

Strumentazione dedicata alle misure di parametri ambientali

Un detector sottomarino basato sulla rivelazione di fotoni Cherenkov è fortemente condizionato dalle caratteristiche ambientali circostanti. In un volume di 1 km³ temperatura, conducibilità, correnti etc... potrebbero essere funzione della posizione tanto da rendere necessario disporre, all'interno del telescopio per neutrini, una serie di stazioni di misura dei vari parametri ambientali.

Le correnti sottomarine possono influenzare la disposizione geometrica dei moduli ottici e, assieme alle variazioni di salinità e di temperatura possono influenzare l'ammontare del rumore ottico (dovuto a decadimento radioattivo del ⁴⁰K ed a fenomeni di bioluminescenza).

In un telescopio sottomarino la risoluzione angolare nel ricostruire la direzione delle particelle rivelate è limitata anche dalla imprecisione sulla conoscenza della posizione dei singoli moduli ottici. Nel caso del telescopio per neutrini da 1 km³ la posizione dei vari elementi del detector è ricostruita grazie ad un sistema di trasmettitori acustici, fissi sul fondo, e di ricevitori posizionati lungo le stringhe dei rivelatori ottici. La velocità del suono in acqua marina è a sua volta funzione della temperatura e della salinità, per cui la conoscenza di tali grandezze indirettamente influisce sulla risoluzione angolare. La trasmissione della luce in acqua è fortemente caratterizzata dalla presenza di particolato disciolto. Tale particolato può variare nel tempo; una misura diretta dei coefficienti di assorbimento e di attenuazione della luce in acqua fornirà parametri essenziali per la ricostruzione degli eventi registrati.

Per non perturbare eccessivamente il funzionamento delle stringhe equipaggiate con detector ottici è bene alloggiare gli strumenti necessari per lo studio dei "parametri ambientali" su una speciale stringa. Per semplificare il disegno complessivo dell'apparato, tale "instrumented line" potrà avere in comune con il resto dell'apparato il sistema di trasmissione della potenza e dei dati.

Sulla "stringa instrumentata" andranno posizionati: correntometri, CTD (Conducibilità, Temperatura, Profondità (Depth), misuratori della velocità del suono, misuratori dei coefficienti di attenuazione ed assorbimento della luce.

È previsto inoltre che la stringa instrumentata possa alloggiare anche strumentazione non standard che debba rimanere immersa per periodi limitati. Si potrà ad esempio immergere campioni di materiali diversi per studiare l'effetto della corrosione e/o del biofouling. Per tale motivo la linea instrumentata va realizzata in modo tale da poter essere recuperata e re-immersa con facilità senza disturbare il resto dell'apparato.

I circa 300÷600m di colonna d'acqua in cui si estende il telescopio per neutrini potrebbe essere sede di fluttuazioni locali dei vari parametri. E' per questo motivo che si rende necessario dislocare almeno tre set di sensori a varie distanze dal fondo.

In ogni posizione saranno alloggiati:

- uno strumento per la misura di Conducibilità e Temperatura (CT)
- Correntometro Acustico Doppler a Profilazione (ADCP)
- uno strumento per la misura della Velocità del Suono in acqua

In almeno due posizioni estreme saranno inoltre alloggiati

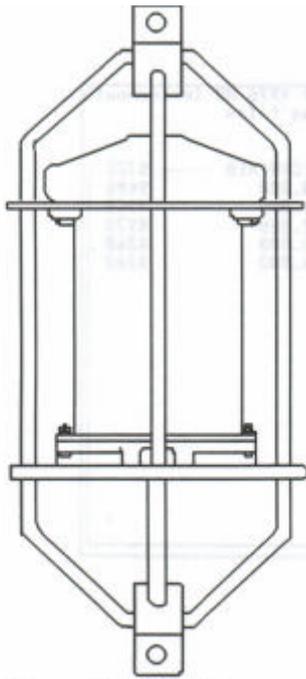
- un misuratore di assorbimento della luce
- un misuratore di attenuazione della luce

La "L.I." potrà essere equipaggiata anche con un "Contenitore di Campioni" per studi su lunghi periodi degli effetti della corrosione, del biofouling e della alta pressione su diversi materiali, e dovrà essere in grado di ospitare qualsiasi altro strumento che sarà necessario per qualificare le proprietà del sito abissale.

