

# Rapporti tecnici

## INGV

**Installazione di un mini-sistema DAQ  
con idrofono su fondale marino  
in acque basse**

# 139



Istituto Nazionale di  
Geofisica e Vulcanologia

## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



# Rapporti tecnici INGV

## **INSTALLAZIONE DI UN MINI-SISTEMA DAQ CON IDROFONO SU FONDALE MARINO IN ACQUE BASSE**

Sergio Guardato, Massimo Orazi, Antonio Caputo, Ciro Buonocunto

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli - Osservatorio Vesuviano)

# 139



## **Indice**

Introduzione	5
1. L'area di interesse	6
2. Descrizione del progetto	7
3. Lista dei materiali	11
4. Foglio di calcolo delle spinte idrostatiche	12
5. Procedura di installazione della struttura sottomarina	13
5.1 Interventi subacquei	15
5.2 Attività preliminari	15
5.3 Sequenza di installazione del sistema	16
6. Procedura di recupero	17
7. Consumi energetici	18
8. Analisi dei dati	19
Allegato	23
Bibliografia	24



## Introduzione

Gli sviluppi tecnologici degli ultimi anni sono tali per cui la conoscenza dell'ambiente e dei relativi fenomeni può avvalersi con maggiore disponibilità di sistemi e strumenti di monitoraggio ed osservazione da remoto. Lo studio di una varietà di fenomeni fisici e geofisici è di fondamentale importanza per la comprensione delle dinamiche ambientali in particolari aree di interesse. Se a queste necessità conoscitive si aggiunge la necessità di acquisire la conoscenza sui fenomeni in "tempo reale" rispetto al loro verificarsi, ne deriva un quadro complessivo di grande rilevanza nella costruzione della conoscenza sui fenomeni ambientali [Progetto PEGASO].

Ne consegue quindi, nel complesso, la necessità di soddisfare alcuni requisiti di primaria importanza in grado di garantire:

- la capacità di installare la strumentazione più idonea direttamente in situ;
- la possibilità di mantenere tale strumentazione in situ per periodi di tempo lunghi;
- la possibilità di trasferire in tempo reale tali informazioni verso un centro di raccolta.

Nello specifico è stato realizzato un mini-sistema di acquisizione dati per studi sismologici in fondale marino con profondità molto basse nel Golfo di Pozzuoli. Il sistema è costituito da un idrofono omnidirezionale a larga banda con relativa elettronica di acquisizione e trasmissione dati. Il sito scelto è quello a largo della punta o capo del pontile Nord dell'arenile di Bagnoli, degli ex stabilimenti ILVA dimessi.

I dati acquisiti sul fondale vengono trasmessi via cavo, in continuo ed in tempo reale, alla piattaforma del pontile e da questa via radio a terra, per essere integrati nel sistema di acquisizione dati della rete di sorveglianza sismica dei Campi Flegrei gestita dall'Osservatorio Vesuviano (Sezione di Napoli dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), e da questa alla rete sismica nazionale che beneficerà della possibilità di estensioni a mare. Con queste caratteristiche il sistema potrà dare un contributo al monitoraggio di alcuni vulcani presenti nell'area napoletana.

Il progetto del sistema in oggetto si basa quindi sulle seguenti premesse: la baia di Pozzuoli è importantissima dal punto di vista geofisico e di conseguenza anche la disponibilità a terra di dati in tempo reale da un nodo sismico installato a mare in tale area è di forte interesse. Inoltre, nella baia è già presente un'infrastruttura costituita da una boa-meda galleggiante ancorata su di un fondale di circa centro metri (<http://pccumas.ov.ingv.it>). Infine, la breve distanza dalla costa (poche miglia) e la disponibilità di tecnologie wireless a larga banda, permette di trasferire in tempo reale i dati sismici acquisiti dal nodo sottomarino al Centro di Monitoraggio.

Il sistema installato rappresenta un prototipo e può configurarsi come attività propedeutica per l'elaborazione di un progetto esecutivo di portata più vasta, costituito da una serie (array) di idrofoni disposti secondo particolari geometrie, finalizzato all'estensione massiva a mare del sistema di monitoraggio dei vulcani campani con la realizzazione di una rete sismica sottomarina.

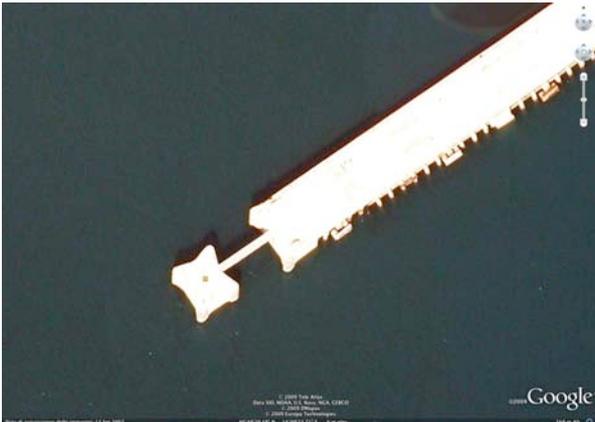
Nel documento che segue sono riportati:

- un repertorio fotografico dell'area di interesse (immagini riprese da satellite e da terra);
- l'analisi delle risorse tecnologiche necessarie per l'installazione;
- le modalità di installazione con eventuale procedura di recupero;
- i consumi energetici delle parti costituenti il sistema e il dimensionamento delle alimentazioni;
- alcuni dati registrati con relativa analisi di rumore;
- datasheet con allegato tecnico dell'idrofono utilizzato.

## 1. L'area di interesse

Il sito di interesse scelto per l'installazione del sistema è l'estremità più esposta a mare (la testa) del pontile Nord dell'arenile di Bagnoli degli ex stabilimenti ILVA dismessi, lungo all'incirca 900 metri.

Seguono delle immagini prelevate da Google dell'area dei Campi Flegrei interessata ed un dettaglio del pontile in oggetto con riprese da satellite. Infine, sono riportate alcune foto delle viste di varie località di costa limitrofe riprese dalla punta del Pontile.



**Figura 1.** Vista satellitare della punta del pontile.



**Figura 2.** Vista da satellite del Golfo di Pozzuoli.



**Figura 3.** La testa del pontile di Bagnoli.



**Figura 4.** Vista dei livelli sull'acqua.

## 2. Descrizione del progetto

L'obiettivo proposto è l'installazione su un fondale marino basso (circa 14 metri come verificato dall'analisi delle batimetrie del fondale interessato) di un idrofono omnidirezionale a larga banda. Il relativo sistema di acquisizione dati è posto fuori acqua sul pontile. L'idrofono è fissato su di una piattaforma con base cementata avente il duplice scopo di funzionare sia come zavorra che come supporto fisico di alloggiamento di un palo in acciaio inossidabile di sostegno per l'idrofono cablato (Figura 5).

Nelle pagine che seguono saranno illustrati i componenti necessari alla realizzazione del progetto, i tempi di esecuzione, nonché le procedure di installazione con eventuale recupero della struttura sottomarina.

