

Capitolo 5

Test in laboratorio dell'apparato

Dopo aver discusso circa le scelte fatte e il funzionamento dell'apparato autonomo per misure abissali, si mostrano in questo capitolo i risultati di alcuni test compiuti in laboratorio.

5.1 Prove effettuate sui singoli strumenti

L'apparato di misura del biofouling è stato testato in laboratorio, simulando una variazione progressiva della trasparenza della sfera di vetro, contenente i fotorivelatori. L'analisi dei dati raccolti è finalizzata alla stima della funzione *Trasparenza*, così come definita nell'equazione 3.4.

Nella foto di figura 5.1 sono mostrati alcuni degli strumenti che compongono l'apparato, nella configurazione finale di misura. Sono visibili il tubo di alloggiamento dei due LED e parte della sfera di vetro contenente i fotorivelatori. L'elettronica di gestione dell'apparato, durante questa fase di test, è posta all'esterno della sfera, per semplificare le operazioni di acquisizione dati.¹ In figura 5.2 è mostrato il modulo ottico, dal punto di vista del LED alto. Per simulare l'oscuramento della superficie della sfera di vetro, il modulo ottico è stato ricoperto da strati di plastica semi-trasparente. Abbiamo attivato la strumentazione eseguendo cicli completi di acquisizione (così

¹I cavi utilizzati durante le prove effettuate saranno sostituiti da cavi di profondità per resistere alle pressioni del sito sottomarino, opportunamente inseriti nel corpo della gabbia di acciaio.