Acoustic Doppler Current Profiler.

L'ADCP offre la possibilità di misurare le correnti sottomarine non solo in prossimità dello strumento ma per una colonna d'acqua alta fino a 150-170m, senza alcuna parte ruotante. Di solito questi strumenti sono ancorati sul fondo e possono essere connessi elettricamente a riva per fornire una misura in tempo reale delle correnti sottomarine e lungo le coste. Lo strumento proposto per la "L.I." è il "Workhorse Monitor ADCP" prodotto da RD Instruments (San Diego, California). Questo strumento, permette di essere collegato "in linea" con il sistema di acquisizione, è compatto (non ha bisogno di batterie) ed economico. La frequenza del segnale acustico utilizzato nel Workhorse Monitor ADCP può essere scelta fra 300 e 600 KHz.

L'uso di 300KHz (invece di 75KHz come ad esempio avviene nella versione "Sentinel" dell'ADCP) ha il vantaggio di ridurre il "rumore" reciprocamente indotto nell'ADCP e nel sistema di posizionamento

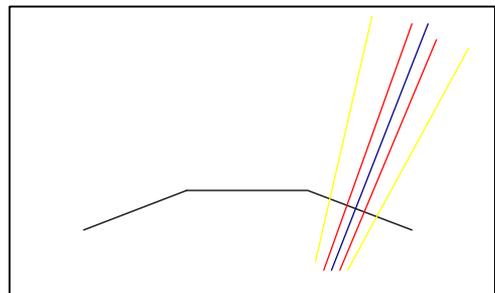
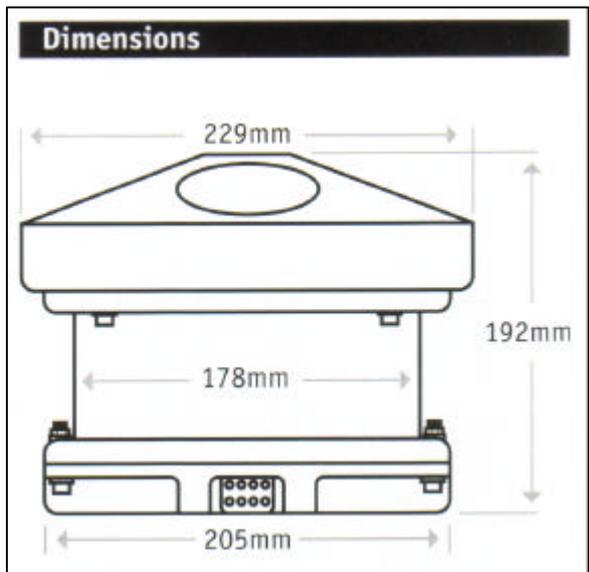


acustico" utilizzato per conoscere le posizioni dei singoli moduli ottici del "telescopio" (realizzato con emettitori acustici a ~30KHz posizionati sul fondo e ricevitori fissati sulla meccanica di supporto dei moduli ottici) ma limita a circa 200m l'altezza della

colonna d'acqua di cui si può studiare il profilo della corrente. Per tale motivo per la misura delle correnti sottomarine in tutto il volume d'acqua rilevante per il telescopio per neutrini (~300÷600m) saranno necessari due o tre "Monitor" opportunamente posizionati: ed orientati.

