

Rapporti tecnici

INGV

MUDDY 1: Prototipo di un robot per il campionamento “step by step” di gas dai sedimenti lacustri

283



Editorial Board

Andrea Tertulliani - Editor in Chief (INGV - RM1)
Luigi Cucci (INGV - RM1)
Nicola Pagliuca (INGV - RM1)
Umberto Sciacca (INGV - RM1)
Alessandro Settimi (INGV - RM2)
Aldo Winkler (INGV - RM2)
Salvatore Stramondo (INGV - CNT)
Gaetano Zonno (INGV - MI)
Viviana Castelli (INGV - BO)
Marcello Vichi (INGV - BO)
Sara Barsotti (INGV - PI)
Mario Castellano (INGV - NA)
Mauro Di Vito (INGV - NA)
Raffaele Azzaro (INGV - CT)
Rosa Anna Corsaro (INGV - CT)
Mario Mattia (INGV - CT)
Marcello Liotta (Seconda Università di Napoli, INGV - PA)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano
Tel. +39 06 51860068
Fax +39 06 36915617
Rossella Celi
Tel. +39 095 7165851
redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici

INGV

MUDDY 1: PROTOTIPO DI UN ROBOT PER IL CAMPIONAMENTO “STEP BY STEP” DI GAS DAI SEDIMENTI LACUSTRI

Pasquale Mario Nuccio¹, Paolo Cosenza¹, Antonio Caracausi¹, Luigi Foresta Martin¹, Gabriele Galli²,
Giuseppe Riccobono¹, Rocco Favara¹

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo)

²I.A.M.C. - C.N.R. (Sezione di Capo Granitola)

283

Indice

Introduzione	7
1. Il robot	8
1.1 Strutture ed Assetto del robot	9
1.2 Sistema per la captazione e campionamento dei gas “step by step”	10
1.3 Controllo degli attuatori pneumatici	13
1.4 Gestione e controllo delle sonde di pH e temperatura	13
1.5 Monitoraggio e verifica delle operazioni del robot	16
1.6 Sistema di sollevamento motorizzato (verricello)	18
1.7 Procedure operazionali	18
Bibliografia	19

Introduzione

I sedimenti lacustri costituiscono una sorgente di metano, dove le modificazioni stagionali e l'apporto di nuovi sedimenti favoriscono la crescita di colonie batteriche specializzate sia nella produzione del metano che nella sua eventuale ossidazione, anche anaerobica.

La genesi del metano in ambienti di acqua dolce è riconducibile all'attività di complessi sistemi biologici che riducono la CO_2 e/o alla fermentazione dell'acetato che, nello stesso tempo, produce una molecola di CO_2 per ognuna di CH_4 [Whiticar et al., 1986]. Quindi, i processi biologici, legati alla genesi del metano, producono insieme sia l'abbattimento che la produzione della CO_2 , sia pure con caratteristiche isotopicamente contraddistinte.

Tali processi sono chiaramente documentati in bibliografia, ed in alcuni casi presentano una distribuzione disordinata delle comunità batteriche specializzate, per esempio nei laghi olomittici (in cui vi è un'azione di rimescolamento per il movimento delle acque). In contrasto, nei laghi meromittici viene normalmente osservata una distribuzione verticale regolare, a partire dall'interfaccia colonna d'acqua/sedimenti [Zepp Falz et al., 1999; Borrell et al., 2012].

Lo studio geochimico del metano e della CO_2 prodotti nei sedimenti lacustri, costituisce spesso la migliore base per acquisire informazioni essenziali riguardanti aspetti che trascendono quello microbiologico e possono paradossalmente interessare l'origine inorganica di fluidi presenti nei laghi craterici. Infatti, la frequente presenza di specie carbonatiche disciolte (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}) nelle acque dei laghi può avere origine sia organica (fermentazione della sostanza organica, fotosintesi), che inorganica (dissoluzione di rocce carbonatiche, degassamento di magmi, ecc.). Anche il metano può essere generato dalla sintesi inorganica, sia pure in casi particolari ed in ambienti generalmente geotermici con temperature e pressioni superiori a quelle ambientali.

La possibilità di distinguere i vari processi genetici, e quindi l'opportunità di stimare l'apporto di CO_2 biogenica, è soprattutto legata alla caratterizzazione isotopica del carbonio della CO_2 e del CH_4 , nonché a quella dell'idrogeno del metano [Whiticar, 1999]. Tuttavia, la complessità e la sovrapposizione di più processi, sia genetici che ossido-riduttivi, richiedono l'adozione di specifiche metodologie di campionamento ed analisi.

A tale scopo è stata progettata e realizzata un'apparecchiatura semiautomatica per il campionamento "step by step" di gas dai sedimenti lacustri, in grado cioè di effettuare campionamenti a varie profondità dei sedimenti fino all'interfaccia della colonna d'acqua/sedimenti. Il robot può memorizzare alcuni parametri chimico-fisici, come pH e temperatura con frequenza di acquisizione definita da un operatore posto in superficie, lungo il profilo verticale dei sedimenti interessati dal campionamento di gas.

Dopo numerosi test di funzionamento (sia nelle singole parti, sia del sistema integrato) e di assetto in vasca, il prototipo del robot, denominato MUDDY 1, è stato collaudato nel Lago Piccolo di Monticchio (fig. 1), un lago craterico meromittico sito sulle pendici del vulcano Vulture in Basilicata; sono state misurate quantità rilevanti di CO_2 e CH_4 [Caracausi et al., 2009; 2013] e sono state verificate le sue capacità operative nell'ambiente lacustre.

Vengono di seguito descritte le caratteristiche costruttive e funzionali dell'apparecchiatura realizzata.



Figura 1. In primo piano il Lago Piccolo di Monticchio (vulcano Vulture).

