

Capitolo 2

Proprietà ottiche ed oceanografiche di un sito abissale rilevanti per un telescopio a neutrini

Come si è già detto, la collaborazione NEMO sta realizzando un telescopio sottomarino per la rivelazione di neutrini astrofisici. Risulta di fondamentale importanza caratterizzare i parametri ottici ed ambientali che rendono un sito abissale idoneo all'installazione della strumentazione necessaria. In questo capitolo si mostreranno le grandezze che si intende analizzare e misurare con l'apparato, descritto nel capitolo successivo, realizzato durante il lavoro di tesi.

2.1 Il *biofouling*

Uno degli aspetti principali che deve essere indagato quando si caratterizzano le proprietà di un ambiente sottomarino è lo studio dell'oscuramento delle superfici dei Moduli Ottici (MO), utilizzati per la rivelazione della luce Čerenkov, a causa del depositarsi di materiale biologico, di sedimenti organici

e inorganici. Col termine *biofouling* si intende proprio la contaminazione di oggetti, nel nostro caso le superfici “ottiche” dei fotomoltiplicatori, da parte di batteri e di altre forme di vita nelle profondità marine.

Una qualsiasi superficie immersa in un ambiente acquatico viene immediatamente ricoperta da un limo biologico o *biofilm*. Il primo passo che avviene entro pochi minuti dall’immersione è l’adesione di macromolecole organiche (carboidrati e aminoacidi) e inorganiche già presenti nell’ambiente o prodotte da microorganismi. Queste macromolecole aderenti alla superficie formano il film primario: la loro presenza è alla base del fenomeno del *biofouling* in quanto modificano le proprietà della superficie sulla quale sono presenti permettendo la successiva adesione di microorganismi come batteri, funghi ed alghe.

Dopo alcune ore dall’immersione comincia a verificarsi l’adesione batterica vera e propria. Inizialmente questa adesione batterica al substrato è reversibile, ma successivamente diviene irreversibile a causa delle secrezioni di polimeri da parte dei microorganismi presenti. Si sviluppano così dei legami colloidali fra le cellule e il substrato molecolare.

Una volta che si è stabilita l’adesione dei microorganismi sulla superficie e le condizioni fisico-chimiche divengono adeguate, i batteri possono proliferare sulla superficie creando delle microcolonie. Le colonie batteriche e le loro secrezioni extracellulari formano il *biofilm*. La formazione e la crescita del *biofilm* sono influenzati da diversi fattori; come si discuterà più in seguito, è importante mettere in relazione parametri ambientali quali le correnti sottomarine, la temperatura e la salinità con il fenomeno del *biofouling*.

L’esempio di ANTARES

Le collaborazioni Baikal [BAG99] e ANTARES [AMR03] hanno eseguito studi sul *biofouling* mostrando che la presenza di tale fenomeno può creare problemi alle sfere di vetro che alloggiano i tubi fotomoltiplicatori utilizzati per la rivelazione di luce Čerenkov. In particolare ANTARES ha stimato la variazione della capacità di rivelazione di luce di rivelatori di fotoni posizionati all’interno di sfere Benthos. In figura 2.1, è mostrato il sistema utilizzato

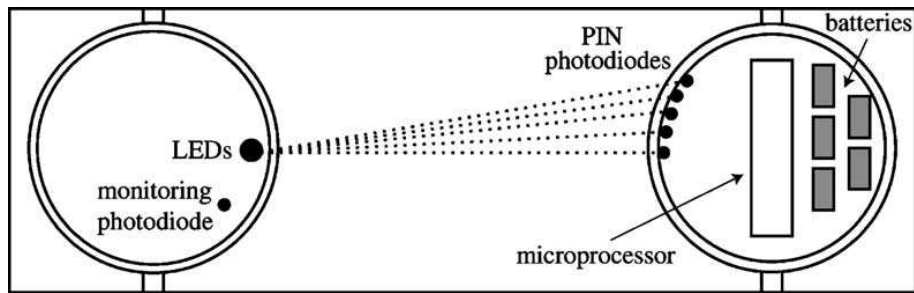


Figura 2.1: Schema dell'apparato di rivelazione del *biofouling* di ANTARES [AMR03].