Particolare attenzione andrà posta alla meccanica di supporto del "Monitor" ed al suo posizionamento all'interno della "L.I.": bisogna prestare attenzione a non porre ostacoli di fronte ai fascetti acustici. I fascetti acustici sono emessi perpendicolarmente alle facce dei trasduttori (quindi a 20° rispetto alla normale), ogni fascetto ha una divergenza naturale di 2° ed è bene lasciar libero da ostacoli un settore angolare di 15° attorno all'asse del fascetto stesso. Bisogna altresì evitare che lo strumento possa inclinarsi, rispetto alla verticale, per più di 20°.

Il "Monitor ADCP", a 300KHz, può misurare correnti con velocità comprese nell'intervallo 0÷5 m/s con una risoluzione che dipende dalla configurazione scelta; è possibile misurare la corrente per



celle di 4m fino a circa 170m di distanza dallo strumento con risoluzione pari a 0.5cm/s. La direzione della corrente è misurata con la precisione di 0.5 gradi.

Lo strumento può comunicare su porta seriale (RS-232 o RS-422) ad una “baud rate” selezionabile nell’intervallo 1200-115.400 (dipende dalla lunghezza del cavo di connessione).

Lo strumento deve essere alimentato con 20÷60V DC, il consumo va da ~50mW (a 35V) se l’ADCP è in “stand by” a 115W (a 35V) durante l’emissione dei segnali acustici. L’intensità del segnale acustico emesso è direttamente proporzionale alla tensione di alimentazione, per massimizzare quindi il rapporto segnale/rumore la tensione di alimentazione sarà scelta vicino al valore massimo possibile.

Misure di Salinità e Temperatura

Normalmente le misure di salinità e di temperatura sono possibili tramite dei CTD, strumenti che, durante l’immersione forniscono il valore della Conducibilità e Temperatura assieme al valore della profondità (Depth). Questi strumenti hanno un sistema di acquisizione, capacità di immagazzinare dati e di trasmetterli su un cavo di connessione.

Nel nostro caso non sarà necessario misurare la profondità (lo strumento è fisso su una stringa ancorata sul fondo) e sarà sufficiente avere la possibilità di trasmettere i valori misurati direttamente su porta seriale.

Abbiamo selezionato due strumenti della Sea-Bird Electronics:

- SBE 37-SI MicroCAT
- SBE 16 SeaCAT

I due strumenti hanno una grande accuratezza nella misura della conducibilità (una risoluzione pari a 10^{-4} S/m nel range 0÷7 S/m) e della temperatura (risoluzione di 10^{-4} °C nel range -5÷35°C). Sono realizzati in Titanio ed altri materiali non soggetti a corrosione e godono di grande stabilità nelle misure di Temperatura e Conducibilità ($C \sim 3 \cdot 10^{-4}$ S/m per mese, $T \sim 2 \cdot 10^{-4}$ °C per mese) sono pertanto ideali per misure di lunga durata. La conducibilità è misurata in una “internal-field conductivity cell” in modo tale che il CTD è insensibile al fouling esterno e permette l’uso di speciali “trappole” per inibire il fouling interno.

Le principali differenze fra i due strumenti sono:

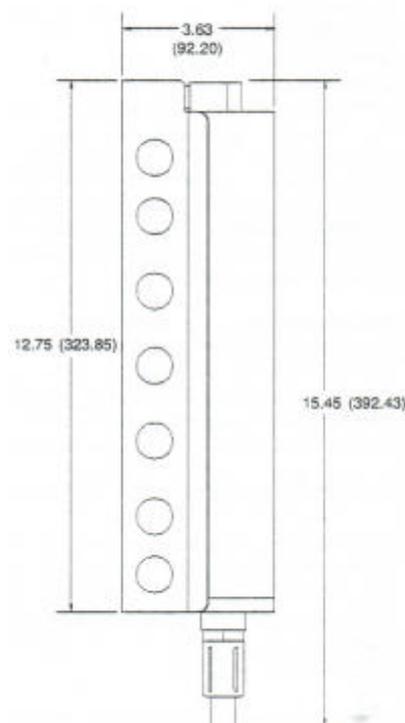
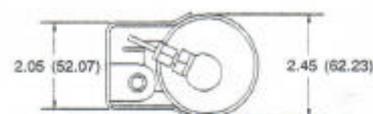
- SBE 37-SI, non ha batterie nè memorie (SI sta per Serial Interface) e non può includere altri sensori (come ad esempio il sensore per l’Ossigeno Disciolto)
- SBE 16 può essere utilizzato come registratore di CT e può ospitare numerosi sensori.