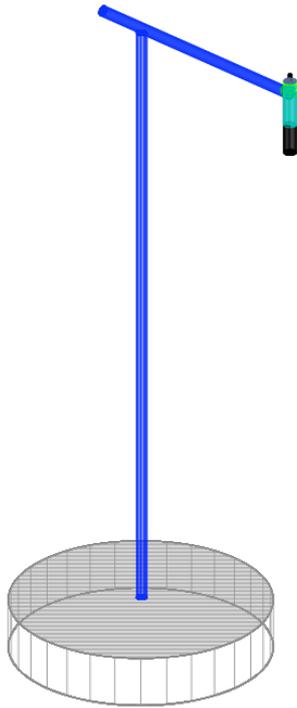
Il segnale prodotto dall'idrofono cablato in acqua, viene inviato al sistema di acquisizione dati posto fuori acqua sul pontile, ad un'altezza di circa 15 metri sulla superficie del mare. Una rappresentazione schematica del sistema è visibile nella Figura 6 e si compone delle seguenti parti:

### Componenti in superficie

- ponte radio Wi-Fi a 2.4 GHz (comprensivo di antenna e palo di sostegno);
- contenitore a tenuta stagna per ambienti esterni (grado di protezione  $IP \geq 66$  - protetto contro le mareggiate, Norma CEI 70-1, Norma Italiana EN 60529) per alloggiamento del ponte radio, con relativo kit di staffe di montaggio su palo in acciaio zincato per applicazioni marine;
- pannello fotovoltaico da 50 W;
- regolatore di carica solare (12 V - 15 A);
- batteria tampone a 12 V - 100 Ah (n. 1 unità);
- sistema di acquisizione dati GILDA;
- contenitore a tenuta stagna per ambienti esterni (grado di protezione  $IP \geq 66$  - protetto contro le ondate, Norma CEI 70-1, Norma Italiana EN 60529) per alloggiamento della batteria, del regolatore di carica solare e dell'acquisitore dati, con relativo kit di staffe di montaggio su palo in zinco anticorrosivo per applicazioni marine;
- cavi di collegamento (Ethernet e alimentazione del tipo harsh-environment).

### Componenti in acqua

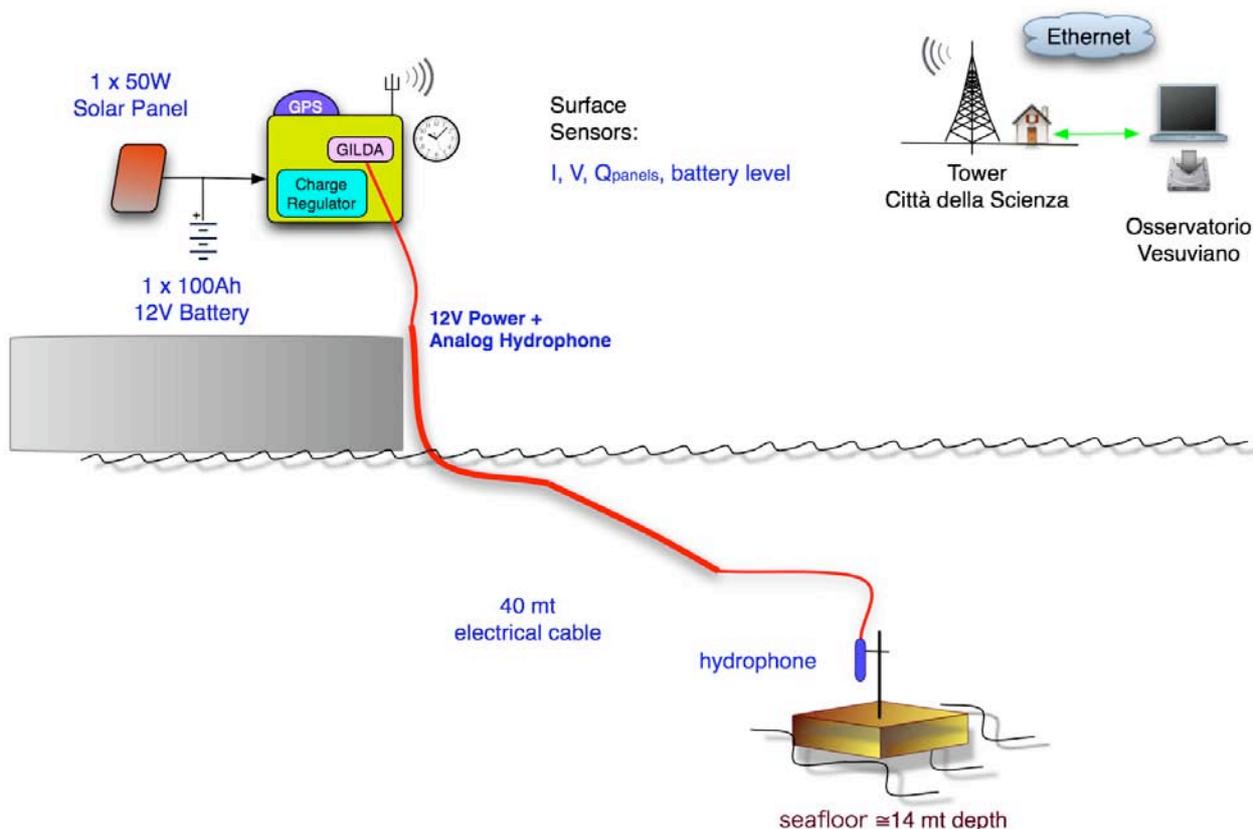
- idrofono omnidirezionale a larga banda del tipo SQ03-SensorTech (vedi Allegato);
- struttura-base di sostegno in cemento prefabbricata, di forma cilindrica e leggermente convessa sul lato superiore, con predisposto alloggiamento sulla base per il palo di sostegno in acciaio inossidabile dell'idrofono;
- palo (1.2 m) e raccordo ad "L" per fissaggio dell'idrofono.



**Figura 5.** Struttura e base di sostegno con alloggiamento dell'idrofono.

#### **Componenti di collegamento superficie-fondale marino**

- cavo tripolare (AWG16) del tipo harsh-environment con rivestimento e guaine in Neoprene (H07RN-7, RS 409-9486,  $3 \times 1.5 \text{ mm}^2$ ) ad immersione in acque poco profonde ( $p < 5 \text{ atm}$ ), per alimentazione dell'idrofono e -prelevamento del suo segnale analogico in uscita;
- moldatura subacquea per il collegamento dell'idrofono (su connettore SubConn) al sistema presente in superficie per mezzo del cavo anzidetto.



**Figura 6.** Schema di base del sistema.

Il sistema completo sopra illustrato è dotato di un sistema di trasmissione Wi-Fi a 2.4 GHz composto da un bridge wireless con antenna direttiva esterna.

L'implementazione della parte di trasmissione è avvenuta mediante l'installazione di un palo di supporto fissato a terra nei pressi del sito del pontile, laddove era già presente della strumentazione di rilevamento di proprietà dell'Osservatorio Vesuviano.

La direzione di puntamento è verso una delle stazioni più prossime della rete di sorveglianza sismica dell'Osservatorio Vesuviano che copre l'area dei Campi Flegrei con stazioni ubicate a terra.

Il sistema di acquisizione dati GILDA, sviluppato presso l'Osservatorio Vesuviano di Napoli [Orazi et al., 2008; Martini et al., 2006], è installato sul pontile ed alloggiato in un contenitore a tenuta stagna, insieme al sistema Wi-Fi. In un altro contenitore sono installati una batteria tampone con il regolatore di carica.