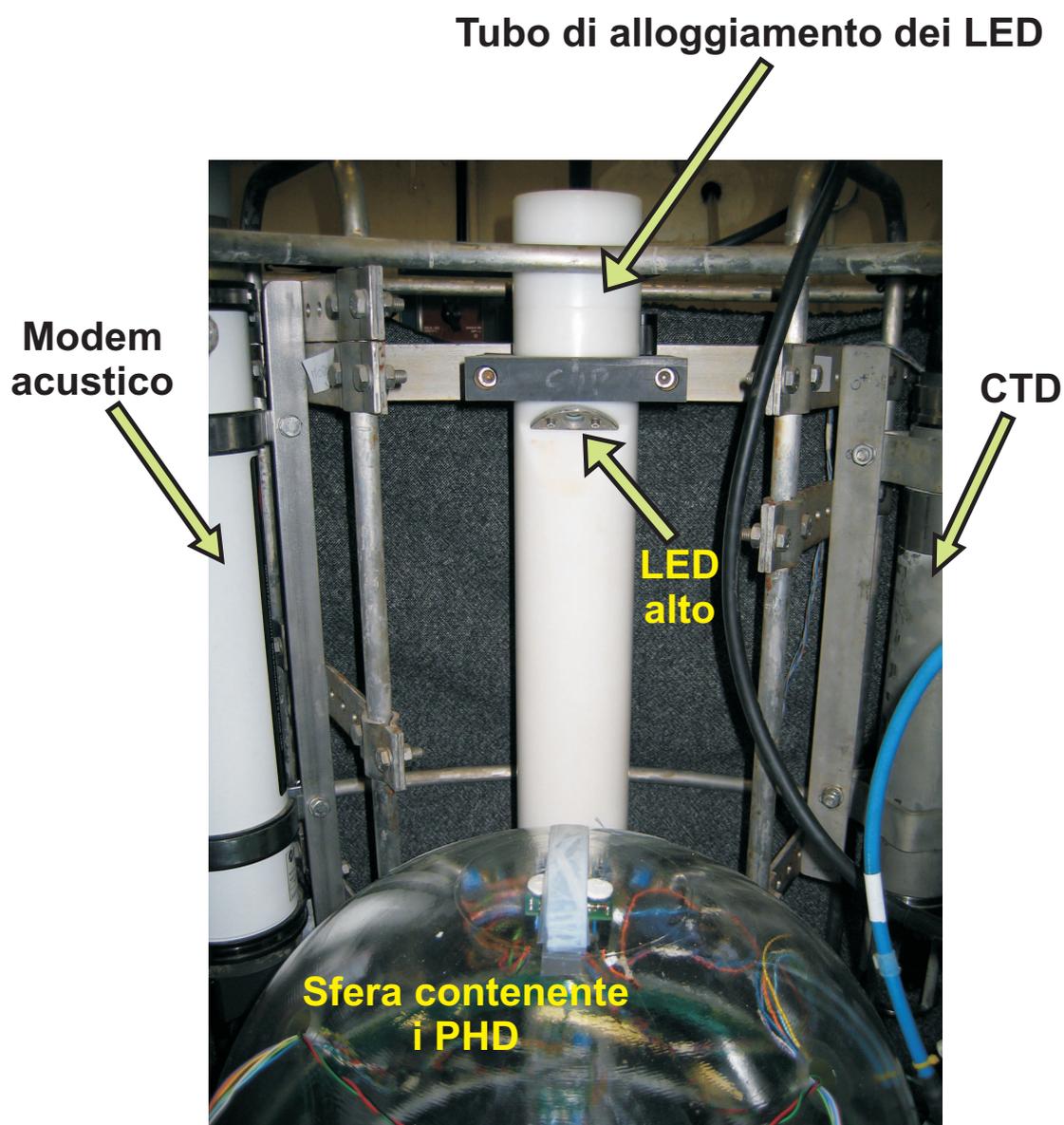


Figura 5.1: Particolare dell'apparato progettato per le misure di *Trasparenza*. Tra gli altri rivelatori utilizzati per le misure ambientali si notano il LED alto e la semisfera superiore della sfera Benthos che contiene i fotorivelatori.

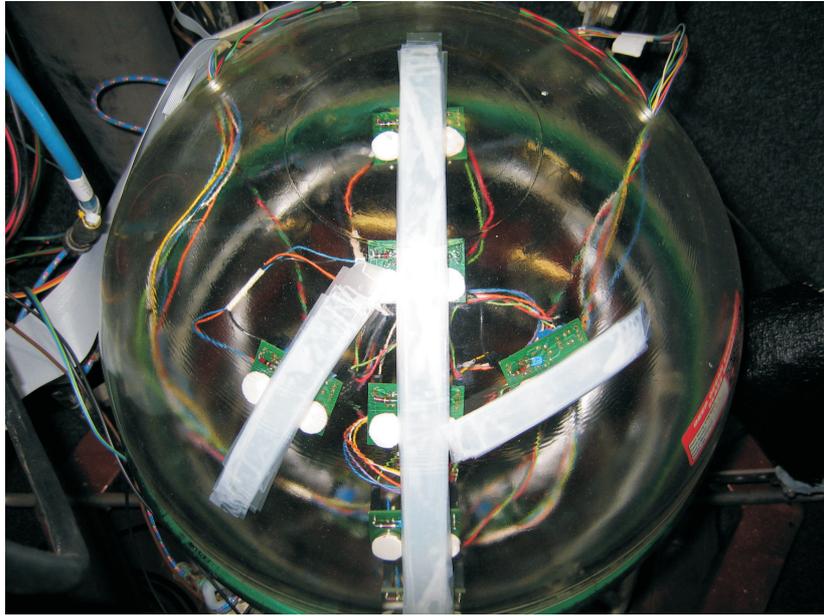


Figura 5.2: Particolare della sfera per la misura della *Trasparenza*. Sono visibili gli strati di plastica semi-trasparente posti in corrispondenza dei PHD, per simulare l'effetto del *biofouling* sulla superficie del modulo ottico.

come definiti nei precedenti capitoli) per strati sempre maggiori di plastica semi-trasparente. In tal modo, è stata simulata artificialmente una crescita costante del biofilm sulla superficie del modulo ottico.

Come già detto, partendo dalle misure di tensione ai capi dei fotorivelatori a due diverse intensità luminose dei LED, siamo interessati a ricostruire la funzione *Trasparenza* T , definita in 3.4. Ci aspettiamo che tale funzione sia indipendente dal valore della corrente che attraversa i LED: dunque presenteremo un confronto fra $T(I_{LED} = 10mA)$ e $T(I_{LED} = 20mA)$. La bontà del nostro apparato può essere stimata, ad esempio, confrontando l'andamento della funzione *Trasparenza* calcolata per i diversi PHD. Apponendo sulla superficie della sfera, in prossimità dei PHD, varie strisce di plastica semi-trasparente, abbiamo simulato una variazione della *Trasparenza* uniforme su tutta la sfera; ci aspettiamo quindi che i valori di T calcolati siano compatibili, nell'ambito degli errori sperimentali.