1. Il robot

Le funzioni e sequenza operativa del robot sono riassunte nello schema a blocchi di fig. 2:

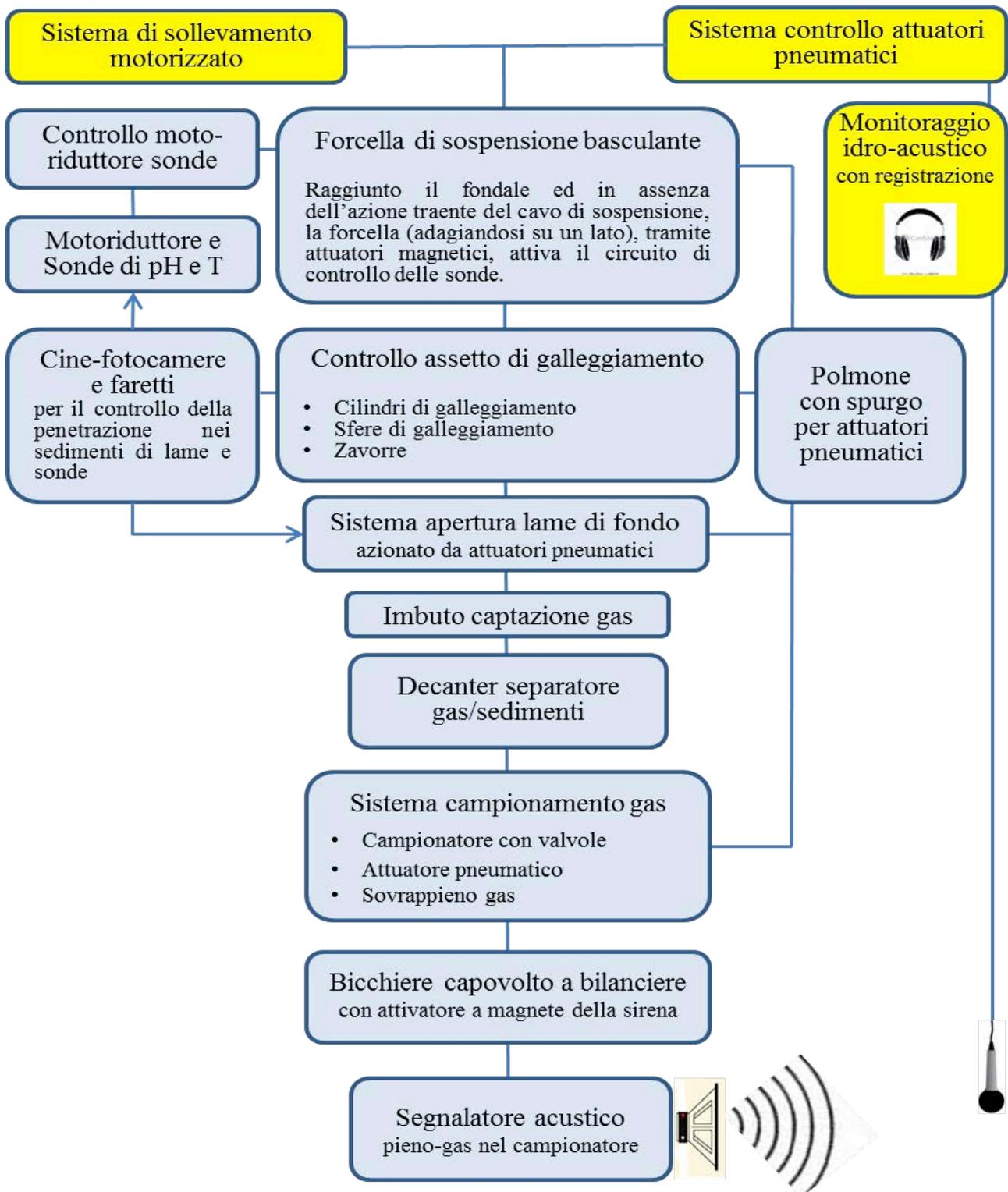


Figura 2. Schema funzionale del robot Muddy 1. I blocchi in giallo rappresentano alcune funzioni di controllo sul robot operate dall'utente per via remota.

Le principali caratteristiche sono:

1. peso totale di circa 85 kg;
2. sistema di galleggiamento con assetto variabile per operare in immersione (Sezione 1.1);
3. acquisizione in continuo di mini profili verticali di parametri chimico-fisici (pH e temperatura) con penetrazione delle sonde nei sedimenti lacustri, prelievo di gas, previa rimozione di sedimenti per spessori compresi tra i 5 ed i 15 cm;
4. monitoraggio delle operazioni sott'acqua tramite due videocamere subacquee, assistite da faretto d'illuminazione a LED;
5. collegamento tra il robot e la superficie realizzato tramite un cavo con calza in acciaio e tubicino coassiale per il trasferimento dell'aria compressa agli attuatori pneumatici (Sezione 1.3).

1.1 Struttura e assetto del robot

L'apparato presenta una struttura realizzata in acciaio inox con altri elementi in Ertacetal; questa è dotata di una coppia di pattini galleggianti tubolari in PVC-U PN 10, ciascuno della lunghezza di 150 cm e Ø 16 cm, che assicurano un equilibrio idrostatico sia in fase di galleggiamento, che durante l'immersione.

Per un corretto assetto idrostatico, è possibile modificare la posizione dei pattini tubolari in PVC in funzione della distribuzione delle masse degli elementi che costituiscono il robot fino al raggiungimento dell'equilibrio delle forze distribuite e la posizione ottimale del suo centro di massa.