La struttura sottomarina del sistema (Figura 5) è realizzata in cemento armato ed acciaio inossidabile; essa si presenta con una parte inferiore (base) di forma cilindrica ed è dotata di tre golfari, in acciaio inossidabile, per le operazioni di sollevamento, varo, installazione ed eventuale recupero con cime di alaggio.

La base cementata possiede la duplice funzione di zavorra (per stabilizzare la struttura durante il varo) e di base d'appoggio, in modo da realizzare uno sprofondamento controllato della struttura nel sedimento superficiale del fondale per quanto possibile in considerazione delle caratteristiche note a priori del sedimento sabbioso.

Il cavo per l'alimentazione (12 V c.c., 10 mA massimi) e il trasferimento del segnale analogico bipolare single-ended in uscita dall'idrofono è tripolare e del tipo AWG16 harsh-environment con rivestimento e guaine in Neoprene (H07RN-7, RS 409-9486,  $3 \times 1.5 \text{ mm}^2$ ) adatto per immersione in acque poco profonde (nel nostro specifico caso:  $p < 2 \text{ atm}$ ). In acqua, il cavo è collegato all'idrofono mediante un connettore SubConn Micro a 5 contatti, ed è lungo 35/40 metri circa; in superficie, l'altra terminazione è di tipo volante, per consentire l'allacciamento sia all'alimentazione che all'ingresso di un canale del sistema di acquisizione dati GILDA (100sps, 24 bit).

Il sistema di cavi usati per il sollevamento e la movimentazione della struttura sottomarina consiste di una cima messaggera e di una cima di orientazione del modulo (lunga 60-70 metri) ed è unito alla struttura stessa mediante un moschettone innestato su due golfari, collegati alla base di quest'ultima, che ne consentono la rotazione e l'appoggio al fondo.

La configurazione della struttura è stata definita nel rispetto dei seguenti criteri:

costituire un solido sistema di ancoraggio da lasciare sprofondare parzialmente nei sedimenti del fondale marino;

mantenere l'idrofono ad una certa distanza dal fondo (circa 100 cm);

evitare per quanto possibile la presenza di punti di aggancio per eventuali reti utilizzate per la pesca di frodo nelle vicinanze, favorendo anzi il loro possibile "scivolamento".

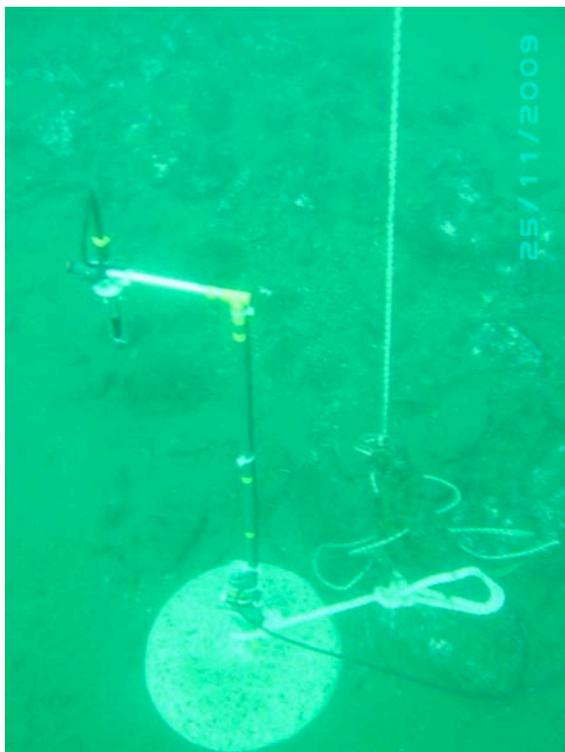
La struttura è zavorrata anche al fine di consentire il raggiungimento del peso minimo necessario a garantire la stabilità del manufatto in fase di varo e di posa sul fondo (Paragrafo 4) e per ottenere l'allineamento tra il baricentro ed il punto di sollevamento.

Il sistema utilizza un idrofono omnidirezionale a larga banda (1 Hz ÷ 65 kHz) della Sensor Technology Mod. SQ03, con un preamplificatore integrato a 40 dB di guadagno.

L'interesse è concentrato sull'acquisizione di segnali a bassa frequenza (<10 Hz). Seguono alcune delle caratteristiche di massima dell'idrofono scelto (si veda il datasheet allegato) che è già utilizzato con successo in altri sistemi di acquisizione dati multiparametrici da fondale marino [Iannaccone et al., 2010, 2009] che attualmente costituisce parte integrante del sistema di sorveglianza sismica dell'area dei Campi Flegrei (stazione CFSB) gestita dall'Osservatorio Vesuviano di Napoli:

- sensibilità nominale in tensione di  $-162.0 \pm 1$  dBV re  $1 \mu\text{Pa}@20^\circ\text{C}$ ;
- profondità di esercizio sino a 650 metri;
- direttività (tipica) sui piani orizzontale-verticale di  $\pm 2$  dB.

I dati sismologici acquisiti dall'acquisitore GILDA sono inviati in real-time alla sala di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano e quindi accessibili attraverso il software Earthworm.



**Figura 7.** La struttura sottomarina con l'idrofono.

### 3. Lista dei materiali

Per la soluzione adottata non è stato praticamente necessario progettare quasi nulla di nuovo, se non la struttura di alloggiamento dell'idrofono da adagiare sul fondale marino.

Ecco una lista del materiale occorrente:

- 1) n. 2 contenitori a tenuta stagna;
- 2) palo (2 mt) zincato per sostegno antenna Wi-Fi e contenitori;
- 3) cavo Ethernet (5 mt);
- 4) cavo coassiale HF (3 mt);
- 5) connettori a crimpare;
- 6) acquisitore GILDA (1 o più canali);
- 7) antenna GPS;
- 8) pannello solare da 50 W;
- 9) kit staffe montaggio contenitori a palo;
- 10) kit staffe montaggio pannello solare;
- 11) cavo elettrico (AWG16) 40 mt;
- 12) cima messaggera (70 mt);
- 13) zavorra;
- 14) palo in acciaio inossidabile di sostegno per l'idrofono;
- 15) staffe per fissaggio idrofono al palo sottomarino;
- 16) regolatore di carica;
- 17) batteria al Pb-Gel 12 V (100 Ah);
- 18) idrofono;
- 19) bridge Wi-Fi;
- 20) antenna Wi-Fi direttiva.