La *Trasparenza*, per come è stata introdotta nel paragrafo 3.3, è una funzione del tempo, calcolata normalizzando il rapporto fra la tensione ai capi

Siamo interessati alle variazioni del rapporto delle tensioni dei PHD sulle tensioni dei PHD di riferimento, all'accensione del rispettivo LED. Si mostrano, a titolo di esempio, le misure di tensione ai capi dei PHD1÷PHD7 e del PHD1 di riferimento quando la sfera è stata ricoperta, in corrispondenza dei sette PHD, da uno strato di plastica semi-trasparente:

	\bar{V}_1	σ_1	\bar{V}_2	σ_2	\bar{V}_3	σ_3	\bar{V}_4	σ_4	\bar{V}_5	σ_5	\bar{V}_6	σ_6	\bar{V}_7	σ_7	\bar{V}_{fir1}	σ_{rif1}
<i>pedistallo1</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>LED alto 10 mA</i>	180.31	16.12	1263.00	18.35	1214.39	16.95	1620.78	17.51	1333.70	16.24	816.34	17.65	125.29	16.96	2585.57	17.26
<i>LED alto 20 mA</i>	274.72	16.60	1767.02	17.07	1703.64	17.39	2279.75	17.48	1868.50	17.97	1144.22	19.79	201.76	18.25	3514.88	18.41
<i>pedistallo2</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>LED basso 10 mA</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>LED basso 20 mA</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>pedistallo3</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Per via della completa simmetria alto-basso della geometria dell'apparato di misura (figura 3.8), abbiamo acquisito dati ricoprendo solo la semisfera superiore del modulo ottico, in corrispondenza dei PHD1÷PHD7. Per questi fotorivelatori, dobbiamo osservare una variazione della *Trasparenza* che sia compatibile (per tutti e sette i PHD) con l'assunzione di aver realizzato un oscuramento uniforme.

La semisfera inferiore del modulo ottico, contenente gli altri PHD (8÷14), non è stata ricoperta dalla pellicola: a meno di fenomeni di riflessione di luce all'interno della sfera, dovuti alla presenza degli strati di plastica semi-trasparente, la funzione *Trasparenza* deve rimanere costante: $T \simeq 1$ (*biofouling* assente).

I grafici delle figure 5.3 e 5.4 mostrano l'andamento della *Trasparenza* per i PHD soggetti all'oscuramento della superficie del modulo ottico. Sono mostrati i valori calcolati per le due diverse intensità di corrente che percorre il LED, 10 e 20 mA. Le differenze fra gli andamenti ricavati per i due valori di corrente sono compatibili all'interno degli errori statistici. Rappresentano un'eccezione i PHD1 e PHD7: confrontando la geometria dell'apparato