Un sistema di zavorre con quattro sfere galleggianti facilmente asportabili permette all'apparato di galleggiare e consente le operazioni di preparazione, trasporto a traino sulla superficie libera dell'acqua di un lago (fig. 3 e 4). Raggiunto il punto prescelto per il prelievo dei gas in profondità, le quattro sfere vengono rimosse per lasciare che il robot possa procedere nella sua immersione (fig. 5) sostenuto da un cavo di sospensione.

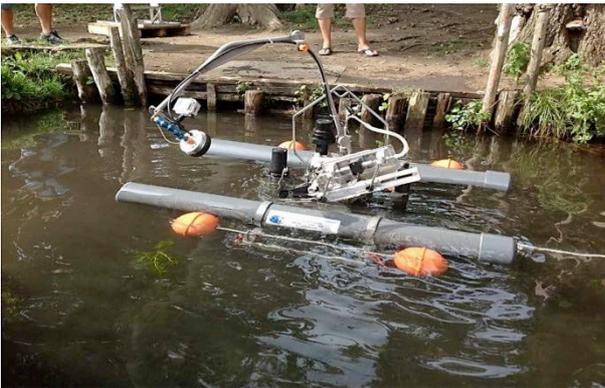


Figura 3. I due pattini tubolari del robot con due coppie di sfere per il galleggiamento addizionale.



Figura 4. Il robot Muddy 1 rimorchiato da un pedalò fino al punto d'immersione.



Figura 5. Sistema rapido dell'assetto di galleggiamento. Una levetta snodabile (1) ed una spina elastica di blocco (2) facilitano la sostituzione delle sfere di galleggiamento (3) con le zavorre (4).

Il cavo di sospensione (fig. 6) è costituito da un tubicino con innesto assiale, necessario per fornire aria compressa al robot, e una calza in acciaio avente una funzione portante. Il tubicino per l'aria compressa è stato separato dalla calza d'acciaio mediante un dispositivo meccanico (1) posto in prossimità del robot. Mediante lo stesso dispositivo, la calza in acciaio (2) è collegata al robot mediante un cavetto in acciaio inox (2) agganciato alla forcella basculante (3). Durante la discesa il cavo di sospensione è in trazione e la forcella rimane in posizione verticale. Raggiunto il fondale viene meno l'azione di trazione del cavo, consentendo alla forcella di ruotare e di attivare il sistema motorizzato di penetrazione nei sedimenti delle sonde di pH e temperatura (Sezione 1.4).

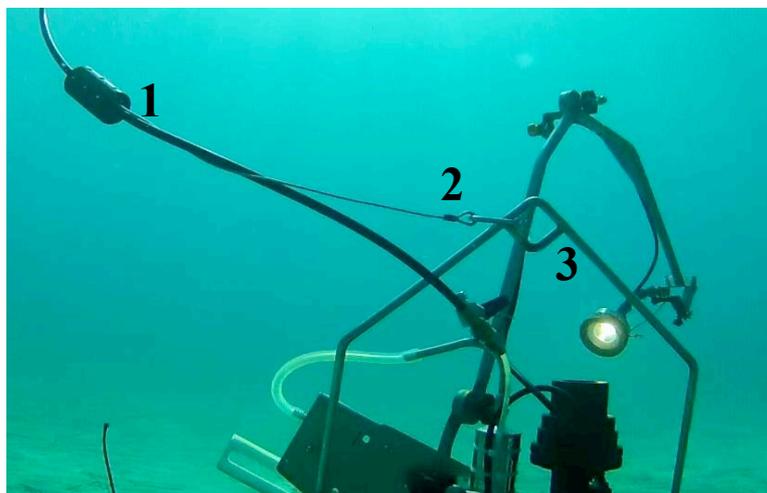


Figura 6. Sistema di sospensione del robot mediante forcella basculante e cavo di collegamento al verricello di superficie (Sezione 1.6).

1.2 Sistema per la captazione e campionamento dei gas “step by step”

La porzione centrale del robot è occupata da un imbuto rovesciato, a base quadrata (20 x 40 cm), per la cattura dei gas, il cui fondo è chiuso da due piastre orizzontali in acciaio inox simmetriche, collegate a delle molle per l'apertura automatica, e su ciascuna delle quali è solidale una lama verticale rivolta verso il basso intercambiabile, con altezza compresa tra i 5 ed i 15 cm.

Inizialmente le due piastre (fig. 7 e 8) sono tenute chiuse da due spine collegate a due pistoni pneumatici (1) ed inserite in due fori di blocco presenti sulle stesse piastre. Quando gli attuatori sono attivati, le due spine rilasciano le piastre che vengono tirate dalle molle in modo di aprire la base dell'imbuto, mentre le lame penetrate nel fondale lacustre spostano lateralmente lo strato superficiale dei sedimenti.

Per evitare che l'acqua possa compromettere il circuito pneumatico, l'aria espulsa in seguito all'attivazione degli attuatori pneumatici, viene incamerata all'interno di un polmone cilindrico in acciaio inox (fig. 9), dotato in basso di una valvola di spurgo per l'acqua eventualmente penetrata nel circuito ad aria.



Figura 7. Le spine (1) di due attuatori pneumatici (2) inserite nei fori delle piastre (3), assicurano la chiusura della base dell'imbuto di captazione gas. L'azione degli attuatori libera le piastre, che vengono aperte per effetto delle molle di trazione (4).



Figura 8. Le piastre di fondo in posizione di apertura. Visibile uno dei due attuatori pneumatici e le molle di trazione per l'apertura delle piastre.



Figura 9. Polmone in acciaio inox (1) con valvola *swagelok* posta in basso (2).



Figura 10. Imbuto di captazione (1) collegato al decanter (2).



Figura 11. Rappresentazione 3D del decanter per la separazione dei gas dalla sospensione di acqua e sedimenti.