#### 4. Foglio di calcolo delle spinte idrostatiche

<b>Calcoli delle spinte nette in acqua.</b>											
		1030		Densità (media) acqua di mare (kg/m <sup>3</sup> )		1030		1=1dm <sup>3</sup> , 1Pa=1N/m <sup>2</sup> =1,015bar=1,015*10 <sup>5</sup> mmHg			
		9,81		g (m/s <sup>2</sup> )		9,81					
<b>Struttura</b>											
Componente	N°. Unità	Diametro esterno (mm)	Lunghezza (mm)	Spessore (mm)	Volume (m <sup>3</sup> )	Materiale	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Massa in aria(kg)	Spinta idrostatica in acqua di mare (N)	NOTE	
Struttura in acciaio	Elemento verticale	1	20	1200	2	0,00013572	ACCIAIO INOX - AISI 304	7910	1,07352	1,37	interno cavo
	Elemento orizzontale	1	20	350	2	0,00003958	ACCIAIO INOX - AISI 304	7910	0,31311	0,40	interno cavo
	Giunto raccordo	0				0,00020444	POLIAMMIDE (Nylon)	1125	0,23000	0,00	interno cavo
				Volume Totale (m <sup>3</sup> )				Massa totale in aria (kg)			
								1,6		1,8	
<b>Materiale esterno</b>											
	N°. Unità	Diametro esterno (cm)	Altezza (cm)	Foro (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	Materiale	Densità (kg/m <sup>3</sup> )	Massa in aria(kg)	Spinta idrostatica in acqua di mare (N)		
Idrofono	1	2,54	19,7		0,00009982			1	1,0		
Cavo Idrofono (in acqua)	1	1	1500		0,0011781			2,25	11,9		
Zavorra	1	55	8,5	0,02	0,01666301	CEMENTO	2800	46,7	168,4		
Connettori+moldatura	3							0,6	1,0		
								50,5		182,3	
<b>TOTALI</b>											
								Massa in aria (kg)		Spinta idrostatica in acqua di mare	
								52		184	
								N		kg	
								19		-33	
								kg		Peso in acqua dell'assieme (kg)	
								33		Spinta Netta (Fp-Sa)	

## 5. Procedura di installazione della struttura sottomarina

Di seguito, sono fornite le informazioni tecniche relative alle procedure di messa a mare e recupero dell'idrofono nel sito prescelto e sua integrazione con la rete di sorveglianza sismica dell'Osservatorio Vesuviano. Il paragrafo illustra le modalità e i requisiti operativi connessi con le operazioni di installazione (con eventuale recupero) dell'idrofono e del cavo di trasmissione ad esso collegato. Infine sono descritte le procedure di installazione della parte terminale del cavo (sul pontile) e dei contenitori a tenuta stagna di superficie, eseguite prima dell'installazione del cavo e della posa dell'idrofono a mare. Per le attività concernenti l'installazione del sistema sono stati impegnati due giorni di lavoro sul campo e tre operatori.

Il sistema di acquisizione dati installato è composto dai seguenti elementi:

- un idrofono sul fondale marino, distante circa 25 metri da uno dei piloni di sostegno del pontile;
- un cavo di trasmissione elettrico (dati ed alimentazione), completo di accessori;
- strumentazione ed apparati fuori acqua, completi di accessori.

Nel tratto iniziale del cavo elettrico sul fondale - lato idrofono - è stato inserito un cavo metallico di appesantimento (circa 10 metri di lunghezza) per l'insabbiamento dello stesso.

Nel seguito vengono riportate le caratteristiche principali di ciascun componente.

La struttura che ospita l'idrofono sottomarino è costituita da un palo in acciaio inossidabile, di sezione circolare cava, e di una zavorra in cemento che costituisce la base di appoggio al fondo.

La zavorra è dotata inoltre di punti di sollevamento e movimentazione, utilizzabili sia nella fase di trasporto a terra che di installazione a mare.

Le caratteristiche principali del palo di sostegno per l'idrofono sono:

- materiale: acciaio galvanizzato
- numero parti: 2
- larghezza: 20 mm (spessore 2 mm)
- altezza: 120 cm + 35 cm (elemento verticale + braccio)
- massa totale (in aria): 1.6 kg
- peso in acqua: 31 N

Le caratteristiche principali della zavorra sono:

- materiale: cemento
- forma: cilindrica
- altezza: 8.5 cm
- diametro: 55 cm
- massa totale (in aria): 46 kg
- peso in acqua: 167 N

Cavo elettrico:

- cavo tripolare (AWG16) del tipo harsh-environment con rivestimento e guaine in Neoprene (H07RN-7)
- lunghezza: 35 m circa
- diametro esterno: 10 mm
- numero conduttori: 3
- sezione: 1.5 mm<sup>2</sup>
- corrente nominale: 22 A
- temperatura nominale di esercizio: da -30 °C a +85 °C
- resistività: 0.0054 ohm/m;
- massa lineare: 0.150 kg/m
- peso in acqua lineare: 1.47 N/m

Elemento di appesantimento:

- tipo: cavo in acciaio/ferro
- lunghezza: 10 m
- peso in acqua lineare: 40 N/m

Una boa sferica di spinta in poliuretano espanso ad alta densità (RESINEX mod. RS4);

- diametro: 400 mm
- altezza corpo: 400 mm
- massa (in aria): 4 kg
- spinta netta: 28 kg (275 N)

Le condizioni del mare limite assunte per le operazioni di installazione/recupero del modulo sono le seguenti:

Mare forza 1

- Altezza d'onda significativa:  $H_s = 0.3$  m

Corrente

- velocità superficiale:  $< 0.1$  m/s

Le operazioni di installazione (e di successivo eventuale recupero) del modulo sottomarino e di posa del cavo hanno richiesto l'impiego di un natante di supporto di piccole dimensioni (circa 5-6 m di lunghezza), in grado di trasportare e varare/recuperare il modulo ed il cavo elettrico, attrezzato con le apparecchiature sotto indicate.

Il natante di supporto era dotato di strumenti di navigazione e dotazioni di sicurezza standard, di un'area libera in coperta, adeguata ad ospitare la struttura sottomarina ed il cavo, ed era equipaggiato con le seguenti attrezzature e strumentazioni:

- n. 2 brache di sollevamento di lunghezza di almeno 1.5 m e carico di rottura di almeno 40 kg, provviste all'estremità libera di ganci a scocco della stessa capacità;
- un sistema di rilievo della profondità d'acqua (ecoscandaglio);
- un sistema di rilievo della posizione geografica (tipo GPS);
- una fune messaggera in materiale sintetico di almeno 80 m di lunghezza e carico di rottura di almeno 100 kg, utilizzata per il varo e l'installazione del modulo;
- attrezzature ausiliarie, quali grilli e spezzoni di cavo sintetico per l'aggancio temporaneo di componenti, fascette stringi-cavo in materiale plastico, ecc. e tutti gli strumenti per l'esecuzione del lavoro;
- due cime messaggere in materiale sintetico per il controllo di orientamento del modulo, di almeno 70 m di lunghezza e carico di rottura di almeno 50 kg. La cima viene rinviata attraverso un golfare (occhiolo) previsto sul modulo (dalla parte opposta alla direzione di uscita del cavo) e riportata con entrambe le estremità sul natante di servizio.

Le procedure d'installazione dell'idrofono sul fondale, descritte precedentemente, sono state eseguite successivamente rispetto a quelle sul pontile. Queste ultime, effettuate il giorno prima, riguardavano la messa in esercizio di tutte le infrastrutture necessarie per il collegamento elettrico del modulo sottomarino al sistema di acquisizione e di questo al sistema di trasmissione dati wireless verso terra.

In dettaglio le parti installate sul pontile sono:

- cassa a tenuta stagna;
- Antenna WLAN (patch direttiva con guadagno di 14 dBi), antenna GPS, pannello fotovoltaico, acquisitore dati, batteria tampone, palo di supporto per antenne, palo per pannello fotovoltaico e componentistica varia.

## **5.1. Interventi subacquei**

Durante le varie fasi d'installazione/rimozione del sistema è stato previsto l'intervento di un sommozzatore che operi fino ad una profondità massima di 15 m circa, con i seguenti compiti:

- varo guidato della struttura sottomarina
- controllo della fase di discesa della struttura
- connessione dell'estremità intestata del cavo all'idrofono
- fascettatura del cavo al palo dell'idrofono
- installazione e fascettatura del cavo metallico avente funzione di zavorra per il cavo elettrico
- filatura del cavo sino alla parte in superficie

Di seguito vengono descritte le procedure generali di installazione del modulo sottomarino e del cavo. Dettagli operativi specifici sono stati definiti dall'installatore, in riferimento ai propri mezzi d'opera e attrezzature, nel rispetto delle presenti indicazioni generali.