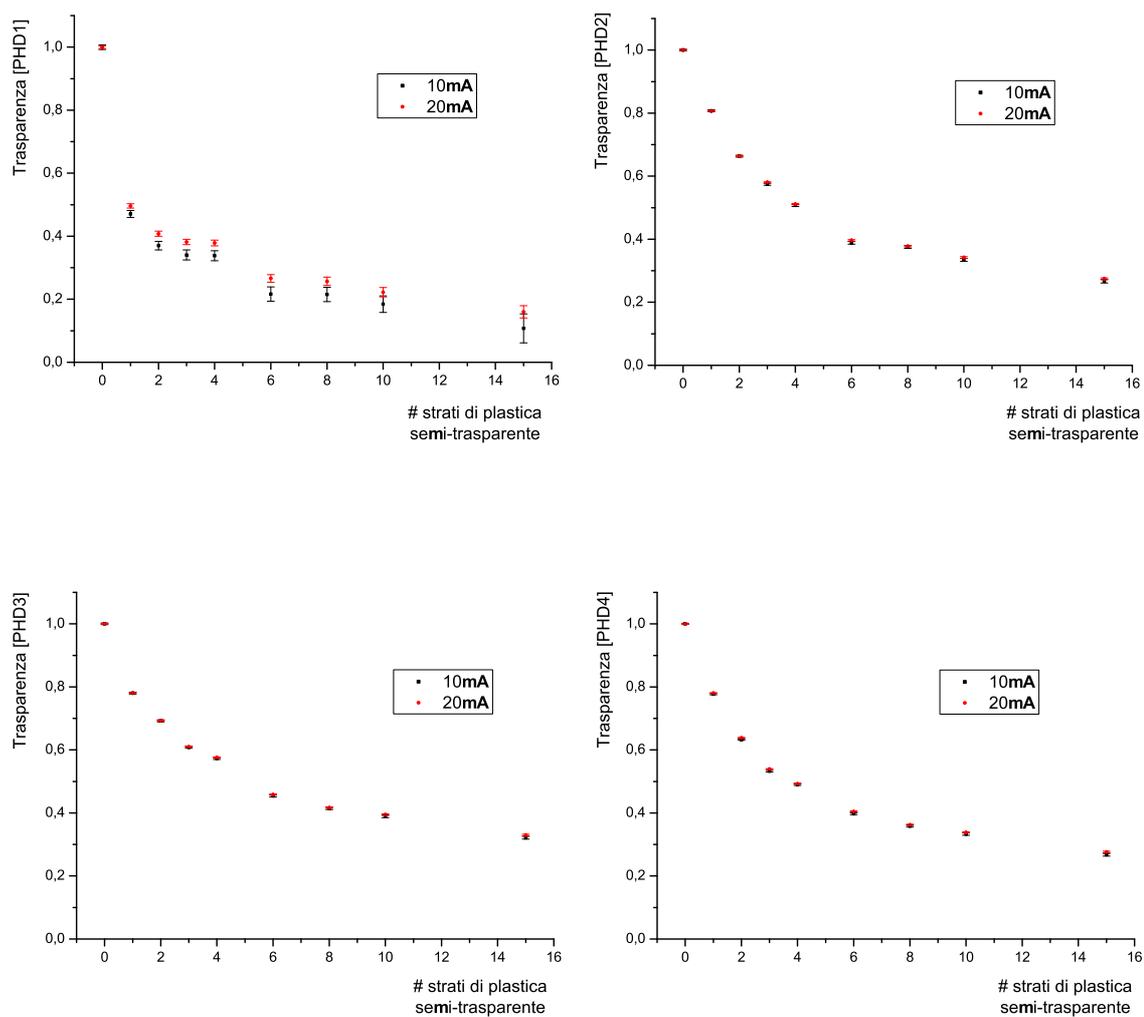


Figura 5.3: Andamento della *Trasparenza* per i PHD1÷PHD4 in funzione degli strati di *biofouling* artificiale.