per tale misura, formato da due sfere di vetro simili a quelle che alloggiavano i PMT del rivelatore di ANTARES. La prima sfera contiene due diodi emettitori di luce blu (in inglese *Light Emitting Diode*, LED), ciascuno monitorato da un fotorivelatore. Tutti i componenti sono incollati tramite dei supporti sulla superficie interna della sfera. La seconda sfera contiene cinque fotorivelatori applicati sulla superficie interna della sfera in posizioni diverse. Ogni fotorivelatore è formato da un fotodiode di silicio e da un amplificatore operativo integrato. Il flusso di fotoni che raggiunge la superficie di ogni fotodiode è misurato per valutare l'effetto del *biofouling* sulle superfici delle due sfere, in corrispondenza dei LED e dei fotorivelatori.

La seconda sfera contiene inoltre l'elettronica necessaria a pilotare i LED ed a gestire l'acquisizione e la memorizzazione dei dati digitali relativi ai segnali rivelati dai fotodiodi. Le misure della trasmissione della luce attraverso le due sfere sono state eseguite ad intervalli regolari di dodici ore; ogni acquisizione è data dalla media di dieci letture. I fotodiodi sono stati incollati lungo lo stesso meridiano orientato verso la sorgente luminosa, ad un angolo di zenit compreso fra 50° e 90° ; la convenzione usata è quella di considerare 0° l'angolo orientato verso l'alto e 90° l'angolo orientato lungo l'orizzontale.

In figura 2.2, sono mostrati i risultati ottenuti nel sito di ANTARES dopo sei mesi di immersione; i valori della trasparenza quotati da ANTARES, rappresentati come variazione rispetto al giorno dell'immersione, sono mostrati in funzione del tempo e dell'angolo zenitale θ a cui è posto il rivelatore di luce

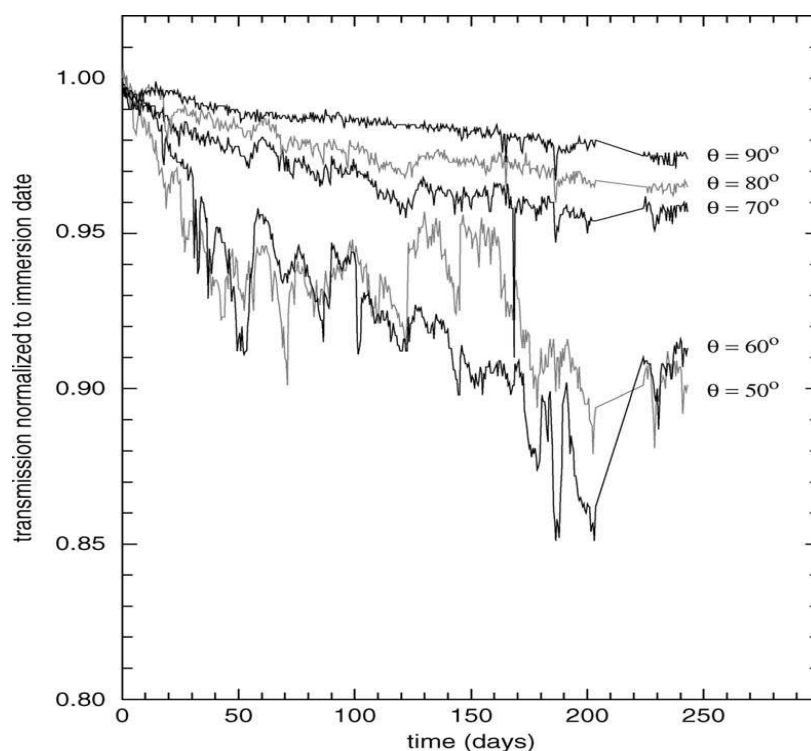


Figura 2.2: Trasmissione di luce in funzione del tempo e dell'angolo a cui sono posti i fotodiodi nel sito di ANTARES. I valori sono normalizzati al giorno dell'immersione. Per convenzione scelta da ANTARES, $\theta = 0^\circ$ corrisponde a superfici orientate verso l'alto, $\theta = 90^\circ$ corrisponde a superfici con normale orizzontale [AMR03].