## **5.2. Attività preliminari**

Le attività svolte prima dell'inizio delle operazioni di installazione sono state:

- verifica obiettiva dell'effettiva profondità del fondale nel punto previsto di installazione del modulo sottomarino;

- verifica delle condizioni meteo-marine limite stabilite per l'esecuzione delle operazioni;
- controllo e messa a punto delle attrezzature di varo da utilizzare;
- controllo e messa a punto del sistema da installare (idrofono, cavo, sistema di trasmissione, strumentazione di superficie e accessori).

Tutte le attrezzature necessarie per l'esecuzione delle operazioni previste prima e durante l'installazione sono state opportunamente preparate e controllate.

Prima di iniziare le operazioni marine, ci si è accertati che le condizioni meteo del momento e le relative previsioni per le successive due ore fossero tali da consentire lo svolgimento in sicurezza delle operazioni, entro i limiti precedentemente indicati. In particolare sono state controllate l'entità della corrente, tale da indurre limitate escursioni del cavo di trasmissione durante il rilascio in acqua, e delle onde, in modo da evitare, per facilitare le operazioni previste, sollecitazioni eccessive sul cavo durante la fase di discesa della struttura sottomarina ospitante l'idrofono.

### 5.3. Sequenza di installazione del sistema

Terminate le operazioni preliminari, si è dato inizio alla procedura di installazione del sistema, effettuata nel seguente ordine:

- la testa terminata con connettore SubConn del cavo sottomarino è stata fatta filare in acqua. Il cavo sottomarino ed il cavo metallico di appesantimento sono già assemblati insieme mediante fascette stringi-cavo intervallate ad una distanza non superiore a 50 cm;
- le due cime di controllo vengono collegate alla base-zavorra dell'idrofono e assicurati a punti di fissaggio del natante;
- il mezzo di supporto si posiziona sulla verticale del punto di installazione del modulo, spegne i motori e dà ancora;
- il sommozzatore (OTS), segnalata la sua posizione di immersione con una boetta di sicurezza posta sulla superficie del mare, si è immerso;
- il modulo è stato messo in mare utilizzando delle brache di sollevamento;
- il modulo è stato calato sul fondo filando al contempo sia il cavo subacqueo (insieme al suo tratto appesantito) che le due cime di orientazione;
- appena prima che il modulo toccasse il fondale il sommozzatore ha orientato il modulo in maniera tale che la parte sbracciata del palo con l'idrofono puntasse a SE, in uscita dal golfo di Pozzuoli;
- non appena il modulo ha toccato il fondo il sommozzatore ha disconnesso le brache di sollevamento e le cime dal modulo (brache e cime sono state recuperate dal personale di bordo);
- è stata verificata la posizione geografica del modulo ed il suo orientamento;
- il sommozzatore ha filato il cavo subacqueo con il cavo di appesantimento lungo il fondale marino avvicinandosi al pontile, in prossimità ad uno dei piloni di sostegno della strumentazione di superficie;
- lì il sommozzatore ha fissato parte del cavo alla base del pilone;
- il sommozzatore ha poi portato la testa non terminata del cavo subacqueo sulla verticale della strumentazione passandola, con una cima messaggera calata dall'alto da un operatore sul pontile, in un tubo passacavo preesistente e fissato sul pilone;
- il sommozzatore è poi ritornato in superficie dopo un controllo della configurazione assunta dal cavo ed il natante si è poi liberato.

Terminate le operazioni di installazione si è poi proceduto alla verifica delle funzionalità della strumentazione effettuando i test di collaudo previsti.

Le coordinate GPS dell'idrofono sono:

Latitudine: 40° 48.468' N      Longitudine: 14° 09.563' E

## 6. Procedura di recupero

L'eventuale procedura di recupero del sistema consiste nel sollevamento dal fondo marino del modulo e del cavo e la loro posa sul natante per lo sbarco a terra. Per la fase di recupero del sistema si verificherà la rispondenza delle condizioni meteo-marine ai limiti stabiliti per la fase di installazione. Verranno controllate tutte le attrezzature da utilizzare per il recupero del sistema.

Le operazioni previste per il recupero del sistema ricalcano essenzialmente le fasi di installazione in senso inverso.

Le operazioni sono suddivise nei seguenti passi:

- il natante di supporto si posiziona in corrispondenza del pilone del pontile su cui è presente la strumentazione di superficie e spegne i motori;
- in superficie un operatore tecnico provvede a scollegare la terminazione del cavo dell'idrofono dal sistema di acquisizione dati;
- il cavo viene fatto sfilare dalla canalina del pontile da un operatore del natante di supporto;
- il natante di supporto si posiziona in corrispondenza del punto di installazione a mare e spegne i motori;
- il sommozzatore (OTS) segnala la sua posizione in immersione con una boetta di sicurezza posta sulla superficie del mare e scende in acqua;
- il sommozzatore scende sul fondo ed aggancia l'estremità di due cime messaggere alla zavorra;
- il sommozzatore rimuove il connettore subacqueo dall'idrofono, le fascette di sicurezza che legano il cavo al palo ed al cavo di appesantimento;
- sul natante due operatori di bordo iniziano a recuperare il cavo a tiro;
- raggiunta la boetta, il sommozzatore provvede a sganciarla dal cavo ed a recuperarla a bordo, rimuovendo dal cavo qualsiasi eventuale dispositivo di connessione con la boetta;
- si continua il recupero del cavo fino al parziale sollevamento del tratto pesante dal fondo;
- inizia la fase di distacco del modulo dal fondo. Nel caso si fosse in presenza di effetto "ventosa" della base del modulo sul terreno, si incrementa gradualmente il tiro fino al distacco progressivo della base;
- completato il distacco del modulo dal fondale si inizia il recupero;
- innalzamento del modulo verso la superficie del mare;
- il modulo viene posizionato in prossimità del natante;
- il sommozzatore provvede a collegare delle brache di sollevamento al modulo;
- il modulo è preso in carico dal natante, rilasciando contemporaneamente il carico dal verricello;
- il modulo è portato a bordo del natante con la collaborazione del sommozzatore in acqua;
- mediante l'ausilio di cime si procede al recupero del cavo metallico di appesantimento con la collaborazione del sommozzatore per il tiro a bordo;
- il sommozzatore è sul natante;
- il mezzo di lavoro si può liberare dalla zona.

## 7. Consumi energetici

Verranno esaminati i consumi energetici inerenti la schematizzazione sopra esposta, meglio illustrati nella tabella che segue.

Dispositivo	Tensione (V)	Corrente (mA)	Potenza (W)
Acquisitore GILDA e GPS	12	150	1.8
Idrofono SO03	12	8	0.1
Perdite su cavo idrofono	0.01		
Regolatore di carica	11-16	40	0.5
Ponte Radio	12	300	3.6
Totale		498	6,0

**Tabella 1.** Consumi energetici.

La caduta di tensione resistiva massima ammessa lungo il cavo elettrico di collegamento dell'idrofono in acqua con la parte presente in superficie deve essere inferiore a 2.0 V, considerando il limite minimo previsto per la tensione di alimentazione dell'idrofono. Infatti, la tensione minima in ingresso all'idrofono in acqua (10 V c.c.) la si ottiene considerando la caduta di tensione massima lungo il cavo, generata dalla corrente massima ( $I_{max}$ ) che deve poter garantire un trasferimento di potenza di 0.1 W circa.