L'imbuto ha la funzione di convogliare i gas rilasciati dai sedimenti verso un dispositivo di decantazione necessario per separare il materiale in sospensione eventualmente trasportato (fig. 10 e 11). All'interno di questo sistema il getto di *acqua + materiale in sospensione + gas* (fig.11, n.1) viene deviato da un deflettore semi-sferico (2) verso il fondo del dispositivo, dove la miscela *acqua + materiale in sospensione* si separa per gravità e viene eliminata attraverso tre tubicini di scarico (3), mentre la componente gassosa intrappolata nella parte alta della piccola camera può accedere al condotto verso un contenitore di campionamento. Per prevenire che tutto il circuito di campionamento possa essere affetto da contaminazioni d'aria, una valvola manuale *swagelok* (4), viene aperta in modo da riempire tutto il circuito di campionamento con acqua.

Il campionatore (fig. 12) ha due valvole di chiusura *swagelok* (una in entrata ed una in uscita) controllate insieme da due leve di acciaio (2) che possono essere ruotate mediante un attuatore pneumatico (1) (C76E40-50T-XC6B, con ritorno a molla).

Durante il campionamento, il gas intercettato penetra dalla valvola alta nella bottiglia inizialmente piena d'acqua, costringendo quest'ultima a defluire attraverso la seconda valvola *swagelok* posta in basso (fig.13). Quando il gas avrà vuotato completamente la bottiglia, verrà indirizzato tramite un tubicino inox (\varnothing 1 mm) verso un dispositivo di segnalazione acustica per indicare il completamento del campionamento.

Tale dispositivo è formato da un bicchierino di plastica capovolto (vd. n.2 fig. 13 lato destro), montato su un bilanciere asimmetrico e da un cilindro cavo in Ertacetal (vd. n.3 fig. 13 lato destro) contenente un interruttore magnetico (tipo *reed*) collegato ad una scheda elettronica per l'attivazione di una sirena. Sulla parete esterna del bicchierino è sistemato un magnete che innesterà il *reed* quando il bicchierino viene spinto verso l'alto dal gas in eccesso.

In condizioni di riposo, la posizione del bicchiere e quindi dal magnete (alcuni centimetri sotto il *reed*) non è in grado di azionare il relè magnetico. Quando il gas in eccesso proveniente dalla bottiglia comincerà a riempire il bicchierino, generando una spinta di galleggiamento verso l'alto che porterà il magnete ad un'altezza sufficiente all'attivazione del *reed* e della sirena, il cui segnale di completamento del campionamento del gas può essere raccolto all'operatore in superficie tramite un idrofono amplificato e connesso a delle cuffie (fig. 20).

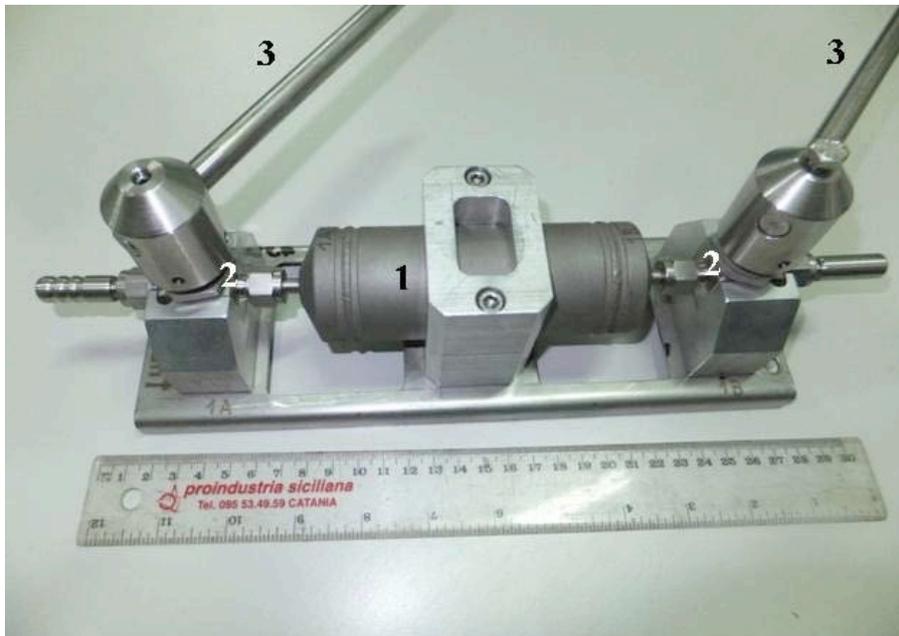


Figura 12. Bottiglia di campionamento in acciaio inox (1). Le due valvole swagelok (2) sono azionate da un attuatore pneumatico tramite due leve (3).



Figura 13. Sistema di campionamento dei gas e dispositivo per l'attivazione di una sirena.

Per il campionamento dei gas sono utilizzate due tipologie di contenitori di campionamento: una con volume interno di 24 cc, da impiegare quando il flusso/accumulo aspettato di gas dai sedimenti sia piccolo; l'altra con volume di oltre 105 cc, qualora flusso/accumulo aspettato di gas dai sedimenti sia relativamente alto.

1.3 Controllo degli attuatori pneumatici

L'aria compressa per l'azionamento degli attuatori pneumatici su l robot viene fornita da un compressore da 7 bar (modello KNF-09, 12 V. DC, 5.2 A) realizzato da una coppia di pompe elettriche a membrana. Una leva manuale (dotato di manometro) viene utilizzata per la regolazione e la deviazione dell'aria compressa (fig. 14). La stessa pompa può essere impiegata per praticare il vuoto nelle bottiglie supplementari per la raccolta dei campioni prelevati col Muddy1.