Nella “L.I.” potranno essere installati tre CT monitors: alle due estremità installeremo due SBE 37-SI, al centro un SBE 16 (equipaggiato con una sonda per ‘Ossigeno Disciolto’).

Tutti questi strumenti possono trasmettere dati su porta seriale (in



SBE 37-SI MicroCAT CT Monitor



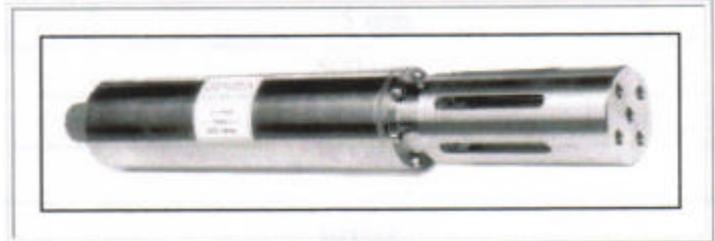
Dimensions in inches (millimeters)

RS232 o eventualmente in RS485) nel formato "ASCII engineering units", i coefficienti di calibrazione dei sensori sono infatti disponibili nella EEPROM.

Gli strumenti possono essere alimentati con $7\div 15V$ DC; per lo SBE-37 si ha una corrente di quiescenza pari a 10 A e, durante l'acquisizione, pari a 40mA (per lo SBE-16 la corrente di quiescenza è di 50 A e quella durante la fase di acquisizione dipende dal numero di sensori).

Il "Sound Velocimeter"

Questo strumento fornisce una misura diretta della velocità del suono in acqua. In ognuna delle tre stazioni della "L.I." (in cui saranno anche alloggiati i CT) utilizzeremo lo stesso strumento (prodotto dalla GENISEA: QUUX-3A(A)) inserito



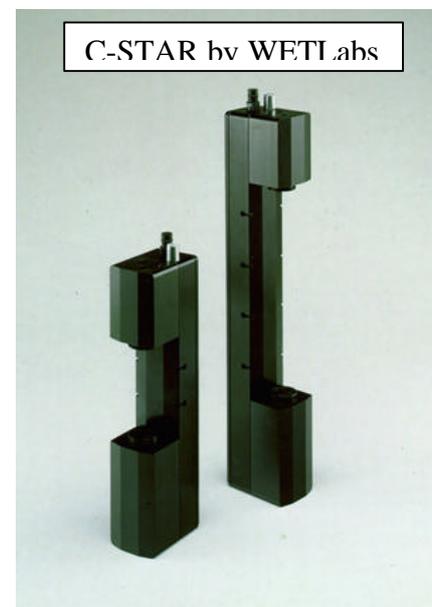
GENISEA Sound Velocimeter

nel telescopio per neutrini ed utilizzato per il controllo della posizione dei moduli ottici.

Lo strumento è realizzato in Titanio per resistere alla corrosione (nominalmente può resistere a 6000m di profondità) e permette misure della velocità del suono nell'intervallo $1400\div 1600$ m/s con un'accuratezza di 0.1 m/s. Permette un collegamento su porta seriale, a 19200 baud, con protocollo RS232 (come opzione si può utilizzare RS485) per la trasmissione di dati e comandi.

Misura delle proprietà ottiche dell'acqua.