È stata quindi adottata, almeno per l'alimentazione dell'idrofono, una coppia di cavo del tipo AWG16 Harsh Environment, che presenta una resistenza tipica di 15.04  $\Omega$ /km. La perdita resistiva introdotta da questo cavo è dunque pari a:

$$R_c = 0.01504 \Omega/m * 35 m = 0.53 \Omega$$

Sussistono le relazioni:

$$V_o = 12.3 V = 2 R_c * I_{max} + V_{in(min)}$$

$$V_{in(min)} * I_{max} = 0.1 W$$

avendo supposto una batteria tampone carica (a 12.3 V).  $R_c$  indica la resistenza ohmica del cavo (resistività del cavo per la sua lunghezza totale). Dalle equazioni si ottiene che la perdita su cavo (a 10 mA) risulta di poco superiore ai 10 mV, il che comporta una tensione minima in ingresso dell'idrofono sicuramente al di sopra dei 10 V minimi richiesti dall'idrofono.

Quindi il consumo complessivo delle varie parti componenti il sistema (Tabella 1) è pari a circa 6.0 W, prelevati dalla batteria tampone. L'energia richiesta dal sistema in un giorno dunque è pari a 6.0 W · 24 h = 144 Wh (carico elettrico giornaliero).

Per l'apporto energetico è stato impiegato un solo pannello solare da 50 W (a 12 V). Se per ipotesi (ragionevole) il pannello solare possiede un rendimento del 50% (*worst-case*), rispetto al rendimento teorico, per un massimo di 6 ore giornaliere di insolazione (stima regionale), in tal modo si riesce ad accumulare un'energia giornaliera pari a 150 Wh. Con un pacco energetico di riserva costituito da una batteria tampone a 12 V (al piombo-gel) di capacità 100 Ah (1200 Wh), il sistema possiederà un'autonomia energetica sufficiente per poter essere alimentato in continuo per circa 8 giorni di assenza completa di insolazione.

## 8. Analisi dei dati

In quest'ultimo paragrafo prendiamo in esame alcuni dati acquisiti dall'idrofono tentando di caratterizzarlo, almeno qualitativamente, in termini di analisi spettrale del rumore [Evans, J. R., et al 2006; McNamara, D., 2005].

Per l'analisi dei dati sono state prese in considerazione tre tracce di segnale, della durata di un'ora, contenenti quasi esclusivamente rumore ambientale. Ogni traccia è relativa a giorni diversi (26, 27 e 28.11.2009) e si riferisce ad intervalli temporali diversi (tempi origine: 00:00, 06:00 e 12:00 UTC, rispettivamente). Il formato dei dati acquisiti è del tipo SAC con frequenza di campionamento di 100 sps. Le tracce di segnale sono visibili nella Figura 8 dove sono riportati, a lato, anche delle finestre di dettaglio della durata di 60 secondi per dare un'idea delle ampiezze considerate.

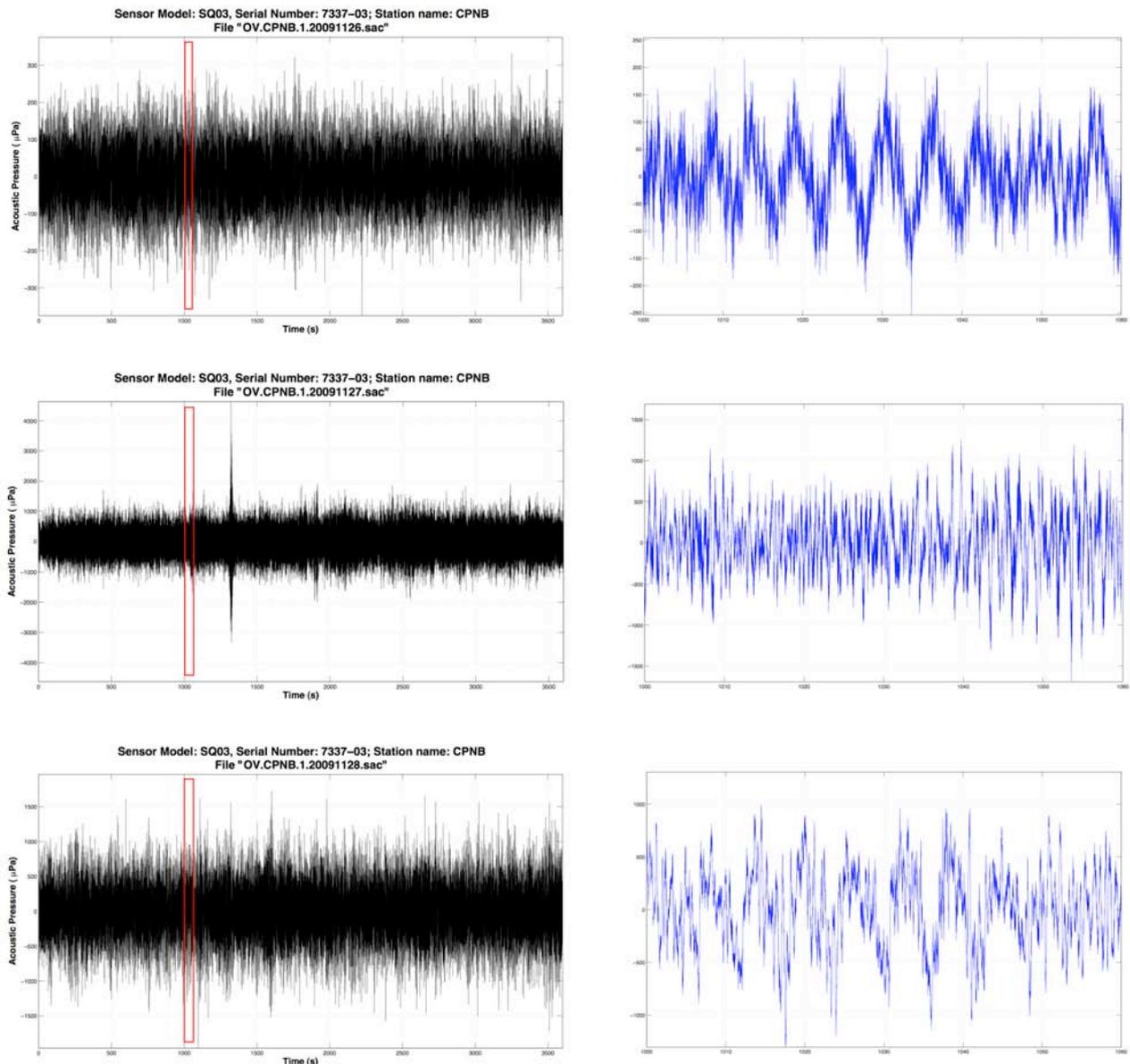


Figura 8. Tracce di segnale della durata di un'ora considerate ai fini dell'analisi.