Il comando pneumatico viene trasmesso al robot attraverso il tubicino rivestito di calza in acciaio descritto nella sezione 1.1, avvolto in un rocchetto "avvolgicavo" per facilitare le operazioni di immersione/sollevarmento del robot (fig. 15).



Figura 14. Valigetta contenente le pompe per la generazione di aria compressa e la batteria a 12 V. In alto a sinistra è visibile la leva di controllo.



Figura 15. Rocchetto avvolgicavo, con terminale d'innesto per l'aria compressa.

1.4 Gestione e controllo delle sonde di pH e temperatura

Le misure dei parametri chimico-fisici vengono eseguite mediante due sonde a penetrazione, KP70 per la misura del pH con elettrodo combinato (corpo in resina epossidica e punta in vetro) ed una sonda a termoresistenza Pt100 per la misura della temperatura. L'acquisizione viene gestita da un data-logger Delta Ohm HD2105.2 (fig. 16), con la capacità di registrare fino a 34.000 dati.

L'insieme di data-logger, scheda elettronica per il controllo del movimento delle sonde e batterie, è collocato all'interno di un contenitore cilindrico in acciaio inox pressurizzato (6) le cui estremità sono provviste di chiusure flangiate (7) ed *o-ring* per assicurarne la tenuta stagna.

La logica di controllo per la movimentazione delle sonde è costituita (fig. 14):

- Un microcontrollore (Pic16F886) con software scritto in linguaggio C (Hi-TECH C).
- Una sezione di regolazione della tensione (L7805-CV) per l'alimentazione del microcontrollore e vari componenti periferici.
- Una sezione di regolazione della tensione (L7809-CV) per l'alimentazione del motoriduttore epicicloidale.
- Un relè (Takamisawa NA4.5W) in configurazione invertente per la alimentare il motoriduttore epicicloidale.

L'elettronica è alimentata attraverso l'attivazione manuale di un *reed* posto sul tappo superiore del contenitore A con un pacco batterie NiMH 9.6V, 3000mAh.

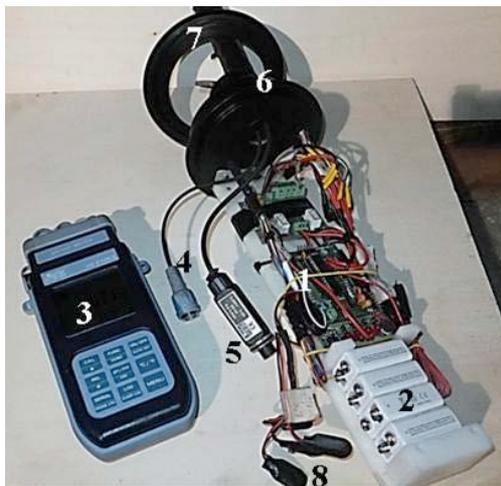


Figura 16. La scheda elettronica (1) per il controllo del movimento verticale delle sonde, le batterie (2) ed il data-logger (3).

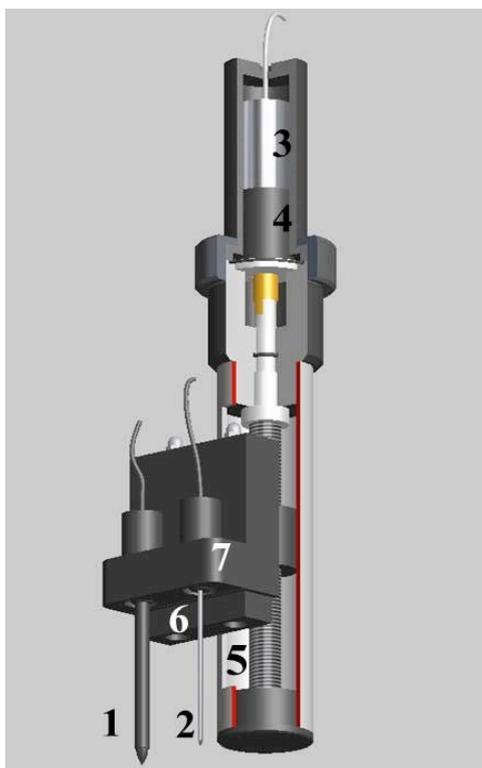


Figura 17. Modello 3D dell'apparato per la penetrazione delle sonde di pH (1) e temperatura (2) nei fondali. Moto-riduttore epicicloidale (4); vite senza fine (5); supporto principale (6) collegato per mezzo di una molla tarata al porta-sonde (7).

Le sonde per l'acquisizione dei parametri chimico-fisici comunicano col *datalogger* per mezzo di due cavetti impermeabili. Attraverso opportuni accorgimenti meccanici ed utilizzando una resina epossidica bicomponente (MC28), specifica per uso marino, è stata assicurata la tenuta del contenitore nei punti d'inserzione dei cavi.

Le due sonde, non specifiche per uso sottomarino, sono state opportunamente impermeabilizzate e sigillando i connettori all'interno di appositi supporti con la stessa resina. Le sonde possono attualmente

penetrare nei sedimenti fino a 12 cm per mezzo di un dispositivo meccanico (fig. 17 e 21) che consente un movimento verticale con velocità inferiore a 1 mm/sec, subordinato ai tempi di risposta delle sonde.

Dopo la lettura della temperatura e del pH, le sonde vengono riportate nella posizione iniziale di arresto (posizione di protezione).