Per la scelta dello strumento necessario per queste misure abbiamo alcune possibilità. L'esperienza accumulata in NEMO-RD ci insegna che una misura per tempi lunghi del coefficiente di attenuazione dell'acqua marina richiede uno strumento delicato ed attualmente non esistente. Proponiamo di sviluppare un tale strumento sulla base di modifiche da apportare ad uno strumento già esistente (ma attualmente dedicato alla misura del coefficiente di attenuazione) descritto nel paragrafo successivo: il C-STAR prodotto da WetLabs. Proponiamo di equipaggiare tale strumento con un tubo specchiato internamente (come nel caso dell'AC9) per raccogliere, sul detector posto alla fine del percorso ottico in acqua, tutta la luce non assorbita. Il tubo dovrà essere equipaggiato con una pompa e con un sistema di inibizione del fouling sulle pareti specchiate. Contrariamente all'AC9 lo strumento funzionerà con un LED a 470nm.



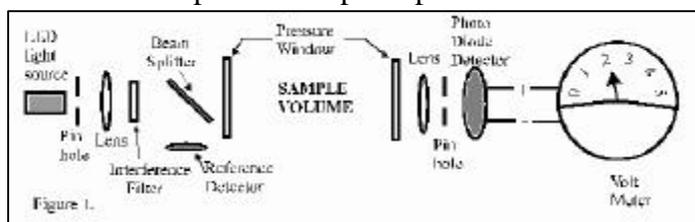
Per la misura del coefficiente di attenuazione dell'acqua abbiamo due possibilità.

- Una soluzione prevede di utilizzare lo strumento C-STAR (WetLabs) cui ci si riferiva precedentemente. Il C-STAR è realizzato con un contenitore monolitico in duralluminio anodizzato (certificato per 6000m di profondità) che include un sistema opto-elettronico altamente integrato garantendo, per un costo limitato, una soluzione compatta per misure sottomarine di trasmittanza. Lo strumento può campionare l'acqua contenuta in un tubo, internamente nero, interposto fra la sorgente di luce ed il rivelatore, oppure direttamente l'acqua contenuta liberamente (senza tubo) fra sorgente e rivelatore. Se non si usa il tubo si può evitare l'accumulo di sedimenti sulle finestre ottiche posizionando lo strumento orizzontalmente (con le finestre ottiche verticali). Utilizzando il

tubo l'acqua deve essere rinnovata al suo interno con l'ausilio di una pompa e si può/deve prevedere di equipaggiare lo strumento di veleni che inibiscano la crescita di materiale biologico (fouling). Lo strumento può essere realizzato con lunghezza del cammino ottico pari a 10cm o 25cm.

Lo strumento che noi useremo (con cammino ottico pari a 25cm) ha un peso in aria pari a 3.6 kg ed in acqua di 2.7 kg. La figura sottostante mostra lo schema operativo di principio dello strumento.

Un fascio di luce fortemente collimata prodotta da un LED a 470nm viene inviata, tramite una finestra ottica, in un volume d'acqua lungo 25cm. Prima della finestra ottica una parte del fascetto luminoso viene inviata su un rivelatore che fornisce quindi una misura dell'intensità della sorgente. Un rivelatore posto al di là del volume d'acqua,

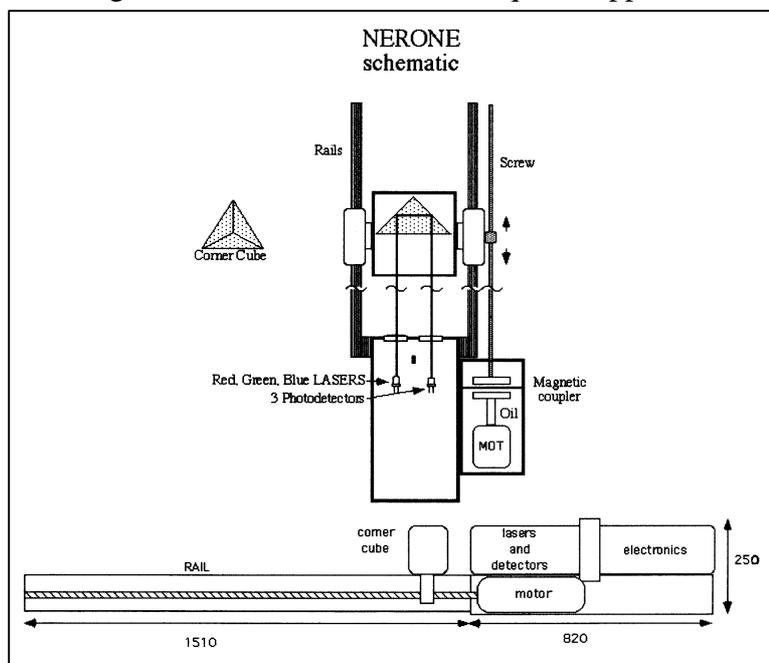


dopo un opportuno foccheggiamento, misura l'intensità del fascio luminoso che sfugge ai fenomeni di assorbimento e di diffusione in acqua. C-STAR fornisce in uscita un valore di tensione (segnale analogico compreso fra 0 e 5V) proporzionale alla trasmittanza ($T_r = e^{-cx}$ dove $x=25\text{cm}$) calcolata come rapporto fra l'intensità della luce misurata dal rivelatore a fotodiode posto dopo il cammino ottico in acqua ed il rivelatore di riferimento. La divergenza angolare del fascetto luminoso che entra nel campione d'acqua è pari a ~ 0.8 mentre l'accettanza angolare del fotodiode è pari a ~ 1 in acqua. L'acquisizione della misura effettuata da C-STAR necessita di un circuito di digitizzazione del segnale analogico presente in uscita. L'elettronica del telescopio per neutrini conterrà convertitori analogici-digitali (ADC) per canali di slow control e quindi potrà offrire una soluzione rapida e soddisfacente alla necessità di acquisire il segnale del C-STAR. Lo strumento ha una risoluzione di 2mV sul segnale di uscita; tenendo conto che la misura del coefficiente di attenuazione può essere ottenuta da $c = -1/x * \ln((V_{sig}-V_{pedestal})/(V_{ref}-V_{pedestal}))$ possiamo valutare la risoluzione sul valore della lunghezza di attenuazione così calcolabile. Se la lunghezza di attenuazione è dell'ordine di 50m la risoluzione aspettata è dell'ordine di $\pm 4\text{m}$.

C-STAR è alimentato con 7-15 V DC e richiede una potenza pari a $< 300 \text{ mW}$.

- La seconda soluzione per la misura della lunghezza di attenuazione dell'acqua è rappresentata da

NERONE, lo strumento attualmente in fase di sviluppo presso i Laboratori Nazionali di Frascati (INFN) e presso la Sezione INFN di Cagliari nell'ambito del progetto NEMO. Questo strumento, rappresentato schematicamente dalla figura a fianco, permette di misurare direttamente il coefficiente di attenuazione per tre lunghezze d'onda cambiando il cammino ottico della luce in acqua nell'intervallo $0 \div 3\text{m}$. La luce è generata da tre laser (rosso, verde e blu) che garantiscono la collimazione della luce emessa, ed è rivelata da tre diversi pin-diodes. Il cammino ottico della luce in acqua è variato modificando la posizione, rispetto ai