L'unità di misura riportata in ordinate nelle tracce si riferisce a  $\mu\text{Pa}$ , in quanto si tratta di una pressione acustica, ed i valori sono stati ricavati nel seguente modo: per ogni traccia è stata rimossa la media ed il trend lineare; i valori in counts sono stati trasformati in  $\mu\text{Pa}$  tenendo conto del fattore di conversione ( $C_f$ ) in maniera tale che:

$$N \cdot C_f = N \frac{S_{daq}}{S_{hydr}}$$

essendo  $N$  il numero dei counts registrati,  $S_{daq}$  la sensibilità dell'acquisitore ( $3.307 \mu\text{V}/\text{count}$ , per un guadagno pari ad 1) ed  $S_{hydr}$  la costante di trasduzione dell'idrofono ( $-163.85 \text{ dB re } 1 \mu\text{Pa}$ , corrispondenti a  $6.419 \mu\text{V}/\mu\text{Pa}$ ).

Nella Figura 9 sono illustrati gli spettri di ampiezza medi corrispondenti. Per la loro rappresentazione ogni traccia è stata suddivisa in 60 finestre contigue della durata di un minuto (6000 campioni). Per ogni finestra è stato calcolato lo spettro di ampiezza ed infine sono stati ricavati i singoli spettri medi.

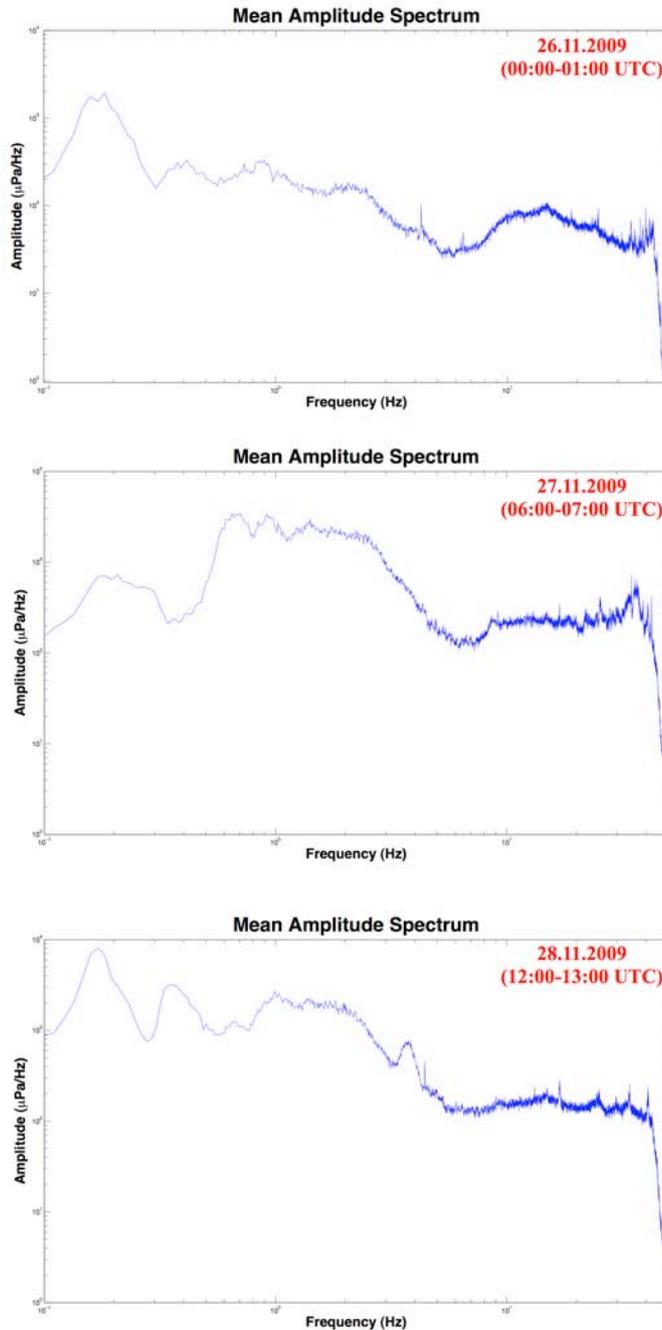


Figura 9. Spettri di ampiezza medi (Discrete Fourier Transform).

Dalle figure si osserva un picco di rumore sismico tipicamente comune intorno alla frequenza di 1 Hz [Webb, S. C., 1998].

Nella Figura 10 vengono mostrate le curve di PSD (Power Spectral Density) delle tracce prese in considerazione calcolate utilizzando 13 finestre di Hanning con overlapping del 75% dei dati ed usando il metodo di Welch.

Dalla figura possiamo fare due osservazioni:

- i livelli di energia imputabili al rumore antropico ( $> 2-4$  Hz) aumentano durante le ore diurne (giorni 27 e 28.11.2009) di circa 35-40 dB a causa dell'incremento delle attività umane. Nella stessa regione di frequenze è possibile correlare queste osservazioni con la velocità del vento (Figura 11). I dati relativi alla velocità del vento sono stati prelevati dalla stazione CFSB del sistema CUMAS, installata a mare al centro del Golfo di Pozzuoli [Iannaccone, G., et al 2009] e distante circa 2.9 km dal sito CPNB dove è stato installato l'idrofono;
- il livello del picco di rumore microsismico dovuto alle onde del mare, caratterizzato da un periodo di circa 6 secondi [Webb, S. C., 1998], si incrementa nei due giorni successivi di dati presi in considerazione prima di 10 e poi di 40 dB rispetto alla condizione di mare calmo (giorno 26.11.2009).

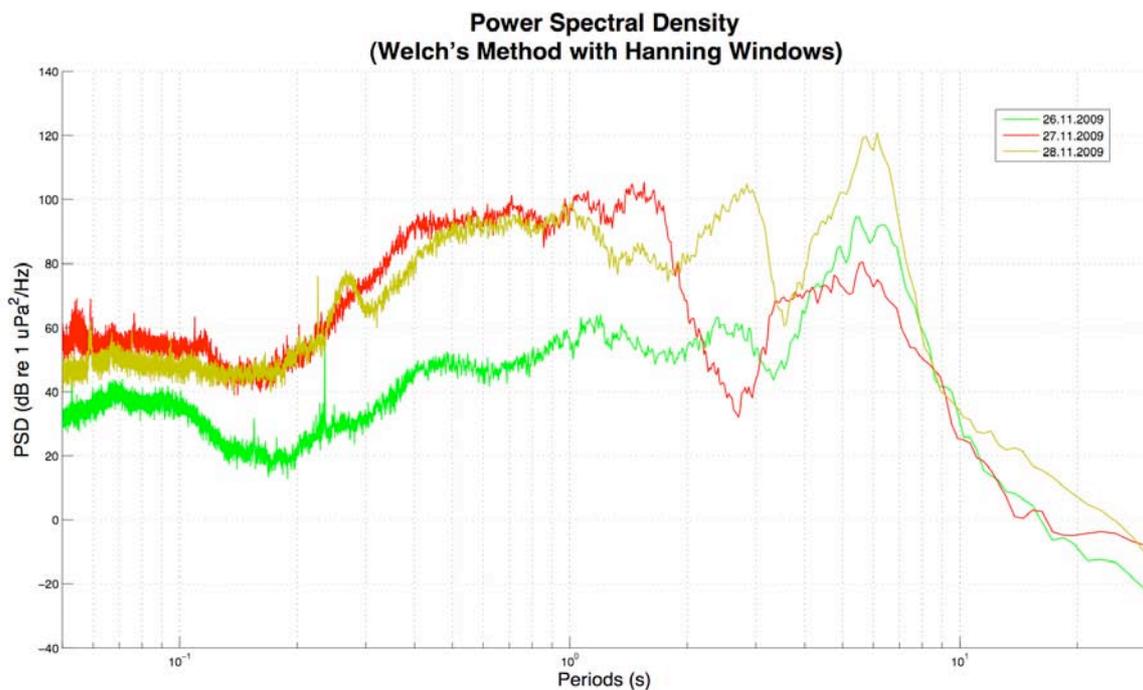
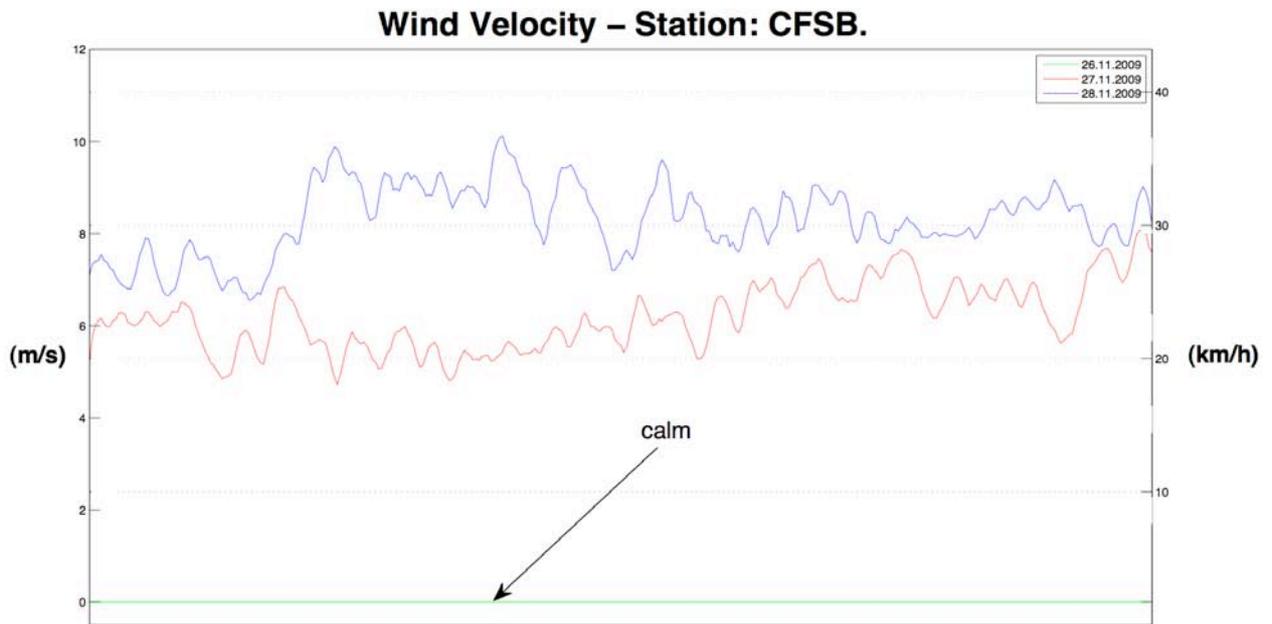


Figura 10. Power Spectral Density.



**Figura 11.** Andamento della velocità del vento alla stazione CFSB.

## Specifiche dell'idrofono SQ03 - Sensor Technology



Sensor Technology Limited

---

**SQ03 Hydrophone Specifications**

**HYDROPHONES**



**FEATURES**

- Integrated pre-amplifier
- Good sensitivity
- Low noise

**APPLICATIONS**

- Research and development
- Hydrophones requiring Long cable lengths

**OVERVIEW**

The SQ03 is a general-purpose research and industrial hydrophone that has an integrated pre-amplifier with a 40-dB gain. It has good sensitivity and bandwidth characteristics. The standard version comes with a 3m cable. Custom configurations can be provided on request.

**SPECIFICATIONS**

<b>Voltage sensitivity (nominal)</b>	-162.0 ± 1.0 dBV re 1 µPa @ 20 °C, 794 V/bar (with 40 dB gain pre-amplifier)
<b>Charge sensitivity</b>	15,880 nC/bar (with pre-amplifier)
<b>Capacitance</b>	20 nF ± 10 % @ 20 °C (hydrophone only)
<b>Sensitivity variation with temperature</b>	less than 1 dB loss from 0 to 35 °C
<b>Capacitance variation with temperature</b>	0.33% increase per °C
<b>Capacitance variation with pressure</b>	7% loss per 1,000 m
<b>Operating depth</b>	down to 650 m
<b>Frequency response</b>	1 Hz to 65,000 Hz
<b>Horizontal directivity</b>	±2dB typical
<b>Vertical directivity</b>	±2dB typical at 25 kHz
<b>Storage and operating temperature</b>	-30 to +60 °C
<b>Diameter</b>	25.4 mm (1.0")
<b>Length</b>	152.4 mm (6.0")
<b>Mass</b>	250 grams without cable
<b>Pre-amplifier</b>	integral, single-ended (SA02) or differential (SA03), 40 dB gain.
<b>Cable</b>	3m, neoprene jacket, 4-wire shielded cable std.



20 Stewart Rd, Collingwood, ON, Canada L9Y 4K1  
Tel: (705) 444-1440 Fax: (705) 444-6787  
www.sensortech.ca techsupport@sensortech.ca

[EMAIL](#) [HOME](#) [◀BACK](#) [NEXT▶](#)

## **Bibliografia**

Iannaccone, G., Vassallo, M., Elia, L., Guardato, S., Stabile, T. A., Satriano, C., and Beranzoli, L. (2010). Long-term seafloor experiment with the CUMAS module: performance, noise analysis of geophysical signals and hints for the design of a permanent network. *Seismological Research Letters* (Accepted for publication)

Iannaccone, G., Guardato, S., Vassallo, M., Elia, L., and Beranzoli, L. (2009). A New Multidisciplinary Marine Monitoring System for the Surveillance of Volcanic and Seismic Areas. *Seismological Research Letters*, Vol. 80, Num. 2, March/April 2009

Orazi, M., Peluso, R., Caputo, A., Capello, M., Buonocunto, C., and Martini M. (2008). A multiparametric low power digitizer: project and results. Concept, verification and application of innovative techniques to study active volcanoes. W. Mazzocchi & A. Zollo, INGV-DPC

Orazi, M., Martini, M., and Peluso, R. (2006). Data acquisition for Volcano monitoring. *Eos*, Vol. 87, No. 38, 19 September 2006

Evans, J. R., Nigbor, R. L., and Hutt, C. R. (2006). C-Language software for computing strong motion metrics and self noise. Menlo Park CA, U. S. Geological Survey, Open-File Report, 2006-1369

McNamara, D., and Boaz, R. I. (2005). Seismic Noise Analysis System: a stand-alone software package. U. S. Geological Survey-ANSS, Open-File Report, 2005

Webb, S. C., (1998). Broadband seismology and noise under the ocean. *Reviews of Geophysics*, 36, 1 Feb. 1998

Progetto PEGASO ([http://www.pa.ingv.it/Pegaso/home\\_page.html](http://www.pa.ingv.it/Pegaso/home_page.html))

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2010 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**