La meccanica per la movimentazione lineare delle sonde è costituita da un supporto per il fissaggio delle sonde, vincolato su un carrello attraverso una guida lineare con molla; il carrello ha una chiocciola che scorre su una vite senza fine azionata da un moto-riduttore epicicloidale SOLZI-SI/RID da 12 V DC posto all'interno di un contenitore di tenuta in Ertacetal. Alcuni sensori magnetici di prossimità (*reed*) indicano alla logica di controllo il raggiungimento dei fine corsa. Quando il robot si adagia sul fondo e diminuisce la trazione del cavo di sospensione, la forcella basculante s'inclina parzialmente adagiandosi su uno dei due lati. Uno dei due *reed* magnetici posizionati su entrambi i lati della forcella, attivato dalla posizione inclinata della stessa, segnalerà al sistema di controllo l'adagiamento del robot sui sedimenti del fondale. Il processo (fig. 18) esegue un controllo sulla continuità del segnale proveniente da tali *reed* per un intervallo di tempo prestabilito T1 per assicurarsi che non sia stato generato da una oscillazione occasionale della forcella e che Muddy-1 sia realmente giunto sul fondale. Trascorso il tempo T1 dallo "start" del *reed* della forcella basculante viene attivato il comando di avviamento del motore che spinge il carrello porta-sonde verso il basso; la penetrazione delle sonde si arresta quando si attiva il *reed di fine corsa basso*. Tale escursione coincide con la profondità alla quale penetrano le due sonde nei sedimenti (a meno dell'altezza della messa in sicurezza dei due puntali dalla superficie libera di appoggio). L'acquisizione dati prevede anche un tempo di permanenza delle sonde nel sedimento pari a T3. Trascorso il tempo T3, la logica avvia il motore invertendo il verso di rotazione e riportando il carrello porta-sonde nella posizione di parcheggio (o la posizione di riposo in sicurezza), indicato dall'attivazione di un *reed di fine corsa alto*. La molla (fig. 17) rappresenta un dispositivo di sicurezza: consente l'arresto dell'avanzamento delle sonde qualora una delle due avesse difficoltà a penetrare nei sedimenti (per esempio in presenza di pietre, rami, radici, ecc.). Infatti, se la forza penetrante diventa superiore alla spinta esercitata dalla molla (opportunamente calibrata), il supporto delle sonde non seguirebbe più il movimento imposto dalla vite senza fine, ma scivolerebbe in senso opposto al movimento penetrante, fino al completamento della corsa. Allo stesso tempo, attraverso un *reed* posto sul sistema di protezione, viene segnalato al microcontrollore l'eventuale impedimento al normale movimento di penetrazione nei sedimenti, in modo che l'elettronica possa fermare il carrello evitando di danneggiare il motore ed invertire quindi il movimento riportando le sonde nella posizione iniziale. Per far ripartire il processo (*reset*) occorre riavviare il programma di controllo, spegnendo e riaccendendo l'interruttore generale del sistema.

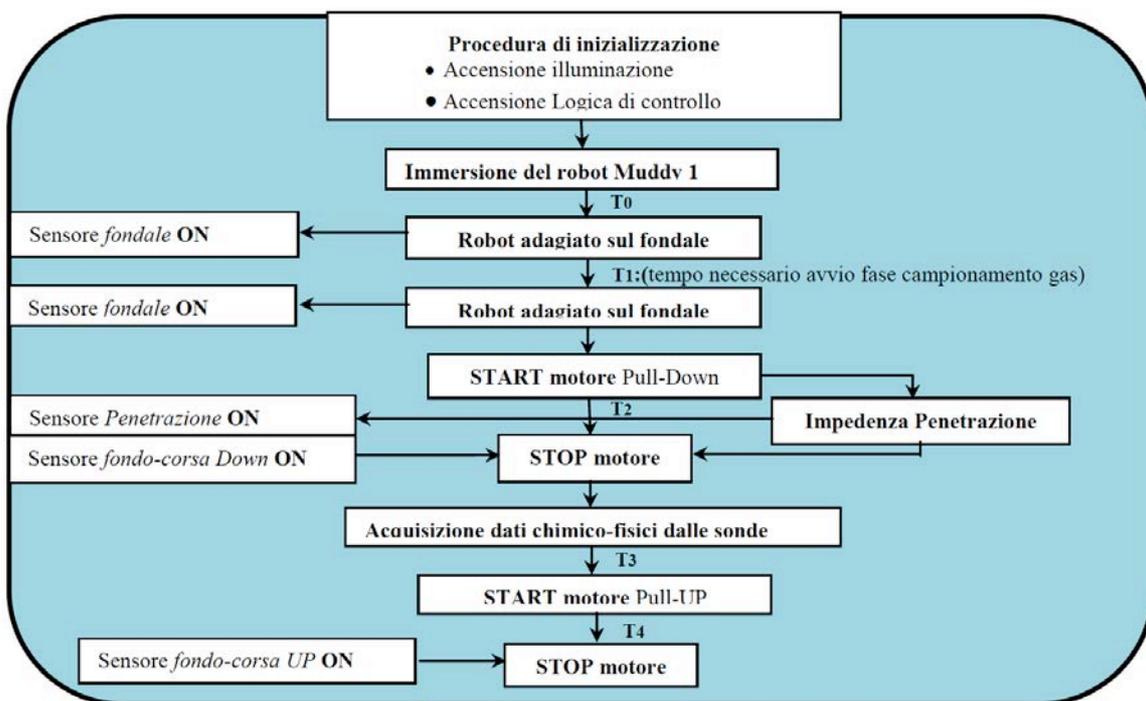


Figura 18. Schema del controllo sonde a penetrazione.

1.5 Monitoraggio e verifica delle operazioni del robot

Come descritto nei paragrafi precedenti, durante l'immersione il robot compie alcune operazioni automatiche (riprese video HD, acquisizione parametri chimico-fisici, segnalazione con allarme acustico del completato campionamento gas) ed altre su comando remoto dall'operatore (apertura del sistema piastre/lame al fondo dell'imbuto di captazione). Durante le fasi di immersione del robot, l'operatore può verificare e validare le operazioni automatiche programmate in superficie utilizzando alcuni strumenti di monitoraggio.