all'interno della sfera di vetro utilizzata. Si osserva che la variazione della trasparenza del vetro è più pronunciata ad angoli θ piccoli, cioè vicino alla verticale, mentre sull'orizzontale l'effetto del *biofouling* è minore. Si evidenzia che le superfici più soggette all'*oscuramento* sono quelle su cui è favorito il deposito di particolato sia organico che inorganico per via dell'orientamento della superficie stessa.

Per studiare le colonie batteriche che si sviluppano su superfici immerse in un ambiente sottomarino, la collaborazione ANTARES ha utilizzato il sistema di raccolta di *biofilm* rappresentato in sezione in figura 2.3(a). Sulla superficie laterale di un cilindro assicurato in posizione orizzontale sono

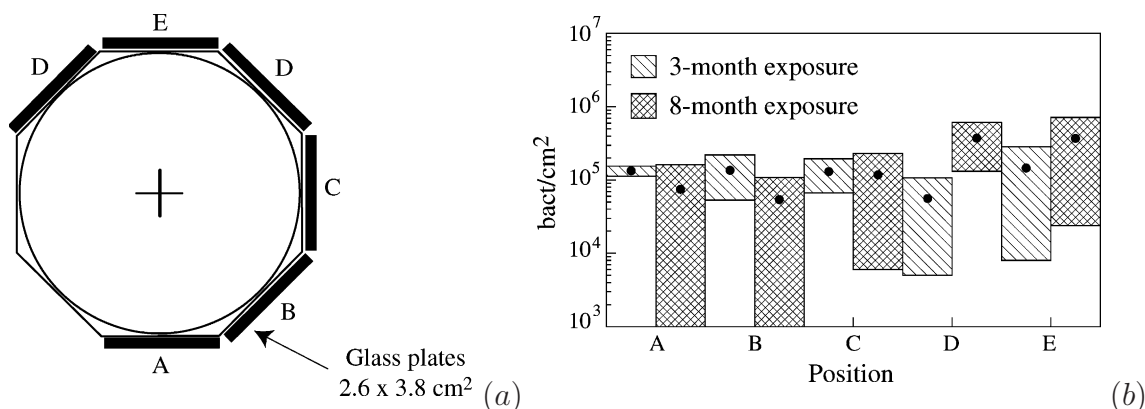


Figura 2.3: (a) Sezione dell'apparato di cattura del *biofilm*. (b) Numero di batteri per cm^2 presenti sulle placche di vetro dopo tre e otto mesi di immersione nel sito di ANTARES in funzione dell'orientamento. I punti rappresentano il valore medio e i riquadri l'errore sulla misura. La placca A è rivolta verso il basso e la placca E è rivolta verso l'alto [AMR03].

montate sei placche di vetro di dimensioni $2.6 \times 3.8 cm^2$. Un sistema di copertura assicura la protezione delle placche durante la fase di discesa in acqua dell'apparato e, successivamente, durante la fase di recupero. Osservazioni effettuate con il microscopio elettronico a scansione hanno dato i risultati mostrati in figura 2.3(b). Si evidenzia, anche in questo caso, che la crescita di colonie batteriche è favorita sulle superfici orizzontali rivolte verso l'alto (placche D ed E), mentre è ridotta sulle superfici verticali e su quelle rivolte verso il basso (placche A, B e C). In figura 2.4 sono mostrate foto eseguite con il microscopio elettronico a scansione delle superfici C (sinistra) ed E (destra).

Come si è detto nel capitolo 1, il telescopio di NEMO sarà costituito da un reticolo di circa 6000 PMT alloggiati in sfere di vetro. Il fenomeno del *biofouling* potrebbe ridurre inevitabilmente, col passare del tempo, la trasparenza delle superfici ottiche dei fotomoltiplicatori. È necessario, dunque, quantificare tale oscuramento delle superfici per avere una stima della diminuzione delle prestazioni dell'apparato in funzione del tempo.