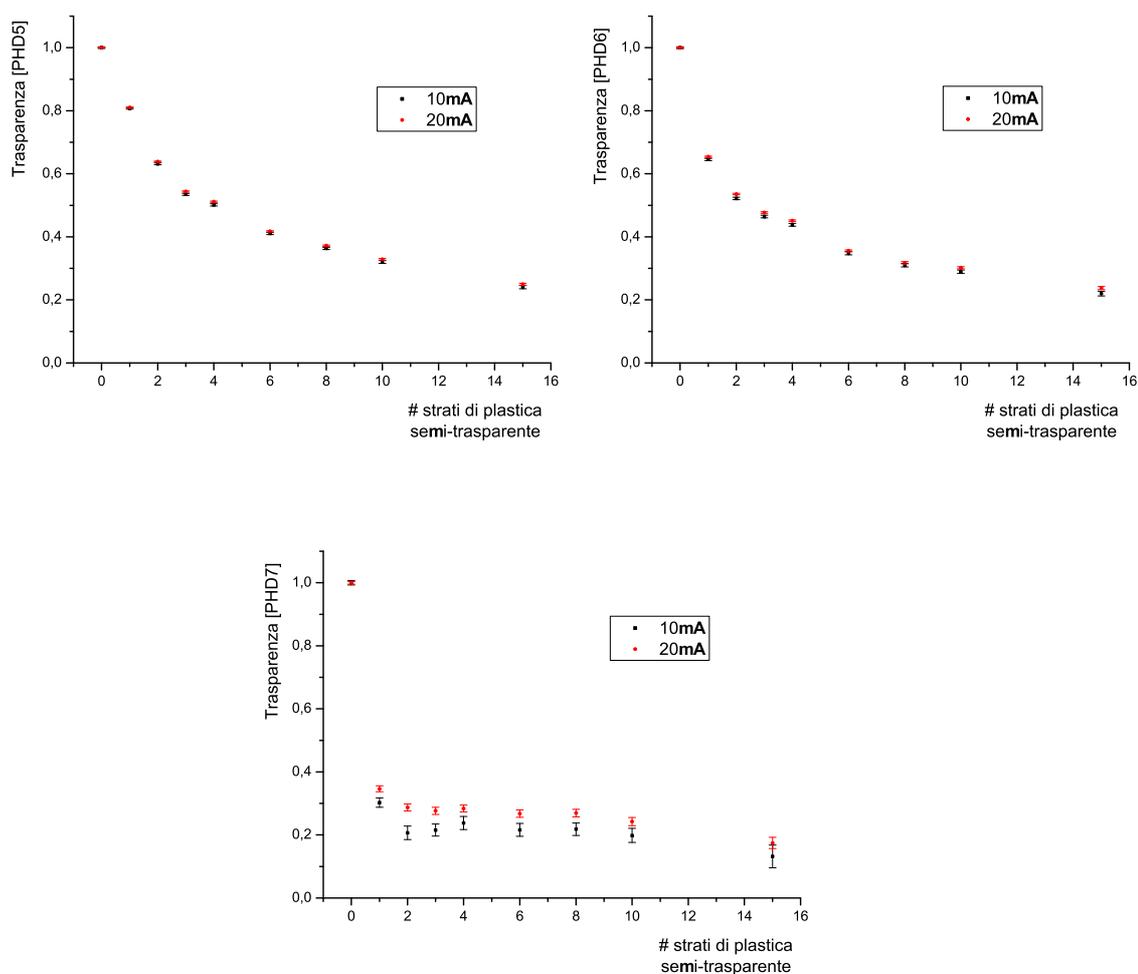


Figura 5.4: Andamento della *Trasparenza* per i PHD5÷PHD7 in funzione degli strati di *biofouling* artificiale. Il PHD7 non è confrontabile con gli altri: per via della geometria dell'apparato risulta scarsamente illuminato ed è più soggetto al rumore elettronico.

(figura 3.8) risultano essere i PHD più scarsamente illuminati dal LED alto e dunque il segnale di tensione generato risente maggiormente del rumore elettronico.

I dati relativi ai PHD8÷PHD14 sono stati trattati nello stesso modo, per avere una stima della misura in condizioni di trasparenza costante (nessuna variazione rispetto alle condizioni iniziali). I grafici delle figure 5.5 e 5.6 mostrano l'andamento della *Trasparenza* in funzione degli strati di *biofouling* artificiale (applicati in corrispondenza degli altri PHD). Si osserva che la funzione si mantiene costante, entro l'intervallo degli errori. Anche in questo caso, un fotorivelatore ha un comportamento non del tutto confrontabile con quello degli altri. Il PHD8 è meno illuminato dal LED basso (figura 3.8): si possono attribuire alla geometria dell'apparato tali differenze nella risposta all'illuminazione dei PHD.

Questo test ci ha permesso di valutare la funzionalità del nostro apparato, che risulta idoneo ad eseguire le operazioni per cui è stato realizzato. Abbiamo inoltre avuto, in tal modo, la possibilità di provare l'insieme dei programmi di acquisizione, scrittura, lettura ed analisi dei dati dell'elettronica della stazione autonoma nel formato finale di misura.

5.2 Verifica del funzionamento globale della stazione

Al fine di verificare il corretto funzionamento dell'apparato autonomo per misure abissali, abbiamo avviato l'applicazione di gestione della strumentazione eseguendo più volte cicli di misura. Il programma di gestione delle periferiche, opportunamente sviluppato, è stato eseguito modificando alcuni parametri (frequenza nei cicli di misura di ogni periferica, gestione degli errori e dei *time-out*) ed utilizzando l'apparato con tutti gli strumenti completamente funzionanti. Sono state simulate alcune situazioni di errore (improvvisa interruzione della comunicazione, disconnessione delle periferiche) per verificare la corretta gestione degli errori e dei *time-out* che le periferiche