Monitoraggio idro-acustico - tramite l'ascolto in cuffia di un idrofono registratore (fig. 19), l'operatore è in grado di seguire la successione delle principali azioni che vengono svolte sul fondale. Quando viene raggiunto il fondale è necessario verificare la penetrazione delle lame nei sedimenti allo scopo di stabilire da quale strato profondo siano stati captati i gas campionati. Inoltre, l'operatore in superficie ha la necessità di sapere quando il contenitore di campionamento di gas si riempie (attraverso le emissioni acustiche di una sirena) in modo da poter azionare il comando di chiusura delle valvole e mantenere il gas in pressione dentro il campionatore, sia durante la fase di risalita, sia in superficie. Preservare il gas sotto pressione, infatti, è utile per mantenere una buona qualità del campione e per poterlo trasferire in più bottiglie per analisi multiple (duplicati) e differenti (chimica quantitativa mediante gas-cromatografia e isotopi stabili).



Figura 19. Apparato di monitoraggio idro-acustico costituito da un idrofono collegato ad un amplificatore/registratore e da cuffie di ascolto.



Figura 20. Sonda a LED di penetrazione delle lame nei sedimenti.

Controllo penetrazione lame nei sedimenti - Il robot è dotato di una videocamera subacquea (GoPro Hero 2), che registra la penetrazione di una “spina” luminosa (fig. 20). Tale spina, realizzata in acciaio e pexiglass, contiene una fila di LED posti ad intervalli di 2 cm. Quando il robot raggiunge il sedimento di un lago la spina illuminata indica la profondità di penetrazione della lame nei sedimenti lacustri, e da una misura visiva all’operatore della profondità nella quale sono stati prelevati i gas.

Controllo penetrazione sonde nei sedimenti – Analogo controllo visivo occorre per verificare una corretta penetrazioni delle sonde di pH e temperatura, prima che intervenga la protezione per la presenza di eventuali corpi ostacolanti posti nei fondali (sassi, radici, rami). A tale scopo, per rendere visibile attraverso delle immagini il movimento regolare delle sonde durante la loro penetrazione, sono state applicate due tracce graduate (fig. 21) sia sul supporto solidale con la vite senza fine, sia sul supporto delle due sonde.

In condizioni normali le due tracce si muovono insieme rispetto ad un indicatore in rosso (2), mentre si osserverà uno scorrimento nel caso in cui le sonde incontrassero una resistenza alla penetrazione.



Figura 21. Sonde di pH e temperatura con la graduazioni di verifica dell’effettiva entità della loro penetrazione nei sedimenti.

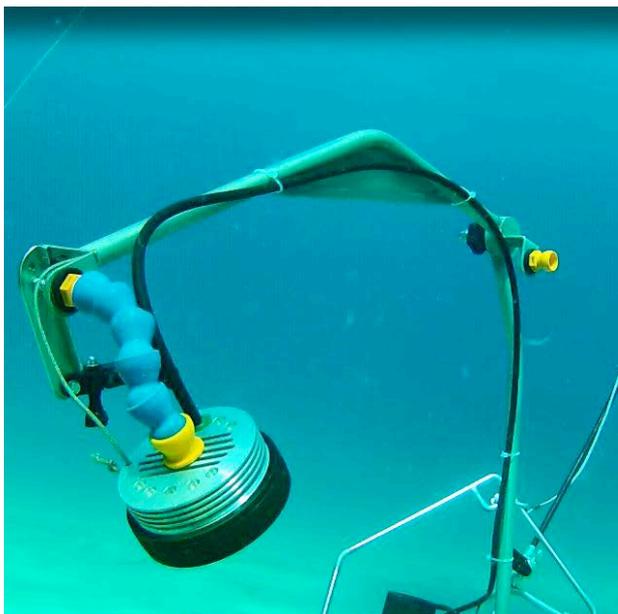


Figura 22. Il faretto d’illuminazione a LED.



Figura 23. Sistema di sollevamento su atollo.

Una seconda videocamera ha la funzione generale di registrare la regolarità delle operazioni ed è assistita da un faretto d’illuminazione a LED a tenuta stagna orientabile manualmente (fig. 22).

La lettura visiva delle due tracce fornisce una stima dell'entità della penetrazione delle sonde e, quindi, dei relativi profili acquisiti.

1.6 Sistema di sollevamento motorizzato (verricello)

Per controllare ed assistere gli operatori durante la fase d'immersione e la risalita dai fondali del robot, è stato allestito un apparato galleggiante di sollevamento elettrico (verricello) (fig. 23), trainabile da un natante tipo pedalò. Esso è costituito da un piccolo traliccio metallico, realizzato su un atollo galleggiante, su cui è montato un sistema a frizione di carrucole dove il cavo principale che sostiene il robot viene tenuto aderente ad una puleggia motorizzata attraverso un sistema di carrucole.

L'avvio/arresto della movimentazione, il verso di marcia e la velocità sono controllate manualmente dall'operatore attraverso una centralina a pulsanti.