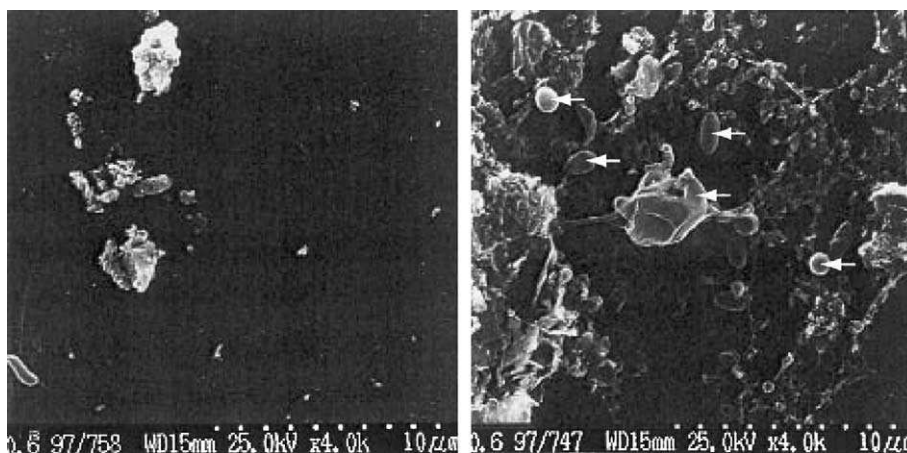


Figura 2.4: Foto eseguite con il microscopio elettronico a scansione. A sinistra è mostrata la superficie verticale; a destra quella orizzontale (orientata verso l'alto). Le piccole frecce nella figura di destra indicano i batteri aderenti alla superficie [AMR03].

2.2 Le correnti

Le correnti sottomarine giocano un ruolo fondamentale nella progettazione della struttura meccanica di un apparato sottomarino. Il telescopio sottomarino di NEMO sarà formato da torri (si veda la figura 1.19) ancorate al fondale marino attraverso un peso e tenute in posizione verticale da boe. Le strutture meccaniche rigide vengono fortemente stressate dalla presenza di correnti sottomarine molto intense o repentinamente variabili, mentre le strutture semi-rigide possono perdere la posizione iniziale fissata durante l'installazione. È dunque importante che le correnti marine siano limitate in intensità e che siano sufficientemente stabili in direzione per evitare la necessità di speciali e costosi accorgimenti in fase di realizzazione delle componenti meccaniche dell'apparato.

Dall'agosto 1998 ad oggi, la collaborazione NEMO ha eseguito con continuità misure delle correnti sottomarine nel sito di Capo Passero a 3250 m e 3100 m di profondità. In figura 2.5 è mostrato un esempio dei risultati di tali misure. Nella figura 2.5 ogni misura della corrente sottomarina