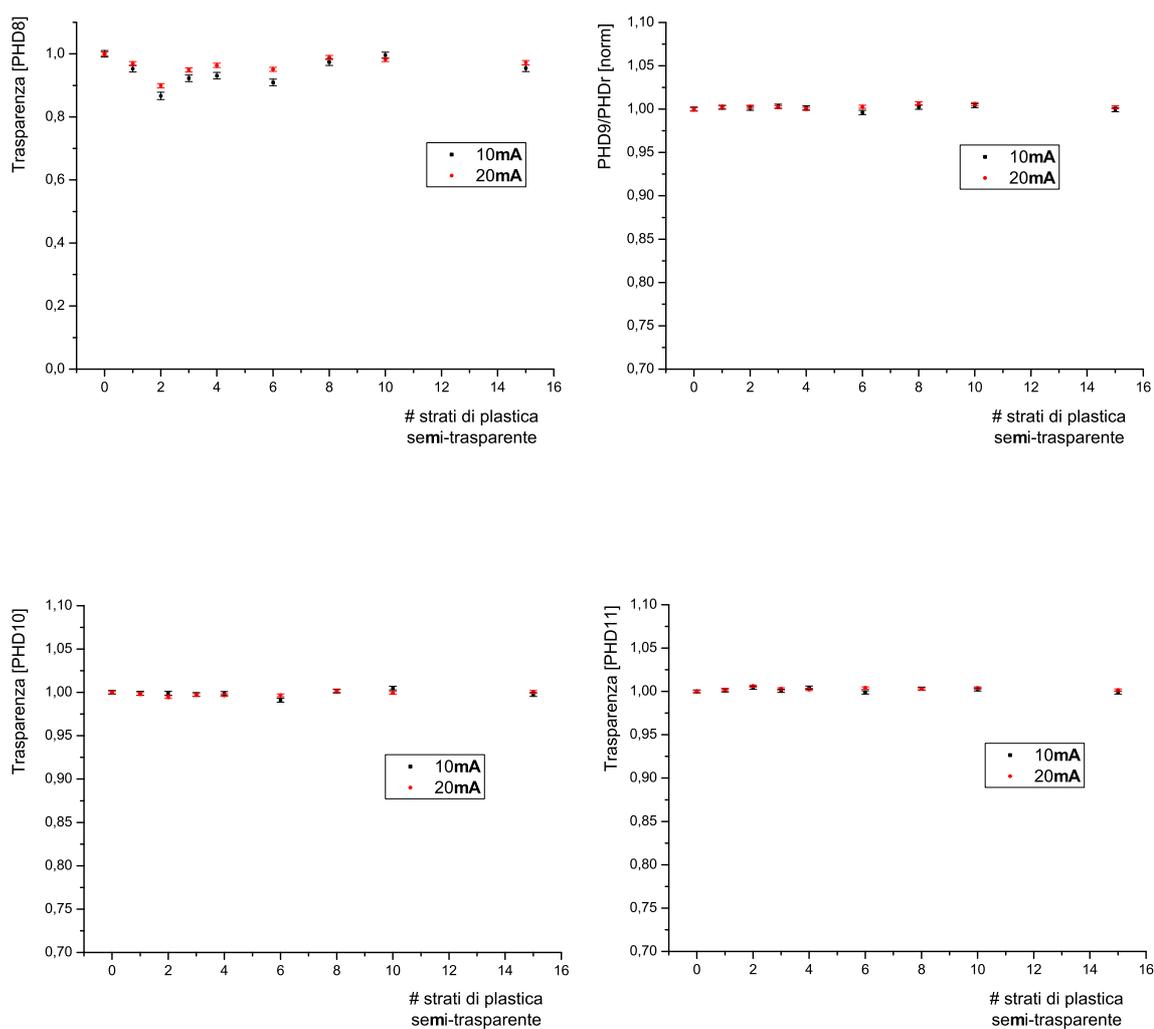


Figura 5.5: *Trasparenza* dei PHD8÷PHD11. Su questi PHD **non** sono stati applicati strati di *biofouling* artificiale.

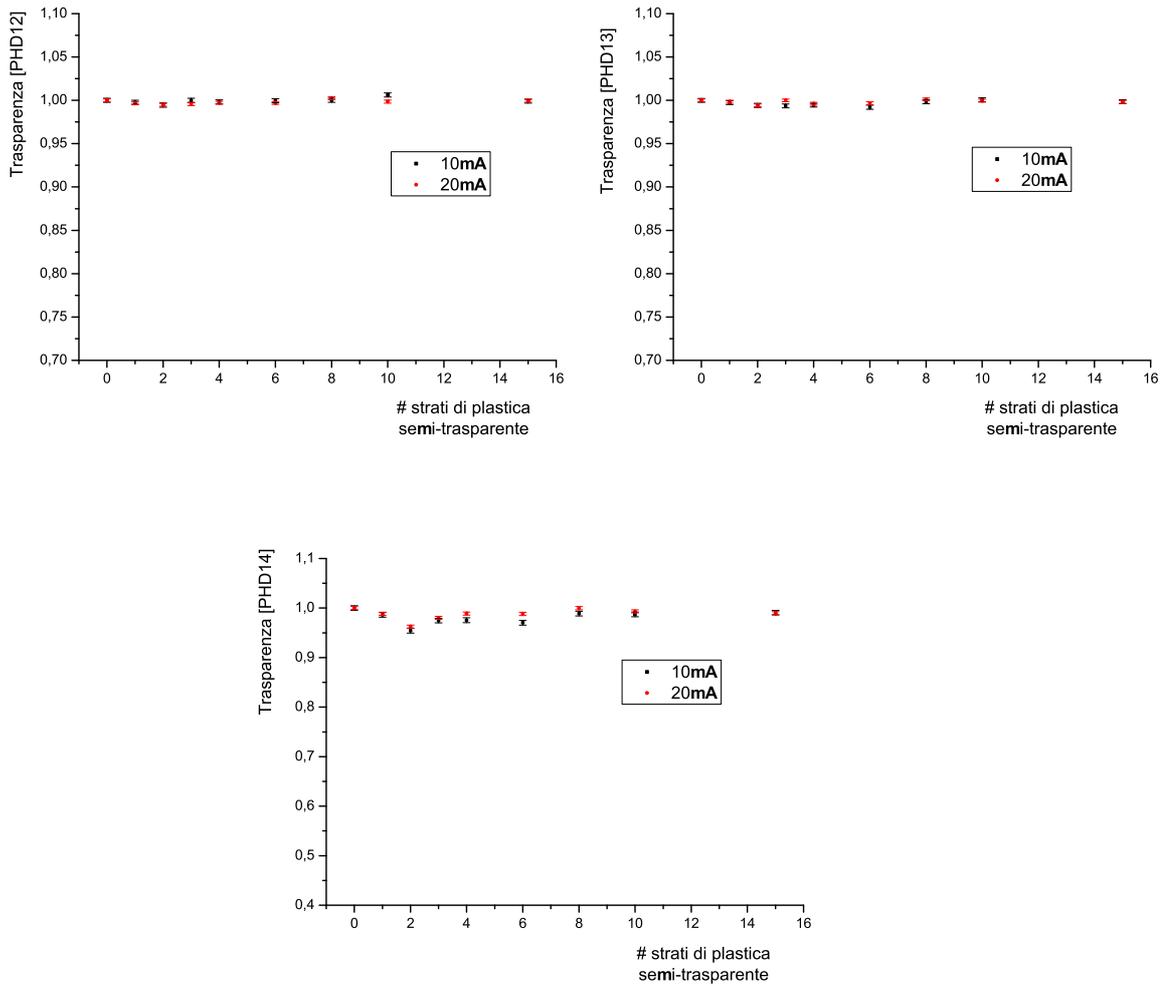


Figura 5.6: *Trasparenza* dei PHD12÷PHD14. Su questi PHD **non** sono stati applicati strati di *biofouling* artificiale.

possono presentare sul Single Board Computer. Descriviamo di seguito le operazioni di test che sono state eseguite.

Il ciclo di funzionamento dell'apparato autonomo è strutturato in modo da organizzare fasi di *stand-by* alternate con fasi in cui il SBC, comunicando con le periferiche, richiede l'acquisizione di determinate misure. Durante i periodi di attività non tutte le periferiche sono interrogate: come mostrato nel capitolo 4, le misure di corrente, temperatura e salinità saranno eseguite più frequentemente del ciclo relativo al *biofouling*.

Per semplificare la gestione delle operazioni, sono state organizzate delle funzioni specifiche (routine) che gestiscono ogni periferica. Il programma principale di gestione della stazione richiama, di volta in volta, la routine opportuna per ottenere la misura da una specifica periferica. Dal punto di vista software, le routine di presa dati (che gestiscono il correntometro, il CTD e la strumentazione relativa alla misura di tensione dei PHD) sono richiamate, all'interno del programma principale, con una semplice istruzione; tali routine, dopo aver interrogato le periferiche, appendono in coda ad un file temporaneo i dati relativi alla misura effettuata. Abbiamo definito un file temporaneo per ogni periferica connessa; ogni routine scrive i dati acquisiti in coda al file corrispondente (se il file non esiste, viene creato dalla routine). Operando in questo modo, si ottengono tre file temporanei (definiti *corr.txt*, *ctd.txt*, *biof.txt*) salvati nella memoria interna del SBC, che contengono ognuno i dati delle misure di ogni periferica. I dati acquisiti per ogni periferica devono essere riuniti in un opportuno spazio di memoria del SBC (*buffer* di memoria), così come è stato già mostrato in tabella 3.3, ed essere successivamente salvati su un supporto idoneo. Il SBC è dotato di un supporto per memorie del tipo *Compact Flash*: su un supporto di questo tipo viene creato il file contenente i dati acquisiti dall'apparato nel suo insieme. Abbiamo sviluppato, dunque, una routine dedicata all'organizzazione dei dati e al loro salvataggio in un unico file. Tale routine di salvataggio dati viene richiamata al termine dell'esecuzione della routine relativa alla stima del *biofouling*. La routine di salvataggio apre i file temporanei creati in precedenza, conta le

parole presenti in ogni file (per poter creare correttamente gli *header* così come definiti in tabella 3.3), scrive in coda al file di dati (*dati.dat*), memorizzato sul supporto *Compact Flash*, gli *header* e i valori relativi alle misure effettuate dalle periferiche; infine la routine elimina, infine, i file temporanei.

Aver organizzato in questo modo la gestione delle operazioni presenta diversi vantaggi. La routine di organizzazione e salvataggio dei dati è indipendente dalla frequenza con la quale vengono effettuate le prese dati con ogni periferica. Abbiamo scelto di eseguire per convenzione tale routine dopo quella di acquisizione dati per il *biofouling*. Ogni riga del file di dati che viene creata dalla routine contiene una sola acquisizione di dati relativi al *biofouling*, mentre può contenere un numero di acquisizioni arbitrario relativo al correntometro e al CTD. Gli *header* presenti nel file *dati.dat* permettono di interpretare facilmente la forma dei dati. Il programma di gestione dell'apparato può essere agevolmente configurato al fine di modificare la frequenza di presa dati, senza per questo alterare il formato del file di dati.

La tempistica delle operazioni gestite dal SBC in un giorno solare di 24 ore può essere schematizzata nel modo seguente:

<u>orario</u>	<u>operazione eseguita</u>
h.00	<i>routine correntometro</i> <i>routine CTD</i> <i>routine biofouling</i> <i>routine salvataggio</i> <i>stand-by (~1 ora)</i>
h.01	<i>routine correntometro</i> <i>routine CTD</i> <i>stand-by (~1 ora)</i>
h.02	<i>routine correntometro</i> <i>routine CTD</i> <i>stand-by (~1 ora)</i>
h.03	...
...	...
h.12	<i>routine correntometro</i> <i>routine CTD</i> <i>routine biofouling</i> <i>routine salvataggio</i> <i>stand-by (~1 ora)</i>
h.13	<i>routine correntometro</i> <i>routine CTD</i> <i>stand-by (~1 ora)</i>
h.14	...
...	...
h.23	<i>routine correntometro</i> <i>routine CTD</i> <i>stand-by (~1 ora)</i>
h.24≡h.00	...

La sequenza mostra esplicitamente gli orari a cui vengono eseguite le routine già definite sopra. Le misure del correntometro e del CTD sono eseguite ogni ora, mentre ogni dodici ore vengono eseguite anche le routine di stima del *biofouling* e di salvataggio dati. Come abbiamo mostrato nel paragrafo 3.4, ogni misura del correntometro è costituita da otto parole, ogni misura del CTD da tre, ogni misura di tensione ai capi dei PHD è formata da 224 parole. Ogni routine di gestione delle periferiche aggiunge due parole, contenenti la data e l'ora, nei file temporanei che contengono separatamente i dati prima della loro organizzazione nel formato finale. Il numero di parole totali per ogni misura è dunque aumentato di due. Abbiamo ridotto i tempi di *stand-by* durante le acquisizioni di test (*stand-by* = 10 minuti) per poter avere una mole di dati maggiore con qualche ora di attività.

Mostriamo in pagina seguente parte di un file di dati raccolto durante una di tali prove, evidenziando con diversi colori gli header, le parole di data e ora, i dati di diversi strumenti. Abbiamo scelto di avviare l'acquisizione del correntometro e del CTD ogni dieci minuti, mentre l'acquisizione delle tensioni ai capi dei PHD viene eseguita ogni 120 minuti. Operando in tal modo, possiamo generare in 240 minuti (4 ore) la stessa mole di dati che genererà l'apparato in un giorno nella configurazione finale di misura (24 cicli di acquisizioni di correnti, di temperatura e salinità e 2 cicli per la strumentazione relativa al *biofouling*).

La prima riga del file (dall'*header* iniziale "1000" fino alla parola "99999 <LF>") contiene dati relativi ad una acquisizione per ogni blocco dell'apparato; tutte le altre righe contengono dati di 12 acquisizioni di correnti, temperatura e salinità (nel paragrafo 3.4 è esplicitato il significato di ogni parola del *buffer*) ed una serie di misure della tensione ai capi dei PHD. Si ricorda che tali misure vengono eseguite sui 16 PHD durante le sette fasi in cui è stato organizzato il ciclo di accensione dei LED; nel file sono memorizzati i valori medi e le deviazioni standard delle tensioni misurate.

Il sistema sviluppato è in grado di gestire correttamente eventuali malfunzionamenti di alcune parti del sistema. Il software sviluppato è stato provato nelle situazioni in cui un blocco funzionale non risponde oppure risponde in maniera non corretta. Scollegando singolarmente ogni periferica (anche durante l'esecuzione di un ciclo di misura!) abbiamo verificato che il sistema prosegue correttamente il ciclo di misura. Sono stati impostati dei tempi massimi di risposta, trascorsi i quali il SBC prosegue con le altre operazioni programmate. Quando si verificano queste situazioni di mancata risposta o di mancata esecuzione di un preciso comando da parte di una periferica, non vengono rivelati alcuni dati. Il formato dei dati prevede anche questa eventualità. Ad esempio, in caso di malfunzionamento da parte del correntometro (e quindi di mancata acquisizione di misure di corrente) all'interno dell'*header* del correntometro (tabella 3.3) sarà specificato che il numero di parole relative ai dati del correntometro è zero.