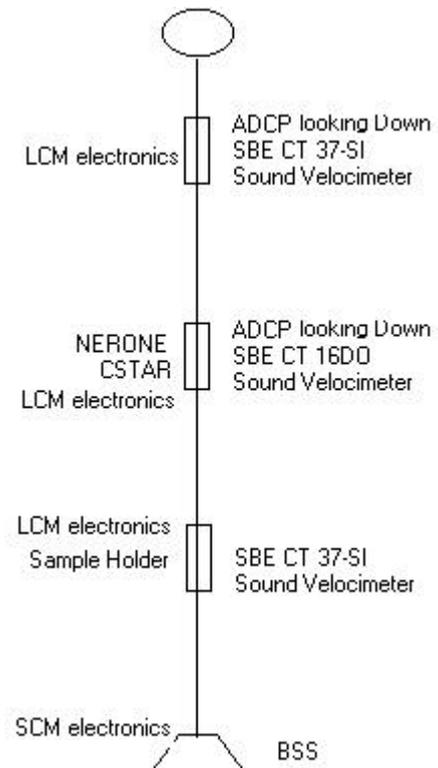
laser, di un "corner-cube" che riflette la luce verso i pin-diodes. I laser ed i pin-diodes sono nello stesso recipiente (in Titanio per resistere alla pressione ed alla corrosione) il corner cube in un contenitore (sempre in Ti) separato. Il prototipo di NERONE è stato realizzato ed è attualmente in fase di test a Frascati. Presto sarà quindi possibile definire quali dimensioni di NERONE saranno

necessarie per ottenere la sensibilità richiesta ($\sim 10^{-2} \text{ m}^{-1}$) sulla misura del coefficiente di attenuazione. NERONE contiene un'elettronica per l'elaborazione dei segnali e comunicherà con l'elettronica di acquisizione tramite una porta seriale RS232.

Il consumo globale di NERONE non è attualmente ben definito, è alimentato con 12 V DC con una corrente di quiescenza $< 100 \text{ A}$. Si prevede che richiederà $< 35 \text{ W}$ su 12V durante le misure. Il costo indicato è una stima ragionevole del costo "commerciale" dello strumento.

Set-up sperimentale

Nella figura a fianco rappresentiamo lo schema di principio della Linea Instrumentata: una stringa composta da tre settori (posti circa 100-150m di distanza tra di loro). In ogni settore sono presenti le sonde per la misura di Conducibilità e Temperatura e lo strumento per la misura della velocità del suono. Nella stazione centrale saranno alloggiati gli strumenti per la misura delle proprietà ottiche dell'acqua (NERONE, C-STAR). Nella stazione centrale ed in quella più alta saranno alloggiati due ADCP (nella figura si propone di posizionarli rivolti verso il basso per evitare ogni effetto di deposito di sedimenti sui trasduttori acustici). In ogni stazione è presente il contenitore con l'elettronica sviluppata per il telescopio per neutrini (LCM), sul fondo della stringa il contenitore con l'elettronica per la trasmissione di dati, comandi e potenza. La L.I. potrà alloggiare anche sistemi di calibrazione dei tempi, contenitori di campioni di materiali (metallici o compositi), magnetometri ed altri strumenti in fase di R&D.



Stima dei costi

La stima dei costi per la realizzazione della stringa instrumentata parte dal presupposto che la meccanica ed il sistema di trasmissione dei dati, dei controlli e della potenza vengano mutuati dal telescopio per neutrini e non comportano oneri. I costi (in Euro) sono comprensivi di IVA, di trasporto e di eventuali dazi di introduzione nella comunità europea.

Item	Costo Unitario	Totale
- Profilatore Acustico di corrente (RDI-MONITOR 300KHz)	41300	82600
- 3 Misuratori della velocità del suono (Genisea-Ti)	13000	39000
- 1 CTD Sea Bird 16 DO	21500	21500
- 2 CTD Sea Bird 37-SI	5900	11800
- 1 sistemi di misura dell'attenuazione della luce	20000	20000
- 1 sistemi di misura dell'assorbimento della luce	40000	40000

Il costo totale della strumentazione necessaria per la costruzione della "Linea Instrumentata" (aggiornato al 18-12-00 e comprensivo di IVA, dazi e trasporti) ammonta quindi a ~ 215.000 Euro per la sola strumentazione.