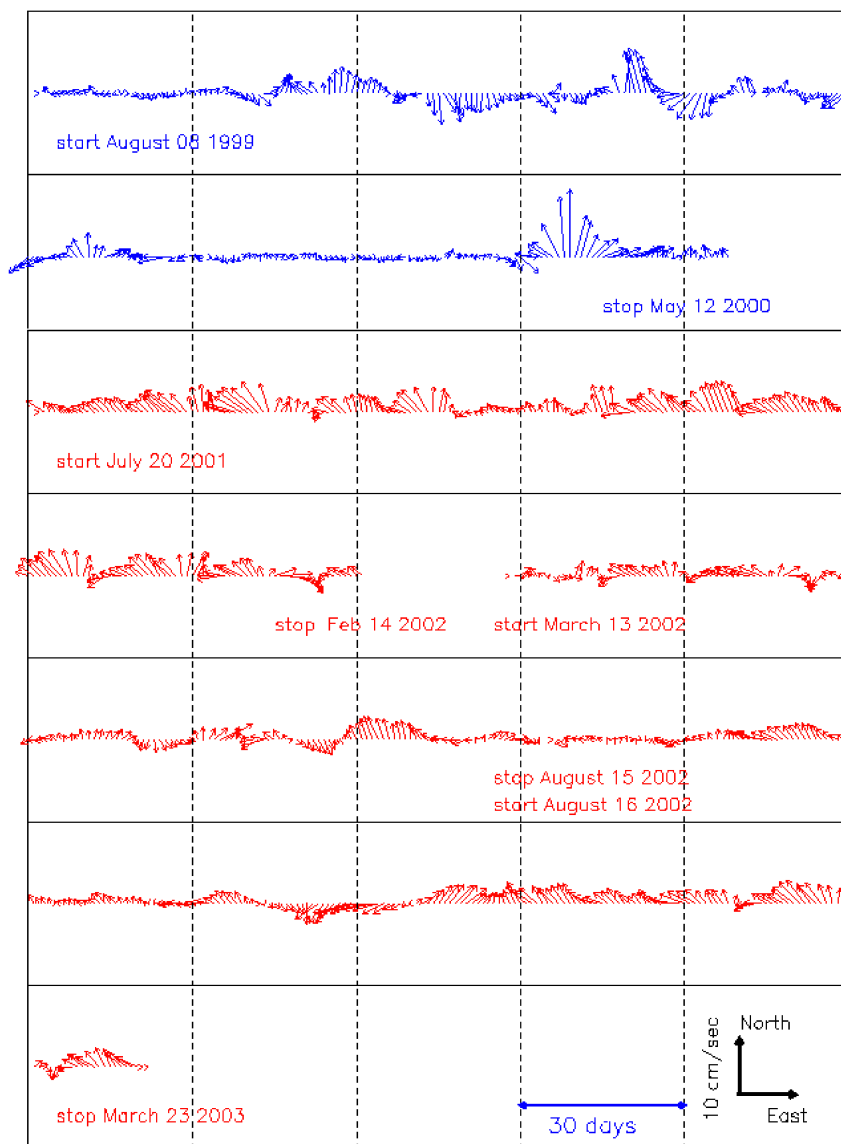


Figura 2.5: L'evoluzione delle correnti sottomarine nel sito di Capo Passero in funzione del tempo. Ogni misura di corrente è rappresentata graficamente da un vettore: il modulo indica l'intensità della corrente, l'orientamento la direzione della corrente (con la convenzione che un vettore orientato verso l'alto indica una corrente diretta verso il Nord). Il grafico mostra i dati raccolti, con qualche interruzione, da agosto 1999 a marzo 2003 [CAP99, NEMO].

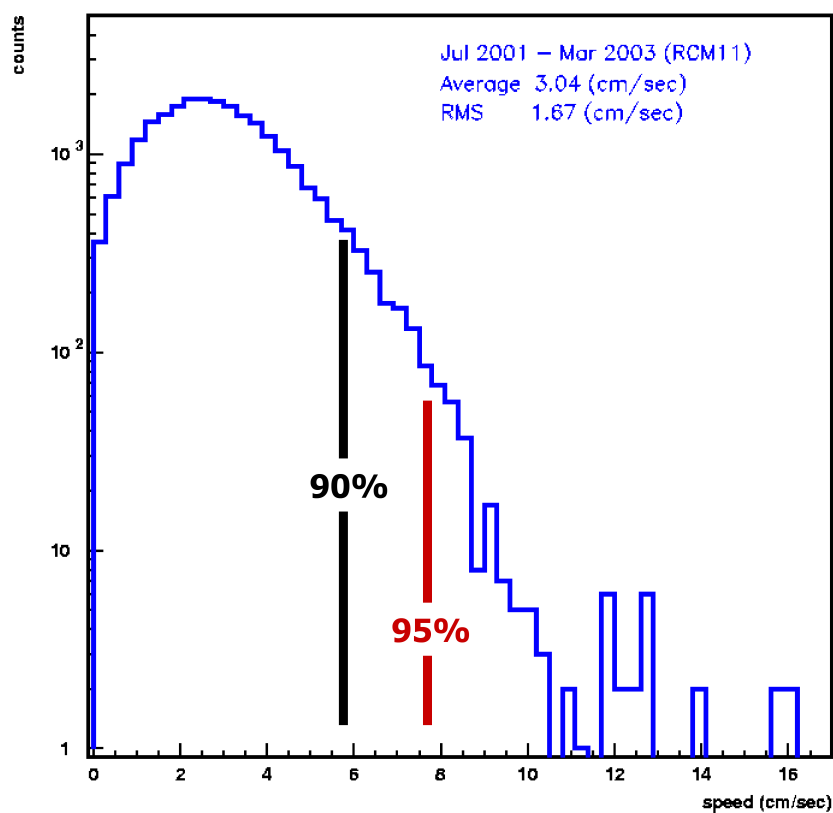


Figura 2.6: Distribuzione del modulo della corrente sottomarina in scala logaritmica. Dati acquisiti fra luglio 2001 e marzo 2003 [NEMO].

è rappresentata da un vettore: la lunghezza di tale vettore è proporzionale all'intensità della corrente mentre l'orientamento indica la direzione della corrente misurata. I vettori hanno origine su una retta orizzontale e sono dunque rappresentati in funzione del tempo.

Bisogna evidenziare che l'intensità delle correnti è praticamente $\lesssim 10$ cm/s; inoltre il valor medio delle correnti è ~ 3 cm/s [CAP99]. In figura 2.6 è mostrata, su scala logaritmica, la distribuzione del valore assoluto della corrente: nel 90% dei casi la corrente è inferiore a 6 cm/s. Tali caratteristiche rendono idoneo il sito di Capo Passero per la realizzazione del telescopio Čerenkov sottomarino per neutrini, semplificando le operazioni di costruzione e installazione dell'apparato.

È fondamentale associare misure di correnti sottomarine con le misure di biofouling. Le correnti danno indicazioni sulla qualità dell'acqua marina che può raggiungere l'apparato sottomarino. Il fenomeno del biofouling è fortemente dipendente dalle proprietà chimico-fisiche dell'acqua; è fisicamente interessante correlare i dati relativi ad incrementi o ad eventuali diminuzioni dell'oscuramento di moduli ottici dovuto al biofouling con i dati delle correnti sottomarine. Inoltre, poiché l'oscuramento di moduli ottici è legato anche ad una deposizione di sedimenti organici e inorganici oltre che alla crescita di film biologico, bisogna considerare che la presenza di correnti sufficientemente intense può agire come fattore rilevante nella diminuzione dell'oscuramento di MO, in quanto i sedimenti possono essere trasportati via da tali correnti.

2.3 La salinità e la temperatura

Per caratterizzare al meglio il comportamento di un rivelatore di luce Čerenkov sottomarino, è necessario eseguire misure di salinità e temperatura nel sito scelto per l'installazione. Temperatura e salinità, infatti, influenzano la velocità della luce in acqua e quindi la loro conoscenza è essenziale per la "ricostruzione delle tracce" dei muoni a partire dai segnali Čerenkov raccolti dai moduli ottici. La figura 2.7 mostra l'andamento della temperatura e della salinità in funzione della profondità nel sito di Capo Passero. È ben evidente una correlazione tra questi due parametri ambientali e i coefficienti di attenuazione e di assorbimento. Come esposto nel paragrafo 1.5, il dimensionamento dell'apparato sottomarino è legato alla lunghezza di assorbimento, che impone una distanza massima fra i PMT (≤ 70 m).

Tali parametri ambientali sono, inoltre, indicatori diretti del tipo di acque in cui è immerso l'apparato. Come è stato accennato nel paragrafo 2.1, è interessante correlare il fenomeno del biofouling con la qualità delle acque. Variazioni della salinità e della temperatura possono influenzare la crescita di microorganismi e l'accumulo di film biologico sulle superfici. Acque diverse possono trasportare, inoltre, sedimenti organici e inorganici di varia natura, alterando la trasparenza delle superfici dei moduli ottici.

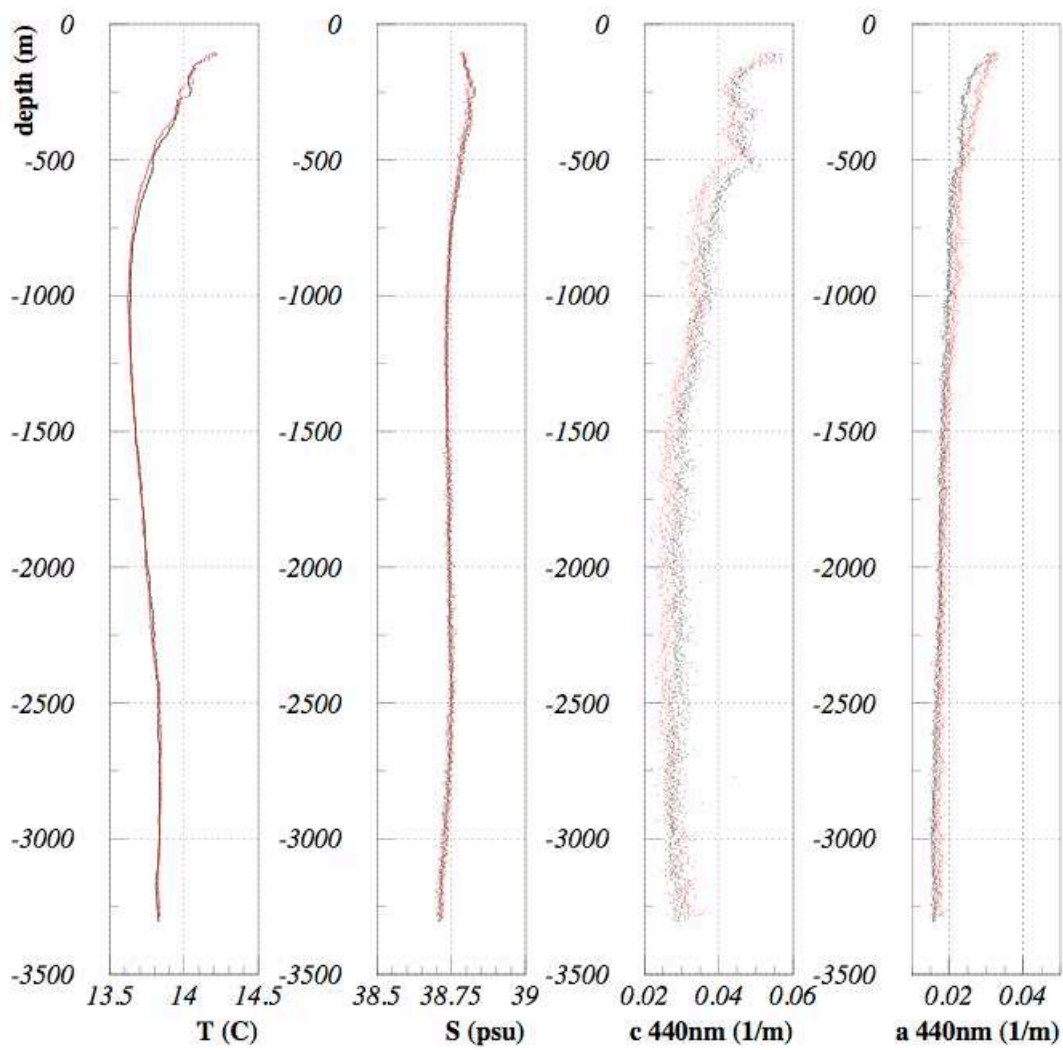


Figura 2.7: Temperatura e salinità comparate con i coefficienti di attenuazione e di assorbimento nel sito di Capo Passero in funzione della profondità. La propagazione della luce in acqua marina è influenzata da parametri ambientali [NEMO].