1.7 Procedure operative

Dopo aver posto il robot sulla superficie libera dell'acqua, esso manterrà il suo stato di galleggiamento consentendo gli operatori il trasporto a traino di un piccolo natante (pedalò) fino al punto indicato per la sua immersione. Il robot viene agganciato ad un cavo di supporto principale contenente un tubo per l'aria compressa che sarà collegato con il circuito pneumatico di bordo. L'altra terminazione del tubo viene collegato alle pompe per l'aria compressa. Dopo aver posizionato il cavo nel verricello si procede al cambio dell'assetto, sostituendo le sfere utilizzate per il galleggiamento con le zavorre necessarie per la successiva fase di immersione. Viene chiuso l'interruttore generale per dare alimentazione elettrica al robot e l'accensione delle luci a LED. Prima dell'immersione il circuito di campionamento dei gas viene riempito d'acqua tramite l'apertura delle valvole di sfogo, una manuale posta nella parte più alta del circuito, e l'altra (mediante l'attuatore pneumatico dedicato) posta sul contenitore di campionamento. Nello stesso tempo viene rimossa attraverso una piccola valvola manuale l'aria intrappolata nel bicchierino per l'attivazione della sirena. Si avviano le registrazioni video con l'accensione delle due videocamere e si attiva il sistema di monitoraggio acustico immergendo l'idrofono ad almeno 10 m di profondità. A questo punto il robot e le apparecchiature di monitoraggio sono pronte per procedere alla fase di immersione. Il rumore caratteristico dell'aggancio della leva basculante del robot segnalerà all'operatore quando Muddy1 ha raggiunto il fondale del lago (fig. 24). Dopo un ritardo programmato iniziano le fasi di acquisizione dei parametri chimico-fisici e del campionamento dei gas.

Il suono emesso dalla sirena elettronica segnala all'operatore il momento in cui il campionamento del gas è stato completato per procedere successivamente alla chiusura delle valvole della campionatore dei gas ed al recupero del robot in superficie attraverso il verricello.

Una volta che il robot ha raggiunto la superficie libera dell'acqua vengono ripristinate le sfere per mantenerlo a galla rimuovendolo dal verricello. Aperto l'interruttore generale e spente le videocamere, il robot viene rimorchiato in riva per il recupero dei gas campionati in appositi contenitori in cui è stato praticato precedentemente il vuoto.

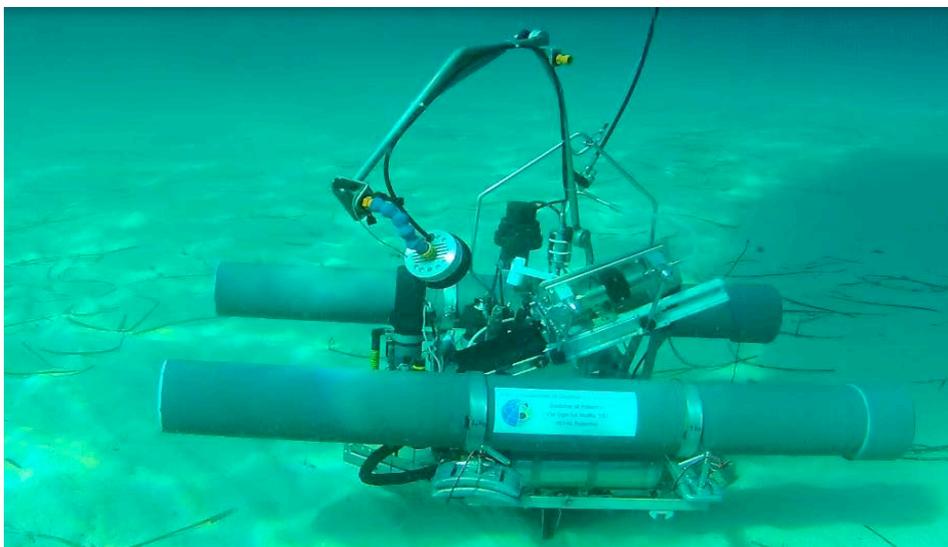


Figura 24. Il prototipo del robot Muddy 1 adagiato su un fondale sabbioso, durante prove di collaudo.

Bibliografia

- Borrel G., Lehours A. C., Crouzet O., Je'ze'quel D., Rockne K., Kulczak A., Duffaud E., Joblin K., Fonty G., (2012). *Stratification of Archaea in the Deep Sediments of a Freshwater Meromictic Lake: Vertical Shift from Methanogenic to Uncultured Archaeal Lineages*. PLoS One. 2012; 7(8): e43346. Published online 2012 August 21. doi: 10.1371/journal.pone.0043346.
- Cioni, R., Marini L., and Raco B., (2006). *Il lago Piccolo di Monticchio: geochimica dei fluidi e valutazione del rischio di eruzione limnica*. In: La Geologia del Monte Vulture, Regione Basilicata, edited by C. Principe, pp. 171–177.
- Caracausi, A., Nuccio P. M., Favara R., Nicolosi M., and Paternoster M., (2009). *Gas hazard assessment at the Monticchio crater Lakes of Mt. Vulture, a volcano in southern Italy*. Terra Nova, 21: 83–87, doi:10.1111/j.1365-3121.2008.00858.x.
- Caracausi A., Nuccio P. M., Favara R., Nicolosi M., Rosciglione A., Paternoster M., (2013). *Geochemical insight into differences in the physical structures and dynamics of two adjacent maar lakes at Mt. Vulture volcano (southern Italy)*. G-cubed, 14 (5): 1411-1434. doi:10.1002/ggge.20111.
- Whiticar, M. J., (1999). *Carbon and hydrogen isotope systematics of bacterial formation and oxidation of methane*. Chem. Geol. 161: 291–314.
- Whiticar, M. J., Faber E., and Schoell M., (1986). *Biogenic methane formation in marine and freshwater environments: CO₂ reduction vs. acetate fermentation—isotopic evidence*. Geochim. Cosmochim. Acta, 50: 693–709.
- Zepp Falz K., Holliger C., Großkopf R., Liesack W., Nozhevnikova A. N., Müller B., Wehrli B., and Hahn D., (1999). *Vertical Distribution of Methanogens in the Anoxic Sediment of Rotsee (Switzerland)*. Applied and Environm. Microbiol., 65 (6): 2402–2408.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia