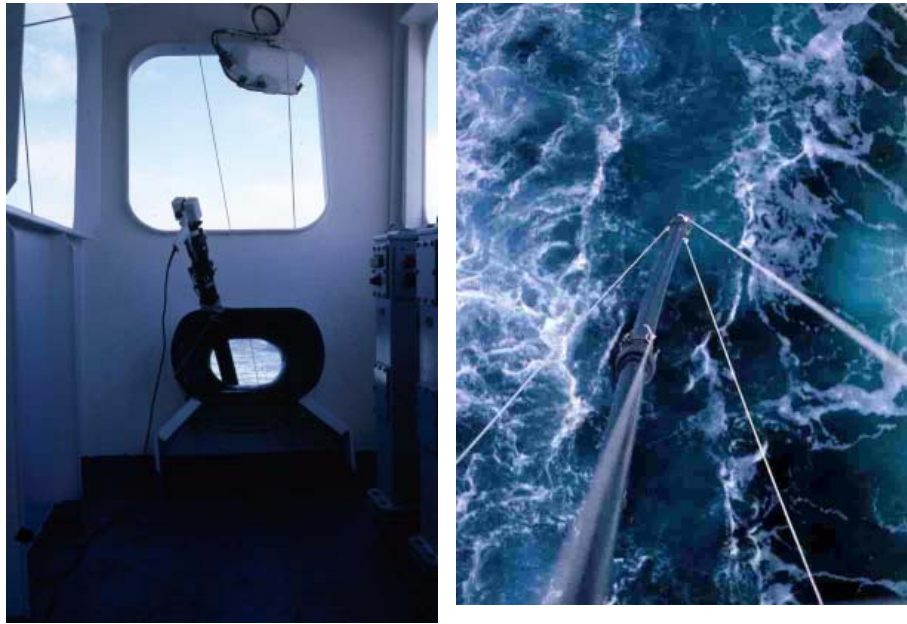


Figura 1-10: Sistema di supporto per il lancio della sonda XBT.

- LM-3A lanciatore portatile, che offre la massima flessibilità nello scegliere il punto della nave più adatto per il lancio in quel determinato momento;
- LM-4A Thru Hull: lanciatore standard delle marine militari, simile al primo ma posto sottocoperta, in modo da essere usato anche in condizioni meteorologiche avverse; questo terzo tipo è quello preferibile.

Il processo di lancio e acquisizione dura circa 5 minuti; il lancio è una fase importante del campionamento in quanto la maggior parte degli errori è causata dall'allungamento del filo che avviene al contatto dello stesso con lo scafo o con l'acqua, oppure a seguito della pressione del vento (la massima velocità del vento accettabile è 50 nodi). In figura 1-10 è rappresentato il sistema utilizzato (sulla nave Excelsior per il campionamento lungo la rotta Genova-Palermo) per ridurre le influenze dell'ambiente sulla sonda nella fase antecedente il contatto con l'acqua: la sonda, una volta rilasciata tramite il lanciatore (LM-3A), scorre dentro il tubo-guida fino ad arrivare nei pressi della superficie dell'acqua.

Un eventuale allungamento causa la registrazione di spikes nel profilo, ossia alte variazioni localizzate e non veritiere dei valori di temperatura; nel capitolo

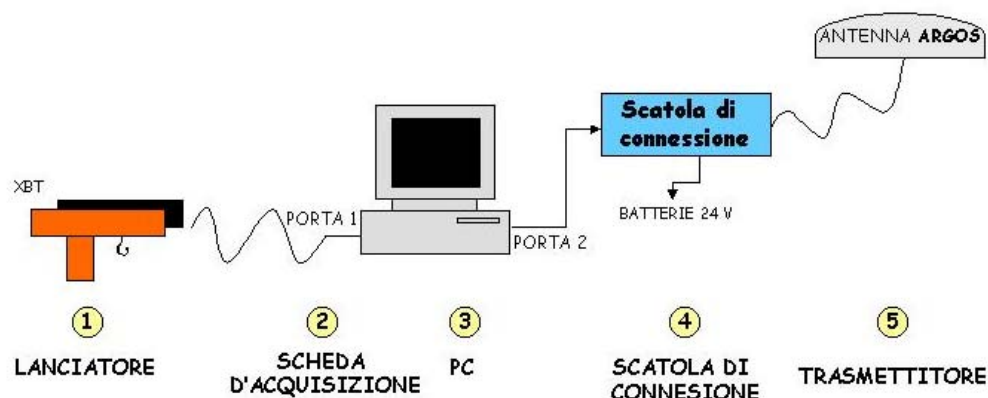


Figura 1-11: Schema del sistema di acquisizione-registrazione-trasmissione.

3 verrà illustrata la metodologia realizzata per l'eliminazione di questi spikes, durante il processo di analisi di qualità dei dati.

1.2.4 Utilizzo degli XBT e della tecnologia ARGOS

In figura 1-11 é rappresentato lo schema delle connessioni tra i vari elementi del sistema di acquisizione. Come evidente, oltre ai componenti illustrati nel paragrafo 1.2.3, fanno parte del sistema anche elementi necessari per la trasmissione dei dati; per poter assicurare l'utilizzo in quasi tempo reale, infatti, i dati vengono trasmessi al satellite immediatamente dopo l'acquisizione.

Il supporto utilizzato per la trasmissione é l'ARGOS, un sistema satellitare (i satelliti usati sono i Polar Orbiting Environmental Satellites, POES, di proprietà della National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) che permette di raccogliere dati ambientali da piattaforme posizionate in tutto il mondo e trasmettere gli stessi agli utilizzatori. É quindi un servizio di telemetria e geoposizionamento grazie al quale i dati trasmessi dalle barche del VOS (attraverso un'antenna dedicata come mostrato in figura 1-12) vengono raccolti presso il centro raccolta dati in tempo reale Near Real Time Data Collecting Center (NRT-DCA, Tolosa-Francia) e trasmessi quindi alla rete Global



Figura 1-12: Antenna di trasmissione ARGOS.

Telecommunication System (GTS): questa rete é costituita da un circuito di linee di comunicazione terrestri e satellitari che permettono la distribuzione dei dati a tutti i centri di analisi associati. In tal modo i dati raccolti vengono resi disponibili in rete per i partecipanti al MFS.

La registrazione del profilo di temperatura durante l'acquisizione con XBT (vedi paragrafo 1.2.3) avviene, lungo la verticale, con passo di circa 60 centimetri; l'informazione ottenuta grazie a questa risoluzione é però troppo “voluminosa”, ossia occupa uno spazio di memoria troppo grande per essere trasmesso in NRT. Come anticipato nel paragrafo 1.2.2, per ovviare a questo, a valle del sistema di registrazione del profilo continuo un sistema di decimazione permette, in base ad analisi sul gradiente di temperatura, di collezionare solo 15 valori di temperatura: quelli posti alle profondità più importanti per la caratterizzazione del tipo di profilo. In trasmissione quindi viene mandato solo il

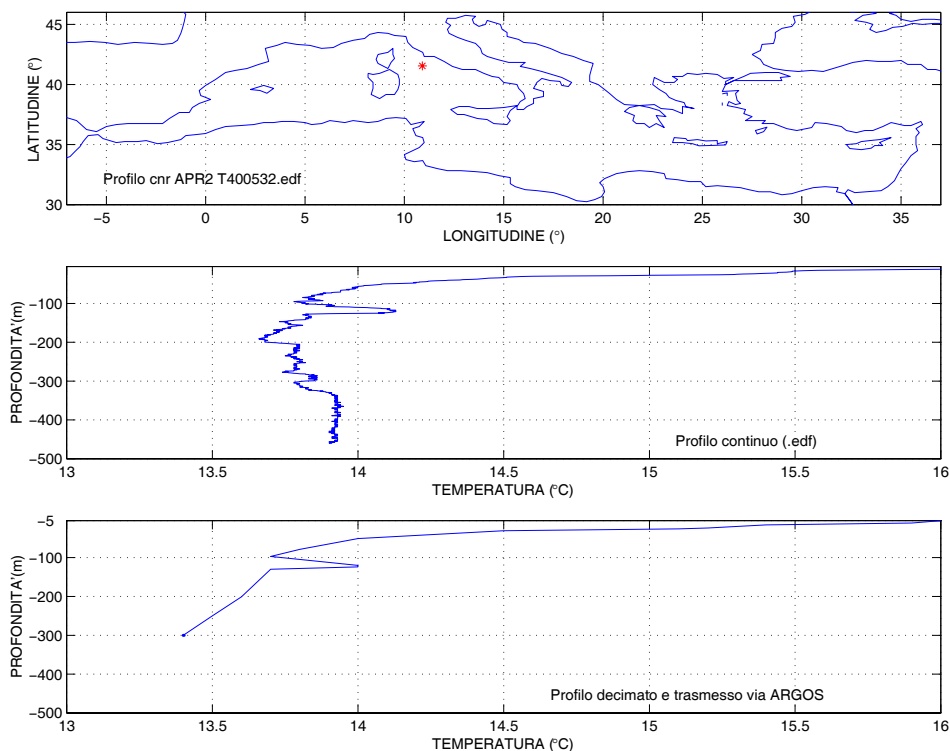


Figura 1-13: Esempio di decimazione di un profilo continuo di temperatura.

profilo “decimato”.

Il sistema di decimazione-trasmissione ARGOS però, durante la fase pilota dell’ MFS, non si é sempre dimostrato affidabile, ovvero si sono verificati casi di non trasmissione del dato (specialmente nei mesi invernali durante i quali i profili si presentano maggiormente omogenei e quindi probabilmente di più difficile interpretazione nella fase di decimazione). Nella figura 1-13 si vede inoltre che anche la procedura stessa di decimazione non riproduce fedelmente il profilo originale. Per ovviare a ciò per le prossime fasi dell’ MFS sono in analisi sistemi diversi di trasmissione, non satellitari, basati sulla diretta comunicazione a terra dei dati (tramite rete telefonica cellulare). L’utilizzo del satellite, per la trasmissione dati XBT nel Mediterraneo, sembra infatti non indispensabile in quanto la copertura di antenne telefoniche a terra risulta sufficiente per assistere il progetto. Inoltre questo permetterebbe di trasmettere direttamente i profili continui, invece dei decimati, aumentando quindi la risoluzione dei dati forniti in NRT.

1.3 Obiettivi della tesi

Con questa tesi si vuole ottenere una procedura di controllo di qualità da applicare ai dati XBT registrati in continuo durante le campagne di acquisizione dell' MFS. Per poter effettuare questo si rende necessaria la creazione di una banca dati di temperatura, tramite i dati storici disponibili, che rappresenti la climatologia nel Mare Mediterraneo.

Il controllo di qualità verrà poi applicato ad un gruppo di dati campionati durante la fase pilota del progetto MFS per valutare l'affidabilità degli stessi e quindi fornire uno strumento utile per selezionare tra essi i più adatti all'acquisizione nel modello di previsione del progetto stesso.

Capitolo 2

CLIMATOLOGIA DA DATI XBT NEL MEDITERRANEO

2.1 La banca dati Medatlas

La banca dati Medatlas é una collezione di dati acquisiti nel Mediterraneo a partire dall'anno 1906 fino all'anno 1997. Questa collezione é distribuita su CD-ROM; nel sito internet (www.ifremer.fr/sismer/program/medar/) si possono trovare tutte le informazioni relative al progetto di archiviazione dati. Al suo interno vi sono diverse categorie di dati tra i quali quelli di nostro interesse sono: temperatura, salinitá, pressione e ossigeno. Gli strumenti di misura sono diversi e si possono suddividere in quattro tipi di sensori/metodi: sonda CTD (Conducibilitá Temperatura Densitá), analisi di bottiglie (analisi su campioni di acqua raccolti a diverse profonditá), sonde MBT (Mechanical BathyThermograph, ossia sistema di misurazione di temperatura-profonditá in cui il procedimento di rilascio e recupero della sonda é controllato manualmente; questa sonda infatti non viene lasciata in mare al termine del campionamento come invece avviene per gli XBT) e XBT (il sistema descritto nel capitolo 1).

I dati provenienti da sonde XBT presenti in questa banca appartengono al periodo 1966-1994. Una intestazione descrittiva della stazione e della serie profonditá-temperatura é associata ad ogni profilo XBT.

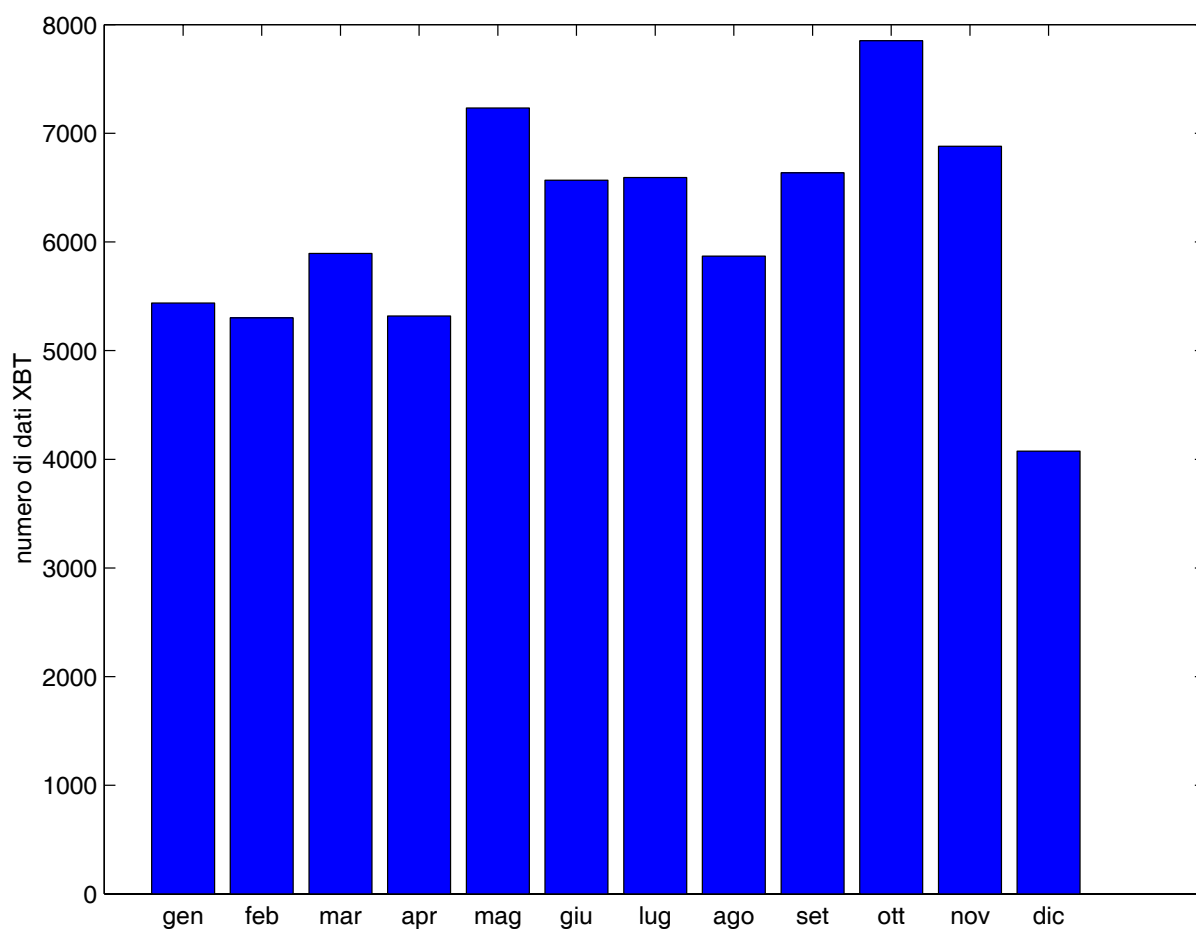


Figura 2-1: Distribuzione mensile dati XBT Medatlas.

Le informazioni disponibili per ogni stazione sono quindi le seguenti: data, ora, latitudine, longitudine, parametro di qualità, temperatura e pressione superficiale ed eventuale commento.

La serie che segue l'intestazione dei dati non è standardizzata, ossia troviamo sia serie di dati continui, in cui la distanza tra un dato di temperatura e l'altro è dettata dalla risoluzione dello strumento, sia serie di dati decimati, in cui compaiono solo alcune coppie profondità-temperatura, a livelli variabili predefiniti dall'utilizzatore del sistema di elaborazione di quella serie.

Questa disomogeneità del formato, in particolare la presenza di pochi dati continui, provoca un abbassamento della qualità delle analisi fatte utilizzando gli stessi.

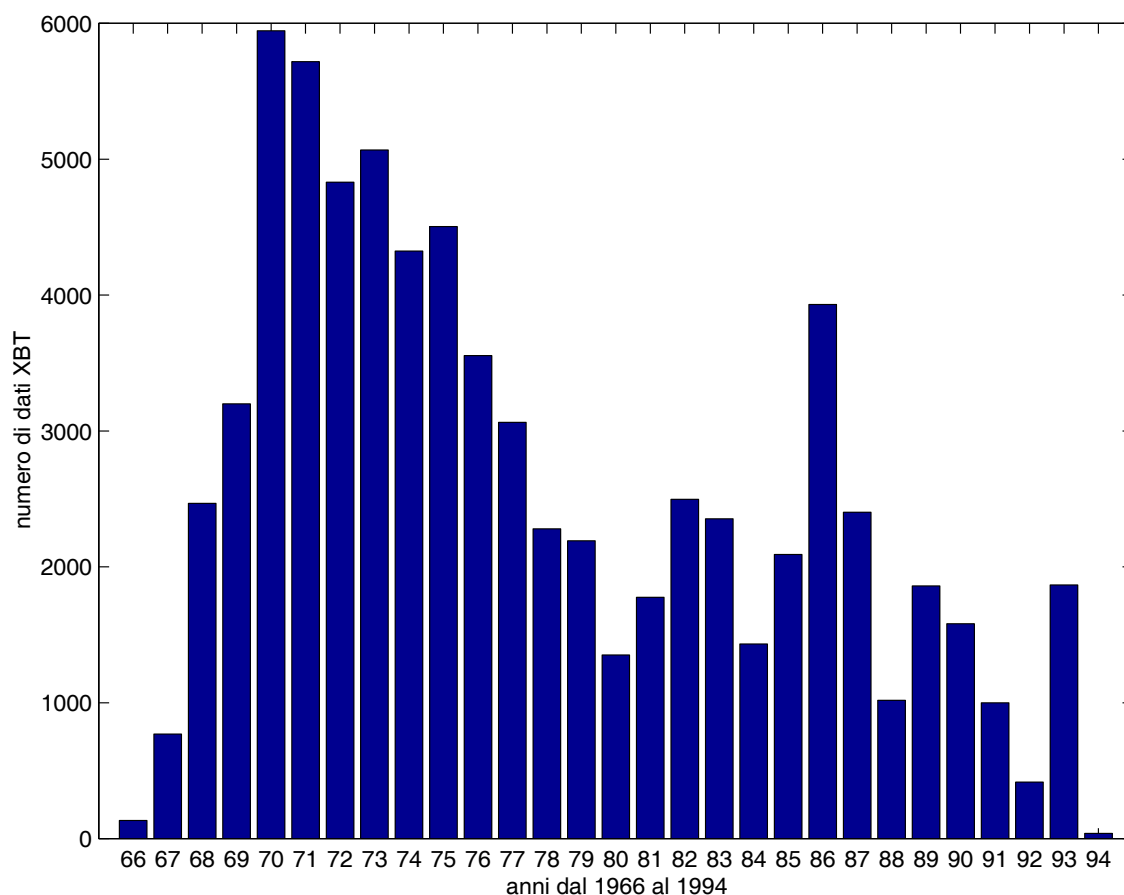


Figura 2-2: Distribuzione annuale dati XBT Medatlas.

Negli istogrammi (figure 2-1 e 2-2) viene illustrata la distribuzione temporale di tutti i dati XBT forniti da Medatlas per anno e mese. Vediamo che mese per mese i dati sono distribuiti assai uniformemente con una media di circa 5000 XBT al mese. I dati sono però nella maggior parte provenienti dagli anni '70 e in proporzione assai minore sono stati collezionati negli anni '80.

Il nostro fine é quello di calcolare una climatologia di profili di temperatura (in funzione della profondità) per diverse regioni al fine di mettere a punto il controllo di qualità dei dati di XBT raccolti in tempo reale (mediante il VOS) durante il periodo di operatività dell' MFSP. Dobbiamo però considerare che la climatologia sarà più rappresentativa degli anni '70-'80 che dei '90 e quindi valutare i criteri di controllo di qualità anche in base a questo. É risaputo infatti che nel periodo degli anni '80 e nella prima metà dei '90, il Mediterraneo Orientale ha subito un violento cambiamento nel carattere delle

sue acque profonde ed intermedie (Brankant e Pinardi, 2000; Roether et al, 1996; Wu et al., 2000). Potremmo quindi avere dei problemi nel controllo di qualità dovuti alle diverse caratteristiche del campo di temperatura negli anni '80 e '90.

Passiamo ora a definire la climatologia dei dati XBT nel Mediterraneo.

2.2 Distribuzione dei dati

Al fine di confrontare dati XBT presi lungo le singole tracce del VOS con dati di climatologia, é necessario definire una griglia sulla quale calcolare valori medi rappresentativi. Innanzitutto dobbiamo quindi assicurarci di avere un numero adeguato di osservazioni per ciascuna area di interesse. Al fine di mostrare i dati in maniera sintetica, abbiamo suddiviso il Mediterraneo in 22 aree (figura 2-3).

Per ogni singola area (figure 2-4 2-5 2-6 2-7 2-8 2-9 2-10) si mostra il numero di dati mensili. Per alcune aree il numero di dati disponibili per ogni mese é particolarmente basso; questo dipende ovviamente dalle dimensioni delle aree, però, cosiderando la densità di dati nelle stesse, si nota che le aree 4, 7 , 9, 11, 16, 17 necessiterebbero più delle altre di ulteriori campionamenti. L'area 10 non é rappresentata perché si é scelto di creare la climatologia solo con i profili ottenuti per aree aventi profondità superiori a 200 metri.

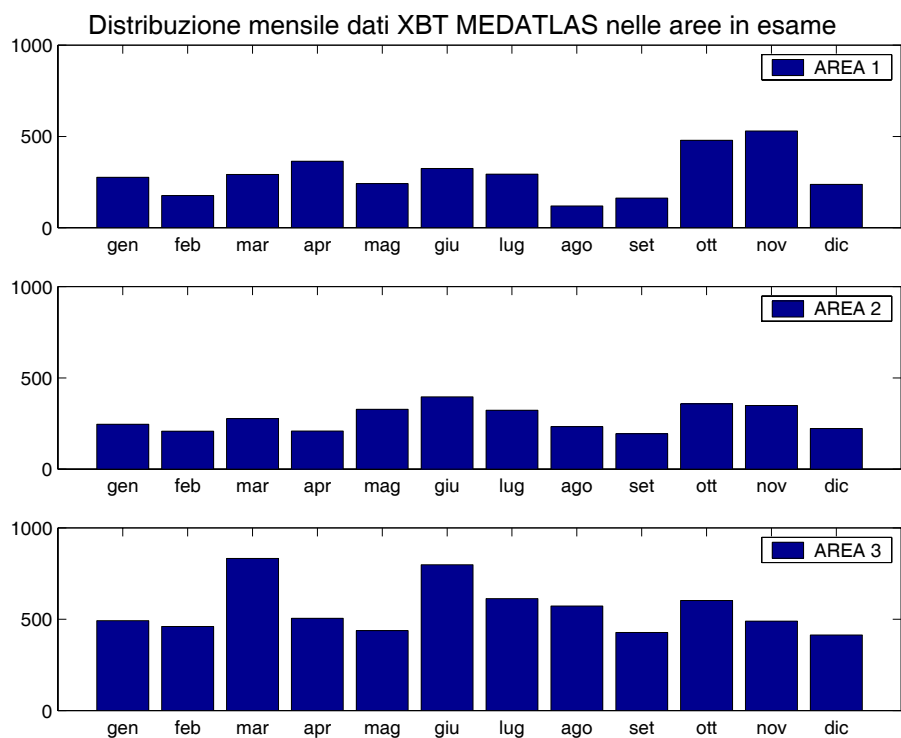


Figura 2-4: Distribuzione dati nelle aree 1,2,3.

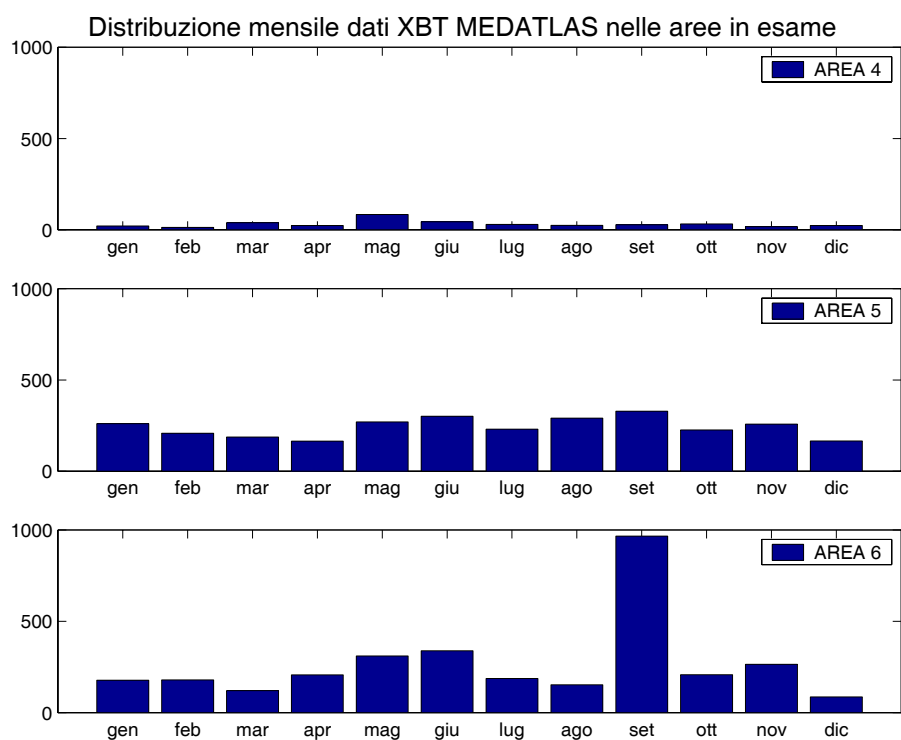


Figura 2-5: Distribuzione dati nelle aree 4,5,6.

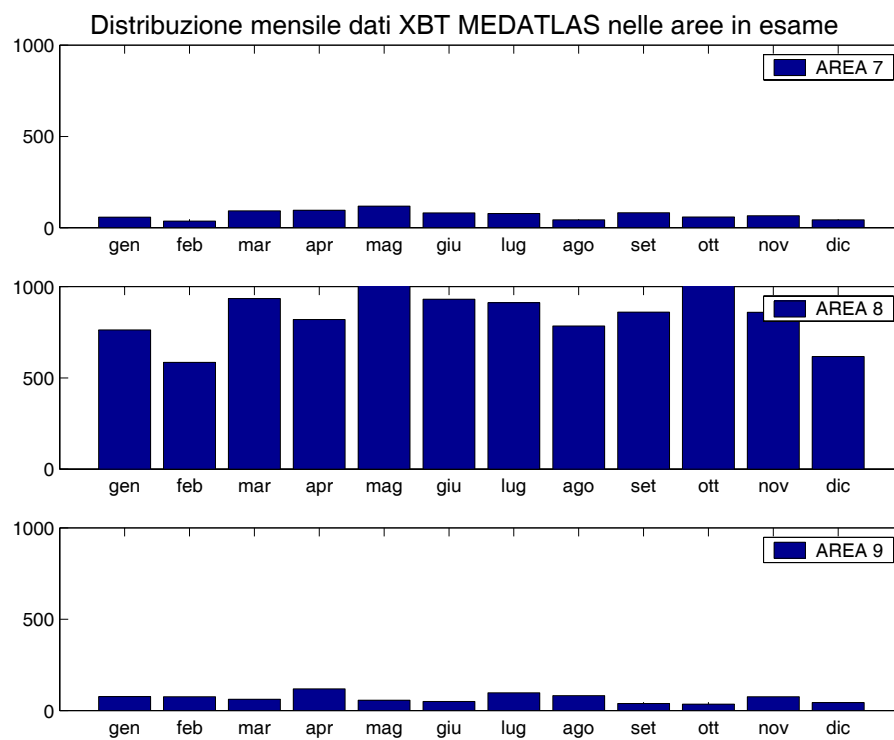


Figura 2-6: Distribuzione dati nelle aree 7,8,9.

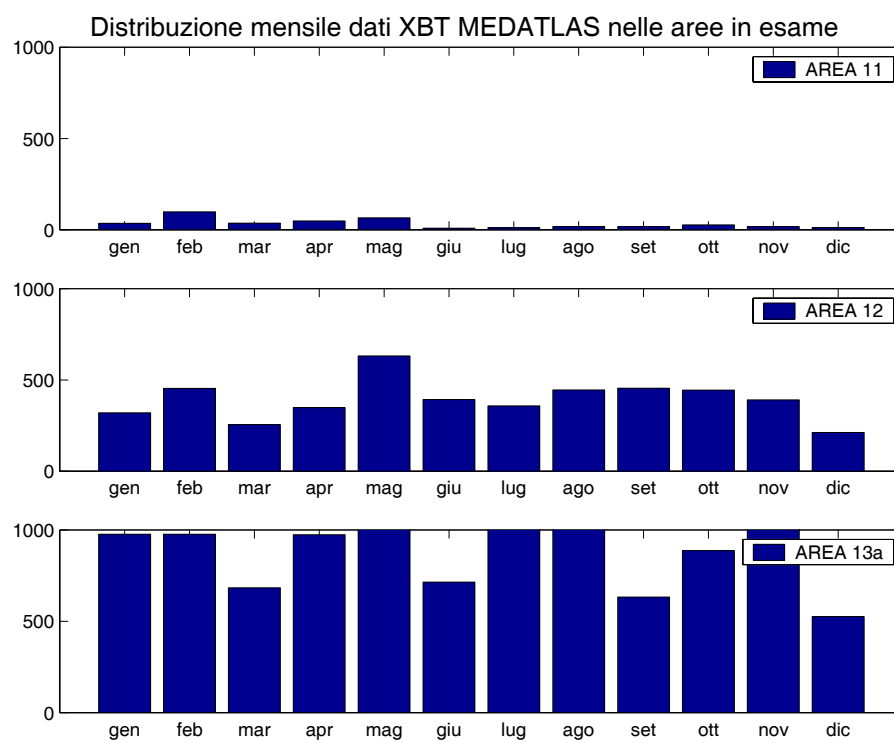


Figura 2-7: Distribuzione dati nelle aree 11,12,13a.

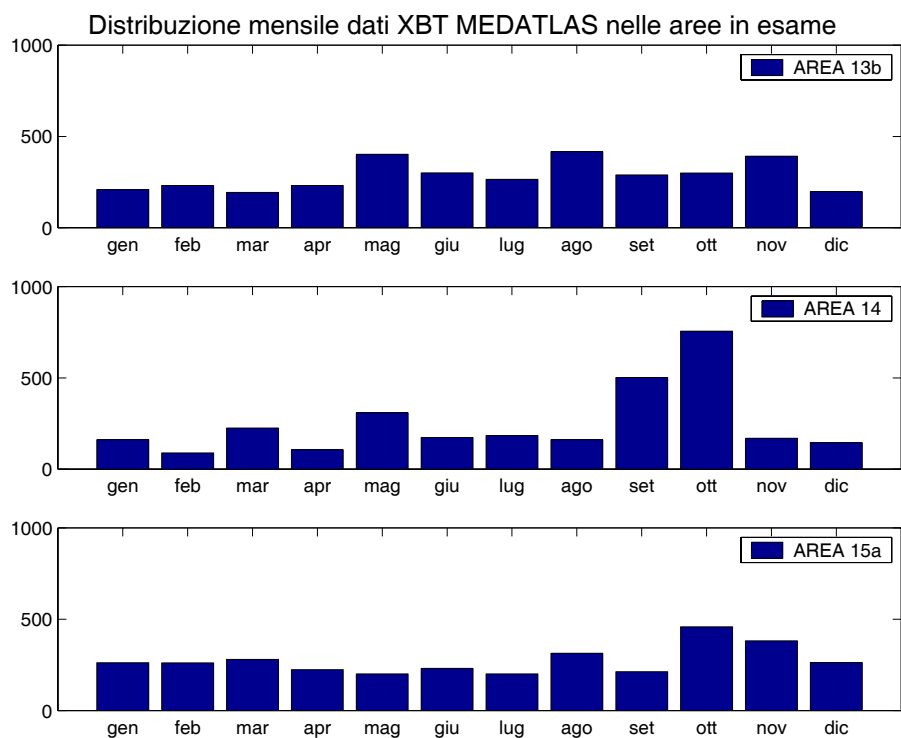


Figura 2-8: Distribuzione dati nelle aree 13b,14,15a.

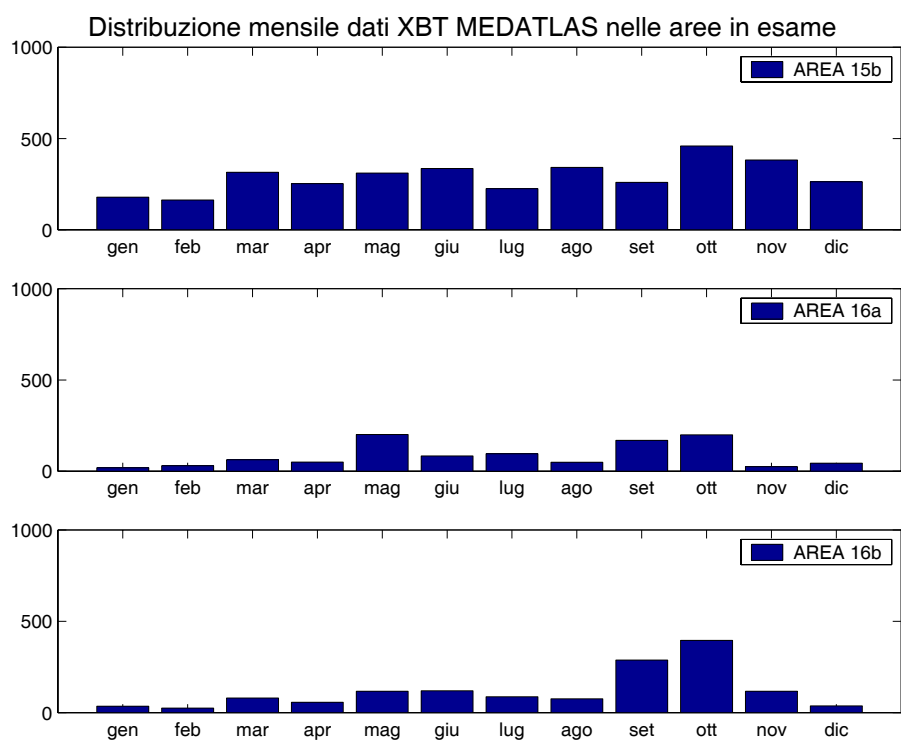


Figura 2-9: Distribuzione dati nelle aree 15b,16a,16b.

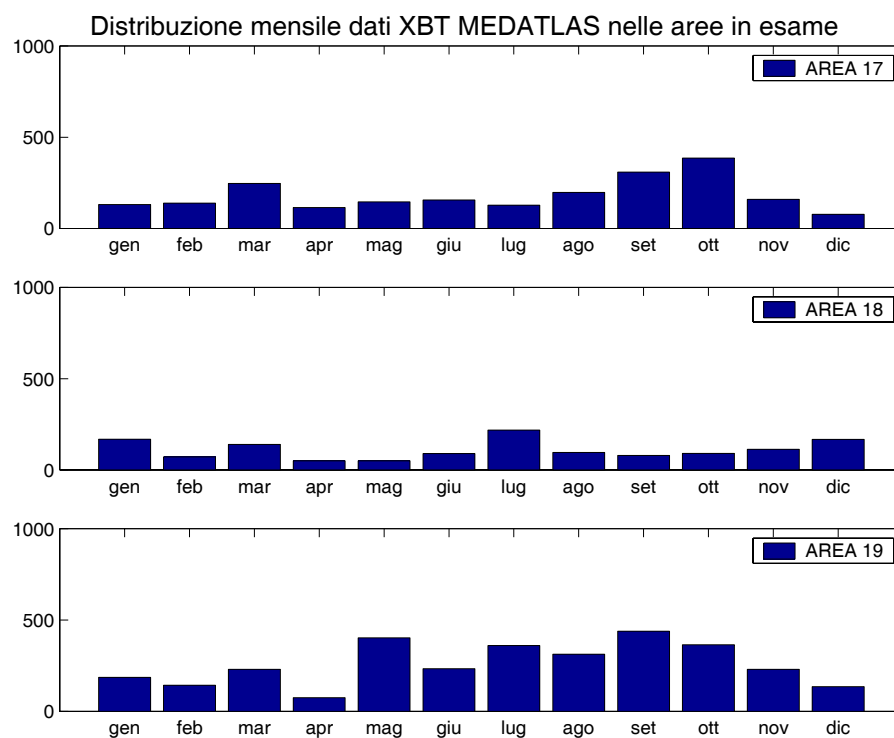


Figura 2-10: Distribuzione dati nelle aree 17,18,19.

2.3 Climatologia fino a 400 metri

Dalla banca dati sono stati estratti tutti gli XBT disponibili; questi sono stati preelaborati al fine di arrivare ad un data-set omogeneo in profondità. Abbiamo infatti già detto che alcuni profili presenti nella banca dati Medatlas presentano valori ad incrementi di profondità non costanti e differenti tra un profilo e l'altro. È stato quindi necessario effettuare una interpolazione lineare assegnando un valore di temperatura ad ogni metro di profondità, in modo da ottenere una serie di dati coerenti nel formato.

Al fine di ottenere una climatologia utile al controllo di qualità, si è stimato che una griglia di $1^\circ \times 1^\circ$ fosse la risoluzione più alta possibile vista la distribuzione spazio-temporale dei dati. I profili appartenenti a ciascuna di queste zone sono stati raggruppati e, all'interno di ciascun gruppo, si è ulteriormente classificato in base al mese di appartenenza; in tal modo sono stati creati, per ogni zona, 12 sottogruppi.

Inizialmente si voleva ottenere, per ogni sottogruppo, quindi per ogni mese

in ogni zona, un profilo medio di temperatura, mediando su tutta la verticale i valori di temperatura contenuti in ognuno.

È questa operazione che ha messo in evidenza la scarsità di profili disponibili per certe zone, già presa in esame nella sezione 2.2. Alcuni dei profili medi ottenuti, infatti, derivando da un numero esiguo (a volte anche solo 1 o 2) di profili originali, si sono mostrati inutilizzabili come rappresentativi della loro zona per il loro mese.

Sono stati quindi presi in esame, per lo sviluppo successivo, solo i profili medi ottenuti con un numero superiore o uguale a 15 profili; purtroppo questa scelta ha ridotto molto il numero finale di profili mediati disponibili ma ha il pregio di garantire una migliore rappresentatività. Tale restrizione ha comportato l'utilizzo di un numero di profili variabile da 15 a 359 (con media 39) per la creazione del profilo medio alla risoluzione di $1^\circ \times 1^\circ$.

Siccome la maggior parte dei dati XBT raccolti sono stati ottenuti tramite sonde utilizzabili solo fino a 460 metri (Sippican T4-T6), nonostante la presenza di alcuni profili aventi valori di temperatura fino a 700 metri (Sippican T7), si è reso necessario tenere conto solo della parte di profilo medio che raggiunge i 400 metri, in quanto la restante parte profonda risulta da un numero di dati molto esiguo rispetto a quello sovrastante e questo falsa l'andamento del profilo.

Inoltre sono stati "tagliati" i primi 5 metri dei profili in quanto gli ultimi studi effettuati sulle sonde XBT hanno rivelato l'incapacità delle stesse a rappresentare il valore reale alla superficie perché troppo influenzate dall'impatto termico e meccanico all'interfaccia aria-mare.

I profili usati quindi per creare quanto segue hanno profondità da 5 a 400 metri.

Il passo successivo è stato quello di analizzare questi profili (uno per ogni area 1° per 1° , per ogni mese, mediati con più di 15 valori) in termini di somiglianza reciproca, in modo da poterli raggruppare in aree più grandi. Lo scopo era ottenere una suddivisione del Mediterraneo in aree che potessero essere considerate diverse tra loro, ovvero aventi profili di temperatura il più

possibile simili all' interno e differenti rispetto alle aree vicine.

Questa analisi ha portato alla divisione del Mediterraneo nelle 22 aree, come anticipato nella sezione precedente, mostrate in figura 2-3, di cui tre possono essere considerate come sottoaree di altre.

Per ogni profilo medio é stato creato il rispettivo profilo dei valori di deviazione standard metro per metro:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n - 1}} \quad (2.1)$$

dove x indica il valore di ogni profilo “sorgente” e μ il profilo medio. Questa metodologia ha permesso di disporre di uno strumento indispensabile per la rappresentazione della variabilit  della temperatura lungo la colonna d'acqua e tra le diverse zone.

Dato che la climatologia   mensile, si ottiene un totale di 252 gruppi: tra questi ne vengono mostrati alcuni nelle figure che seguono. Per ogni area sono stati selezionati i profili appartenenti ad un mese invernale (marzo) e ad un mese estivo (settembre), caratteristici di ciascuna stagione; logicamente il numero di profili mostrati per la stessa area   variabile da mese a mese per i motivi sopra citati.

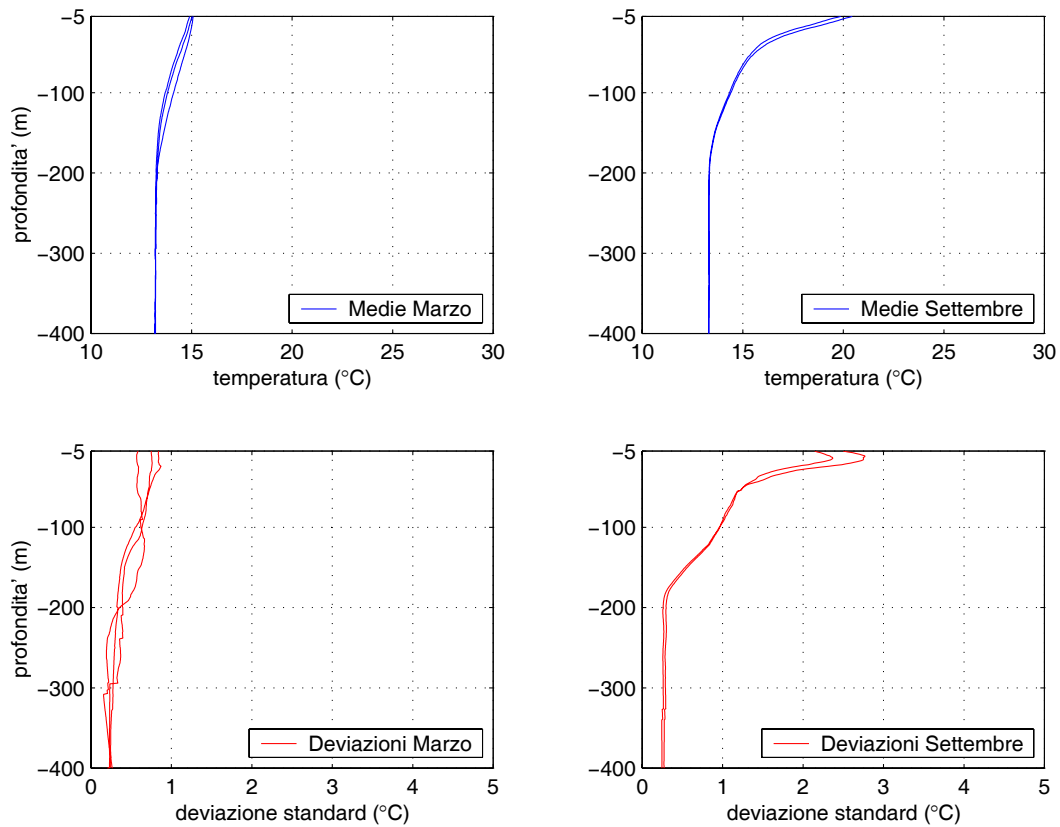


Figura 2-11: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 1.

L'area 1 (figura 2-11), quella più vicina all'ingresso delle acque Atlantiche, presenta temperature superficiali basse anche nel periodo estivo. Osservando l'evoluzione dei profili attraverso tutto l'anno si nota una stratificazione persistente che permette di mantenere un termoclino anche nei mesi invernali. La variabilità è concentrata alla superficie, molto di più che nelle altre zone. Scendendo in profondità la deviazione standard torna ad assumere valori più vicini alle altre regioni. Agosto è il mese in cui la variabilità è più elevata.

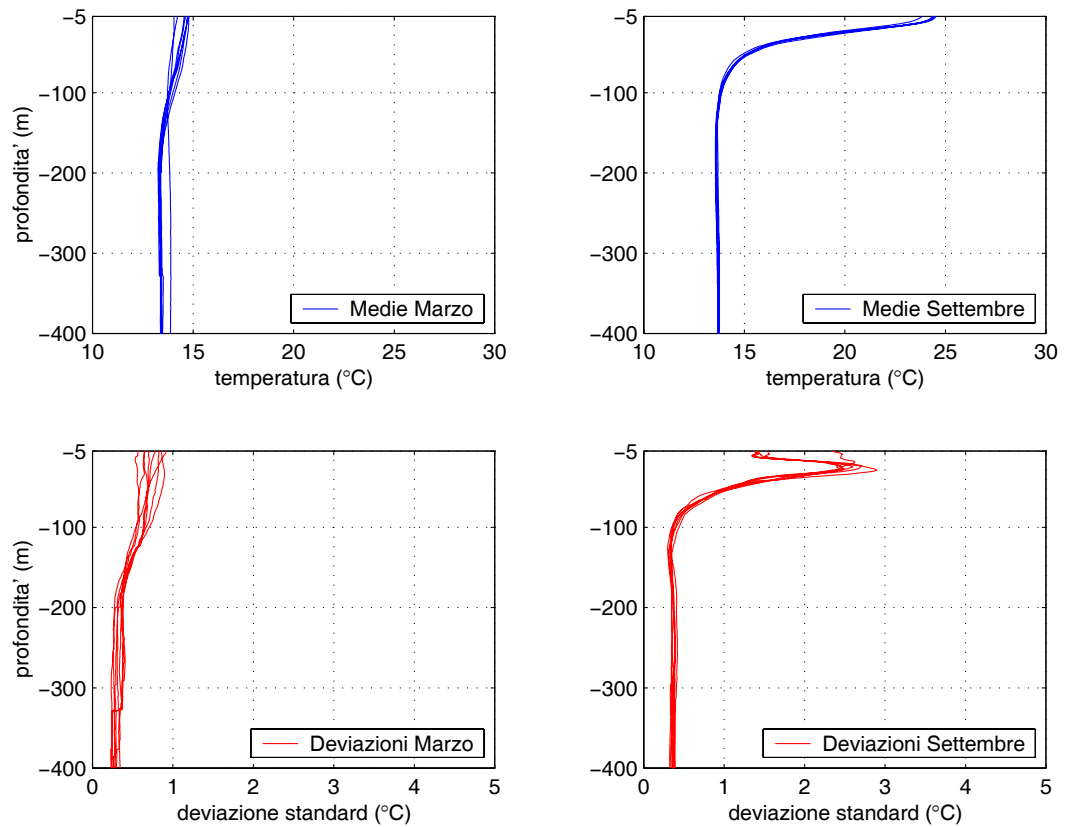


Figura 2-12: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree 1°x1° appartenenti all'area 2.

L'area 2 (figura 2-12), ovvero l' area occidentale del bacino Algerino, presenta temperature superficiali leggermente inferiori a quelle dell'area 1 nei mesi invernali mentre, nei mesi estivi, é evidente il maggior riscaldamento subito da questa area piú lontana dall'ingresso dell' Acqua Atlantica. Il termoclino risulta essere molto accentuato e nel mese di agosto si raggiunge una differenza di temperatura superficiale tra l'area 1 e l'area 2 pari a 5 °C. La variabilitá assume il massimo valore a venti metri di profonditá ed il mese in cui é mediamente piú elevata risulta essere settembre.

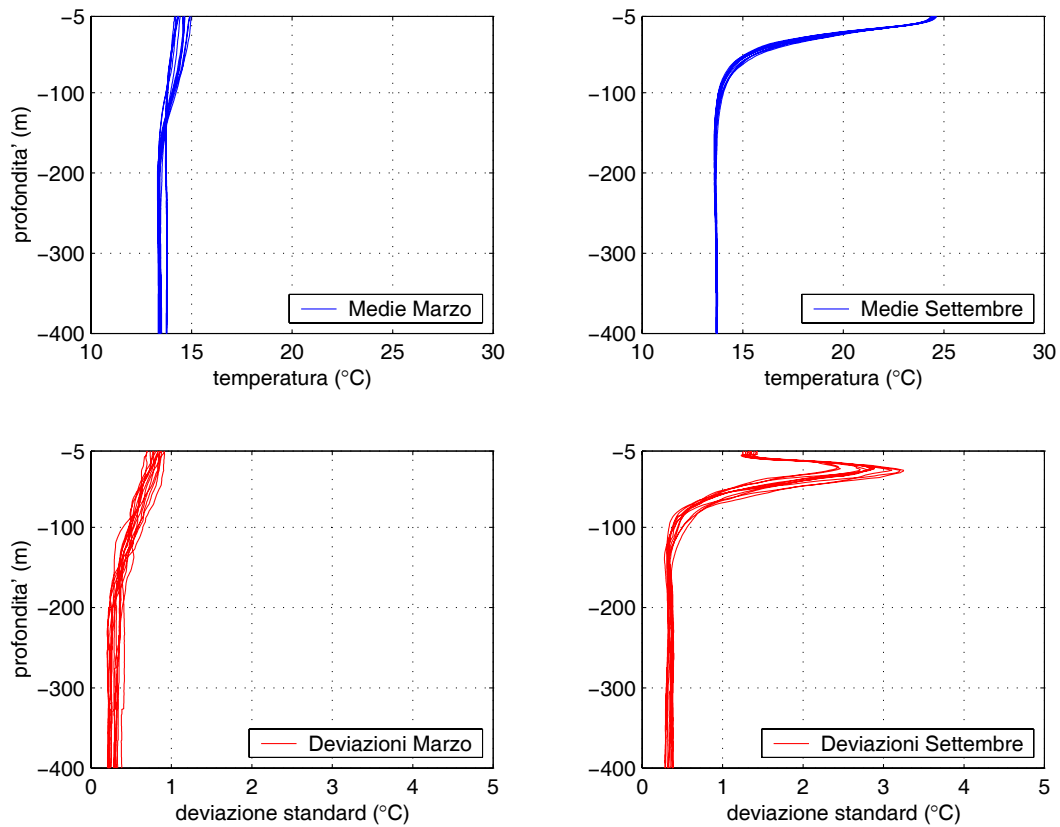


Figura 2-13: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 3.

L'area 3 (figura 2-13), ovvero il bacino Algerino propriamente detto, presenta andamenti di temperatura simili a quelli dell'area 2. La differenza principale non è infatti nella temperatura bensì nella maggior variabilità, specialmente nella zona del termoclino stagionale. In questa regione è evidente il massimo sottosuperficiale di variabilità, localizzato a circa 30 metri, ovvero nel termoclino superficiale. Vedremo che questa caratteristica della variabilità è presente nella maggior parte delle aree esaminate e corrisponde concettualmente alla variabilità delle masse d'acqua del termoclino stagionale.

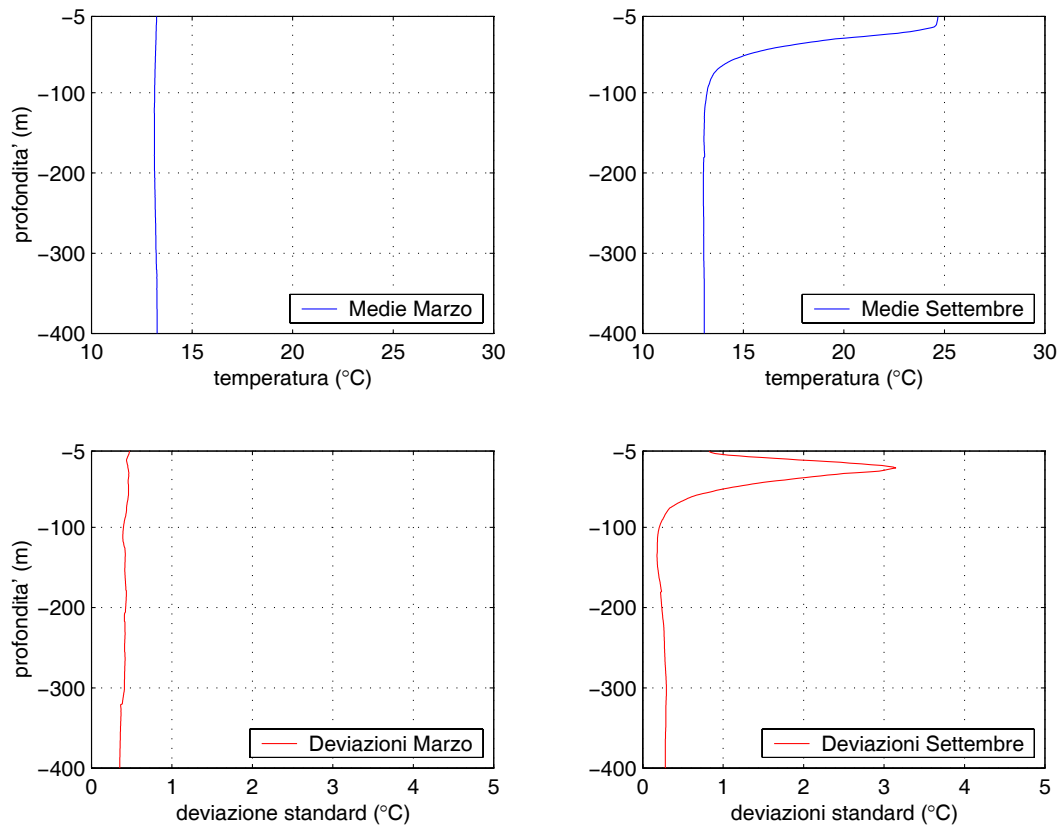


Figura 2-14: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^\circ \times 1^\circ$ appartenenti all'area 4.

L'area 4 (figura 2-14), ovvero il mare Catalano, é caratterizzata dalla completa omogeneizzazione del profilo di temperatura nel periodo invernale e dalla presenza in estate di uno strato superficiale ben rimescolato. In profondità la temperatura é leggermente inferiore rispetto a quella delle aree 1 e 3, soprattutto in inverno. La variabilità in inverno é particolarmente omogenea lungo la verticale, seguendo quindi lo stesso andamento del profilo di temperatura.

La variabilità é massima ancora una volta sotto la superficie in corrispondenza della base dello strato rimescolato. Questa regione é chiaramente associata ad un regime di scambi di calore con l'atmosfera che porta a forti perdite durante l'inverno producendo una maggiore omogeneizzazione della temperatura e valori più bassi.

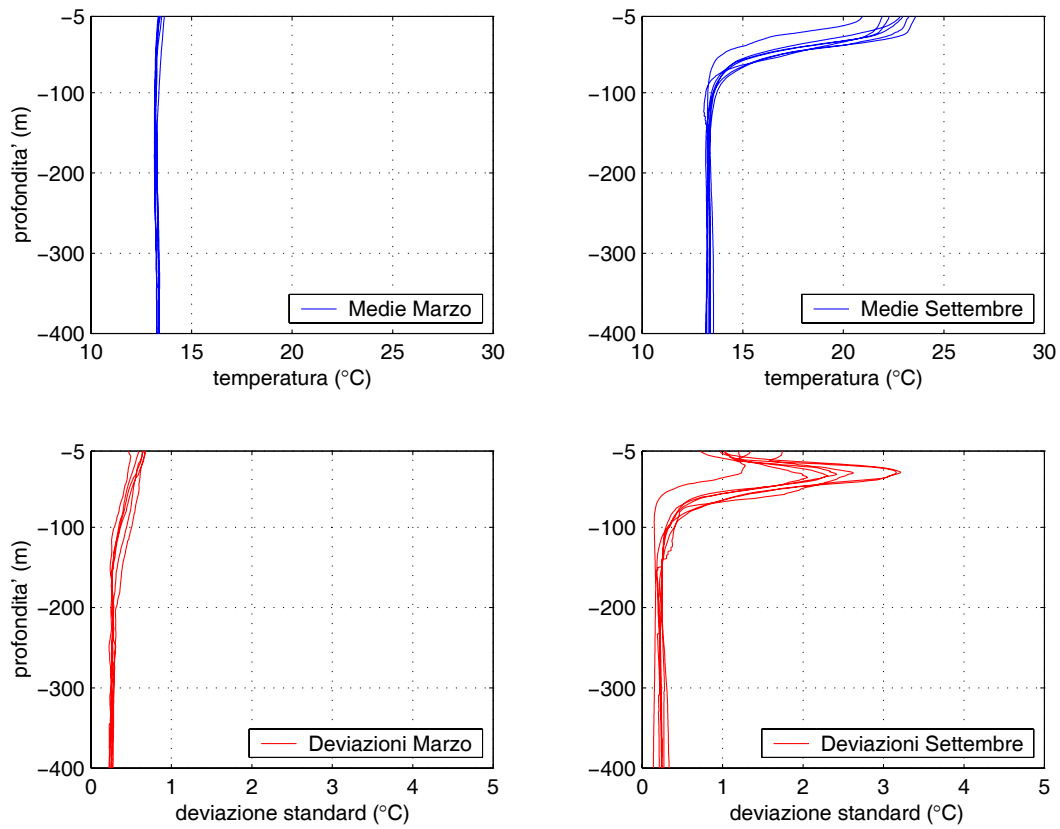


Figura 2-15: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^\circ \times 1^\circ$ appartenenti all'area 5.

L'area 5 (figura 2-15), ovvero l'area meridionale del Mare Provenzale, mantiene la completa omogeneizzazione del profilo di temperatura in inverno, indice di una accentuata dinamica di rimescolamento; in estate la temperatura superficiale assume valori intermedi rispetto a quelli delle aree meridionali del bacino Algerino (più alte) e a quelli dell'area più a Nord (più basse). La variabilità nel periodo estivo e invernale è simile a quella della regione 4. La differenza sta forse nella profondità dello strato rimescolato in estate (evidente maggiormente in agosto).

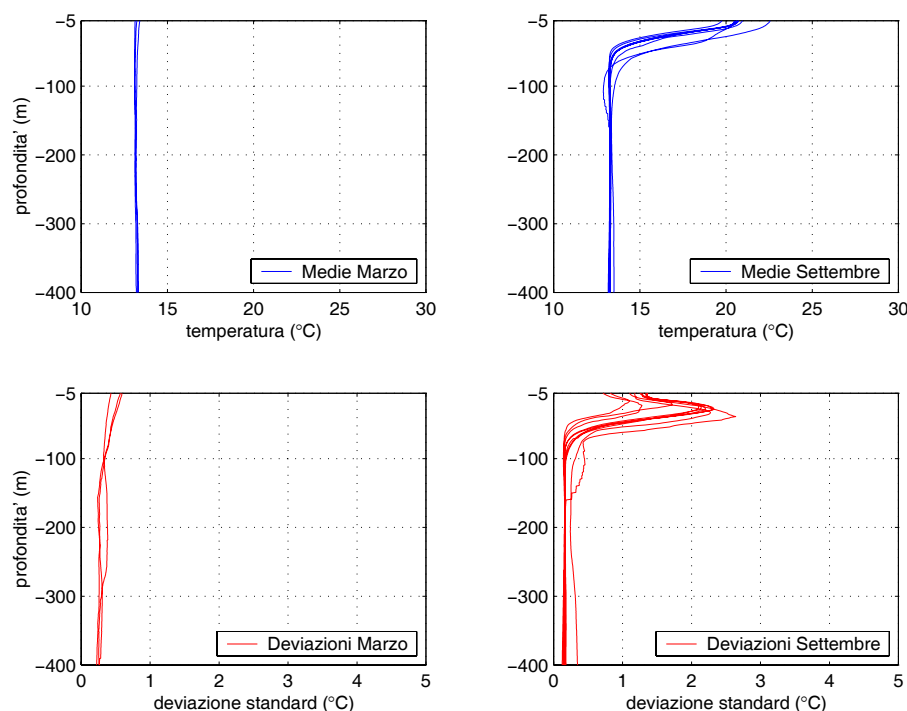


Figura 2-16: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 6.

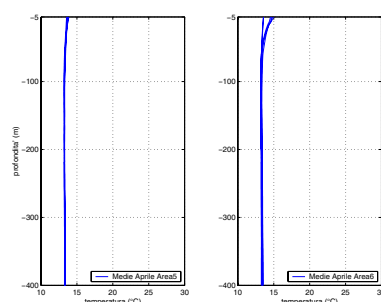


Figura 2-17: Profili invernali (Aprile) delle aree 5 e 6.

L'area 6 (figura 2-16), ovvero il bacino Ligure-Provenzale settentrionale, mostra un andamento in inverno ed estate simile a quello dell'area 5. Esiste però una differenza in aprile (vedi figura 2-17) dove compaiono temperature superiori di circa 2°C nella parte superficiale (fino a 30 metri). Questo indica la veloce formazione dello strato rimescolato durante il periodo primaverile. La variabilità del periodo estivo è meno accentuata (quasi 1°C in meno) rispetto all'area 5. A 400 metri si osserva il valore minore di variabilità di tutto il Mediterraneo.

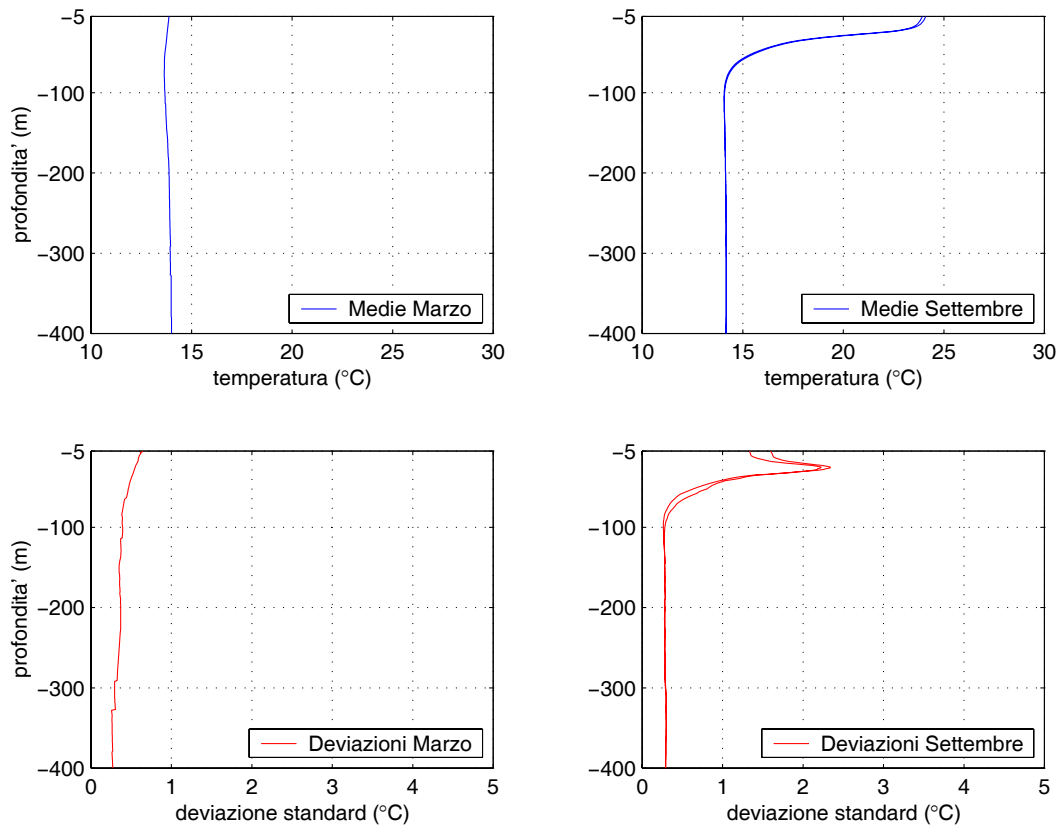


Figura 2-18: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^\circ \times 1^\circ$ appartenenti all'area 7.

L'area 7 (figura 2-18), ovvero il Mare Tirreno centro-settentrionale, nonostante si trovi alla stessa latitudine dell'area 5, presenta, soprattutto in estate, profili di temperatura piú elevata, sia in superficie che in profondità. Questo significa che il raffreddamento invernale é molto meno intenso in questa regione che non nella 5 o 6. La causa di questo é che, in inverno, l'area 5 é investita dall'acqua profonda del Golfo del Leone (piú fredda), l'area 7 é invece investita dall'acqua profonda proveniente dal Canale di Sicilia (piú calda) (vedi Capitolo 1 figura 1.3).

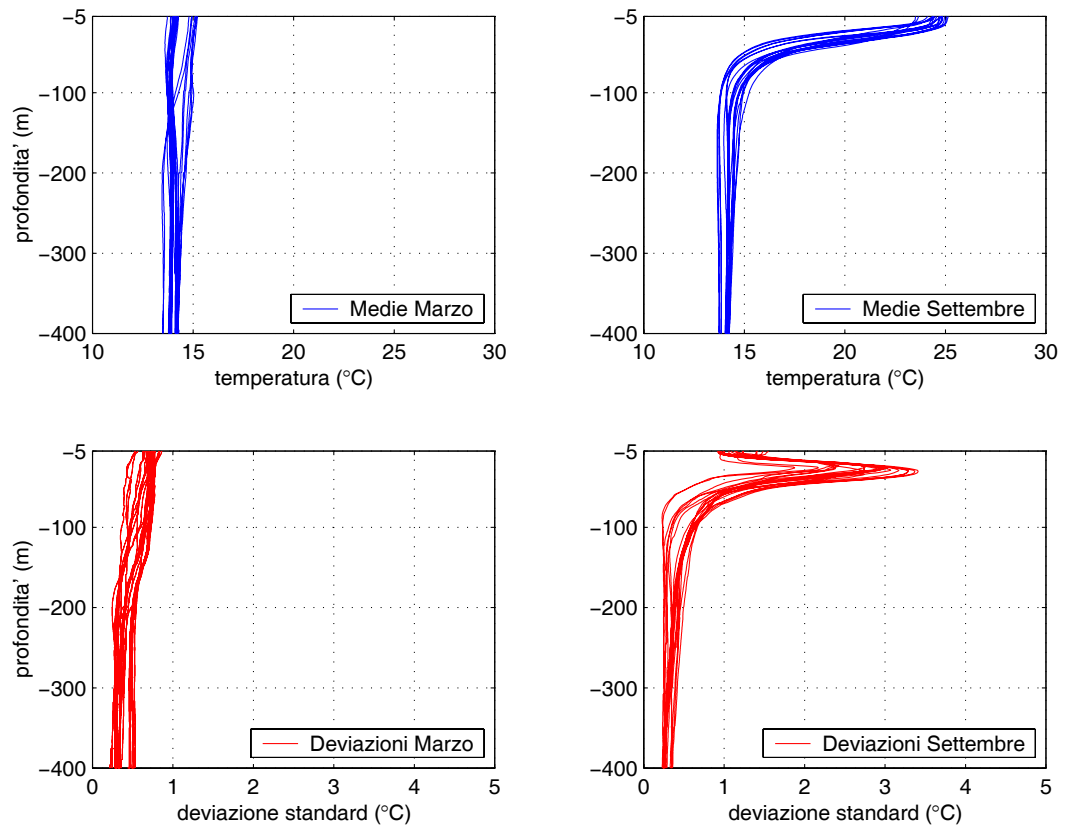


Figura 2-19: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree 1°x1° appartenenti all'area 8.

L'area 8 (figura 2-19), ovvero il Tirreno meridionale e parte del Canale di Sicilia, é caratterizzata da temperature particolarmente alte soprattutto in estate quando si raggiungono, per la prima volta nella successione da Ovest a Est, valori superficiali di 25 °C. Lo strato rimescolato superficiale estivo é particolarmente evidente e la variabilit  sottosuperficiale, alla base dello strato rimescolato, é maggiore di oltre 1 °C rispetto a quella delle aree circostanti 7 e 9.

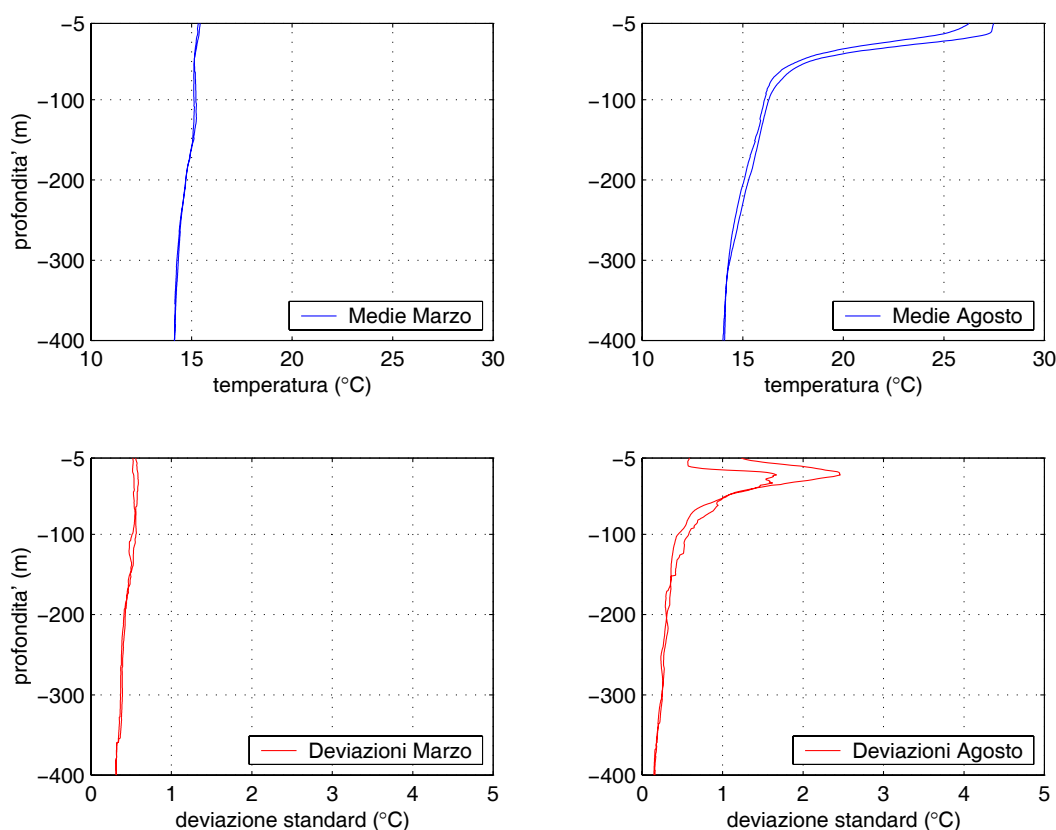


Figura 2-20: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 9.

Per quanto riguarda l'area 9 (figura 2-20), ovvero la regione meridionale dello stretto di Sicilia, é stato presentato, come mese estivo, agosto, in quanto non sono disponibili per settembre profili medi creati con oltre 15 profili. In estate in superficie si raggiungono temperature (medie) di 27°C , le piú alte registrate in tutto il Mediterraneo, pari solo a quelle delle aree piú orientali del bacino (aree 17 e 19). Il contributo dell'Acqua Levantina é in questa zona abbastanza accentuato e interessa uno strato di profonditá tra i 100 e i 300 metri, per la prima volta evidente nel campo di temperatura. La variabilitá é nettamente inferiore a quelle delle aree circostanti, soprattutto nella zona sottosuperficiale (1°C). A 400 metri il valore di deviazione standard é il minimo calcolato su tutto il Mediterraneo, pari solo a quello dell'area 6: questo é probabilmente dovuto al fatto che qui, nel canale di Sicilia, alla profonditá di 400 metri (la massima qui in esame) siamo vicini al fondo.

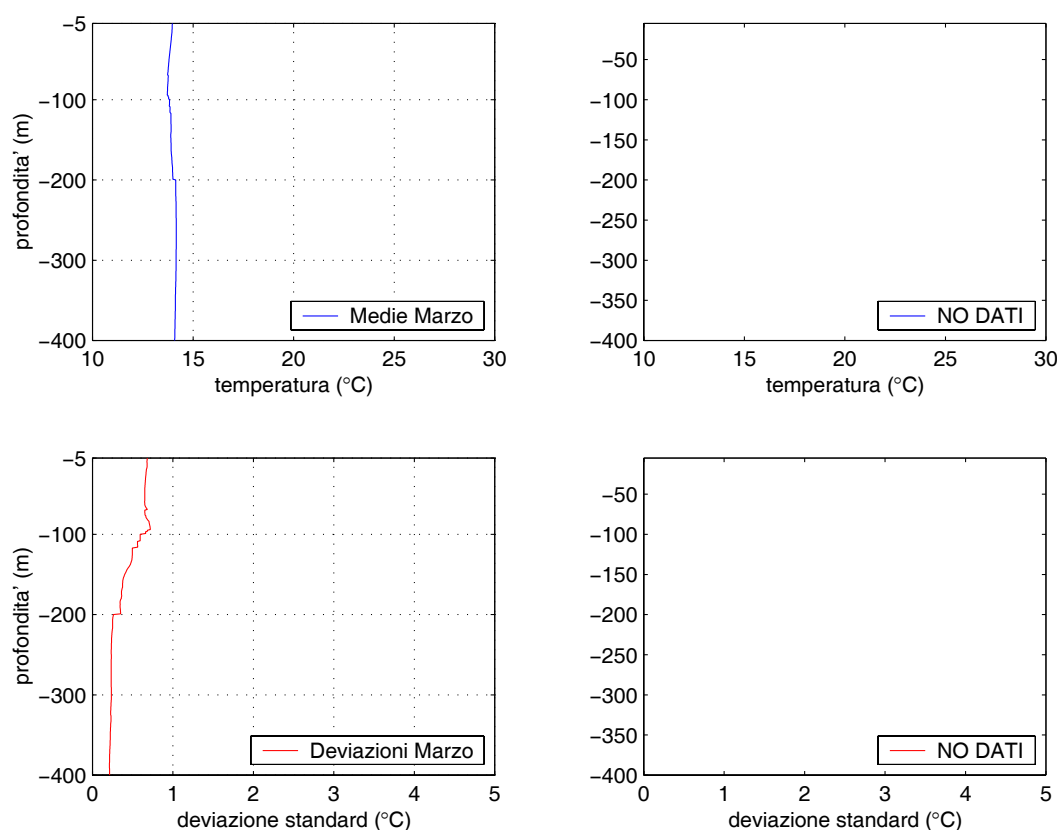


Figura 2-21: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 11.

Per l'area 11 (figura 2-21), ovvero l'Adriatico meridionale, non sono rappresentati i profili del mese estivo in quanto nessuno di essi é attualmente disponibile. Le uniche osservazioni fattibili riguardano i mesi invernali durante i quali si assiste ad una inversione del profilo di temperatura nella zona superficiale, ossia si crea una zona superficiale (da 0 a 70 metri) piú fredda ($1/2^{\circ}\text{C}$) rispetto alla sottostante durante gennaio e febbraio; a marzo si reinstaura poi l'andamento classico.

Questa inversione di temperatura con la profondità é di difficile interpretazione ma dobbiamo avanzare l'ipotesi che sia bilanciata dall'apporto maggiore di sale in profondità dovuto alle LIW entranti nella zona del Canale di Otranto. La variabilitá presenta un andamento decrescente con la profondità ma diverso da quello delle zone fino ad ora analizzate.

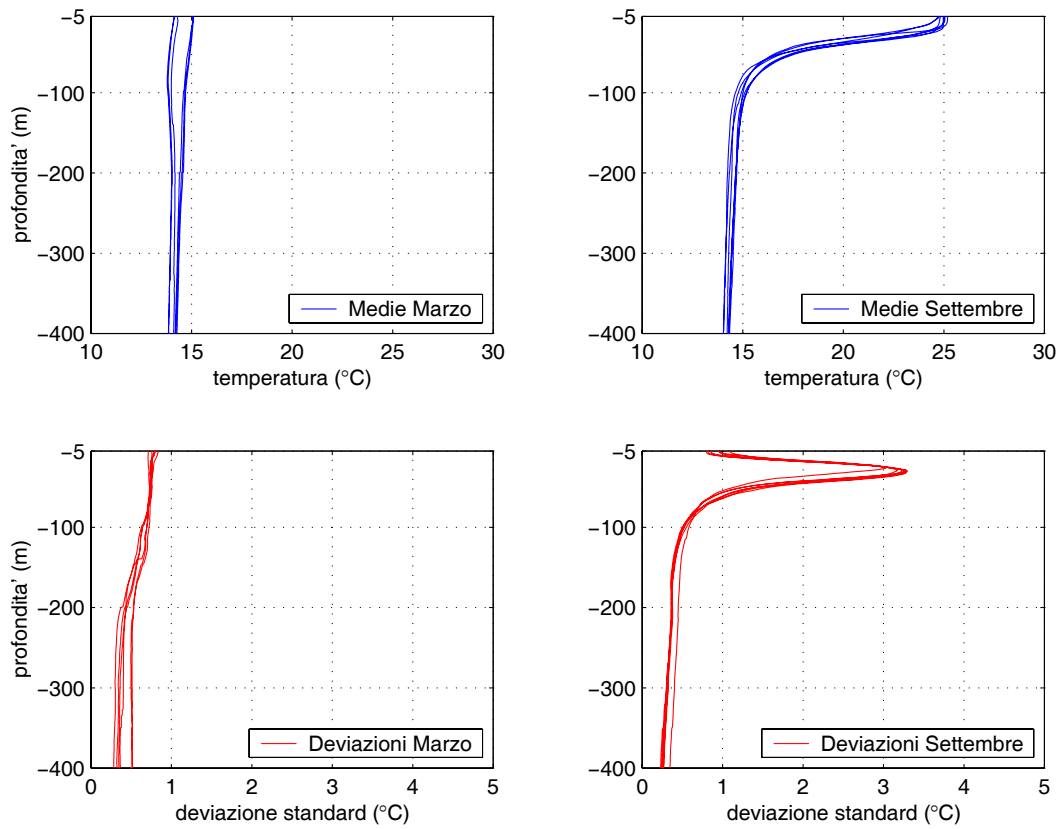


Figura 2-22: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree 1°x1° appartenenti all'area 12.

L'area 12 (figura 2-22), ovvero lo Ionio settentrionale, presenta profili simili alla sottostante area 13a, ma con valori di temperatura minori sia in inverno che in estate, prevalentemente in zona superficiale. Il profilo di variabilità ha un massimo accentuato che supera i 3 °C alla quota di 30 metri, andamento caratteristico di alcune altre aree quali le 3, 4, 8 e 13a.

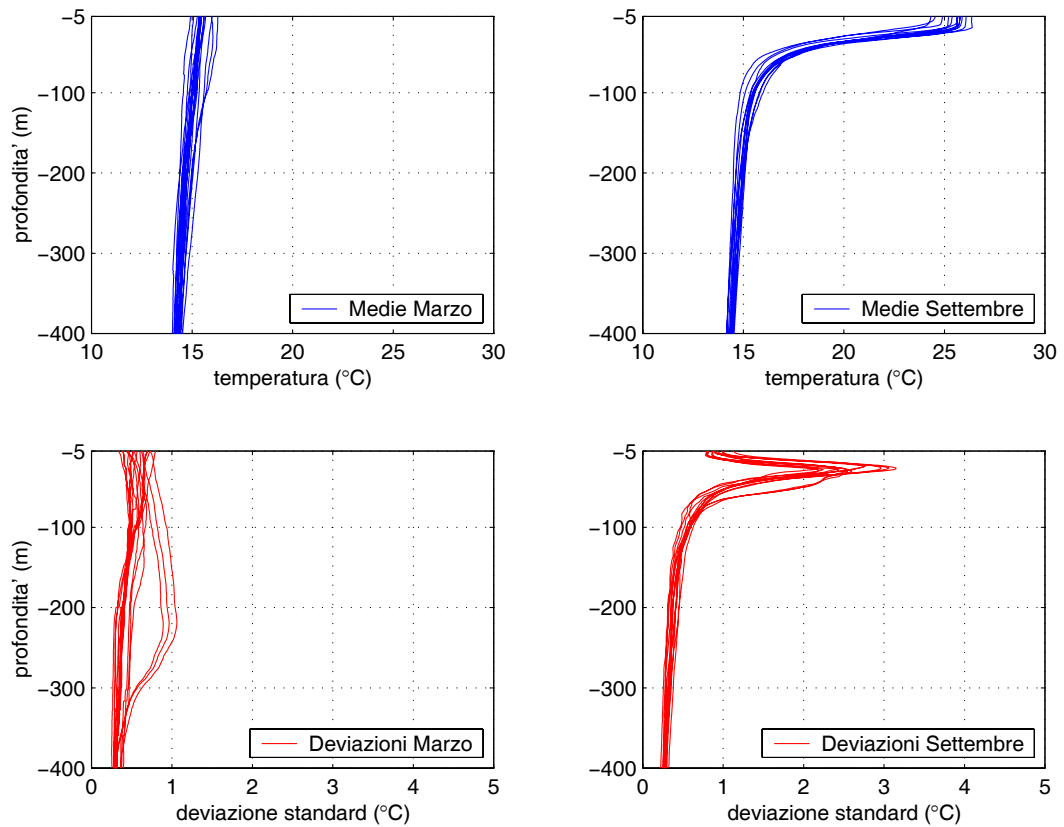


Figura 2-23: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 13a.

Nell'area 13a (figura 2-23), ovvero lo Ionio meridionale, ci sono profili di temperatura con valori, in zona profonda, intermedi tra quelli dell'area 12 e quelli dell'area 13b; in superficie invece la temperatura é maggiore rispetto alle altre aree menzionate. La variabilità, per i profili appartenenti alle sottoaree più orientali (andando ad analizzare le differenze tra i profili in base alla posizione relativa della loro sottoarea di appartenenza), assume un andamento caratteristico in quanto aumenta gradualmente fino alla profondità di 230 metri per poi calare più rapidamente verso la fine del profilo. Questo si ripete in molte aree del bacino orientale, ma in nessuna delle aree poste a Ovest rispetto a questa. Ciò é dovuto alla presenza della variabilità di temperatura delle acque Levantine che, in questo bacino, si trovano appunto alle profondità di 200-300 metri.

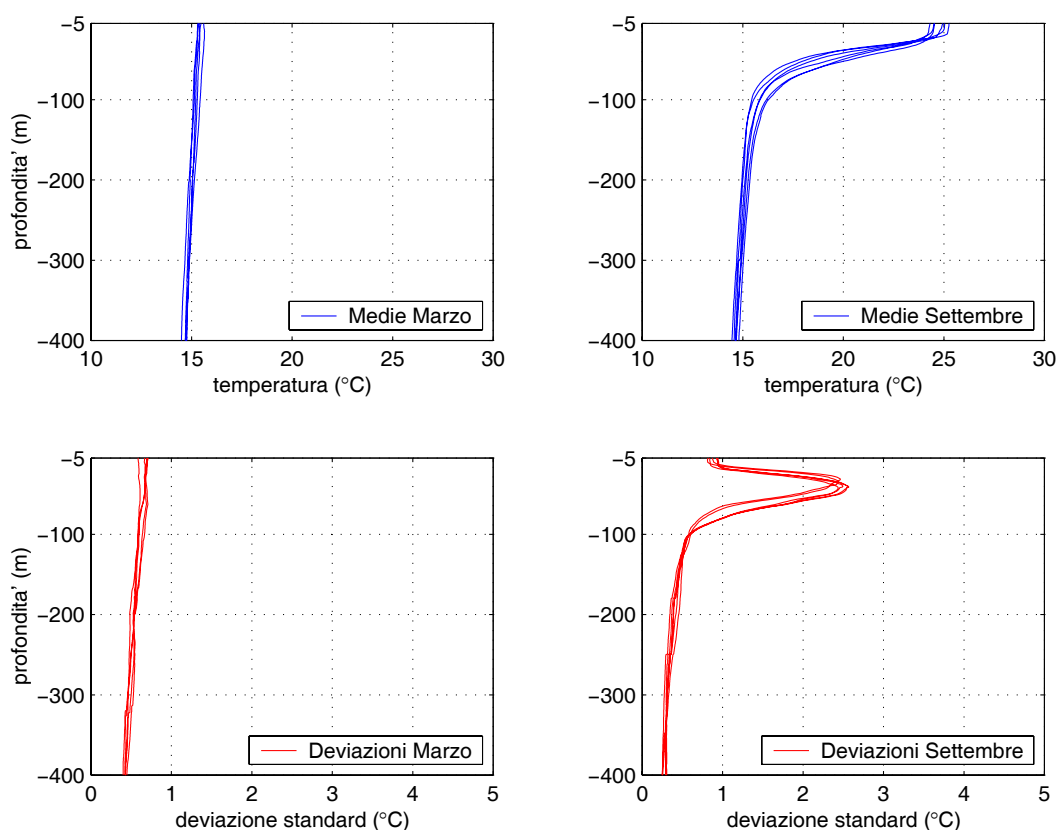


Figura 2-24: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^\circ \times 1^\circ$ appartenenti all'area 13b.

L'area 13b (figura 2-24) è stata separata dalla 13a in quanto, nonostante i due mesi rappresentati non lo mettano in evidenza, a fine estate si notano profili di temperatura molto differenti tra le due aree. Tali profili sono invece simili a quelli dell'area 14 (Nord Egeo). La caratteristica (ben evidente nel mese di ottobre, vedi figura 2-25) è che il termoclino stagionale si estende fino a 170 metri anziché 100 metri. Quanto descritto è forse dovuto alle strutture di circolazione che interessano questa zona intorno all'isola di Creta (vedi figura 3 del capitolo 1).

Quindi, come evidenziato nella figura 2-25, sono le acque dell'Egeo (area 14) che fuoriescono dallo stretto di Karpathos e occupano questa area 13b, dove negli anni '80 era presente il giro del Peloponneso.

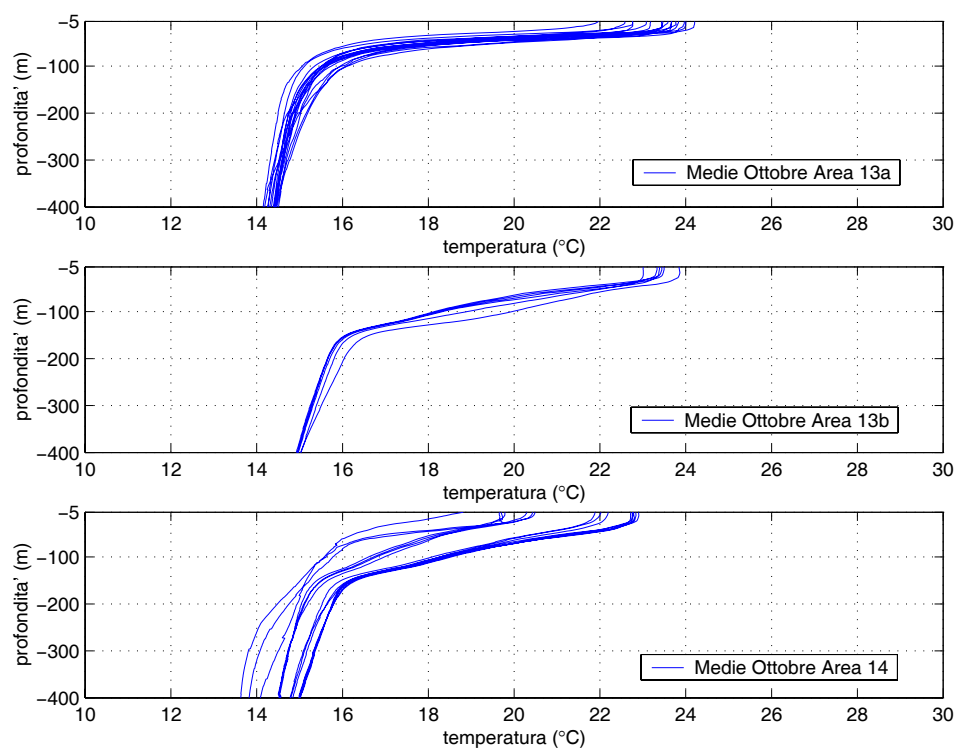


Figura 2-25: Confronto tra i profili di Ottobre delle aree 13a, 13b, 14.

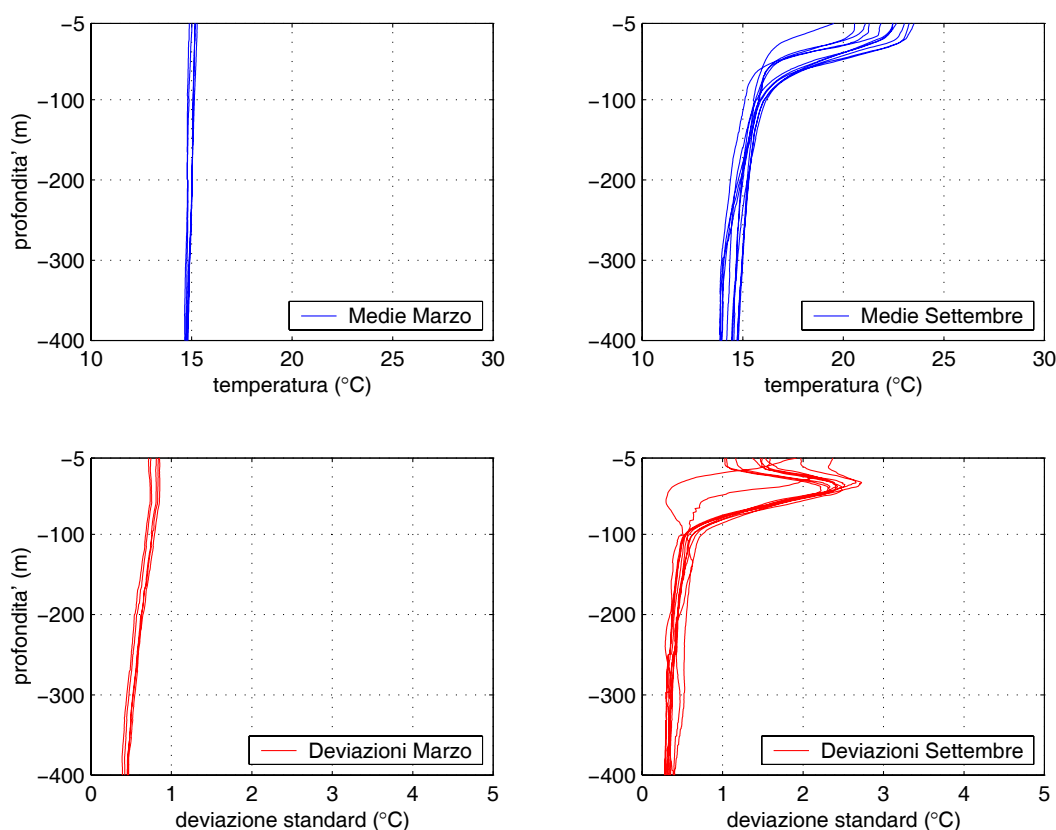


Figura 2-26: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^\circ \times 1^\circ$ appartenenti all'area 14.

L'area 14 (figura 2-26) é quella a cui appartengono il Nord-Egeo, le Cicladi e parte del Mare di Creta. Andando ad analizzare, per il mese di ottobre in questa area, l'andamento dei profili medi in base alla latitudine, si nota che man mano che ci si sposta verso Nord questi si differenziano sempre più da quelli meridionali (simili a quelli dell'area13b), con una variazione della temperatura superficiale (tra la parte più a Nord e quella più a Sud) di 5°C . Da notare inoltre che in estate le temperature superficiali sono inferiori di 1 o 2°C (la differenza cresce andando verso le zone più settentrionali) rispetto alle aree sottostanti. La variabilità é simile a quella che si osserva nelle aree sottostanti, tranne per il mese di novembre durante il quale il massimo dei 50 metri si riduce di $1/2^\circ\text{C}$.

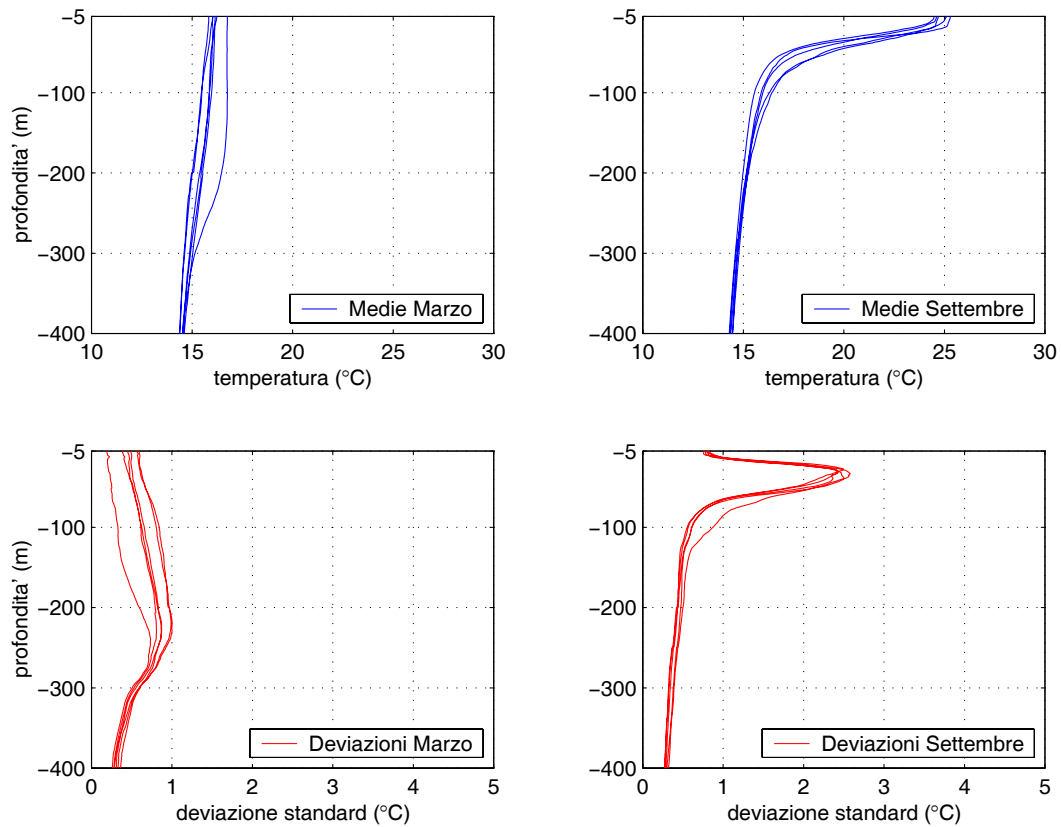


Figura 2-27: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 15a.

L'area 15a (figura 2-27), ovvero la regione del canale di Creta, presenta profili di temperatura estivi non molto diversi da quelli delle due aree ad Est e ad Ovest. La differenza si nota nei mesi invernali, durante i quali la temperatura assume valori intermedi: in inverno infatti, specialmente in superficie, questa area è più calda della 13a (regione a Ovest) e più fredda della 16a (regione a Est). Il massimo di variabilità si osserva ad agosto a 50 metri di profondità, mentre nelle due aree prima menzionate si osserva a settembre. La curva della variabilità invernale comincia a mostrare un massimo sottosuperficiale come quello dell'area 13a, indicativo della variabilità della LIW tra i 100 e i 300 metri. Questa variabilità profonda della temperatura è la struttura più significativa che distingue le variabilità, nei primi 400 metri, del bacino Est ed Ovest nel loro complesso. Come già detto la LIW si approfondisce nel bacino occidentale del Mediterraneo e quindi l'analisi fino a 400 metri non riesce a catturare questa variabilità.

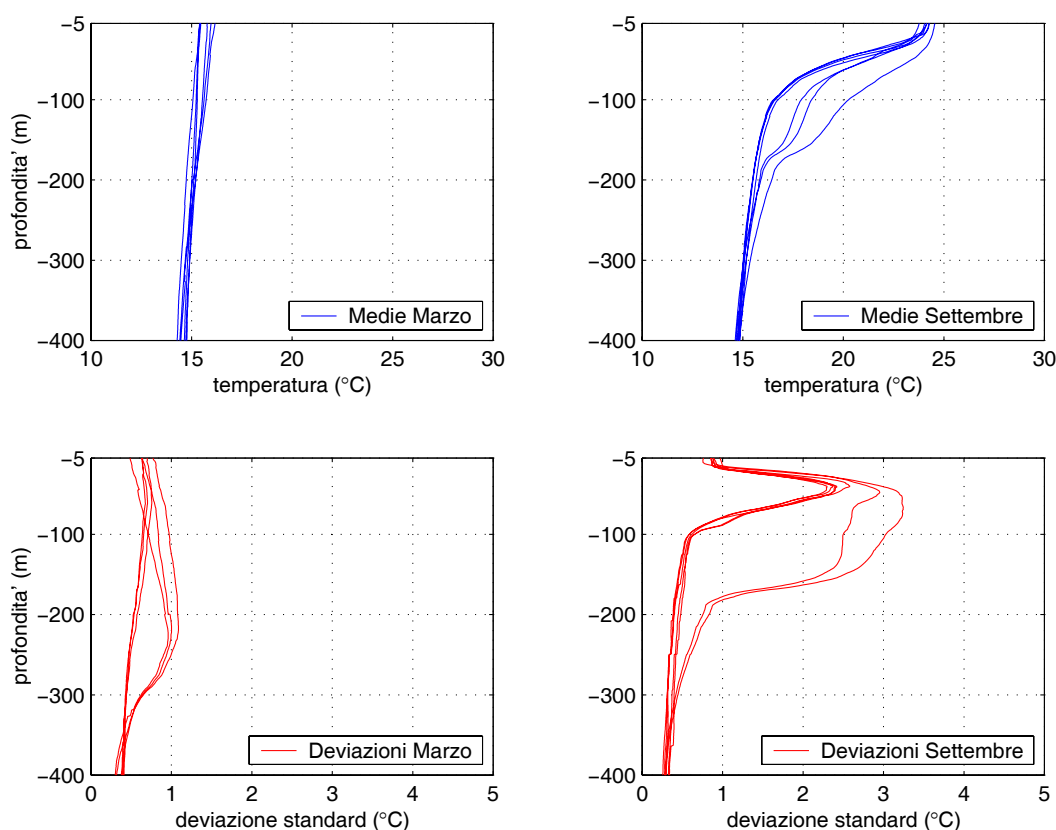


Figura 2-28: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 15b.

Anche l'area 15b (figura 2-28), ovvero la zona del Mare di Creta meridionale, come la 13b, é stata separata dalla 15a in quanto mostra un regime molto diverso dal resto del bacino forse perché localizzata nella regione degli stretti tra l' Egeo e il resto del Mediterraneo Orientale.

La caratteristica é quella di un “doppio termoclino”, il piú profondo dei quali si estende fino a 200 metri di profondità. Questo indica probabilmente due masse d'acqua di origine differente, una superficiale legata al riscaldamento locale e l'altra di origine Egea profonda: l'Acqua Cretese Intermedia (CIW, Roether et al.,1996). La massima variabilità é ora estesa sui primi 200 metri della colonna d'acqua.

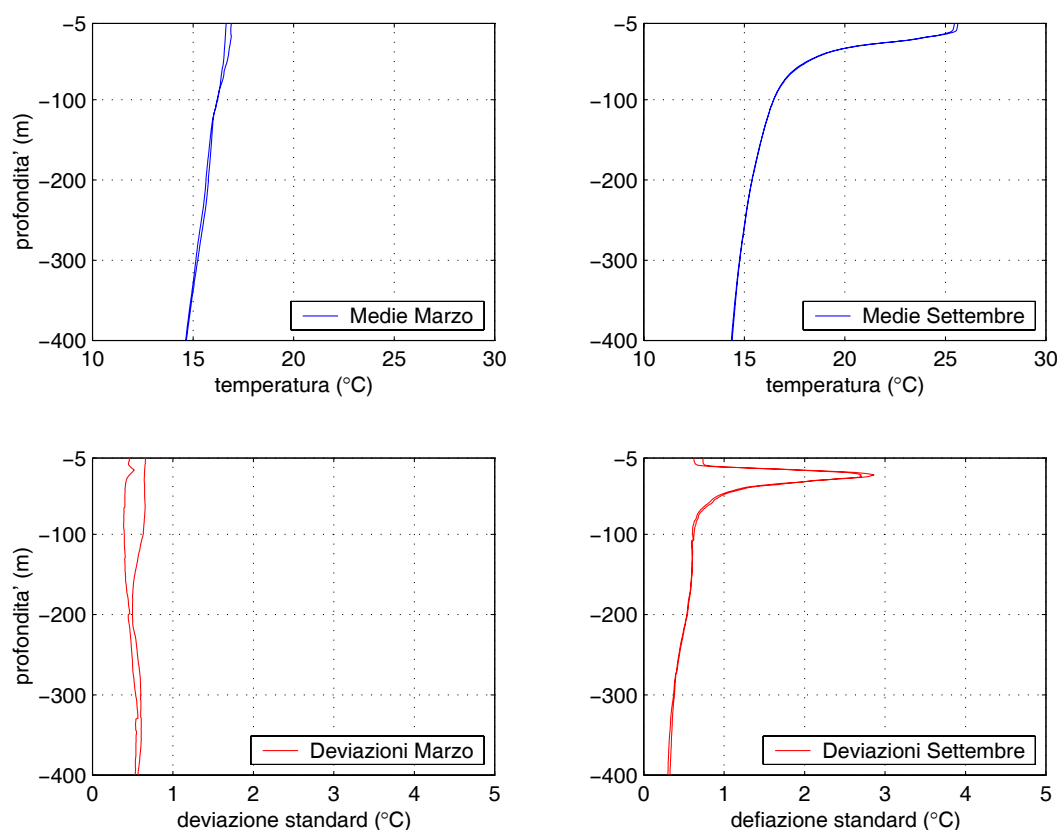


Figura 2-29: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree 1°x1° appartenenti all'area 16a.

L'area 16a (figura 2-29), ovvero l'area orientale del bacino di Rodi, presenta una caratteristica comune alle aree del bacino orientale Levantino: la mancanza di omogeneizzazione verticale del profilo durante l'inverno. Questa area é la prima tra quelle orientali a presentare valori di temperatura invernali superiori ai 15 °C, alla profondità di 300 metri. La variabilità durante l'inverno torna ad essere abbastanza costante lungo la verticale a differenza della area adiacente 15a. Il massimo di variabilità é raggiunto durante l'estate a circa 30 metri, quindi alla base dello strato rimescolato.

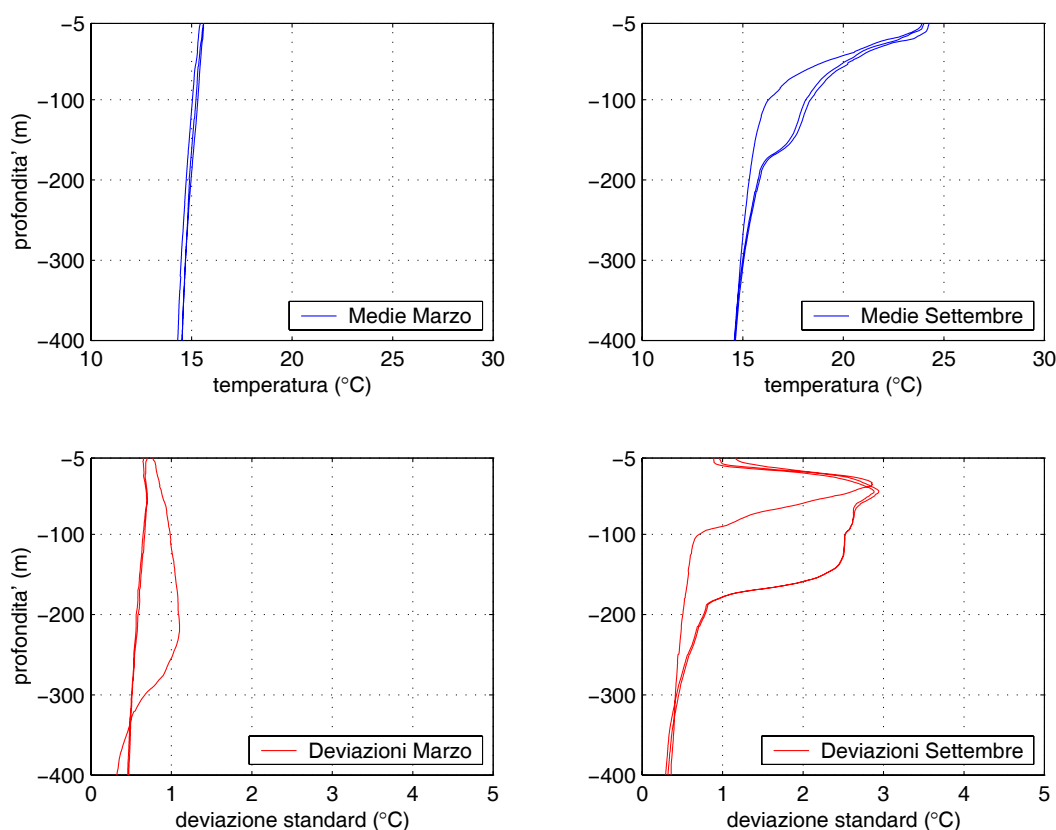


Figura 2-30: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 16b.

L'area 16b (figura 2-30), ovvero la parte occidentale del bacino di Rodi, presenta, in ottobre, i profili caratteristici della zona attorno a Creta. Alcuni rappresentativi sono evidenti anche nel mese di settembre. Rispetto all'area 16a é evidente una maggior omogeneizzazione di temperatura durante il periodo invernale. Anche qui, come nella 15a, la variabilità ha un andamento particolare: a differenza della 15b, però, mantiene il massimo ad una profondità simile a quella della maggior parte delle aree, nonostante fino a 150 metri si mantenga parecchio elevata (superiore a 2°C).

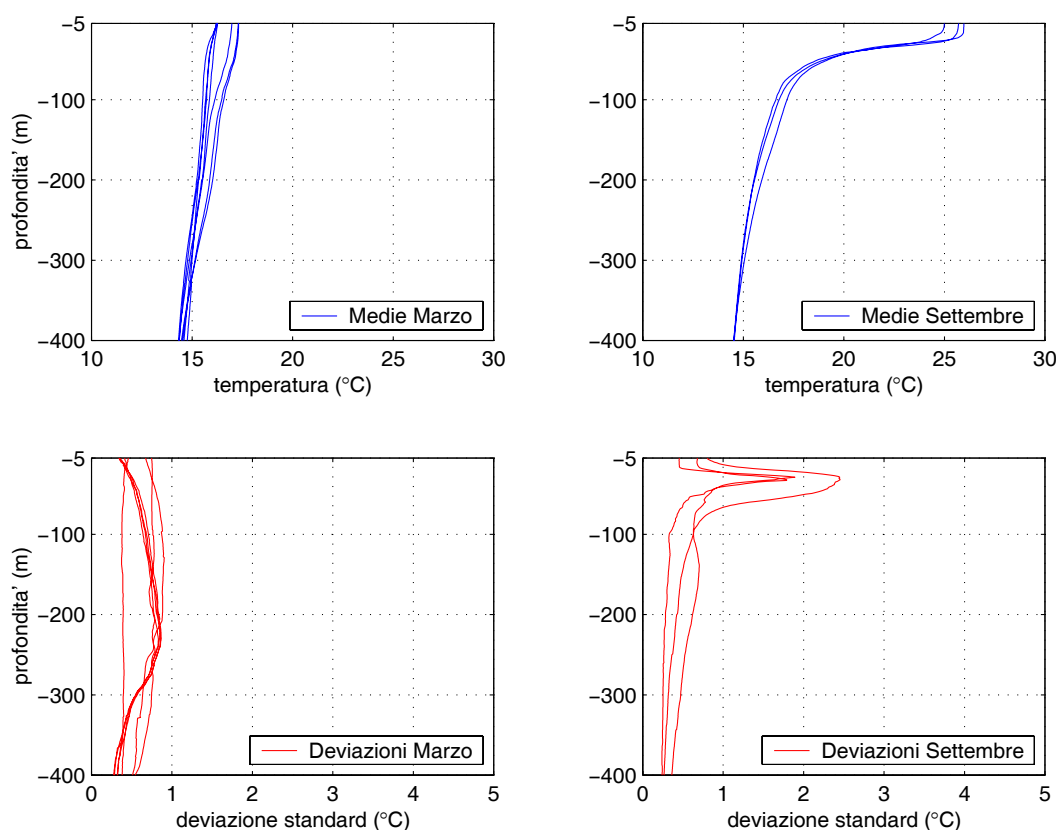


Figura 2-31: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 17.

Nell'area 17 (figura 2-31), ovvero l'area meridionale della corrente Medio-Mediterranea, l'omogeneizzazione verticale invernale é leggermente maggiore rispetto a quella della regione a Nord, in particolar modo nei profili appartenenti alle sottoaree (sempre dentro la 17) piú meridionali. Le temperature superficiali estive sono intermedie rispetto a quelle delle aree circostanti, ossia sono maggiori rispetto alle aree poste a Nord e ad Ovest e minori rispetto alle aree poste a Est. Inoltre all'interno dell' area stessa le temperature superficiali crescono andando verso la parte meridionale. La variabilitá invernale é alta (quasi 1°C) fino a profonditá di 250 metri; questo andamento della deviazione standard é simile a quello dell'area 15a. La sola differenza risiede nel fatto che in questa area 17 la differenza tra i valori superficiali e profondi é inferiore a quella che intercorre tra gli stessi dell'area 15a.

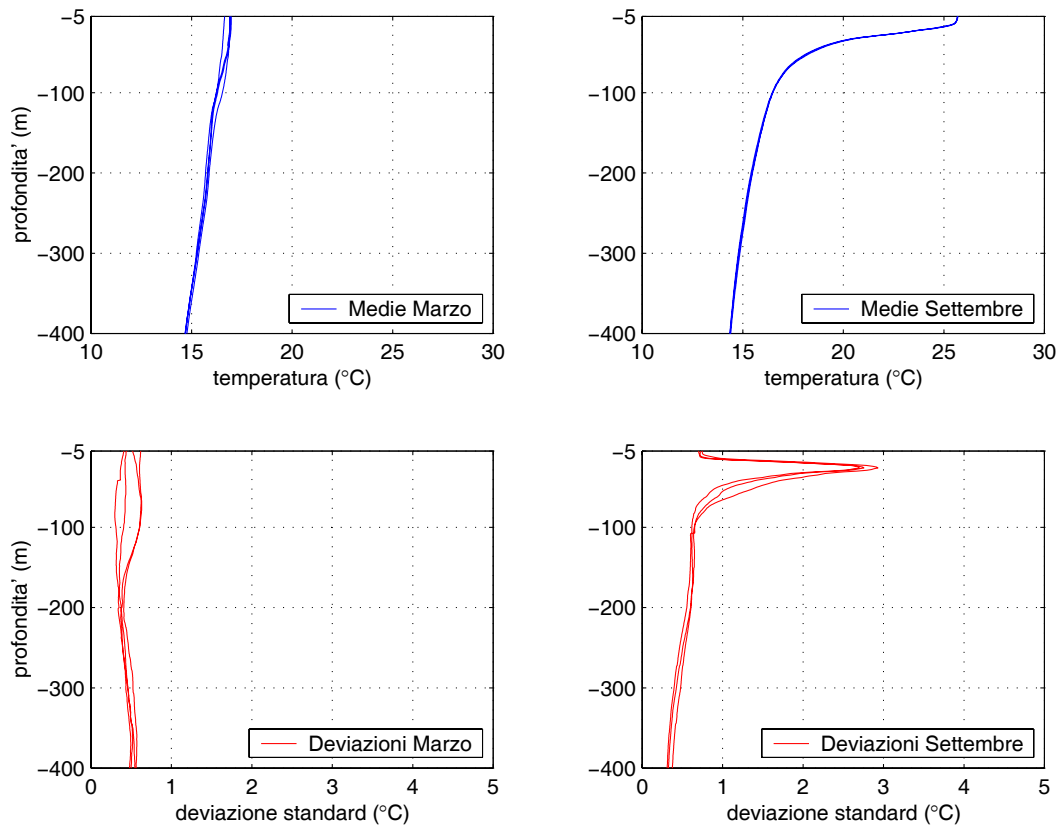


Figura 2-32: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree 1°x1° appartenenti all'area 18.

L'area 18 (figura 2-32), ovvero la regione della corrente dell'Asia Minore e dell'isola di Cipro, é una delle due aree piú orientali del bacino. In agosto si osservano valori di temperatura superficiale elevati (27 °C), paragonabili solo a quelli dell'area 9, 19 e 13a. La variabilità invernale cresce leggermente passando da 200 a 400 metri di profondità, caratteristica che é stata verificata solo nell'adiacente area 16a. Possiamo interpretare questo effetto di approfondimento della variabilità associata alla LIW come conseguenza dei vortici e giri anticiclonici che sono presenti prevalentemente nelle aree 18, 19, 16a e 17.

Il fatto che l'area 17 abbia una variabilità diversa dalle altre rimane però da spiegarsi.

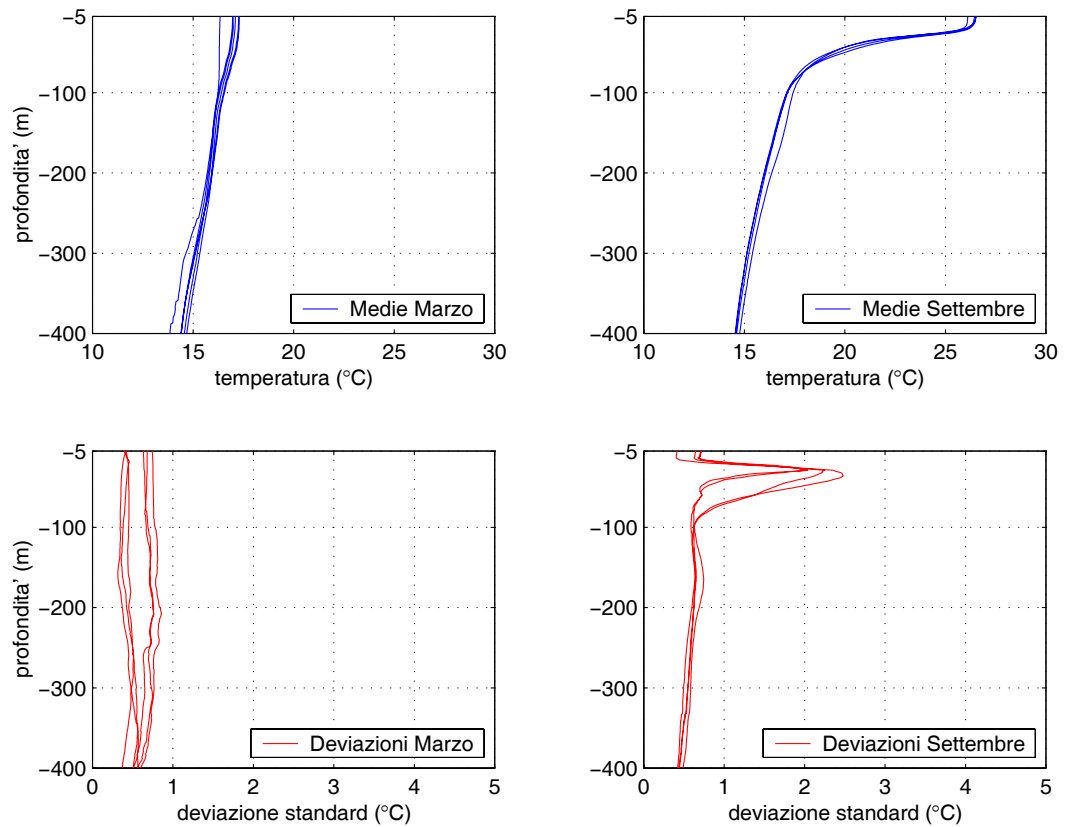


Figura 2-33: Profili medie e Profili deviazioni delle sottoaree $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ appartenenti all'area 19.

L'area 19 (figura 2-33), ovvero il bacino Levantino Sud-orientale, mantiene, anche a settembre, la temperatura superficiale elevata registrata ad agosto, a differenza dell'area 18 a Nord dove il calo di temperatura tra un mese e l'altro è più evidente. La variabilità invernale è prossima a 1°C fino ad oltre 300 metri; questo andamento, anche se più omogeneo, è simile a quello dell'area 17. In estate la variabilità a 400 metri è leggermente maggiore rispetto a quella delle aree circostanti.

Area 17 e 19 sono dinamicamente connesse dal sistema di giri che vanno sotto il nome di Shikmona e Mersa-Matruh (vedi Capitolo 1 figura 1.3).

Capitolo 3

Disegno di un controllo di qualità per XBT

Durante questa fase del lavoro si é creata una procedura di analisi per i dati ottenuti tramite XBT, in modo da poterne valutare l'affidabilit . L'obiettivo   poter disporre di una serie di indicatori, associati ad ogni profilo, che ne caratterizzino la qualit . Queste informazioni, associate ad ogni profilo, permettono di decidere se il profilo   valido nel momento stesso della sua acquisizione e la validit  del profilo per ogni applicazione successiva.

In questo lavoro il controllo   stato applicato ai dati con un ritardo di diversi giorni rispetto alla loro acquisizione effettiva. In futuro per  potrebbe essere utile incorporare il controllo di qualit  direttamente nel software di acquisizione degli XBT. Proprio per questo motivo l'analisi   stata effettuata utilizzando volta per volta, come campione, il gruppo di dati appartenenti ad ogni singola campagna di acquisizione del VOS (la struttura dei campioni   indicata nella sezione seguente).

Il controllo di qualit  del profilo XBT   basato su due controlli principali: il controllo della posizione e il controllo del segnale del profilo. Le sezioni 3.2 e 3.3 illustrano in dettaglio i suddetti controlli.

3.1 Struttura dei dati XBT

Per poter meglio comprendere quanto descritto nei prossimi paragrafi é necessario chiarire il formato con cui vengono forniti i dati XBT dopo la fase di campionamento.

I dati acquisiti (uno per ogni sonda lanciata) lungo ogni rotta di campionamento vengono raggruppati insieme. A fine missione il risultato é quello di una serie di files aventi ognuno un nome che indica il tipo di sonda usata e la sequenza di lancio: T6_00001.edf, T5_00002.edf, L'estensione "edf" (Export Data File) indica che il file proviene da un registratore Sippican (nel caso dei dati raccolti durante il progetto in esame il registratore é l'MK12).

Ognuno di questi files contiene, oltre alle serie profondità-temperatura (con passo di 60 centimetri), una intestazione contenente informazioni riguardanti la posizione, la data e l'ora del lancio della sonda, la sequenza del lancio e la massima profondità raggiunta (variabile in base al tipo di sonda). Una ulteriore informazione riguarda i coefficienti utilizzati per il calcolo della profondità in base al tempo di discesa (vedi paragrafo 1.2.3).

All'inizio di ogni campagna di acquisizione la sequenza dei lanci andrebbe azzerata (ció non é sempre stato verificato nel data-set analizzato) in quanto il software Sippican mantiene in memoria, indipendentemente dal nome della campagna, la sequenza dell'ultimo lancio effettuato.

3.2 Analisi della posizione

La procedura ideata per effettuare questo controllo si basa sulla coerenza nella successione temporale dei dati acquisiti. Nella figura 3-1 sono mostrate le diverse fasi della procedura, di seguito descritta.

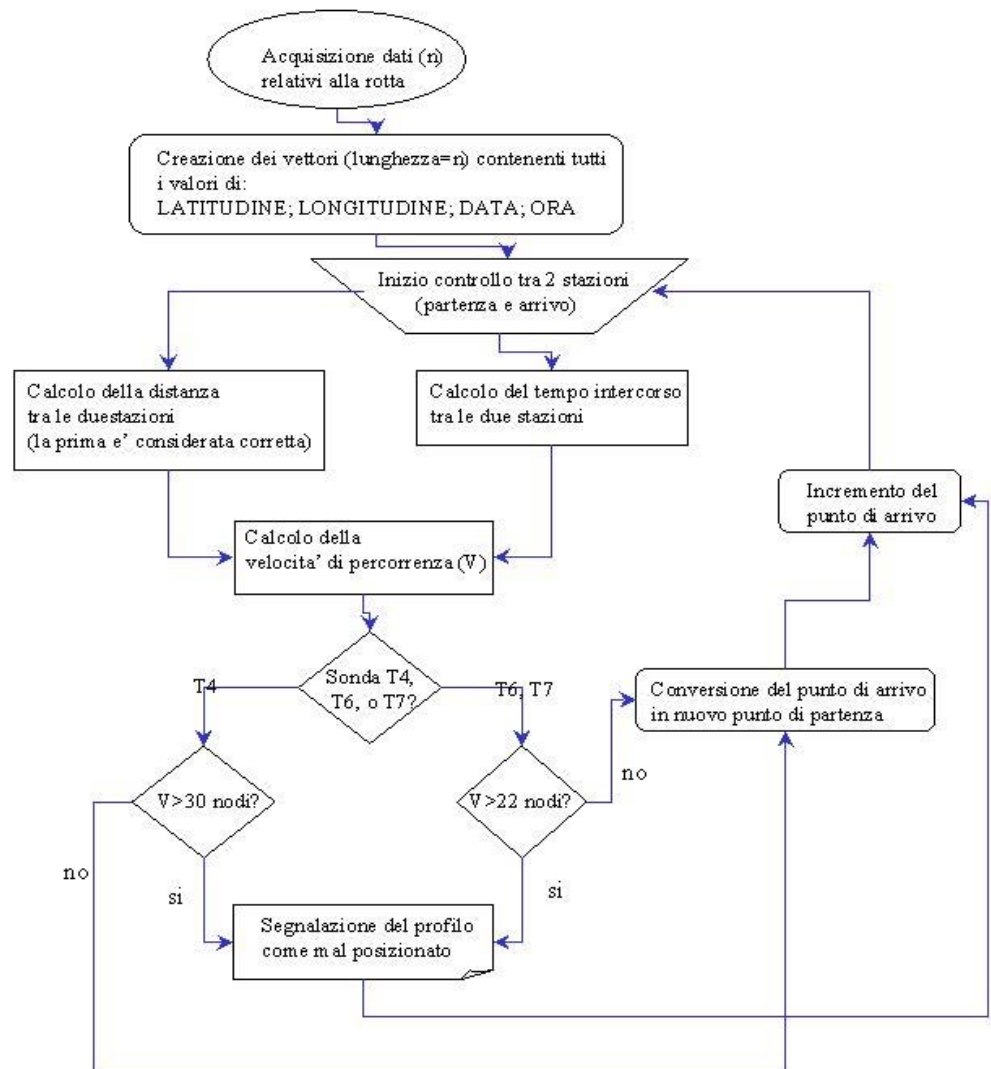
[illegible]

Figura 3-1: Schema rappresentativo della procedura di controllo sulla posizione.

Tramite le informazioni contenute nell' intestazione di ciascun profilo (trasformate in forma matriciale e convertite nelle opportune unità di misura), vengono calcolati i tempi impiegati tra ogni lancio e il successivo e, attraverso un algoritmo che utilizza come elissoide di riferimento per la curvatura terrestre il WGS84, vengono calcolate anche le distanze relative. Viene così ricavata la velocità con la quale la barca avrebbe dovuto spostarsi tra due lanci successivi.

Questa metodologia necessita dell'assegnazione di un punto di riferimento iniziale che abbia una collocazione spaziale e temporale precisa ed affidabile; nella fattispecie, non disponendo di questo dato, è stato considerato come tale il primo della serie di lancio. Per ovviare a questa imprecisione sarebbe sufficiente annotare, per ogni campagna, l'ora di partenza della nave dal porto (le cui coordinate sono note) ed usare questo dato aggiunto come punto di riferimento iniziale. In tal modo l'unica imprecisione possibile sarebbe legata all'errore introdotto nell'annotare l'ora di partenza. Nel caso in cui invece si utilizzi il primo della serie dei lanci l'imprecisione può risiedere, oltre che nel tempo, anche nella posizione registrata.

Come indicato nel paragrafo 1.2.3 esiste una velocità massima di utilizzo, diversa per ogni tipo di sonda (in base a ciò sono state adottate su ogni barca sonde che potessero essere utilizzate alla velocità di crociera della stessa), oltre la quale la sonda non garantisce una precisa acquisizione.

Tenendo in considerazione quindi la tipologia della sonda, i valori di velocità ottenuti nella fase prima descritta vengono confrontati con i rispettivi valori di velocità massima accettabile. In base a questo, inizialmente, si volevano segnalare come non corrette le posizioni assegnate ai dati che, per essere verificate, avrebbero necessitato di una velocità della barca superiore a quella consentita dal tipo di sonda.

In realtà, così facendo, quasi tutti i dati sarebbero stati considerati inaccettabili: quasi tutte le sonde, oggetto di questa analisi, sono infatti state lanciate a velocità leggermente superiore a quella raccomandata dal costruttore (questa precisazione verrà riaffrontata nel capitolo 4).

Per ovviare a ciò si è quindi impostata, per i confronti, una velocità leg-

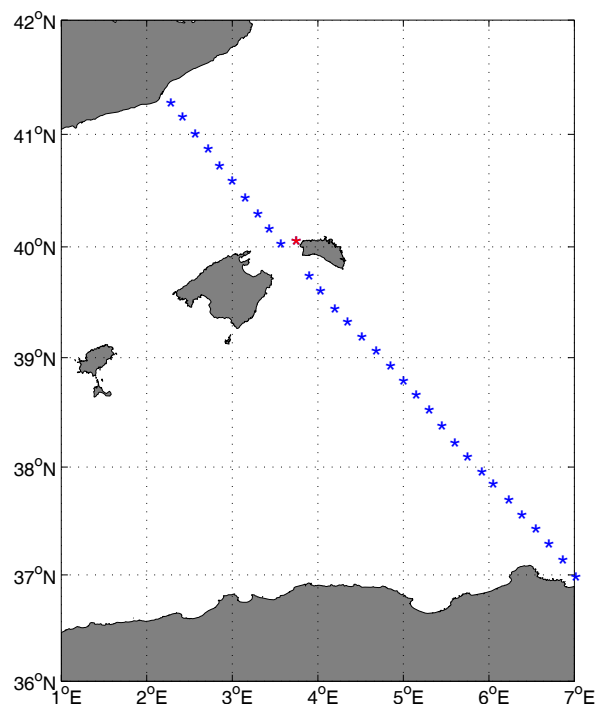


Figura 3-2: Campionamento CEAB nella prima campagna di Aprile 2000 (rotta spagnola).

germente superiore (comunque variabile in base al tipo di sonda) a quella raccomandata dal costruttore, scelta in base agli standards di navigazione caratteristici delle singole rotte del VOS.

L' algoritmo responsabile di questo controllo, nel caso in cui un dato risulti essere posizionato male, fornisce il calcolo di tempo e spazio per il dato successivo utilizzando l'ultimo (in sequenza temporale), tra i precedenti, la cui posizione é stata considerata accettabile. Questo si é reso necessario per evitare di basare il resto dell'analisi su un dato non corretto.

In figura (figura 3-2) é rappresentata la distribuzione spaziale dei dati raccolti durante una delle campagne di campionamento (prima campagna di Aprile effettuata dall' istituto CEAB) del VOS (vedi tabella 1.1 e figura 1.6): sottoponendo al controllo la serie di dati risulta che il punto evidenziato in rosso, per essere verificato, necessiterebbe di una velocità della barca pari a 30 nodi (54 Km/h). Questo valore é inaccettabile in quanto, oltre al fatto che la sonda in oggetto (T7) non lo sopporterebbe, la barca utilizzata non é in grado di raggiungere tale velocità. In questo caso quindi si evidenzia un errore di

posizionamento sul totale di trentadue dati raccolti durante la campagna.

Durante la verifica del funzionamento di questa procedura é stato notato che spesso gli errori non sono strumentali, ma dovuti a sostituzione “manuale” di valori: indicazione della longitudine Est anziché Ovest, errori non sulla parte decimale delle coordinate (tipica di errore strumentale) ma sul valore del grado (ad esempio 37 02.000N invece che 38 02.000N). In questi casi i valori di velocità calcolati assumono valori irraggiungibili da qualsiasi tipo di mezzo nautico.

3.3 Analisi sul profilo

Per poter utilizzare questa procedura il primo passo é stato creare la banca dati contenente tutti i profili medi di riferimento e i rispettivi profili di deviazione standard, come descritto nella sezione 2.3.

Da questa banca dati vengono estratti volta per volta, ossia per ogni serie di dati in esame (tutti quelli cioè appartenenti alla stessa campagna di acquisizione), i profili medi di riferimento e i rispettivi profili di deviazione standard corrispondenti alle aree $1^\circ \times 1^\circ$ e al mese di appartenenza dei dati stessi.

Nella figura 3-3 é rappresentato lo schema esemplificativo delle diverse fasi di cui si compone l'analisi in seguito descritta.

3.3.1 Eliminazione spikes, interpolazione e filtraggio

Il profilo di temperatura misurato dalle sonde, essendo ricavato da un segnale elettrico (proveniente dalla termoresistenza), si presenta impuro: si osservano cioè discontinuitá non legate alla variazione di temperatura, ma ad interferenze indotte dalla componentistica elettrica che costituisce la sonda, nonché dall'interazione dei componenti stessi con l' ambiente esterno. Per eliminare le interferenze di bassa entitá, quelle normalmente identificate come “rumore di fondo”, é stato sufficiente applicare un filtro (descritto in seguito); per le variazioni di maggior entitá, invece, é stato necessario creare un processo di identificazione mirato all' eliminazione delle stesse.

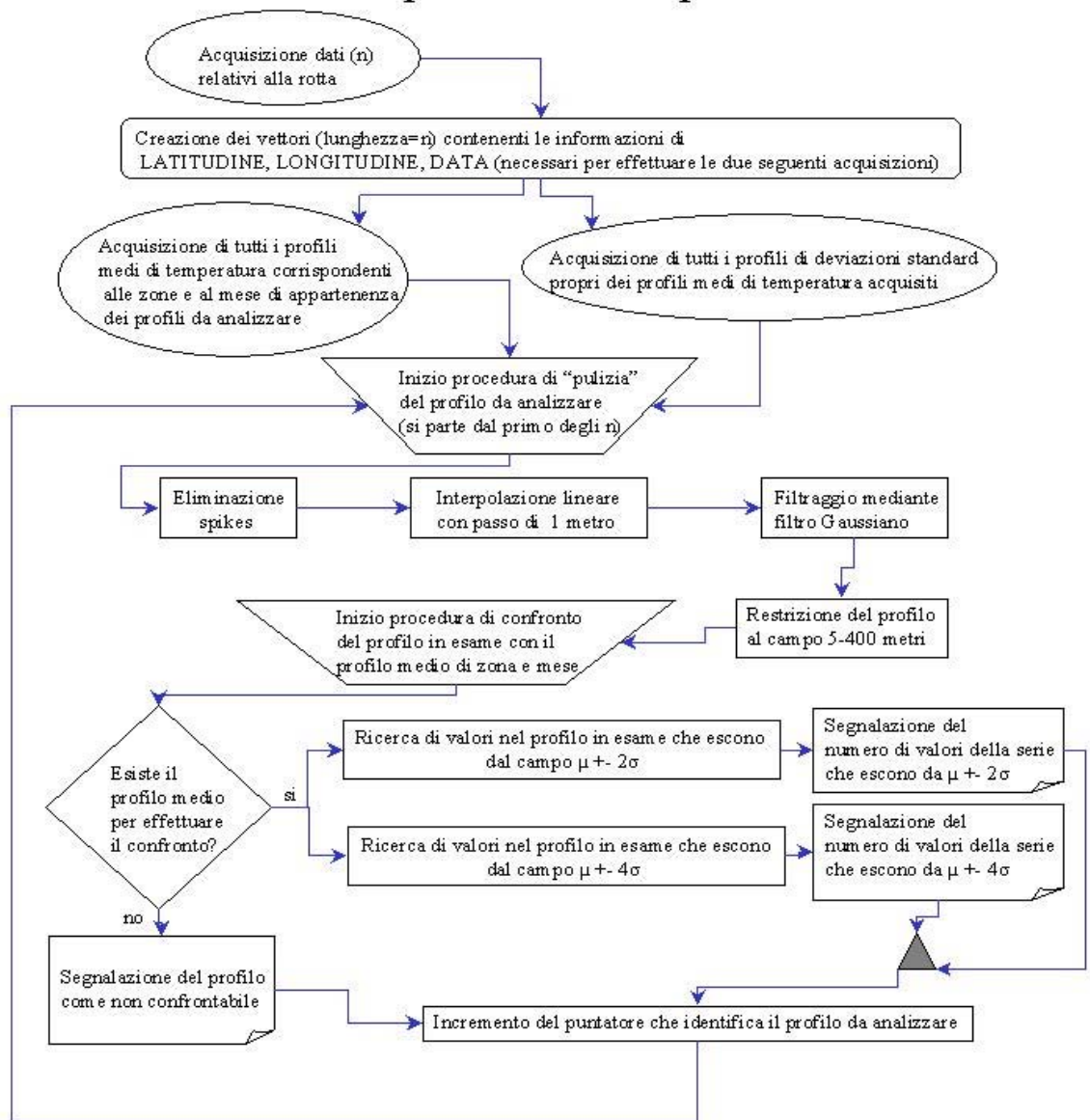
[illegible]

Figura 3-3: Schema rappresentativo della procedura di controllo del profilo di temperatura.

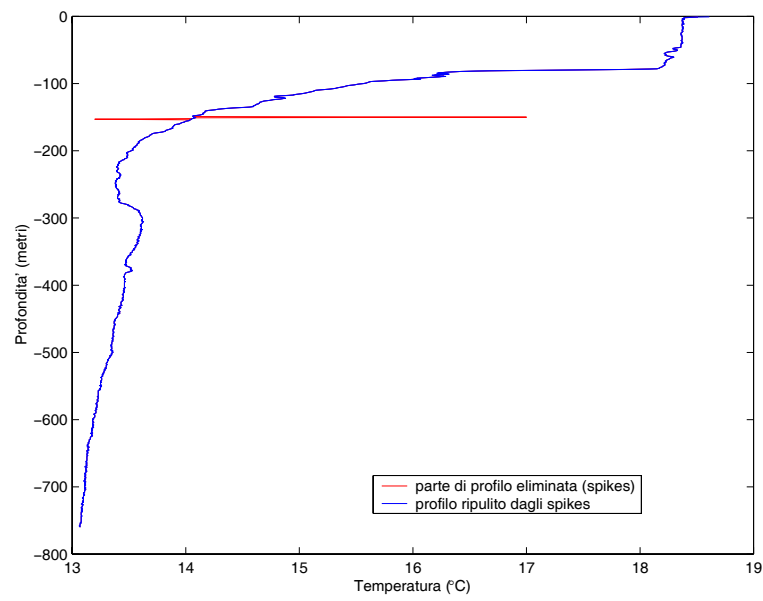


Figura 3-4: Profilo sottoposto all'eliminazione degli spikes.

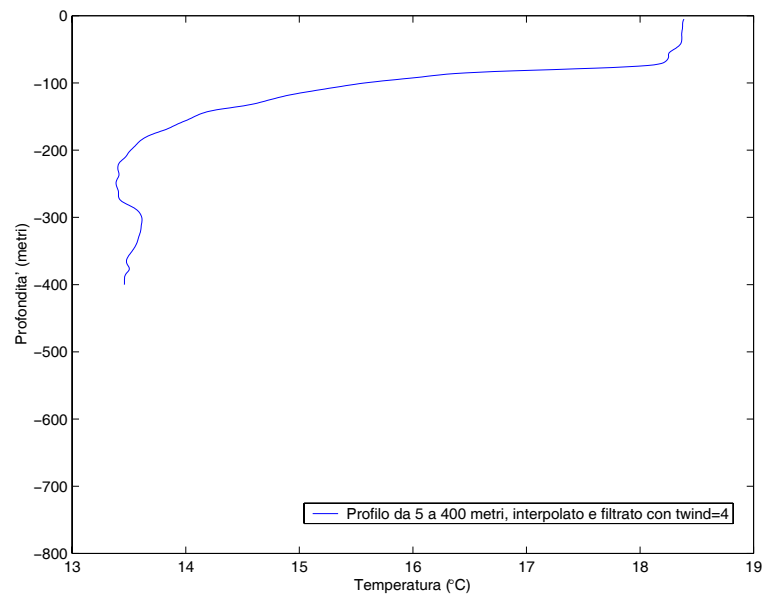


Figura 3-5: Profilo interpolato e filtrato, pronto per il confronto.

Questo secondo tipo di impurità viene chiamata “spike” (già menzionata al paragrafo 1.2.3), cioè anomalia puntiforme (relativa ad un punto isolato della serie) che presenta un valore di temperatura molto differente rispetto al precedente nonché al successivo. La procedura utilizzata per identificare gli spikes cerca e marca i valori che, lungo la serie, si discostano dai vicini per un valore di temperatura superiore alla deviazione standard caratteristica di quella profondità, ottenuta dal profilo medio di deviazioni caratteristico della zona e del mese di appartenenza. Successivamente i valori “marcati” vengono eliminati dal profilo.

In figura 3-4 è rappresentato il risultato dell’eliminazione degli spikes da un profilo di temperatura: la parte rappresentata in rosso, prima di subire l’applicazione, faceva parte del profilo rappresentato in blu, quello che passerà alla fase successiva.

Nel caso in cui non si effettuasse il taglio mirato degli spikes, per eliminare la loro influenza, sarebbe necessario applicare poi un filtro molto pesante, con conseguente perdita di informazioni appartenenti al resto del profilo.

A questo punto avviene l’interpolazione lineare con passo di 1 metro, lo stesso usato per la creazione dei profili medi di riferimento, proprio per poterli confrontare poi con questi ultimi e per renderli utilizzabili nell’applicazione del filtro. Vengono inoltre considerati anche qui solo i valori appartenenti alla fascia di profondità oltre i 5 metri e fino a 400 metri. Durante l’interpolazione, visto che i profili nei files (.edf) sono registrati con un passo inferiore al metro, avviene intrinsecamente un primo parziale filtraggio.

Il filtro utilizzato nella fase successiva è di tipo gaussiano. Inizialmente viene impostata la larghezza della “finestra di filtraggio”, ossia la fascia in metri entro la quale si vuole operare per assegnare ad ogni valore di profondità il nuovo valore (creato con media pesata) di temperatura. Si parla di media pesata in quanto il nuovo valore viene creato mediando tutti i valori di temperatura facenti parte della fascia di profondità impostata (“finestra di filtraggio”) e dando ad ognuno un peso decrescente man mano che ci si allontana dalla posizione (profondità) in esame, seguendo una curva gaussiana. In

tal modo l'importanza del valore centrale resta dominante, ma comunque esso viene influenzato dai valori di temperatura associati alle profondità adiacenti che rientrano nella finestra.

Il valore assegnato al parametro che identifica la larghezza della finestra di filtraggio incide direttamente sull'efficacia della procedura; nel caso in esame tale valore é stato imposto uguale a 4 metri: larghezza minima indispensabile per eliminare tutto il rumore di fondo. In figura 3-5 é rappresentato un profilo (lo stesso che ha subito l'eliminazione degli spikes illustrata in figura 3-4) nella forma finale, ossia dopo aver subito sia l'eliminazione degli spikes che l'interpolazione e il filtraggio.

3.3.2 Confronto con i profili climatologici

A questo punto i profili, purificati dagli spikes e filtrati, sono pronti per essere confrontati con i rispettivi profili climatologici per ciascuna zona $1^\circ \times 1^\circ$ del rispettivo mese di appartenenza. Logicamente ad ogni profilo continua ad essere associato un puntatore che ne identifica la zona ed il mese di appartenenza. Il confronto viene effettuato mediante un'analisi di similarit  utilizzando come strumento la deviazione standard associata ad ogni profilo climatologico di zona creato precedentemente (vedi sezione 2.3).

Per i motivi esplicitati nella sezione 2.3 non tutti i profili da analizzare dispongono del corrispondente profilo medio per il confronto; nel caso in cui ci  avvenga, questi profili vengono elencati e registrati nell'elenco dei dati non confrontabili. Per ogni profilo di temperatura per cui si abbia il profilo climatologico viene calcolata l'anomalia rispetto al profilo medio. Si ottiene cos  un profilo di anomalie che viene utilizzato per il proseguimento della procedura: ognuno dei valori (assoluti) di anomalia (1 per ogni metro, da 5 a 400 metri) viene confrontato con il valore di deviazione standard caratteristico di quella profondit , per quell'area $1^\circ \times 1^\circ$ di quel mese.

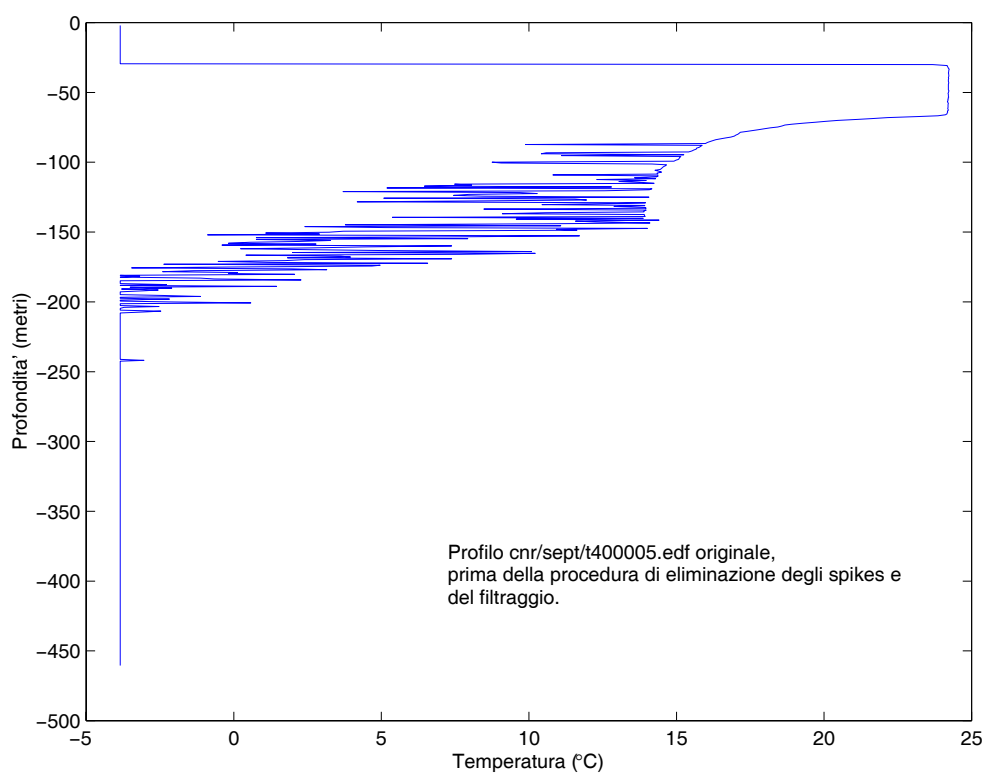


Figura 3-6: Un altro esempio di profilo con spikes.

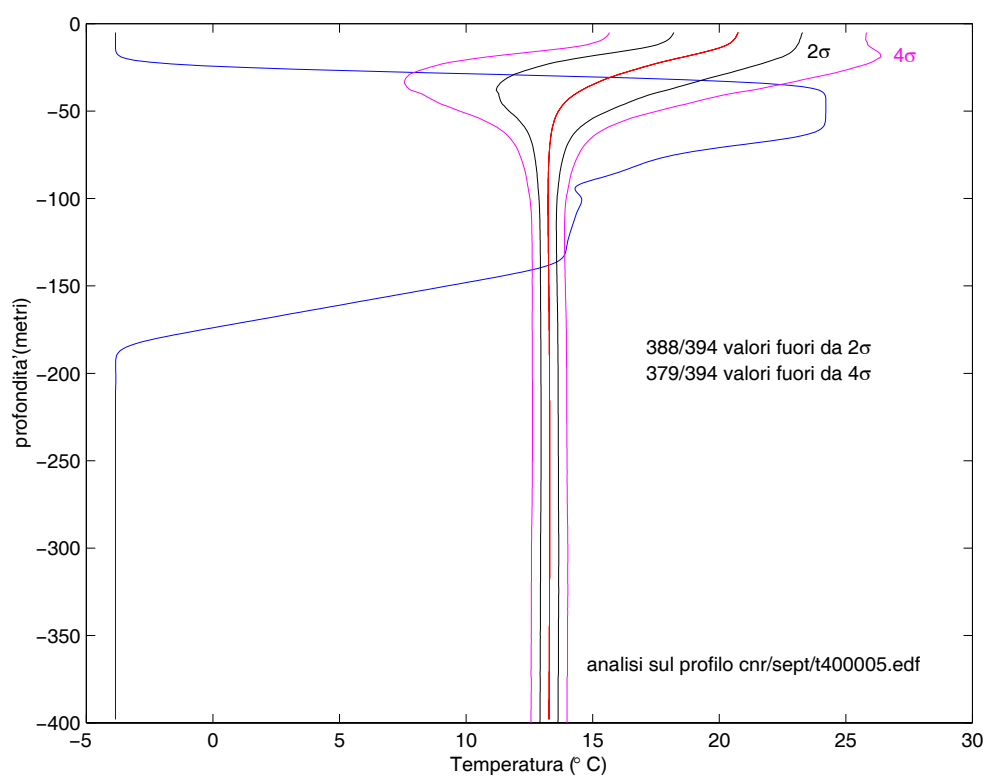


Figura 3-7: Identificazione di un profilo errato (in blu) mediante confronto con il profilo medio caratteristico della zona e del mese di appartenenza (in rosso). Il profilo in esame, originale, é quello illustrato in figura 3-6.

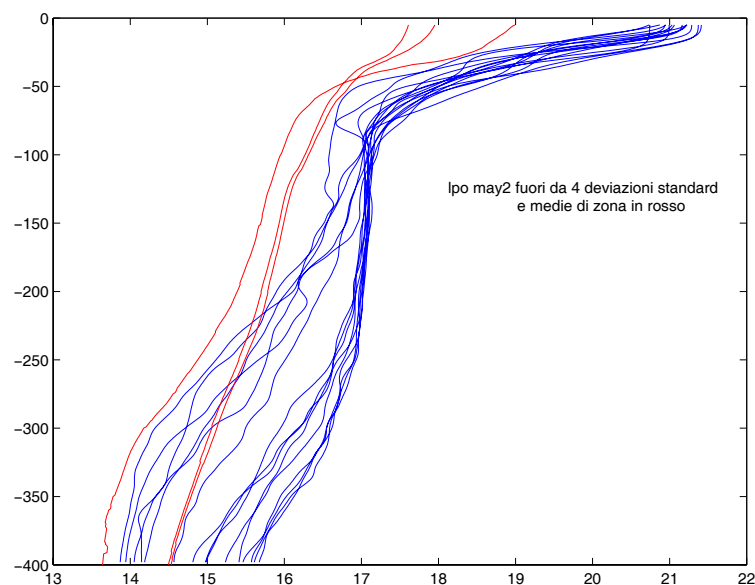


Figura 3-8: Serie di profili (in blu) che presenta valori fuori da 4 deviazioni standard rispetto ai rispettivi profili medi (in rosso), nonostante l'andamento sia apparentemente corretto.

Nel caso in cui risulti che uno o piú elementi della serie si discostano dal profilo medio per un valore maggiore della deviazione standard corrispondente, il profilo in esame viene marcato e viene registrato il numero di valori assoluti di anomalia che escono appunto da una deviazione standard.

In questo modo si ottiene, per tutto il gruppo di dati XBT in esame, una serie di informazioni relative al profilo di temperatura:

1. quanti e quali di essi non possono essere confrontati;
2. quanti e quali di essi hanno valori di temperatura che escono dal campo di 1 deviazione standard;
- 2b. quante sono le profondità alle quali vengono registrati valori di temperatura che escono dal campo sopra citato (per ognuno dei profili che rientrano nella classe indicata dal punto 2.).

Allo stesso modo si può impostare il controllo con valori diversi, ossia considerando 2 o piú deviazioni standard. Nel lavoro in esame, si é scelto di calcolare e registrare le informazioni sopra elencate, per il campo $\pm 2\sigma$ e per il campo $\pm 4\sigma$. Questa scelta é stata fatta in seguito ad una serie di prove utilizzando

un diverso numero di σ . Dai risultati (che verranno descritti nel capitolo 4) si nota che impostando la larghezza del campo con ± 4 deviazioni standard, considerando quindi questo valore come massima variabilità accettabile, i profili palesemente errati vengono identificati: un esempio é illustrato in figura 3-7 (il profilo in esame prima di subire i processi di pulizia era nella forma illustrata in figura 3-6). Gli stessi errori logicamente vengono identificati anche utilizzando $\pm 2\sigma$; in questa classe però rientrano anche molti profili aventi un andamento corretto. Comunque anche tra i profili aventi valori che escono da $\pm 4\sigma$ se ne trovano alcuni che, nonostante si discostino evidentemente dai profili medi di zona e mese, sembrano avere un andamento accettabile (vedi figura 3-8). Questa evenienza verrà discussa nel capitolo 4.

3.4 Prodotto finale in formato Medatlas

I dati analizzati, che come già visto erano disponibili nel formato caratteristico dell'elaboratore-registratore MK12, sono stati infine riorganizzati in formato Medatlas. Questa operazione si é resa necessaria per renderli compatibili con gli altri dati di temperatura prelevati nel Mediterraneo tramite XBT, in modo da facilitarne l'utilizzo futuro.

3.4.1 Descrizione degli indicatori utilizzati

Le informazioni ottenute tramite le procedure descritte nelle sezioni 3.2 e 3.3 sono state riassunte e riassociate ad ognuno dei profili analizzati tramite l'aggiunta di indicatori nella parte di intestazione dedicata al "commento" (una caratteristica del formato Medatlas).

Gli indicatori utilizzati sono 2:

1. flag relativa al controllo sulla posizione
2. flag relativa al controllo sul profilo

La prima flag può assumere due valori:

- 0** nel caso in cui al controllo sulla posizione descritto nella sezione 3.2, il profilo risulti posizionato correttamente.
- 1** nel caso in cui allo stesso controllo venga rilevato un errore, ossia non si riesca a giustificare la velocità della barca necessaria per raggiungere il punto di lancio indicato nel profilo in esame. Questa “marcatura” indica che c’è un errore nelle coordinate Est e Ovest, oppure nel tempo indicato come identificativo del momento di lancio.

La seconda flag può assumere tre valori (nel caso in cui però il confronto non sia stato effettuato, il campo viene lasciato vuoto):

- 0** nel caso in cui al controllo sul profilo di temperatura descritto nella sezione 3.3 nessun valore di temperatura lungo la verticale risulti uscire dal campo $\mu \pm 2\sigma$.
- 1** nel caso in cui alcuni valori di temperatura escano dal campo $\mu \pm 2\sigma$.
- 2** nel caso in cui alcuni valori di temperatura escano dal campo $\mu \pm 4\sigma$.

Nella figura 3-9 é illustrata una parte del file in formato Medatlas contenente tutti i dati della prima rotta di gennaio dell’istituto CNR: i campi evidenziati in rosso sono quelli che indicano il risultato del controllo di qualità applicato a 2 dati in formato .edf (T400251.edf e T500252.edf). In questo caso ambedue i dati risultano posizionati correttamente e senza valori di temperatura che escono dal campo $\pm 2\sigma$ (tutte le flags uguali a 0).

```

*IE48200000000000251 Data Type=H13
*DATE=12012000 TIME=1059 LAT=N39 35.46 LON=E1224.30 DEPTH=460
*NB PARAMETERS=02 RECORD LINES= 703
*DEPTH (METER ) def.=-999.9
*TEMP SEA TEMPERATURE (CELSIUS DEGREE ) def.=99.999
*GLOBAL PROFILE QUALITY FLAG=
*DC HISTORY=
*
*DM HISTORY
*
*COMMENT QCPOSITION= 0 QCPROFILE= 0
*
*SURFACE SAMPLES=
*
*DEPTH TEMP
2.0 14.56
2.7 14.49
3.3 14.49
4.0 14.47
...(continuo serie dati)...
460.5 13.83
*IE48200000000000252 Data Type=H13
*DATE=12012000 TIME=1130 LAT=N39 25.60 LON=E1231.41 DEPTH=460
*NB PARAMETERS=02 RECORD LINES= 703
*DEPTH (METER ) def.=-999.9
*TEMP SEA TEMPERATURE (CELSIUS DEGREE ) def.=99.999
*GLOBAL PROFILE QUALITY FLAG=
*DC HISTORY=
*
*DM HISTORY
*
*COMMENT QCPOSITION= 0 QCPROFILE= 0
*
*SURFACE SAMPLES=
*
*DEPTH TEMP
2.0 15.29
2.7 15.04
3.3 14.93
4.0 14.88
4.7 14.85
5.4 14.83
6.0 14.83
6.7 14.82
...(continuo serie dati)...
460.5 13.96
...(continuo serie dati)...

```

Figura 3-9: Rappresentazione in formato Medatlas.

Capitolo 4

Valutazione del sistema VOS nel Mediterraneo

4.1 I dati a disposizione

Le campagne di acquisizione dati XBT effettuate tramite il VOS nel Mediterraneo durante il progetto MFSP (sezione 1.2) sono iniziate in settembre 1999. Le rotte lungo le quali vengono effettuati i campionamenti (sottoparagrafo 1.2.2.1) sono percorse, quando possibile, due volte al mese.

Il controllo di qualità descritto nel precedente capitolo è stato applicato a tutti i gruppi di dati campionati nel periodo settembre 1999 - giugno 2000 (la copertura spaziale di essi è illustrata in figura 4-1). In realtà questo non è avvenuto in ugual modo per tutte le rotte in esame in quanto i dati relativi ad alcune campagne, al momento dell'applicazione del controllo, non erano ancora disponibili nella banca dati (dedicata appunto ai dati XBT continui) installata presso il centro di calcolo CINECA di Bologna.

In particolare le campagne analizzate e i rispettivi nomi identificativi, effettuate lungo le rispettive rotte, sono illustrate nella Tabella 4.1.

Le campagne indicate con carattere minuscolo sono quelle i cui dati erano presenti nella banca dati del CINECA in giugno 2000; quelle indicate col carattere maiuscolo, sono state aggiunte alla banca dati in ottobre 2000.

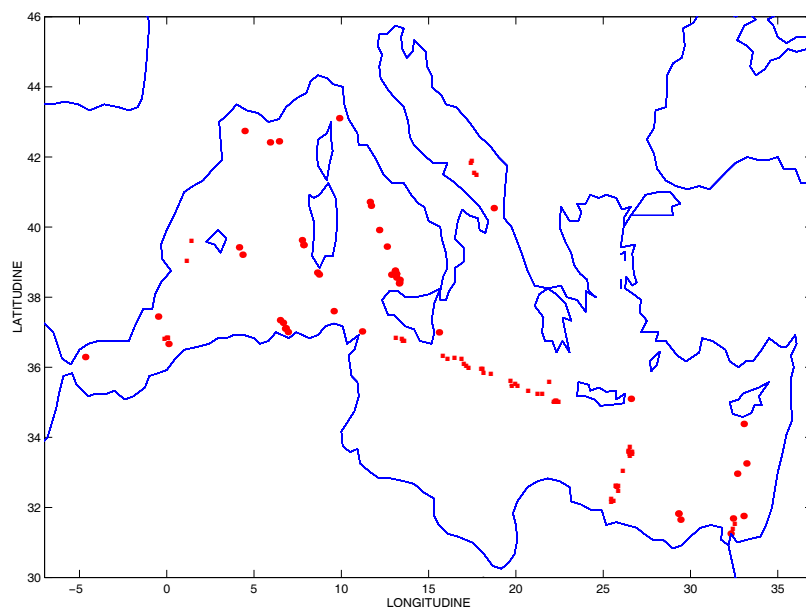


Figura 4-1: Copertura spaziale dei dati XBT raccolti da settembre 1999 a giugno 2000.

istituto	09/99	10/99	11/99	12/99	01/00	02/00	03/00	04/00	05/00	06/00
CEAB		oct	nov	dec1 dec2	jan1 jan2	FEB1	MAR1	APR1 APR2	MAY1	
CNR	sept	oct	nov	dec1 dec2	jan1 jan2	FEB1 FEB2	MAR1 mar2	APR1 APR2	MAY1 may2	
LOB	sept	oct	nov	dec1	jan1 jan2	feb1 feb2	mar1 MAR2	APR1 APR2	MAY1 MAY2	
LPO	sept	oct	nov	dec1 dec2	jan1 jan2	FEB1 FEB2	MAR1 MAR2	apr1 APR2	MAY1 may2	jun1
NCMR		oct	nov	dec1 dec2	jan2	FEB2	MAR2	APR1 APR2	MAY2	
OGS	sept	oct	nov	dec1 dec2	jan1 jan2	FEB1 feb2	mar1 MAR2	APR1 APR2	MAY1 may2	jun
SAHFOS	sept	oct	nov	jan						

Tabella 4.1: Campagne sottoposte al controllo di qualità.

4.2 Analisi dei risultati del controllo di qualità

In totale sono state quindi prese in esame 86 campagne VOS e 3487 profili XBT.

Per ogni rotta e ogni profilo é stato applicato il controllo di qualità per le due componenti: il controllo dell'ubicazione e il controllo del profilo. Di seguito si prenderanno in considerazione i risultati del controllo per ciascuna delle due componenti.

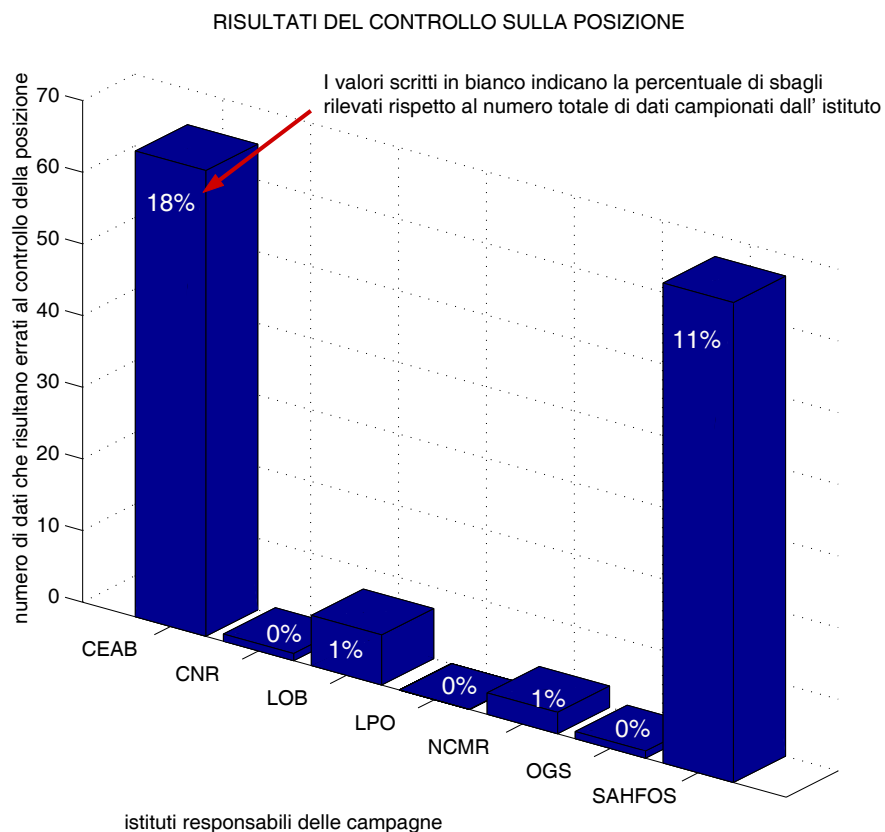


Figura 4-2: Errori nel posizionamento dei dati XBT.

4.2.1 Analisi delle rotte

L'applicazione del controllo sull'ubicazione ha evidenziato in totale 144 dati (il 4% rispetto ai 3487 in esame) la cui posizione risulta non coerente rispetto ai parametri illustrati nella sezione 3.2.

La figura 4-2 indica l'incidenza di errore relativa ad ogni rotta. Il 4% sul totale dei dati XBT analizzati, si riduce al 2% se si considerano solo i dati ottenuti nell'anno 2000 (gennaio-giugno), escludendo quindi i campionamenti effettuati nei primi mesi d'acquisizione (settembre-dicembre 1999). L'incidenza d'errore in questi primi 4 mesi è stata infatti molto più elevata (7%), probabilmente a causa della minore esperienza nell'effettuare il campionamento: in questo caso verrebbe confermata l'ipotesi (introdotta nella sezione 3.2) del probabile intervento "manuale", ossia effettuato dall'operatore a bordo posteriormente alla registrazione automatica operata dal software Sippican, sull'intestazione del dato.

Per ottimizzare l'utilizzo futuro del controllo di qualità per questa componente, sarebbe necessario impostare valori di velocità massime standard, variabili in base al tipo di sonda. Come spiegato nella sezione 3.2, tali velocità dovrebbero essere quelle massime raccomandate dal costruttore; visto però che si è scelto, nel corso del progetto MFSP, di aumentare tali limiti fino ai valori caratteristici delle barche utilizzate, sarebbe necessario comunque creare i nuovi standards. Ciò comporterebbe prove sul campo, che garantirebbero una maggior affidabilità dei dati. In questo modo, nel caso in cui si verificasse la presenza di più dati in serie per i quali la velocità calcolata superi il valore standard impostato, si potrebbe estendere l'analisi: oltre al normale controllo, l'eventuale presenza di valori in serie di velocità alti e anche uguali tra loro, indicherebbe che la velocità della barca era effettivamente quella, confermando la posizione, ma ciò permetterebbe di classificare come inaccettabili (in quanto campionati al di fuori dei parametri standards) tutti i profili di temperatura appartenenti alla serie di dati in esame, indipendentemente dall'andamento del profilo stesso.

Un sistema del genere permetterebbe di analizzare serie di dati XBT anche nel caso in cui fossero sconosciute le prestazioni delle barche utilizzate.

E' importante comunque ribadire che sarebbe innanzitutto necessario ricreare (in sostituzione a quelli indicati dal costruttore, dato che si è scelto di maggiorarli) gli standards delle velocità massime.

4.2.2 Analisi del segnale di temperatura

L'applicazione del controllo sul profilo, illustrato nella sezione 3.3, è stata effettuata sul 63% dei dati (2213 su 3487); i restanti 1274 non hanno subito questo controllo in quanto non è disponibile il rispettivo profilo medio di zona e mese. La figura 4-3 illustra specificatamente, per ogni istituto, quanti profili sono risultati confrontabili e quanti no.

Questa analisi ha evidenziato in totale 220 profili di temperatura caratterizzati dalla presenza di valori, lungo la verticale, che escono dal campo $\pm 4\sigma$ (il 10% rispetto ai 2213); 871 con valori che escono dal campo $\pm 2\sigma$ (il 39%);

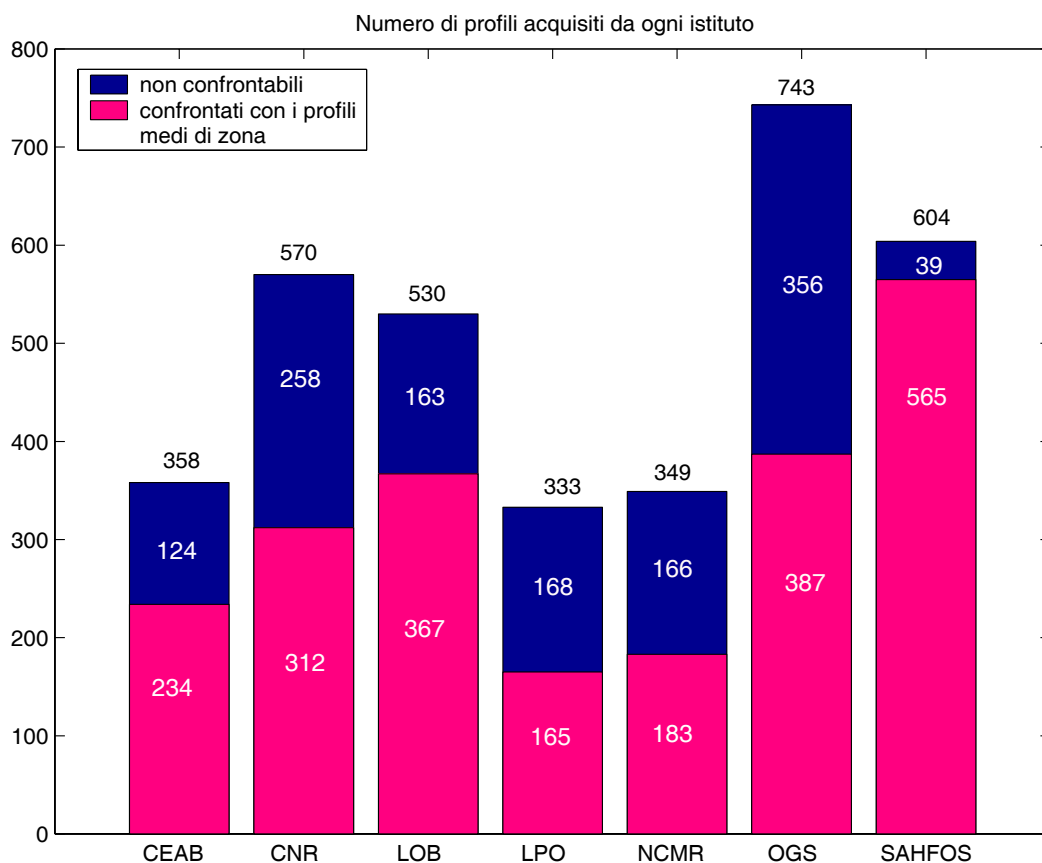


Figura 4-3: Numero di dati per ciascuna rotta che possono essere (rosso) o meno (blu) confrontati con la climatologia dell'area.

1342 i cui valori non escono dal campo $\pm 2\sigma$ (il 61%). La figura 4-4 illustra il risultato del controllo sul totale dei dati campionati da ogni istituto. Le figure 4-5 4-6 4-7 4-8 illustrano i risultati relativi ai campionamenti effettuati dagli istituti nelle diverse stagioni (le stagioni sono suddivise secondo la definizione di Hecht et al., 1988): si nota che la maggior percentuale di profili uscenti dal campo $\pm 4\sigma$ appartiene alla stagione autunnale e a quella primaverile (in figura 4-9 é evidenziato lo stesso risultato relativo al data-set completo, senza riferimento agli istituti).

Come evidenziato in figura 4-4 i dati relativi all'istituto LPO, appartenenti quindi alla rotta n°7 (vedi sottoparagrafo 1.2.2.1), sono in buona parte, rispetto al totale, caratterizzati da valori che escono dal campo $\pm 4\sigma$. I profili di LPO, come già evidenziato nel paragrafo 3.3.2 (soprattutto per il mese di maggio, come indicato in figura 4-26 e 4-27) non mostrano andamenti particolarmente

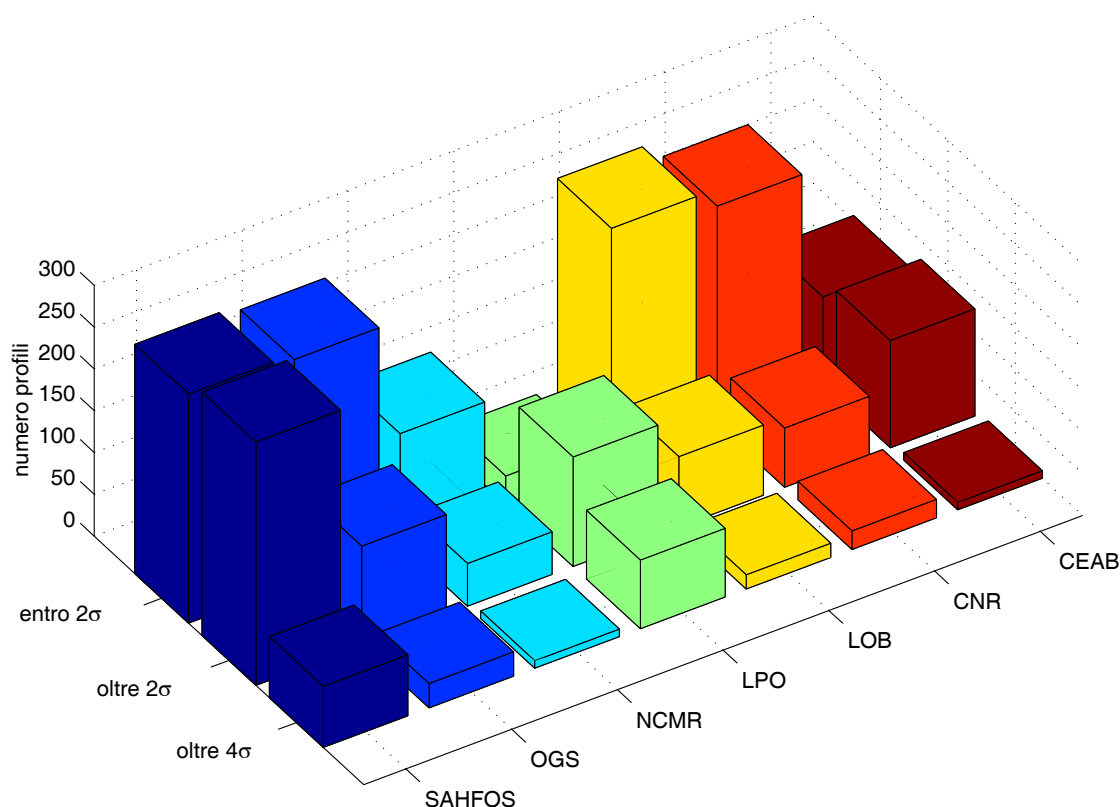


Figura 4-4: Risultati del controllo di qualità applicato ai dati ottenuti dai singoli istituti. I risultati sono riferiti ai profili per i quali esiste la climatologia di riferimento.

insoliti, ma il valore è spostato rispetto alla climatologia.

Per poter giudicare la validità del controllo fatto è stato necessario verificare, per la zona in esame, quanti e quali (come distribuzione temporale) profili di temperatura sono stati usati per creare i profili medi di riferimento per le singole aree $1^\circ \times 1^\circ$. Si è scelto inoltre di controllare specificatamente il mese di maggio. L'area in esame (quella entro cui passa la rotta n°7), corrisponde all'area 19 (vedi figura 2.3). In figura 4-10 è illustrata la distribuzione temporale dei dati utilizzati per creare tutti i profili medi delle aree $1^\circ \times 1^\circ$ corrispondenti al mese di maggio, interne all'area 19. Ne risulta che metà dei dati usati per costruire la climatologia provengono da un solo anno, il 1993. La figura 4-11 illustra il numero di profili usati per creare la climatologia in ogni singola sottoarea dell'area 19.

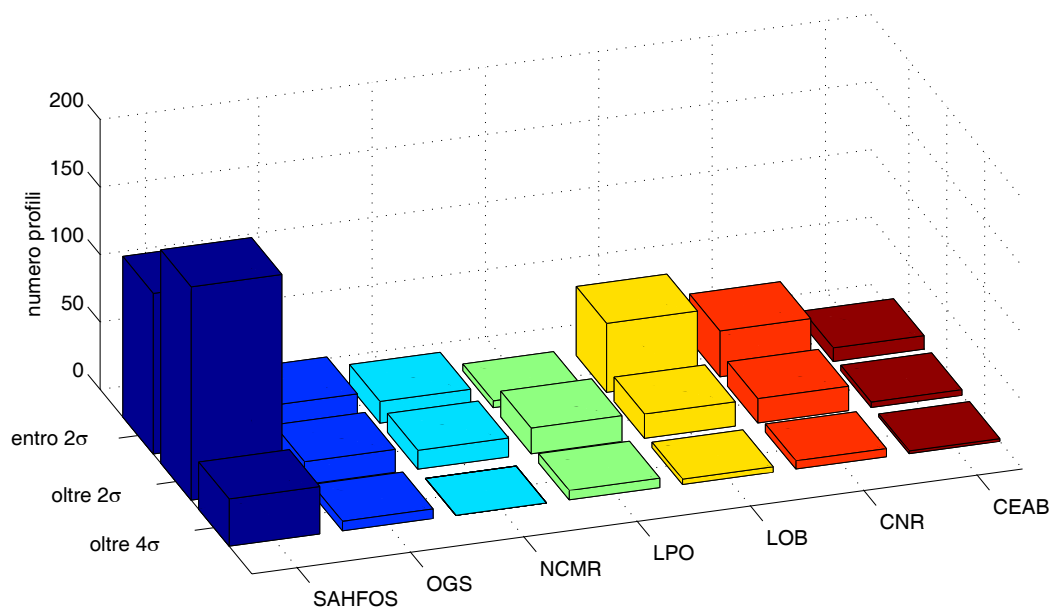


Figura 4-5: Risultati del controllo di qualità applicato ai dati ottenuti dai singoli istituti nel periodo settembre-ottobre 1999 (ESTATE).

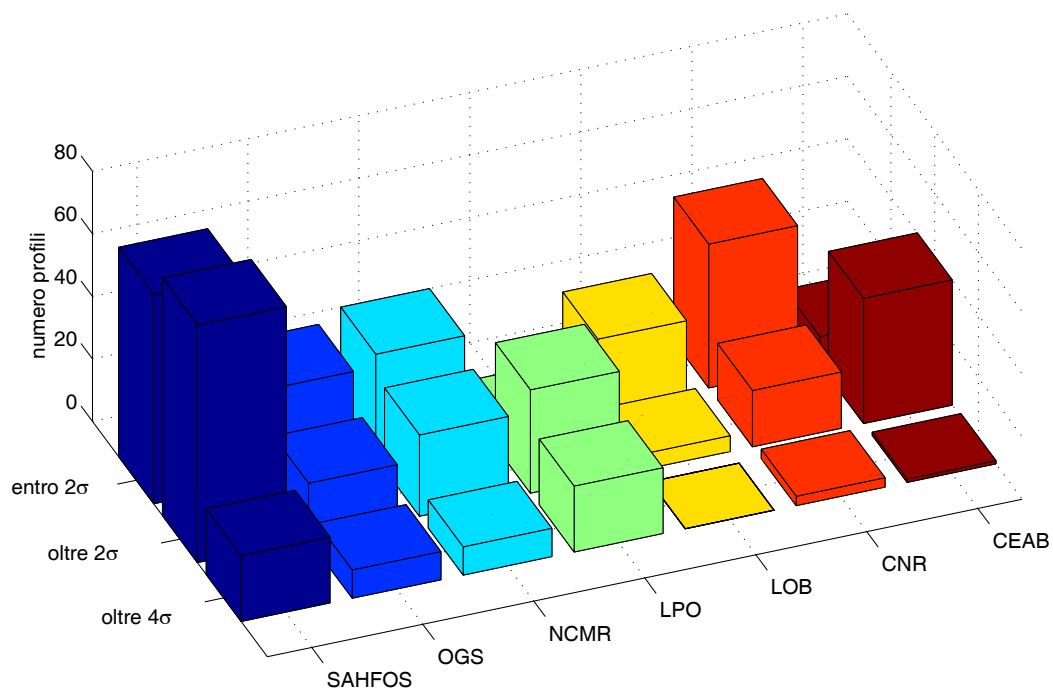


Figura 4-6: Risultati del controllo di qualità applicato ai dati ottenuti dai singoli istituti nel periodo novembre-dicembre 1999 (AUTUNNO).

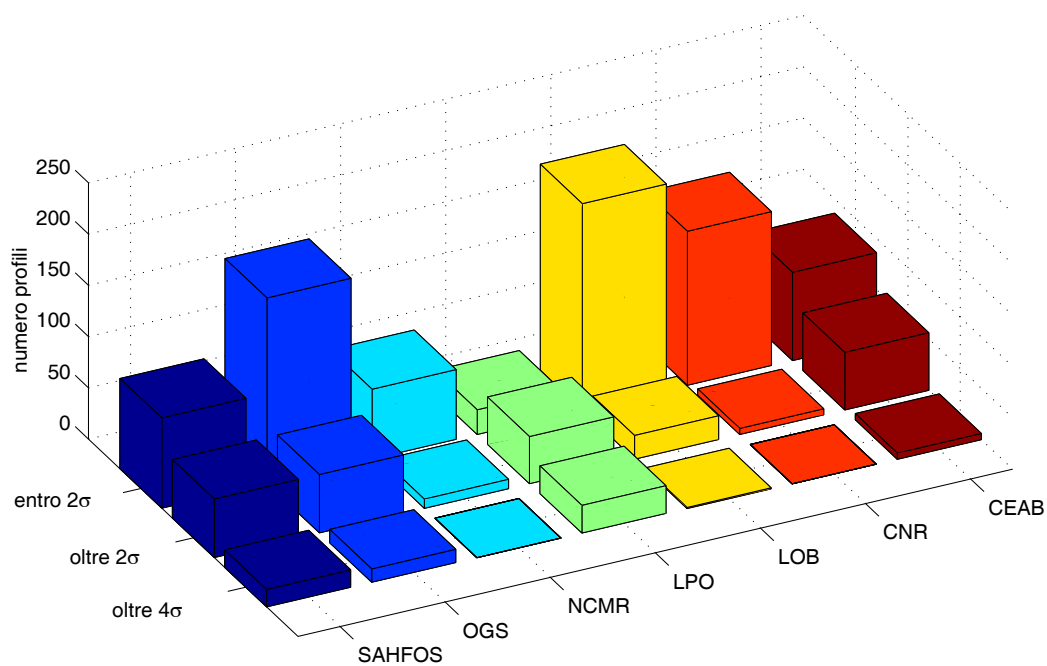


Figura 4-7: Risultati del controllo di qualità applicato ai dati ottenuti dai singoli istituti nel periodo gennaio-aprile 2000 (INVERNO).

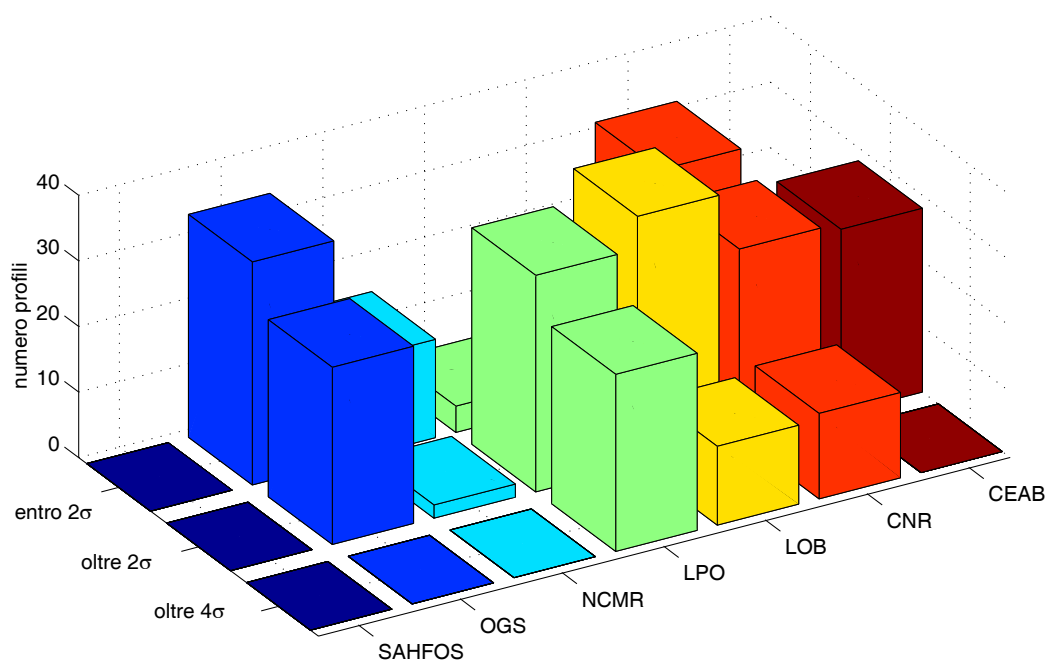


Figura 4-8: Risultati del controllo di qualità applicato ai dati ottenuti dai singoli istituti nel periodo maggio-giugno 2000 (PRIMAVERA).

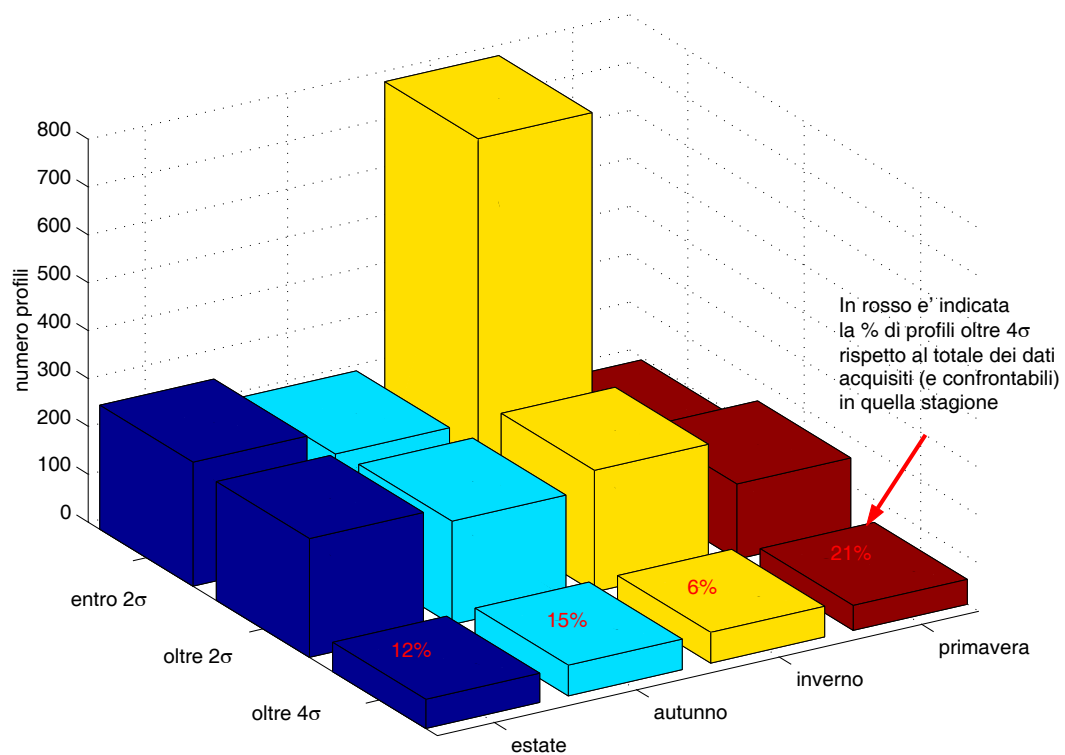


Figura 4-9: Risultati del controllo di qualità applicato al data-set completo su base stagionale.

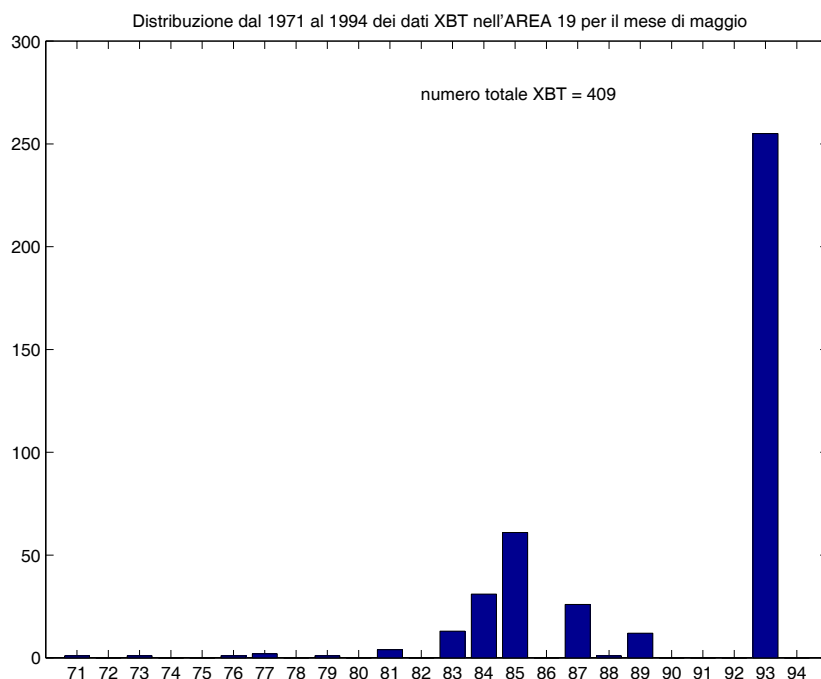


Figura 4-10: Distribuzione temporale dei profili in banca dati MEDATLAS per l'area19 e il mese di maggio.

Questo indica che i profili medi corrispondenti non sono buoni indicatori della climatologia in quanto l'informazione in essi contenuta non deriva da un periodo temporale sufficientemente ampio. Da ciò si deduce che i profili di temperatura in esame (ottenuti nelle campagne LPO MAY1 e LPO may2), nonostante escano dal campo di $\pm 4\sigma$, non possono essere considerati inaffidabili, a causa della mancanza di informazioni climatologiche.

La presenza di profili aventi valori esterni alla media $\pm 4\sigma$, ma il cui andamento non sembra inverosimile, è stata verificata, oltre al caso appena esaminato, in altri casi (vedi figure 4-12 4-13).

I risultati relativi all'istituto SAHFOS evidenziano un alto numero di profili uscenti dal campo $\pm 4\sigma$, paragonabile a quelli di LPO; in questo caso però la causa non è da ricercare solo nella climatologia, ma anche nel fatto che alcuni di questi profili sono stati campionati scorrettamente (vedi figura 4-13).

Dai risultati ottenuti si deduce quindi che considerare non accettabili tutti i profili uscenti dal campo medio $\pm 4\sigma$ non è corretto; per poter utilizzare la procedura di analisi in maniera così selettiva bisognerebbe disporre di un nu-

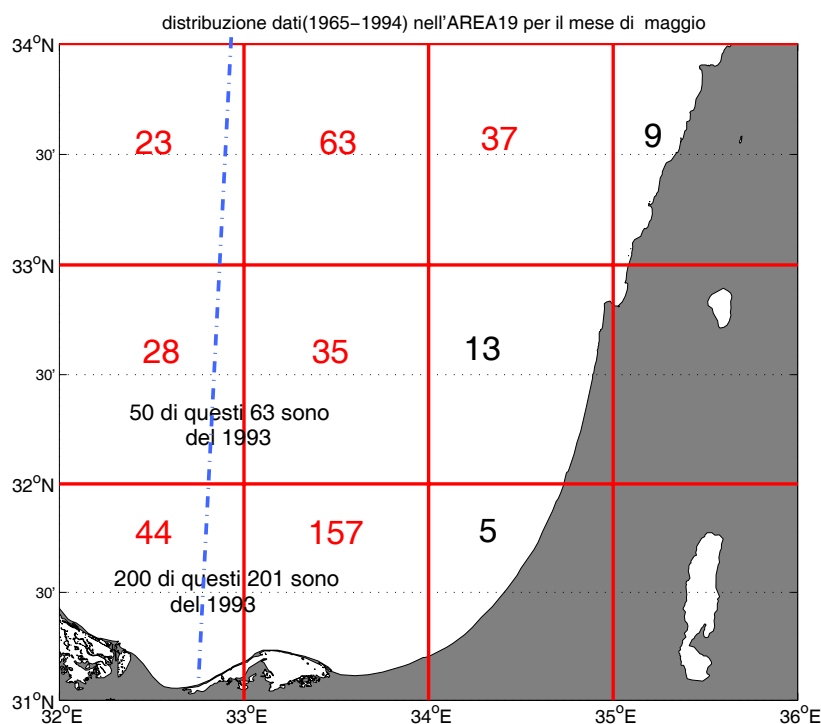


Figura 4-11: Rappresentazione dell'area 19 suddivisa nelle sottoaree 1°x1°. In sovrapposizione è stata riportata la rotta LPO (linea tratteggiata blu). I numeri nei quadrati 1°x1° rappresentano i numeri di profili XBT presenti nella banca dati. Le cifre in nero indicano un numero di XBT < 15, quindi la mancanza della climatologia per queste tre regioni.

mero molto più elevato di profili, meglio distribuiti nel tempo, per poter meglio rappresentare la climatologia di riferimento. Allo stato attuale i risultati del controllo necessitano ancora di interpretazione: i profili che risultano completamente inclusi nel campo $\mu \pm 2\sigma$ possono essere considerati corretti, senza essere controllati individualmente a posteriori; i profili che escono dal campo $\mu \pm 4\sigma$, invece, necessitano di controllo individuale. Questo comunque permette, nel caso in cui si consideri esemplificativo il gruppo di dati raccolto durante le 86 campagne in esame, di evitare il 90% del lavoro di controllo visivo su ogni singolo profilo. Un'indagine più accurata, volta al controllo visivo anche dei profili uscenti dal campo $\mu \pm 2\sigma$, sarebbe più impegnativa, ma usufruirebbe comunque di una riduzione del lavoro pari al 60%.

Nelle figure che vanno dalla 1-7 alla 1-29 si mostrano, campagna per campagna e rotta per rotta, i risultati del controllo di qualità della posizione e del profilo rispetto alla climatologia.

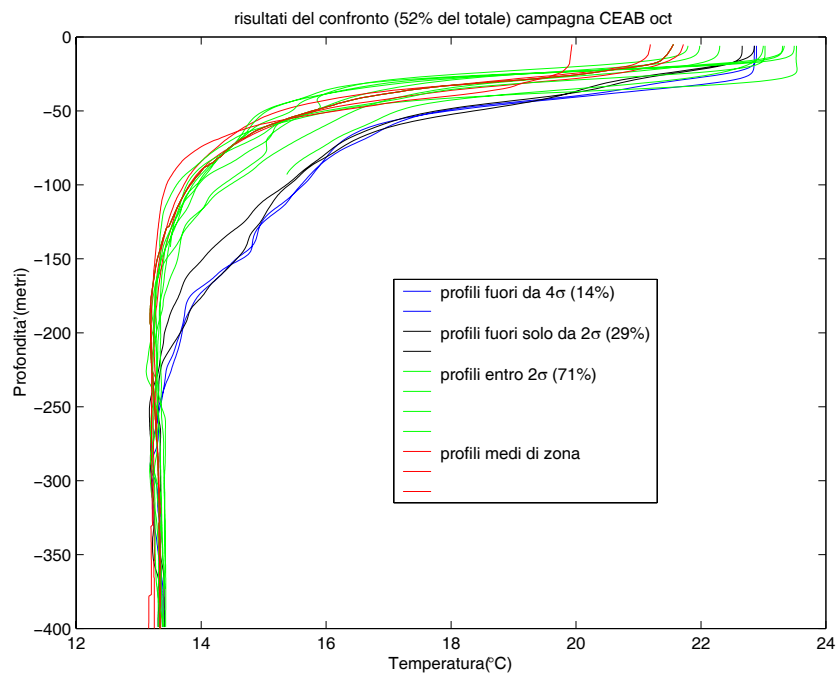


Figura 4-12: Profili campionati durante la campagna CEAB di ottobre.

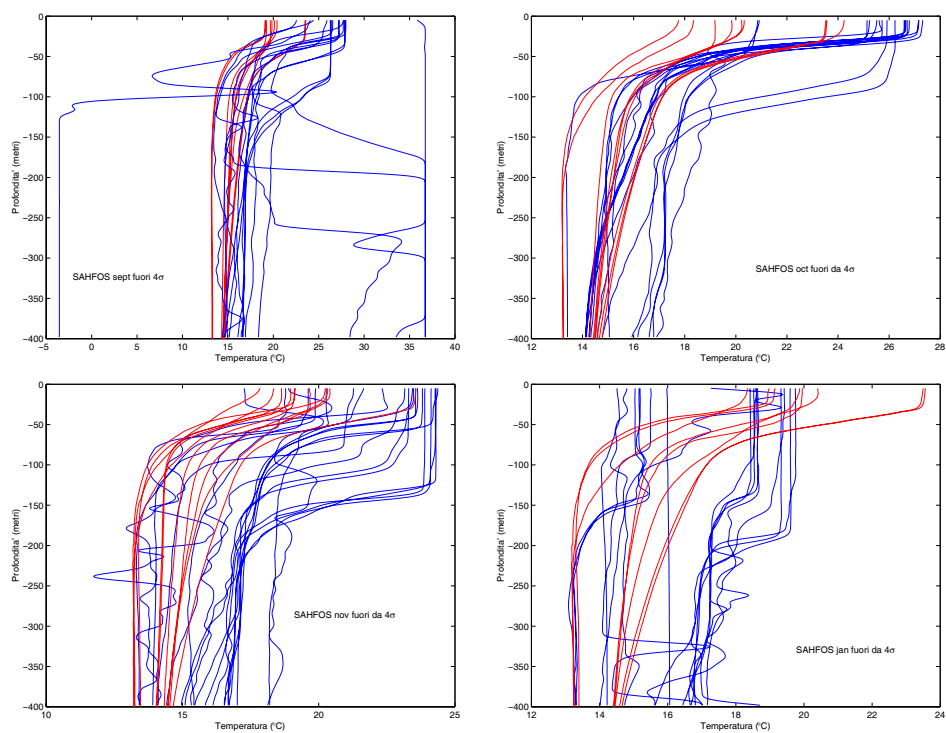


Figura 4-13: Rappresentazione dei profili aventi valori fuori dal campo $\pm 4\sigma$ (in blu) campionati durante le campagne SAHFOS sept, oct, nov, jan e dei rispettivi profili medi (in rosso).

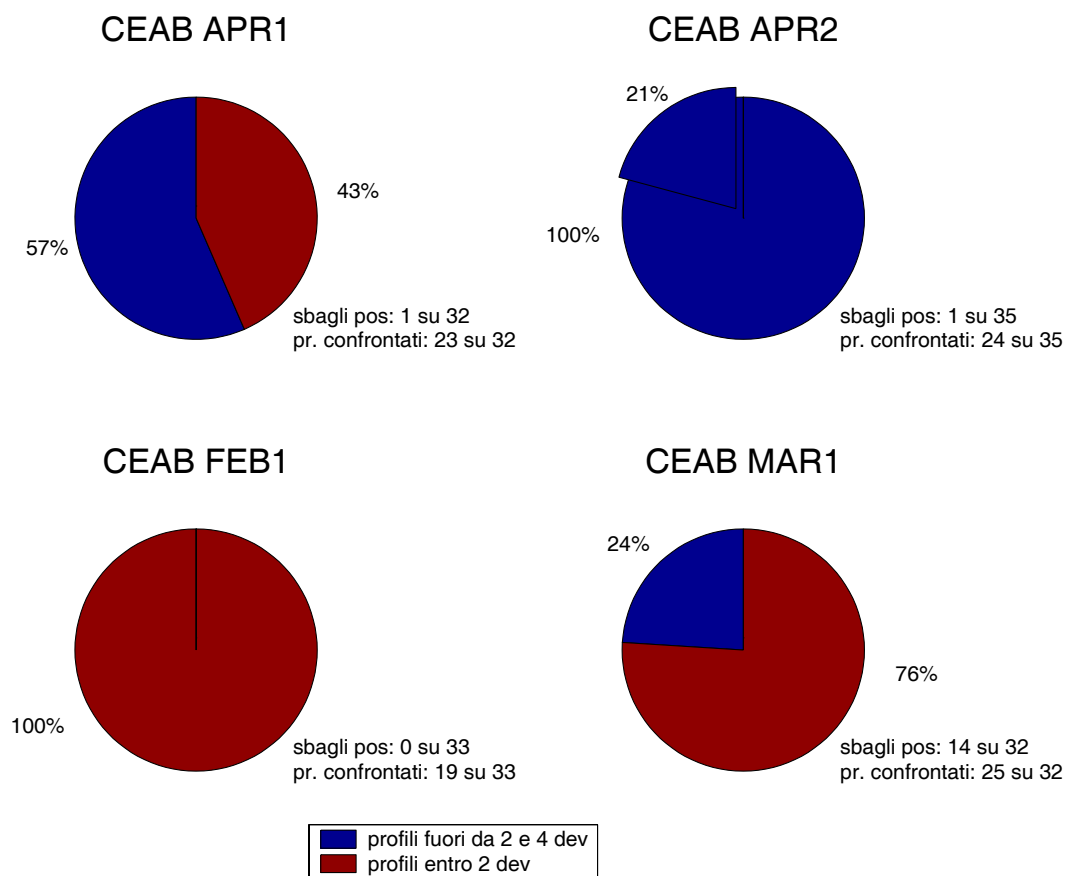


Figura 4-14: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne CEAB.

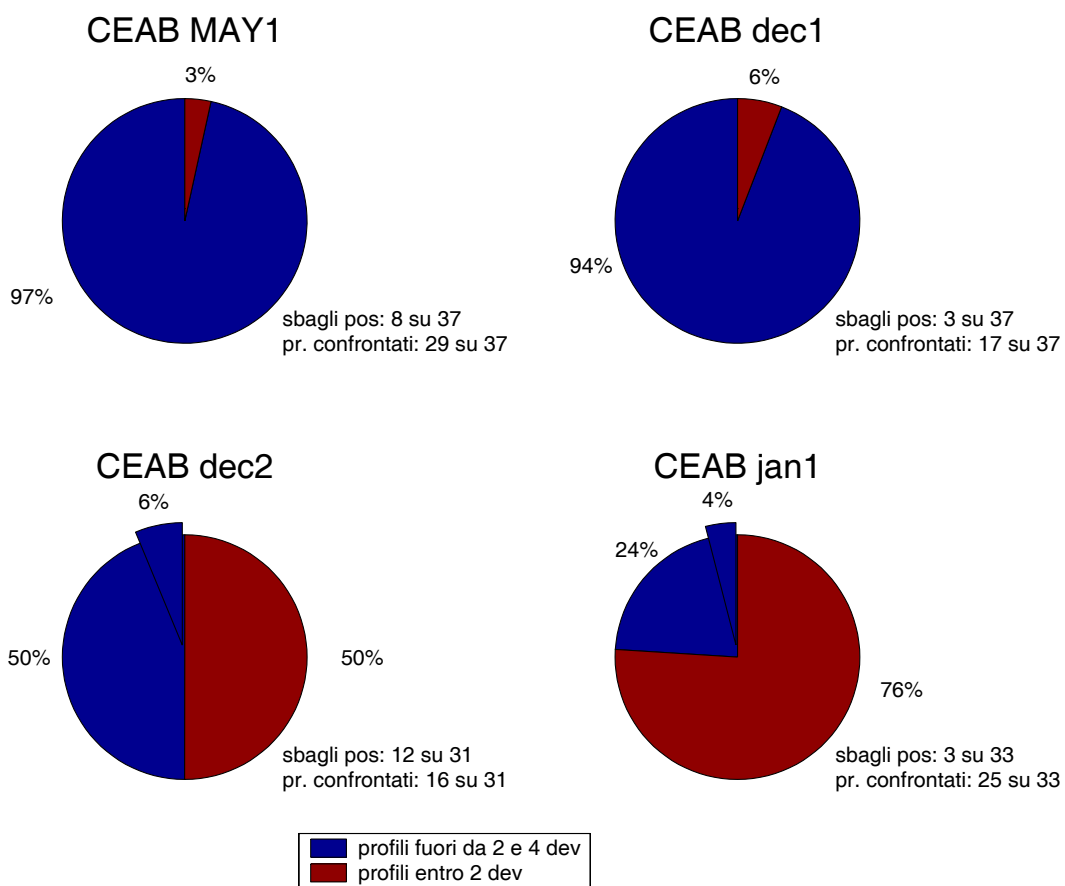


Figura 4-15: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne CEAB.

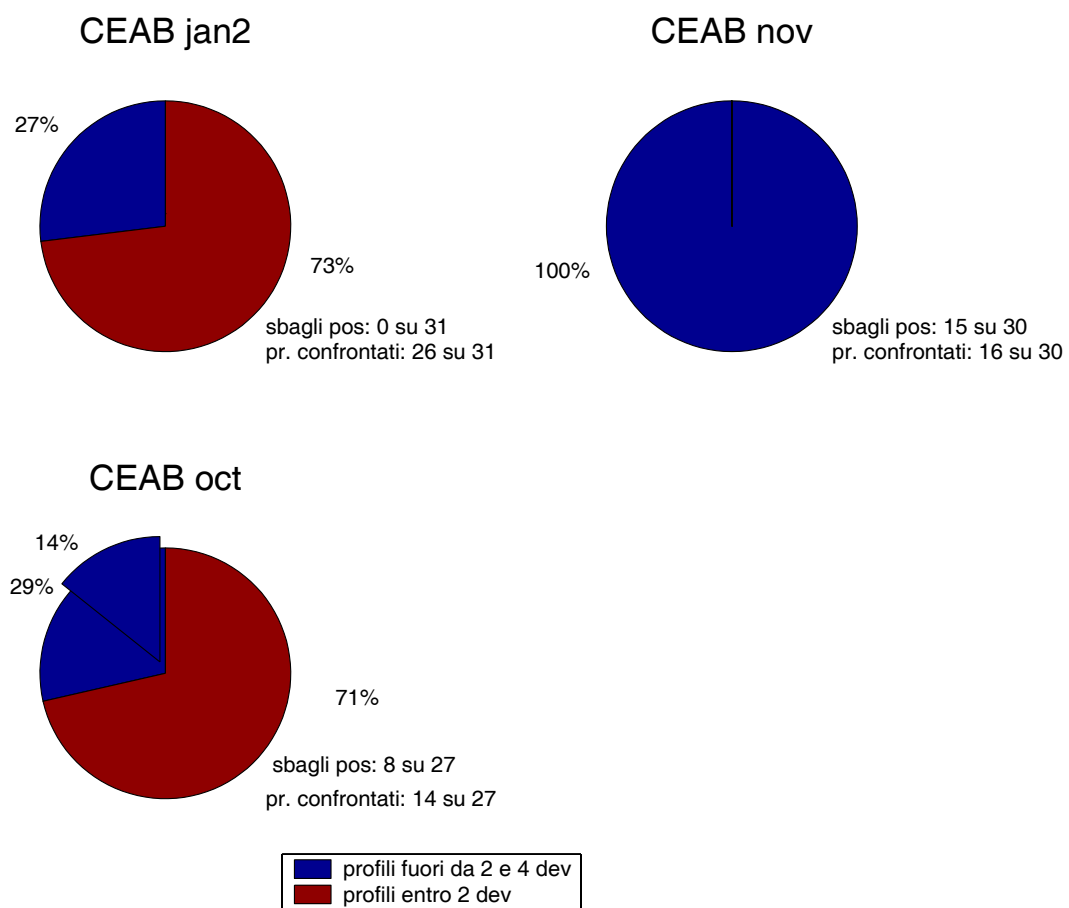


Figura 4-16: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne CEAB.

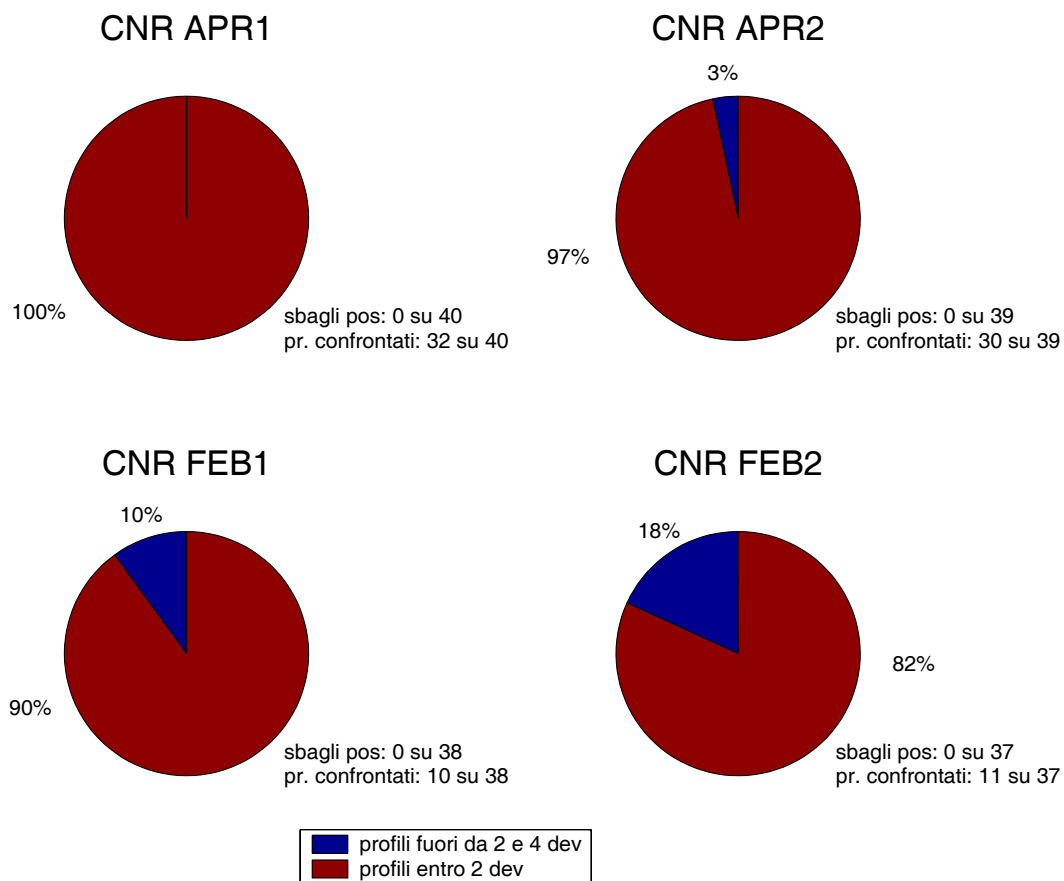


Figura 4-17: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne CNR.

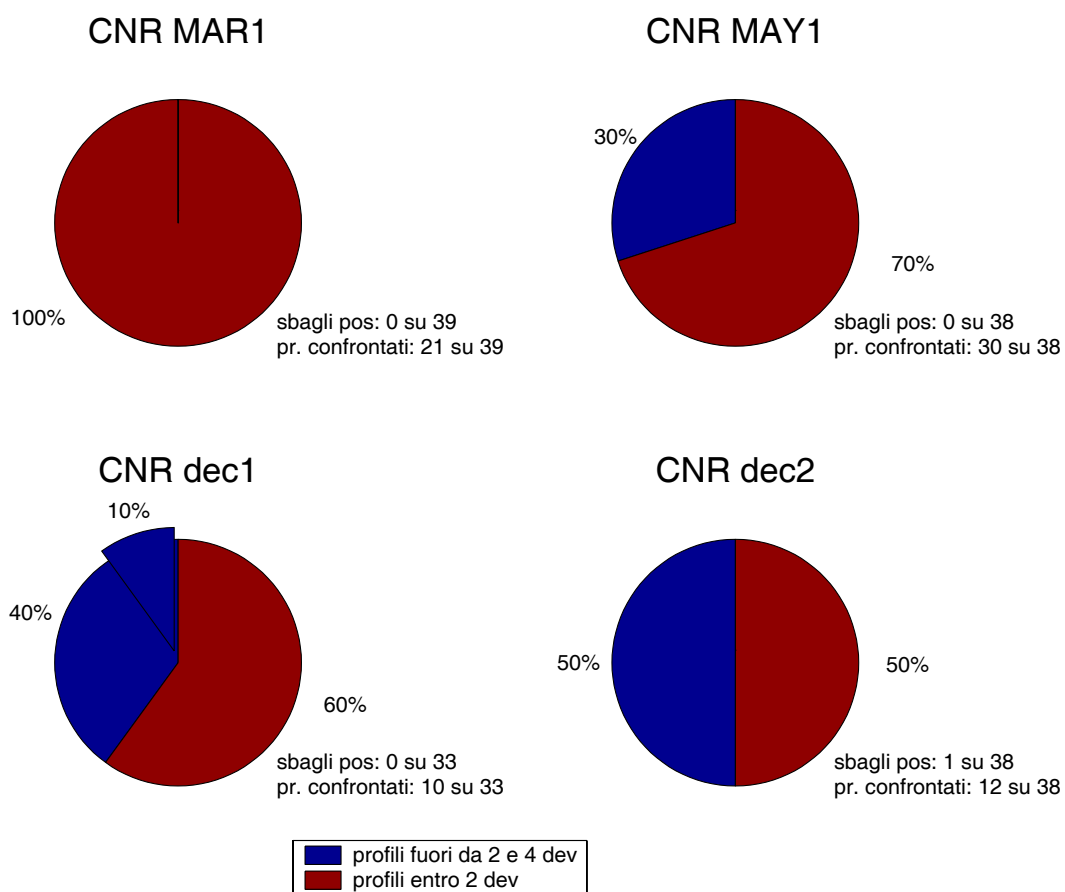


Figura 4-18: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne CNR.

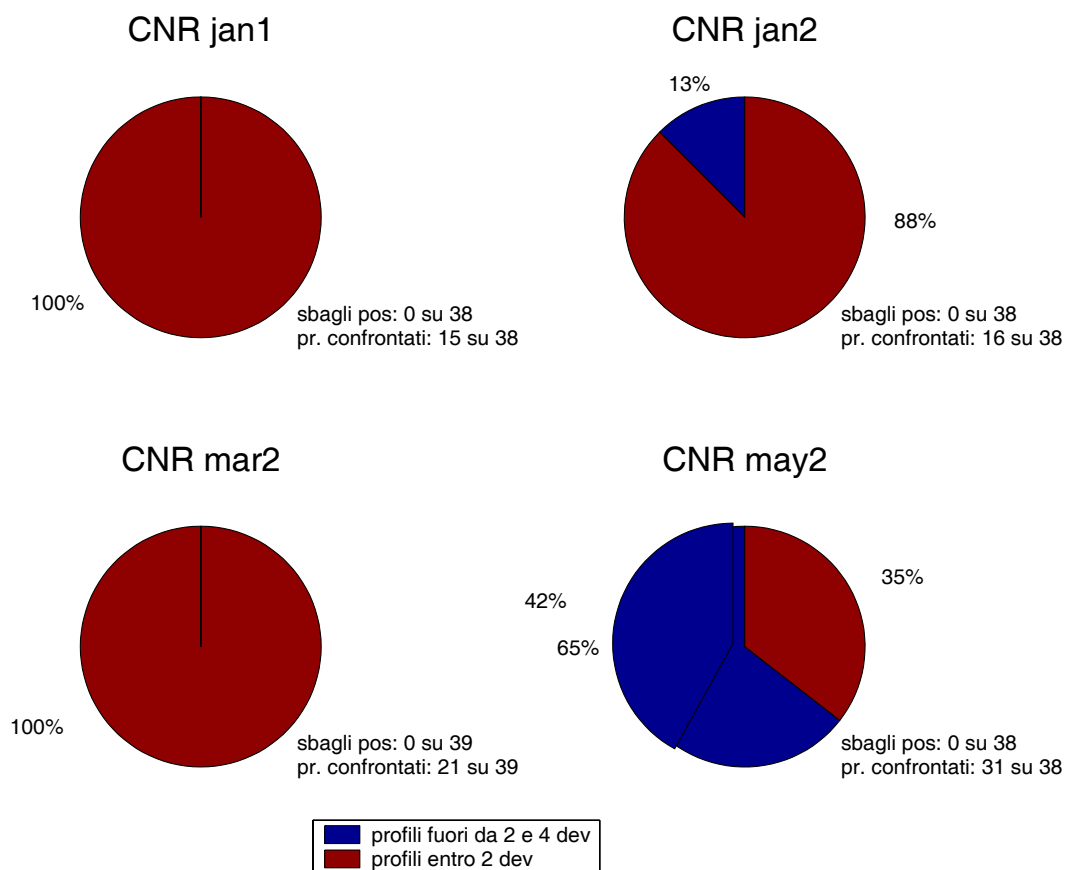


Figura 4-19: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne CNR.

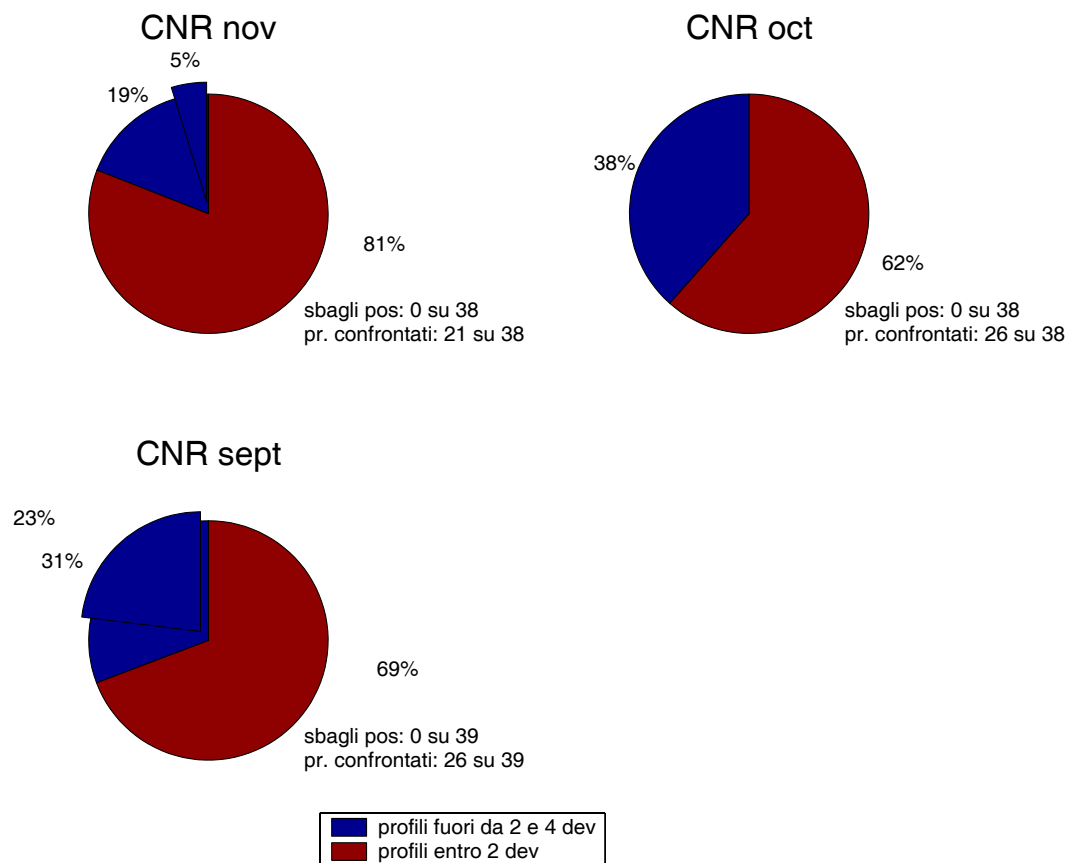


Figura 4-20: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne CNR.

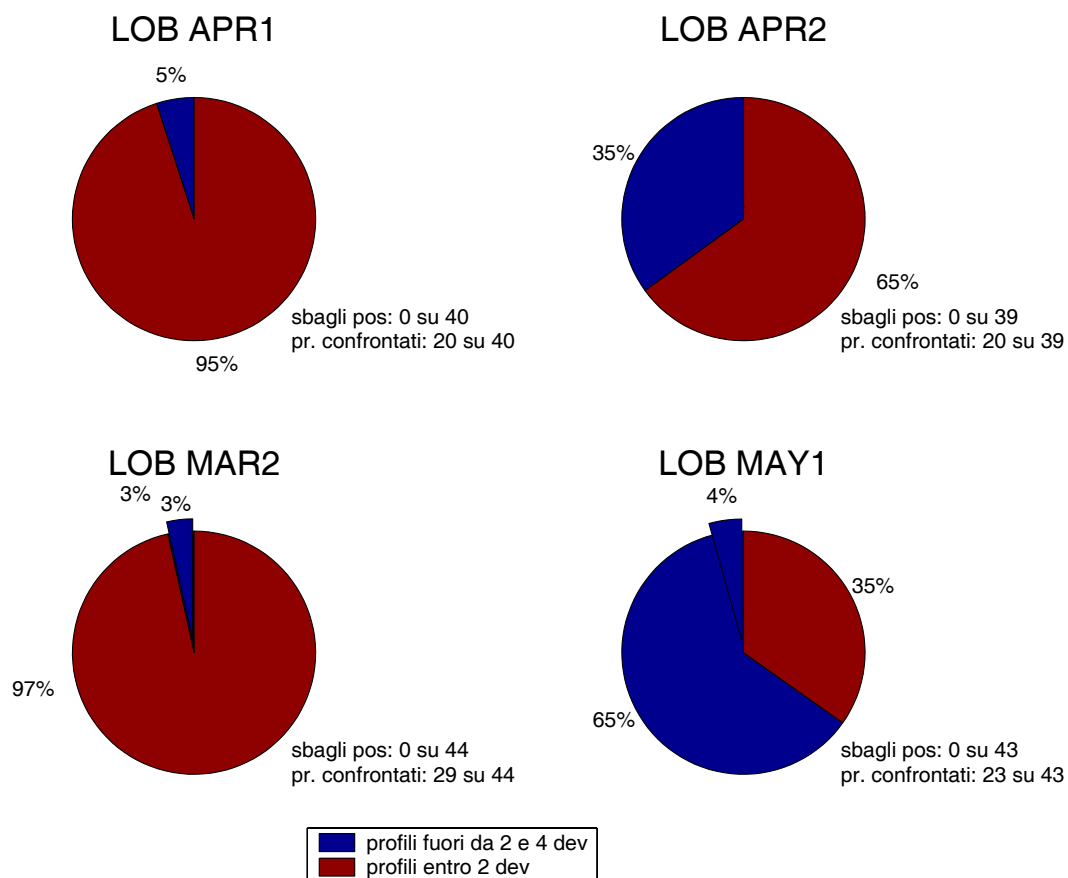


Figura 4-21: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne LOB.

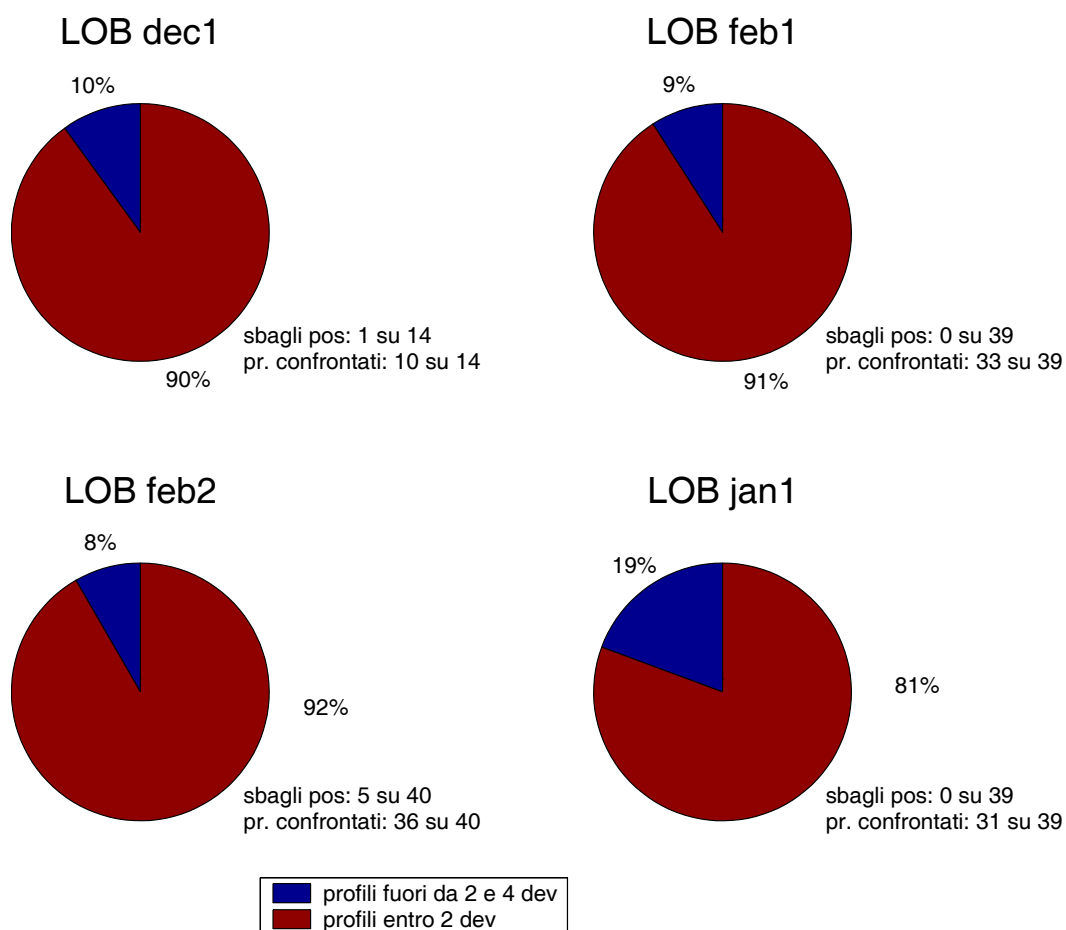


Figura 4-22: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne LOB.

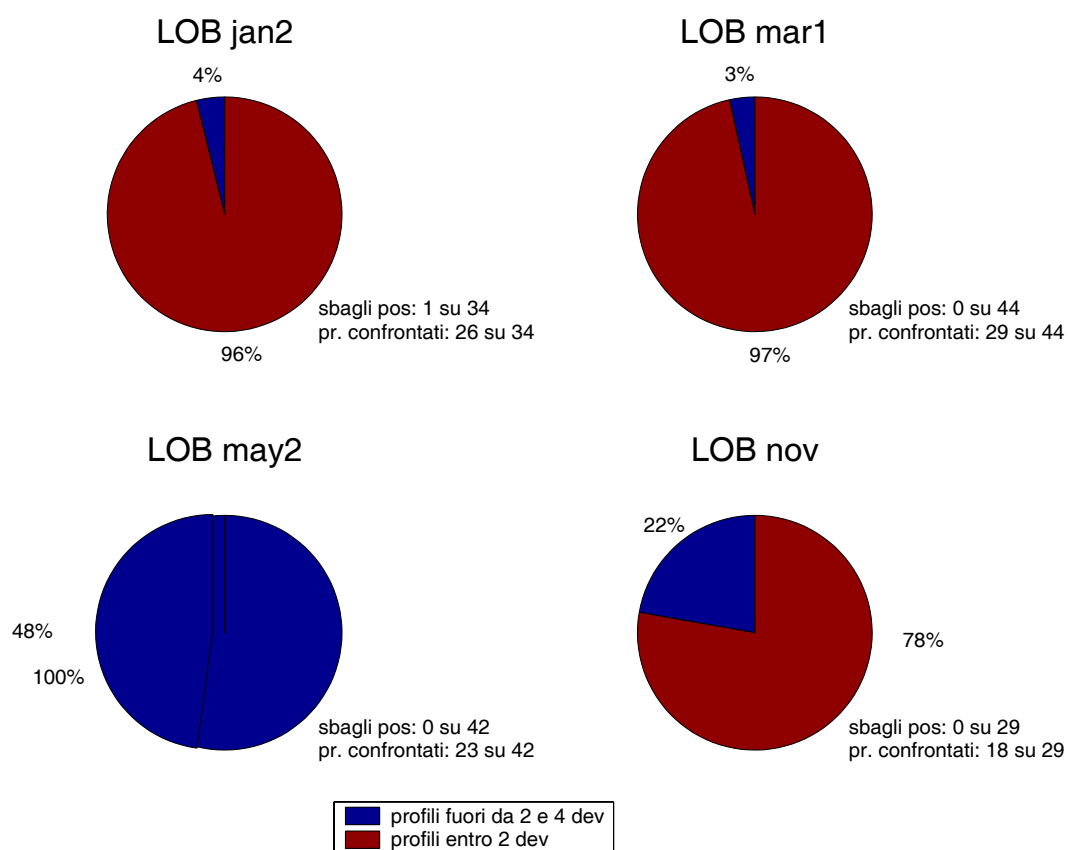


Figura 4-23: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne LOB.

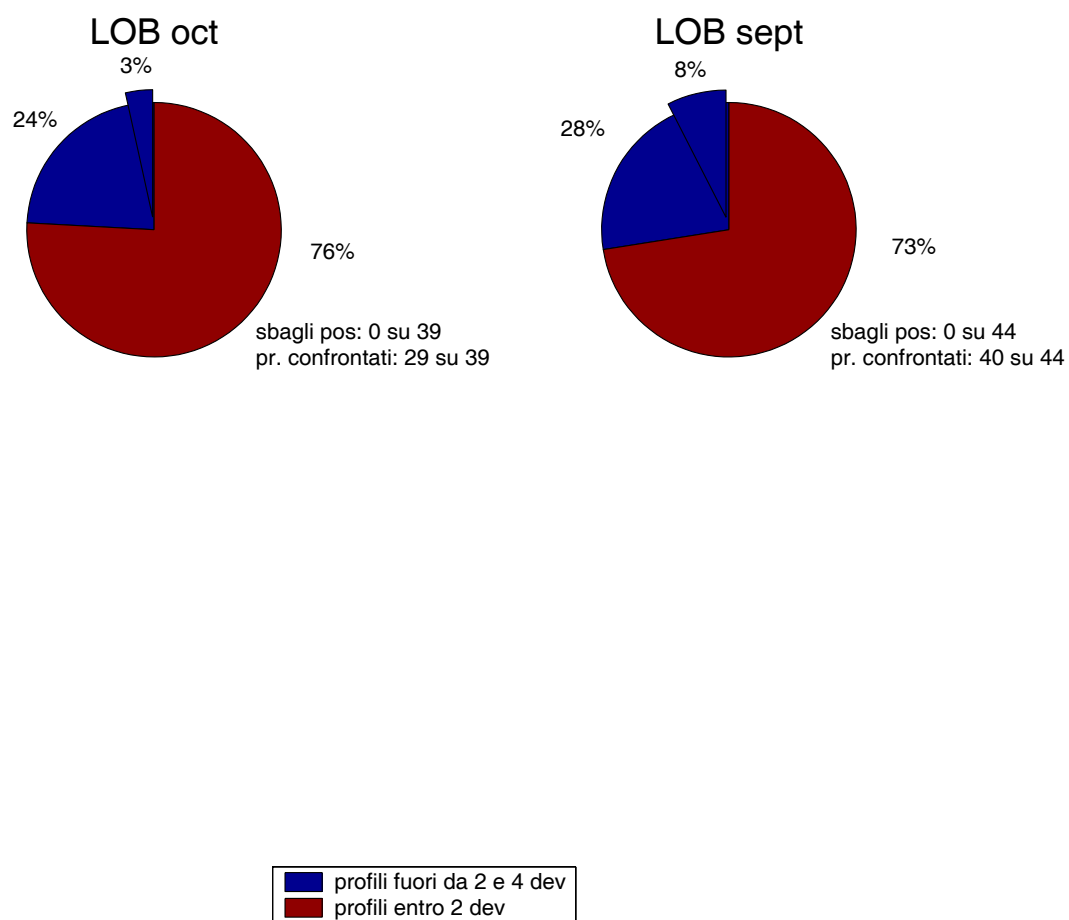


Figura 4-24: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne LOB.

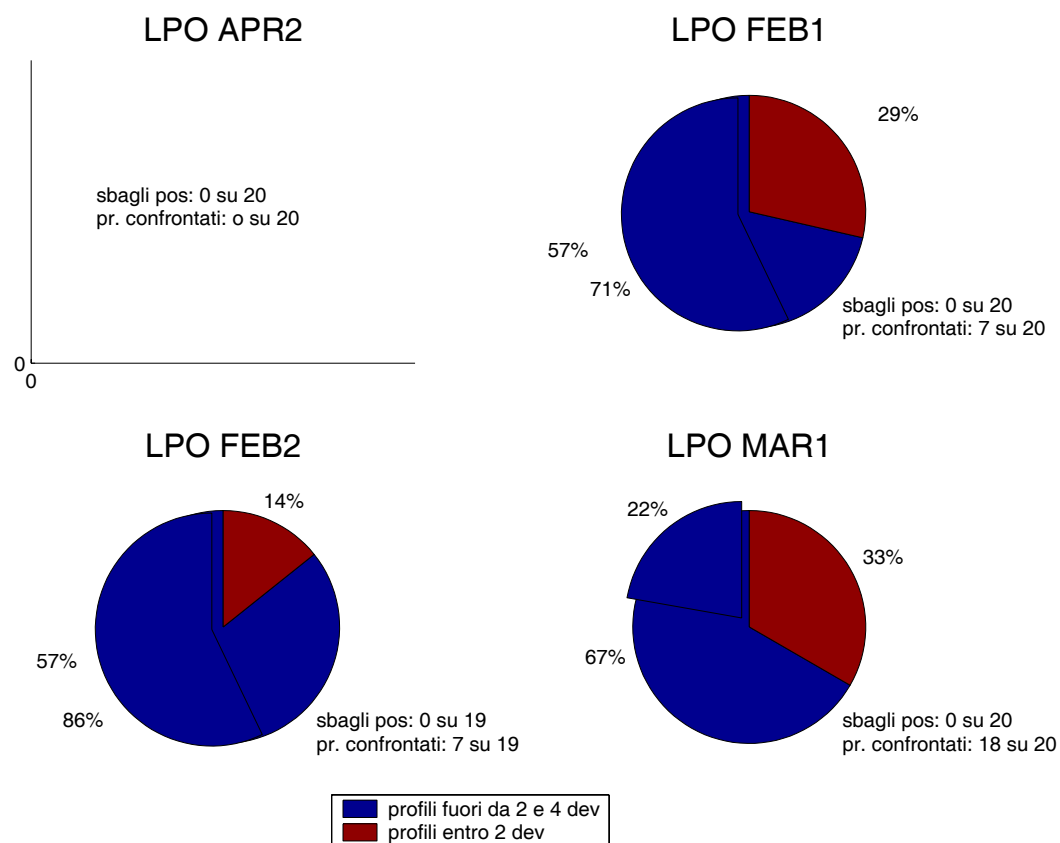


Figura 4-25: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne LPO.

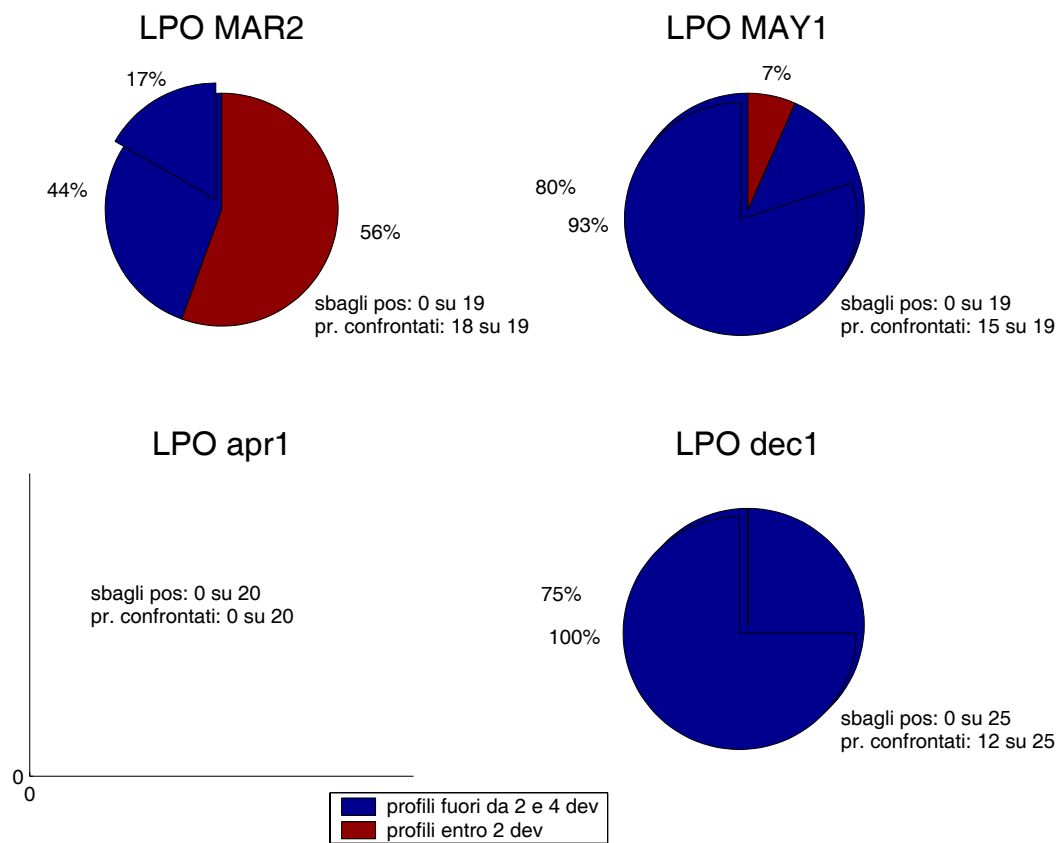


Figura 4-26: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne LPO.

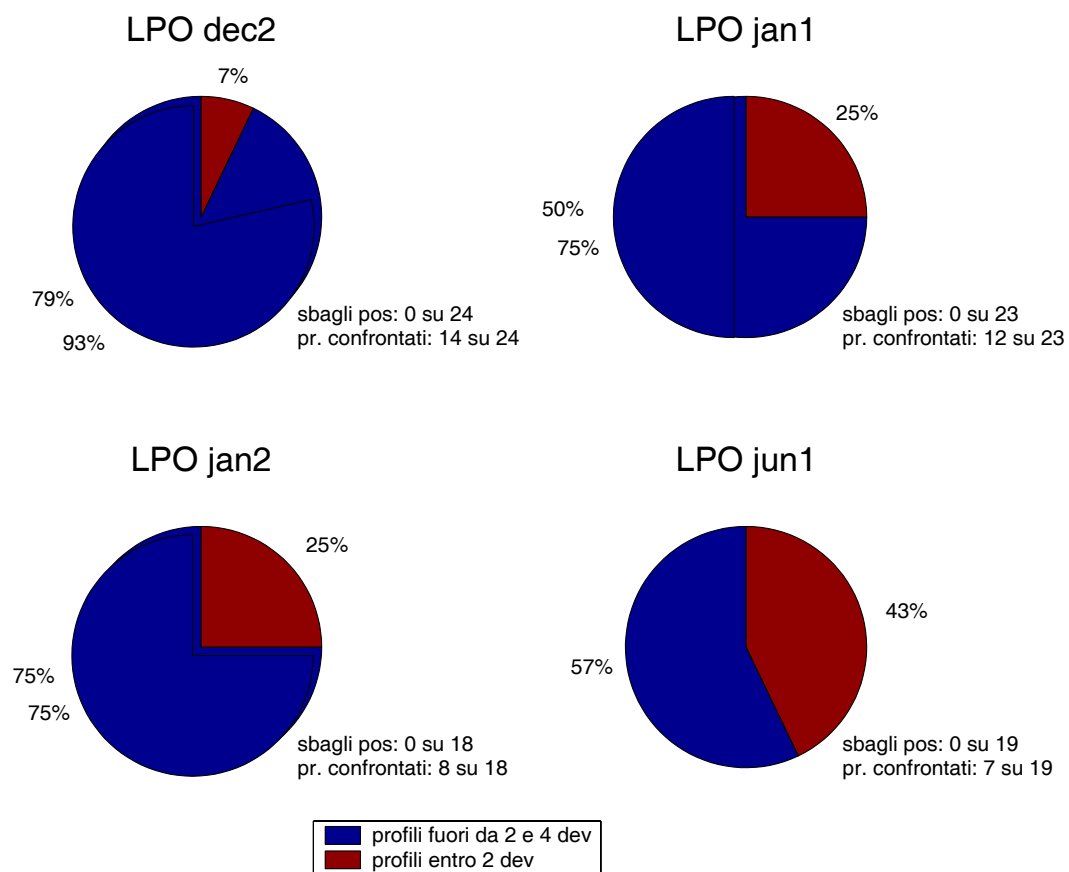


Figura 4-27: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne LPO.

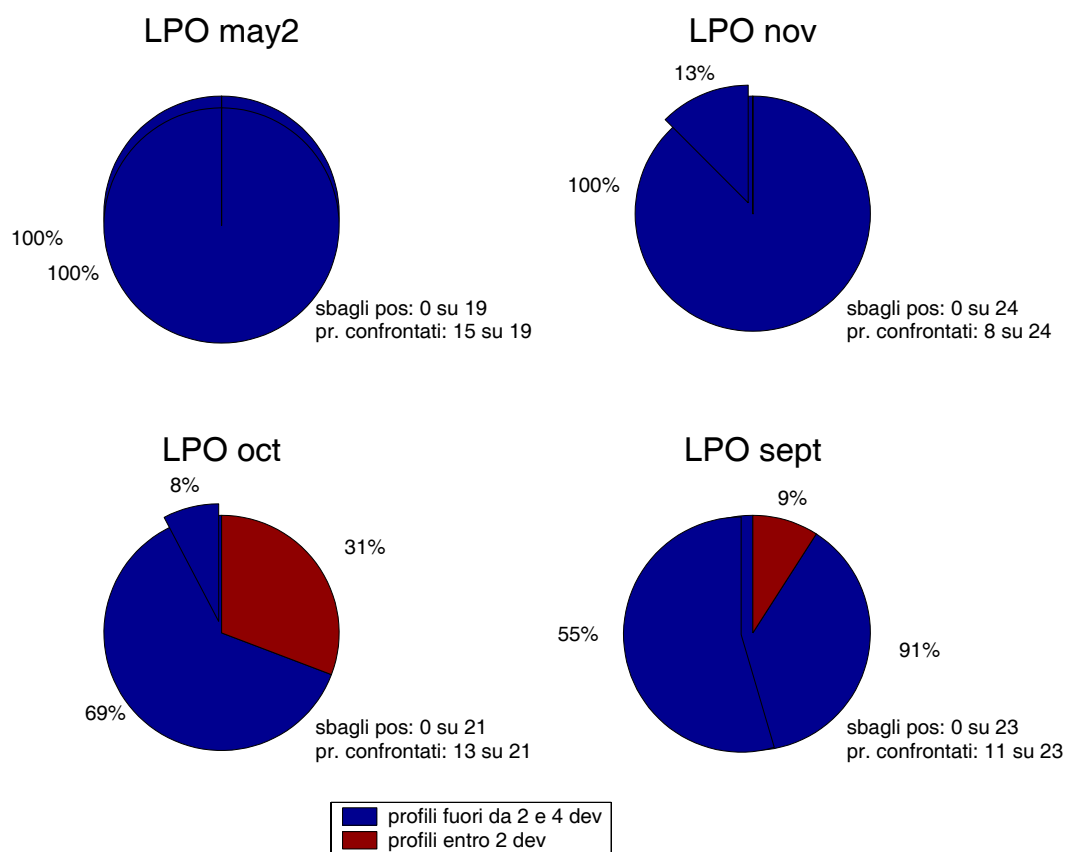


Figura 4-28: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne LPO.

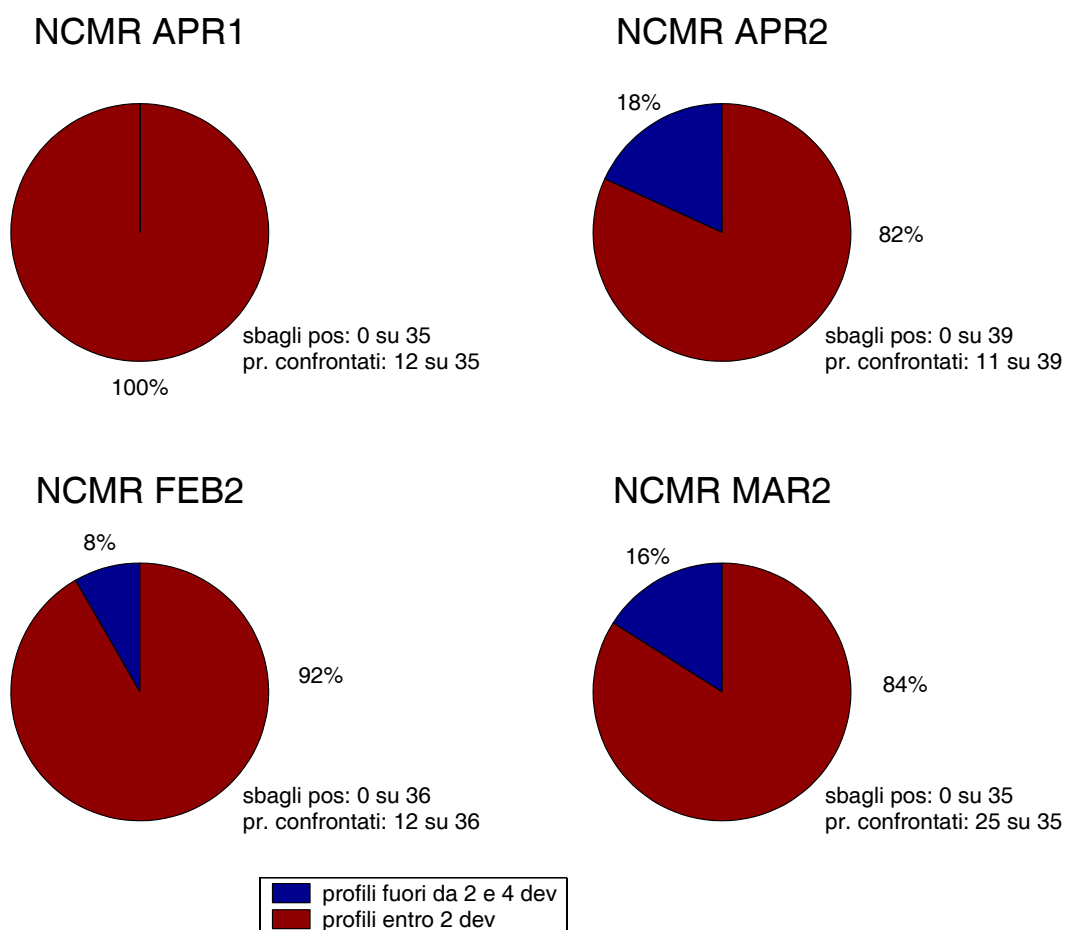


Figura 4-29: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne NCMR.

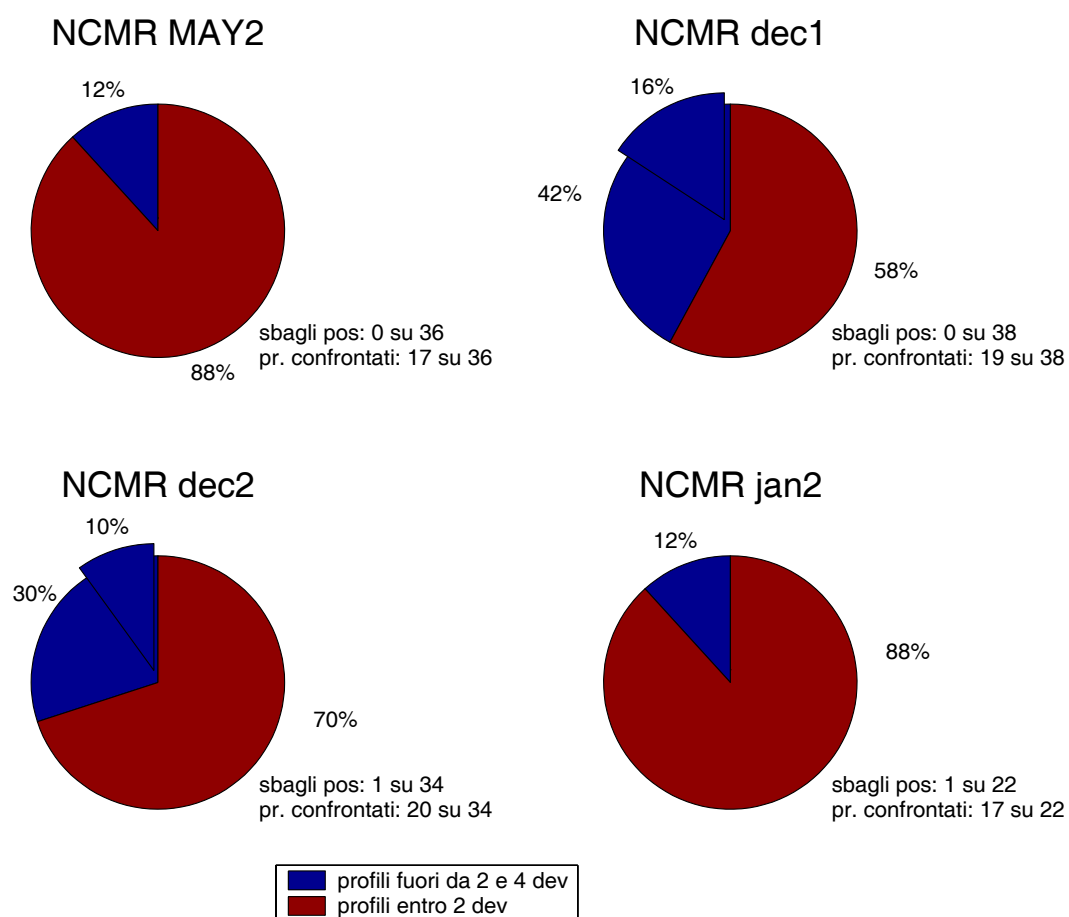


Figura 4-30: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne NCMR.

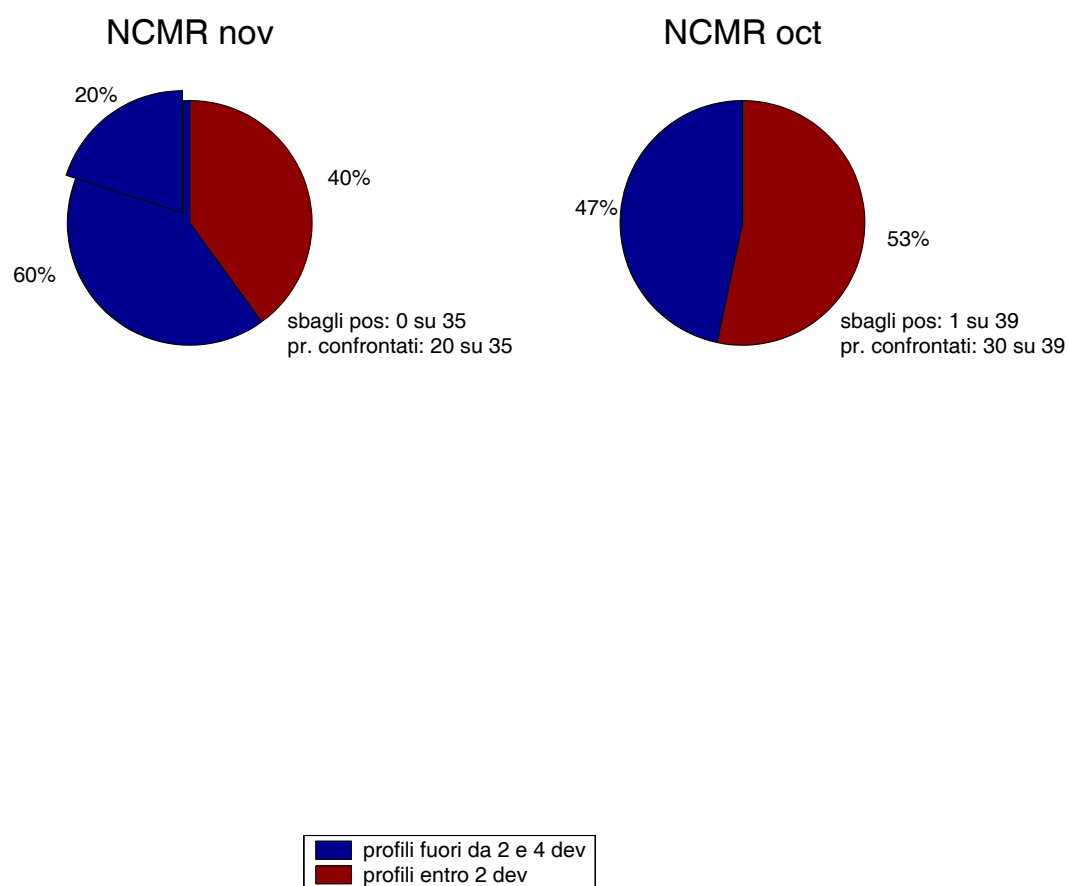


Figura 4-31: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne NCMR.

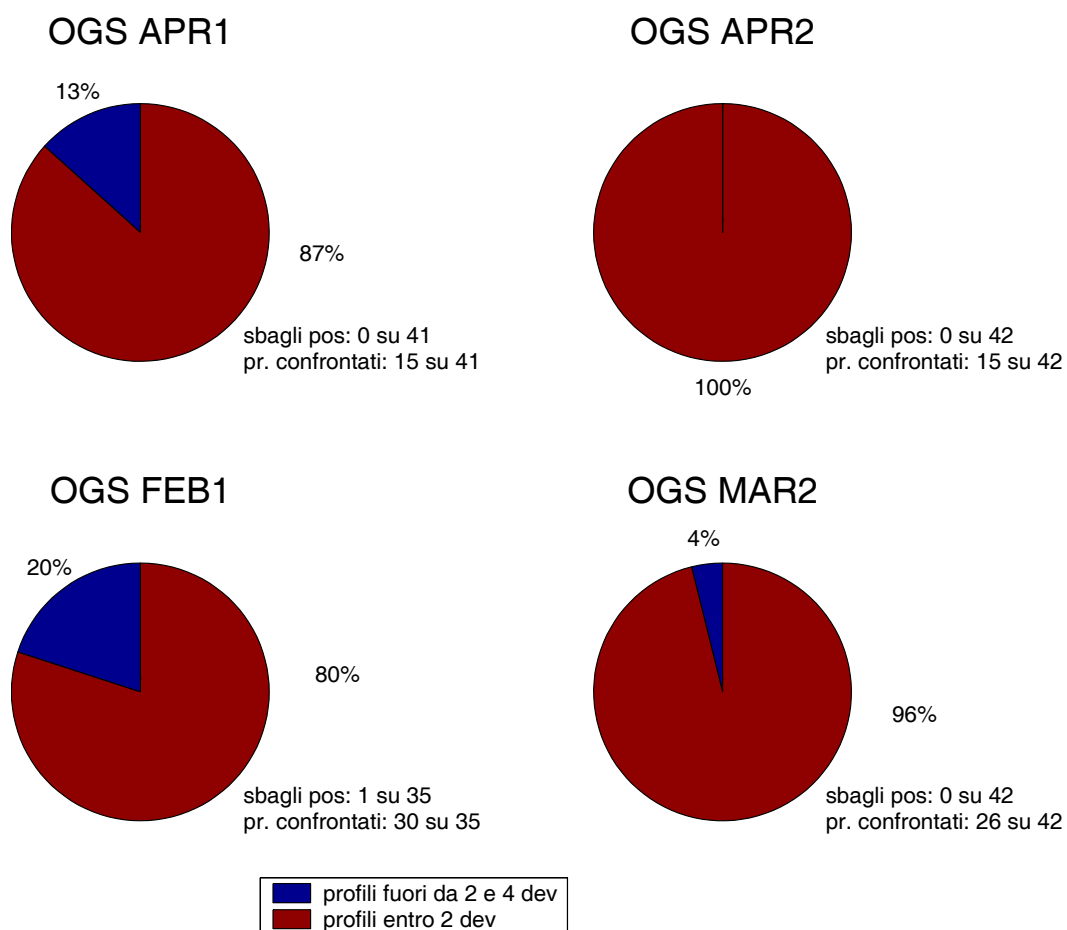


Figura 4-32: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne OGS.

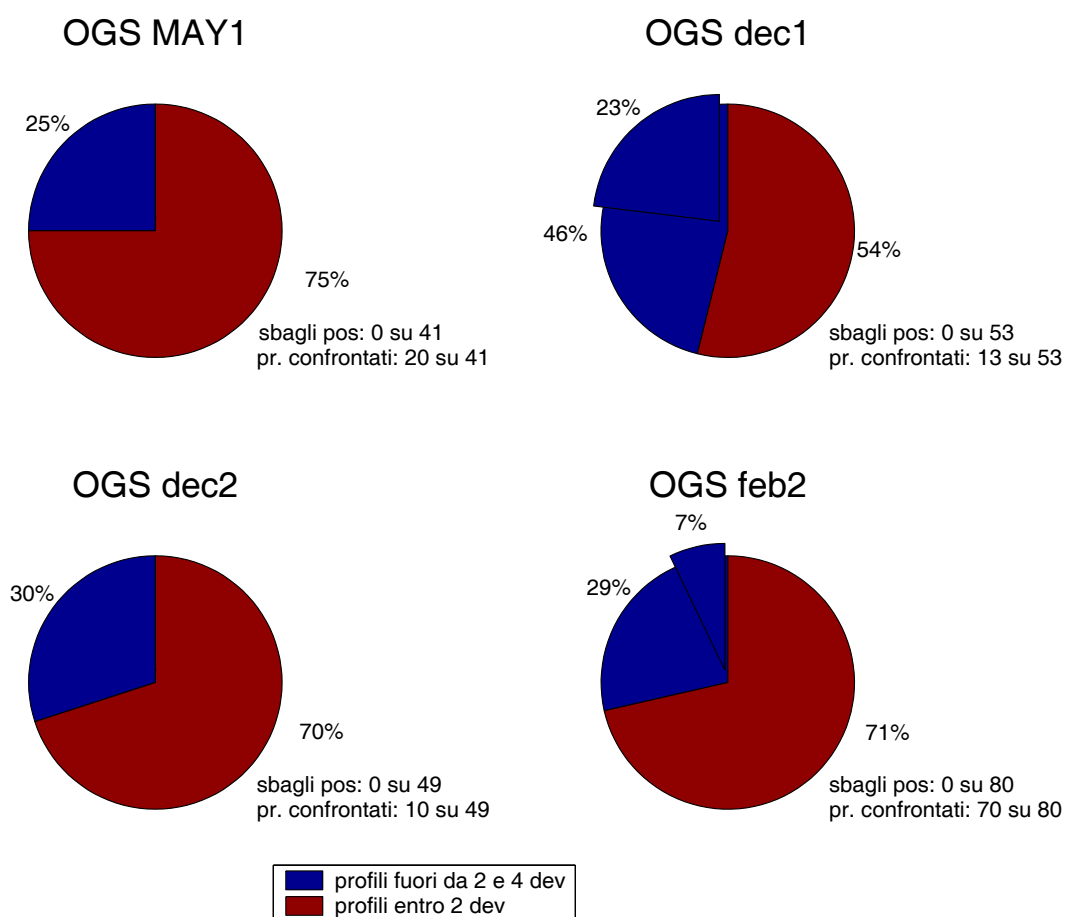


Figura 4-33: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne OGS.

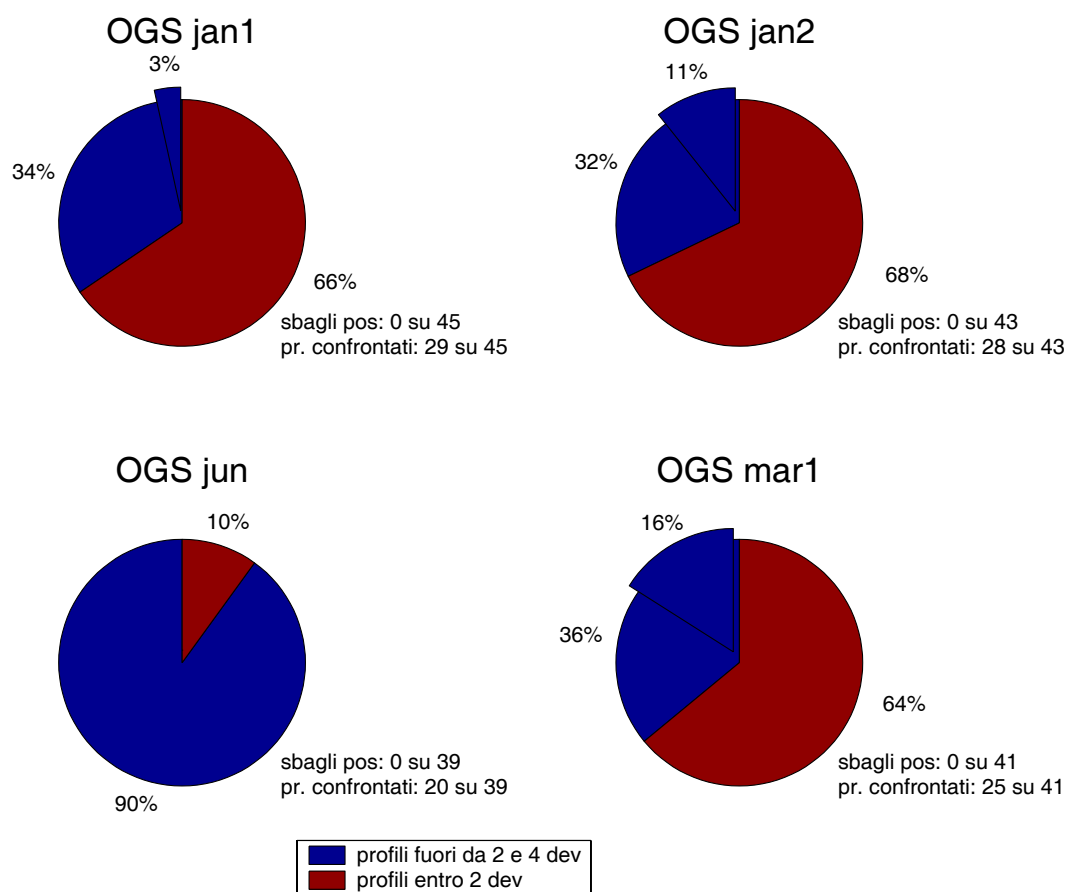


Figura 4-34: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne OGS.

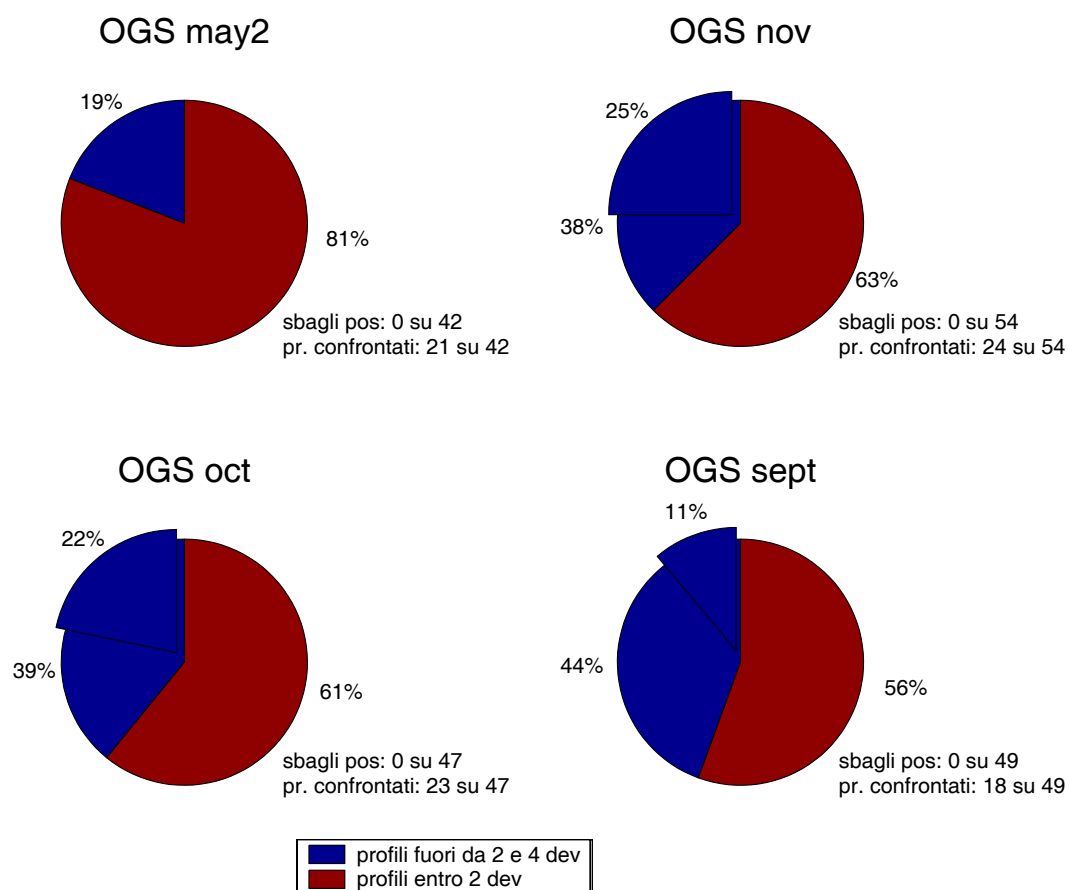


Figura 4-35: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne OGS.

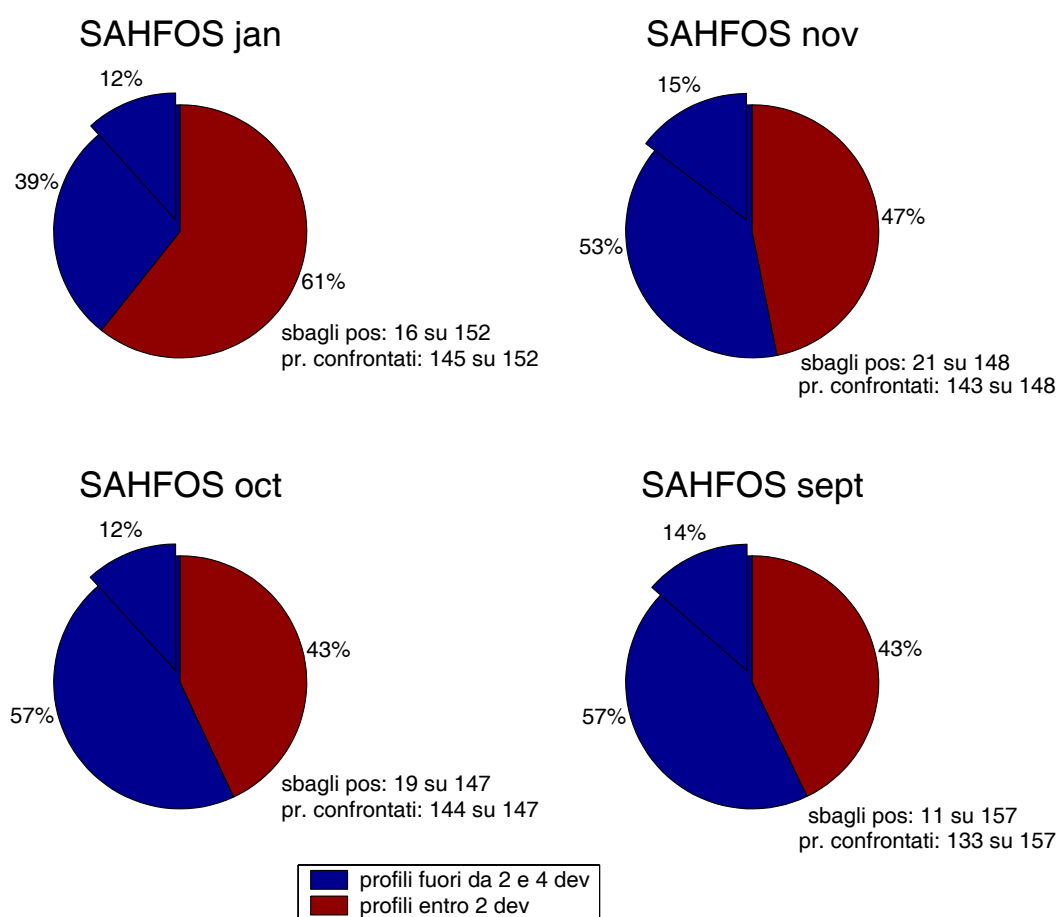


Figura 4-36: Risultati del controllo di qualità fatto sulle campagne SAHFOS.

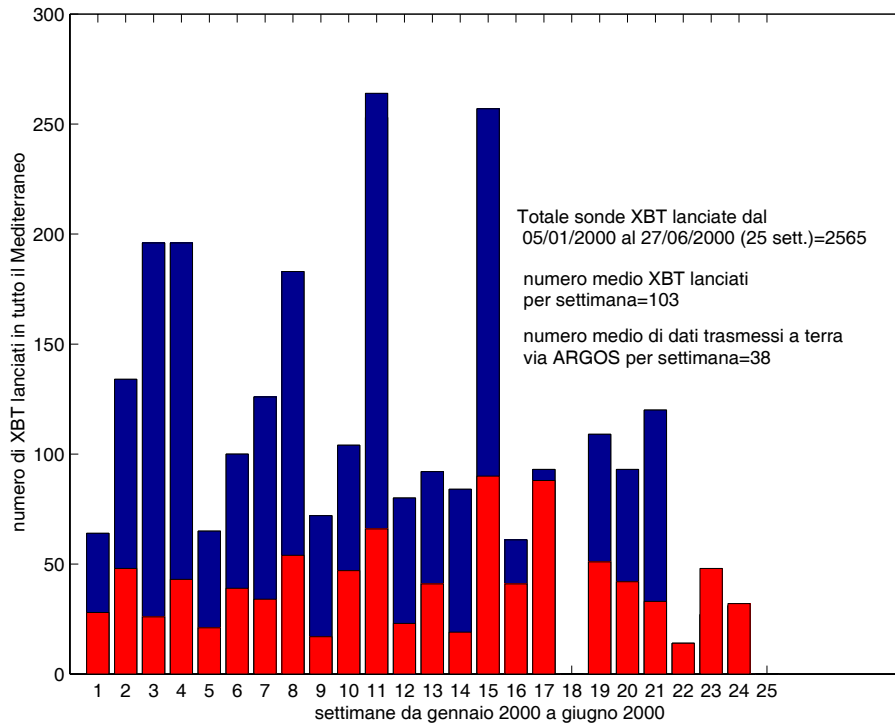


Figura 4-37: Rappresentazione settimanale dell’acquisizione di dati XBT effettuata dal VOS nel Mediterraneo (in blu) e frazione trasmessa via ARGOS (in rosso).

4.3 Efficienza del sistema di trasmissione ARGOS

Dato che l’acquisizione dei dati di temperatura nel modello utilizzato dall’MFSP per effettuare la previsione (vedi WP5, paragrafo 1.2.1) avviene con scadenza settimanale, é utile evidenziare il numero di dati di temperatura disponibili per ogni fase di acquisizione.

In figura 4-37 é rappresentato il numero di profili campionati settimanalmente nel periodo 05/01/2000 - 27/06/2000 (in base ai dati disponibili in banca dati presso il CINECA al 20/11/2000). La media di circa 100 profili per ogni settimana rappresenta un buon data-set per gli esperimenti numerici; purtroppo però il sistema di trasmissione ARGOS ha ridotto la disponibilità a circa 40 profili. Questo, unito alle considerazioni introdotte nel paragrafo 1.2.4, conferma la necessità di utilizzare un nuovo sistema di trasmissione dei dati in NRT nelle fasi future del progetto MFS.

Capitolo 5

Conclusioni

5.1 Riassunto dei temi trattati e conclusioni

In questa tesi si é analizzata la qualità globale di un nuovo sistema di monitoraggio del bacino Mediterraneo basato su 7 rotte di Voluntary Observing Ships che hanno misurato in media il profilo di temperatura nei primi 400 metri.

Si é infatti sviluppato un controllo di qualità automatico basato su due componenti: il controllo di ubicazione e il controllo climatologico del profilo. Tale controllo di qualità é stato applicato a 3487 XBT collezionati a partire da settembre 1999 fino a giugno 2000.

Il controllo di qualità per la componente del posizionamento ha mostrato che in media il 4% dei dati non ha la posizione registrata correttamente (vedi figura 4-2).

Il controllo di qualità climatologico, che consiste nel confronto del profilo con la media climatologica propria dell'area $1^\circ \times 1^\circ$ e del mese a cui appartiene il profilo stesso, permette di evidenziare se il profilo rientra in $\pm 2\sigma$ e $\pm 4\sigma$ dalla media. Tale controllo é stato possibile solo nel 63% dei casi (vedi figura 4-3) in ragione dell'assenza di dati pregressi nelle varie aree $1^\circ \times 1^\circ$. Le figure 5-1 5-2 rappresentano il sommario dei risultati ottenuti sul data-set preso in esame (3487 dati). I profili fuori da $\pm 4\sigma$ sono in buona parte ragionevoli in struttura ma mostrano valori molto anomali rispetto alla climatologia. Per il

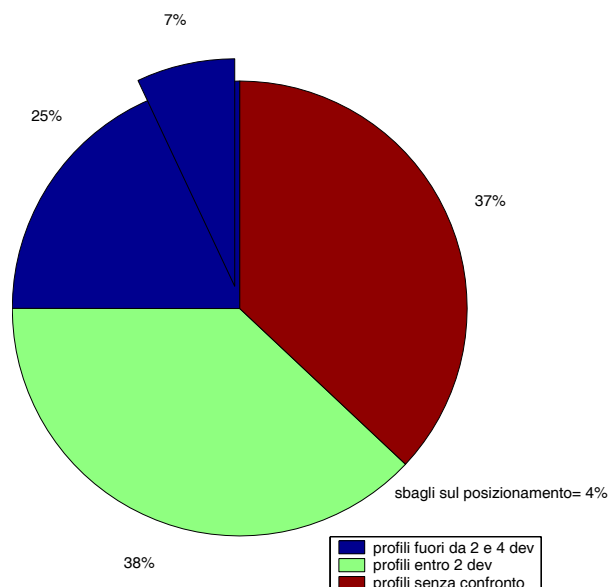


Figura 5-1: Resoconto dei risultati ottenuti sul data-set in esame.

caso LPO abbiamo verificato che la climatologia é purtroppo generata da dati collezionati per la maggior parte in un anno e quindi la climatologia é nel suo complesso poco rappresentativa.

In conclusione questo controllo di qualità permette di accelerare e diminuire il controllo visuale dei profili al 10% dei profili che escono da $\pm 4\sigma$ o, nel caso si volesse essere più accurati, al 40% dei profili che escono da $\pm 2\sigma$.

Questa indagine ha inoltre messo in rilievo che su un totale di 2213 profili confrontabili, solo il 60% complessivo su tutte le rotte risulta entro valori di $\pm 2\sigma$.

L'analisi costi/benefici di tale sistema é al di lá dello scopo di questa tesi; essa comunque fornirá i dati ottenuti come supporto di tale ulteriore indagine.

5.2 Potenzialit  del sistema di controllo di qualit 

La struttura del sistema di controllo di qualit  sviluppato in questa tesi é tale da permetterne l'utilizzo subito dopo l'acquisizione del dato. Come spiegato nella sezione 3.2, per , il primo controllo (quello sulla posizione) pu  essere

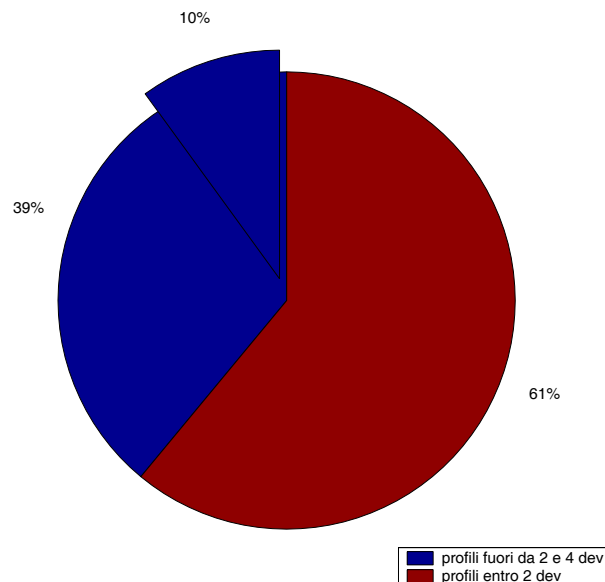


Figura 5-2: Resoconto dei risultati ottenuti sui soli dati per i quali é disponibile la climatologia.

effettuato solo dal secondo dato in poi, a meno che non venga registrata l'ora di partenza della barca dal porto. Questo permetterebbe di utilizzare le suddette procedure direttamente a bordo della nave, subito dopo l'acquisizione del primo dato.

Nel caso in cui, invece, si vogliano elaborare i dati alla fine della campagna di campionamento é comunque necessario che i dati continui appartenenti alla stessa campagna siano raggruppati insieme per permettere l'uso corretto del controllo sull'ubicazione.

Il secondo controllo (sul profilo) é invece applicabile a qualsiasi gruppo di dati, campionati in varie aree del Mediterraneo.

Dato che il formato standard finale in cui vengono trasformati i dati XBT campionati nel Mediterraneo é il formato MEDATLAS (come é stato fatto anche alla fine dell'elaborazione dei dati oggetto di questa tesi), potrebbe essere utile adattare i programmi per l'analisi proprio a questo formato. In questo modo si ovvierebbe alla necessità di tenere raggruppati i dati appartenenti alla stessa campagna in quanto questa é una prerogativa del formato MEDATLAS stesso. Per il futuro si suggerisce di usare il controllo di qualità sviluppato in questa tesi direttamente a bordo della nave.

Bibliografia

Artegiani A., Bregant D., Paschini E., Pinardi N., Raicich F., Russo A., 1996: The Adriatic Sea General Circulation. Part I: Air-Sea Interactions and Water Mass Structure. *Journal of Physical Oceanography*, 27.

Ayoub et al, 1996: A description of the Mediterranean surface variable circulation from combined ERS-1 and TOPEX/POSEIDON altimetric data. Submitted to J. Mar. Syst.

Brankart J.M., Pinardi N., 1998: Abrupt cooling of the Mediterranean Levantine Intermediate Water at the beginning of the eighties: observational evidence and model simulation. Istituto per le scienze dell'Atmosfera e dell'Oceano, CNR.

Cita M. B., 1996: Fisiografia e geologia del Mediterraneo. *Scuola e Cultura*, 35-38.

Cook S., Sy A., 2000: Best guide and principles manual for the Ships Of Opportunity Program (SOOP) and Expandable Bathythermograph (XBT) operations.

Diester-Haass L., Robert C., Chamley H., 1998: Paleoproductivity and climate variations during sapropel deposition in the Eastern Mediterranean Sea, in Proc. ODP, Sci. Results, 160: College Station, TX, A. H. F. Robertson, K.C.Emeis, C. Richter and A. Camerlenghi (Eds), 227-248.

Grilli F., 1997: Le cause dinamiche della stratificazione verticale del Mediterraneo. Tesi di laurea.

Hecht A., Pinardi N., Robinson A.R., 1988: Currents, Water Masses, Eddies and Jets in the Mediterranean Levantine Basin. *Journal of Physical Oceanography*, 18.

Lascaratos A., Williams R.G., Tragou E., 1993: A Mixed-Layer Study of the Formation of Levantine Intermediate Water. *Journal of Geophysical Research*, 98, C8, 14739-14749.

Millot C., 1991: Mesoscale and seasonal variabilities of the circulation in the Western Mediterranean. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 15, 179-214.

Nittis K., Pinardi N., Lascaratos A., 1993: Characteristics of the Summer 1987 Flow Field in the Ionian Sea. *Journal of Geophysical Research*, 98, C6, 10171-10184.

Perilli A., Pinardi N., Ribotti A., Sorgente R., Calise L., Sprovieri M., 1997: Seasonal variability of the Levantine Intermediate Waters in the Western Mediterranean - Algerian/Provencal basin. Operational Oceanography, the Challenge for European Co-Operation, ed. Stel, Behrens, Droppert, Meulen.

Pinardi N., Masetti E., 2000: Variability of the large scale general circulation of the Mediterranean Sea from observations and modelling: a review. *Paleoceanografia Paleoecologia Paleoclimatologia*.

Ricci L., 2000: Sapropel S1: verifica delle ipotesi di alta produttività e anossia con esperimenti numerici. Tesi di laurea.

Robinson R., Pinardi N., 1987: Dynamics of Deep Thermocline Jets in the POLYMODE Region. *Journal of Physical Oceanography*, 17, 559-582.

Roether W., Manca B., Klein D., Bregant D., Georgopoulos D., Beitzel W., Kovacevic V., Luchetta A, 1996: Recent changes in Eastern Mediterranean deep waters. *Science*, 333-334.

Schott F., Leaman K., 1991: Observations with moored acoustic Doppler current profilers in the convection regime in the Golfe du Lion. *Journal of Physical Oceanography*, 558-574.

Smith R., Harrison D.E., Bailey R., Alves O., Delcroix T., Hanawa K., Keeley B., Molinari B., Roemmich D., 2000: The role of XBT sampling in the ocean thermal network. Paper JCOOM SOOPIP, third session.

Sy A., 1985: An alternative editing technique for oceanographic data. *Deep Sea Research*, 32, 1591-1599.

UNESCO, 1999: Guide to operational procedures for the collection and exchange of jcomm oceanographic data. Manuals and Guides, IOC, WMO.

Kinder T.H., Parrilla G., 1987: The physical oceanography of the Alboran Sea. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.*, 4, 133-165.

Wu P., Haines K., Pinardi N., 2000: Towards an Understanding of Deep Water Renewal in the Eastern Mediterranean. *Journal of Physical Oceanography*.