

# Rapporti tecnici INGV

**Ocean Seismic - Integrated Solutions  
(OS-IS<sup>®</sup>): metodo innovativo per il  
monitoraggio dello stato del mare**

# 355



## **Direttore Responsabile**

Silvia MATTONI

## **Editorial Board**

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



# Rapporti tecnici INGV

## **OCEAN SEISMIC - INTEGRATED SOLUTIONS (OS-IS®): METODO INNOVATIVO PER IL MONITORAGGIO DELLO STATO DEL MARE**

Cosmo Carmisciano<sup>1</sup>, Serena Ricci<sup>2</sup>, Lorenzo Iafolla<sup>3</sup>, Valerio Iafolla<sup>1,3</sup>, Marina Locritani<sup>1</sup>,  
Lorenzo Montani<sup>4</sup>, Alessandro Benedetti<sup>5</sup>, Rodolfo Console<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Aeronomia, Geomagnetismo e Geofisica Ambientale)

<sup>2</sup>IIM (Istituto Idrografico della Marina, Genova)

<sup>3</sup>AGI (Assist in Gravitation and Instrumentation s.r.l., Monte Porzio Catone - RM)

<sup>4</sup>AP-SP (Autorità Portuale della Spezia, La Spezia)

<sup>5</sup>CNR-IENI (Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per l'Energetica e le Interfasi, Genova)

<sup>6</sup>CGIAM (Centro di Geomorfologia Integrata per l'Area del Mediterraneo, Potenza)

# 355



## Indice

Introduzione.....	7
1. Dalle onde del mare alle vibrazioni microsismiche.....	7
2. Configurazione del sistema nel progetto ‘Vento, Porti e Mare’ .....	9
2.1 La boa ondometrica INGV.....	15
2.2 La boa ondometrica ISPRA .....	16
2.3 La boa ondometrica CNR - ODAS Italia 1 .....	17
2.4 Accelerometro AGI .....	18
2.5 Stazioni meteorologiche .....	19
2.6 Anemometro ad ultrasuoni .....	20
2.7 Il data-logger.....	22
2.8 Il GPS .....	22
2.9 l’UPS .....	22
3. Analisi dei dati.....	22
3.1 Confronto tra dati microsismici e boe .....	23
3.2 Comparazione dei dati microsismici .....	26
3.3 I terremoti .....	29
4. Conclusioni.....	32
5. Ringraziamenti.....	33
Bibliografia.....	33



## Introduzione

Il sistema OS-IS<sup>®</sup> è stato sviluppato nell'ambito del progetto europeo "Vento, Porti e Mare" (VPM nel seguito) per il monitoraggio e la previsione del moto ondoso nell'Alto Tirreno; il progetto è finalizzato al miglioramento della sicurezza della navigazione e alla mitigazione del rischio di incidenti nelle aree portuali [Burlando, 2014; Burlando, 2015; Solari, 2012].

La peculiarità di questo sistema consiste sia nell'impiego di accelerometri ad alta sensibilità che permettono la determinazione di parametri caratteristici del moto ondoso sia nell'applicazione di opportuni algoritmi appositamente sviluppati.

Di fatto, il metodo OS-IS<sup>®</sup> è uno dei primi casi di installazione di stazioni microsismiche in Italia, il cui scopo principale è quello della misura del moto ondoso piuttosto che del monitoraggio sismico. Tra i principali vantaggi di questo sistema vi è il fatto che l'intero apparato funziona "a terra", senza la necessità di utilizzare strumentazione in mare.

Il sistema si basa su un fenomeno fisico noto fin dagli inizi del 1900: le onde di mare si comportano come una sorgente di rumore microsismico dovuto alla variazione di pressione esercitata sul fondale marino. Questo fenomeno è stato modellizzato a partire dal 1950 da Longuet-Higgins e successivamente implementato in diverse circostanze.

Il sistema predisposto per il progetto VPM è costituito da tre stazioni multiparametriche, ciascuna installata in uno specifico punto nel Golfo della Spezia e ciascuna corredata di stazione microsismica, meteorologica e di opportuno *data-logger*. Queste stazioni trasmettono i dati ad un server centrale che converte le misure microsismiche nelle corrispondenti altezze significative, periodi di picco e periodi medi d'onda.

Per un'analisi di confronto e per operare una calibrazione degli algoritmi di conversione del dato sismico in dato ondometrico sono state utilizzate due boe ondometriche: la boa ISPRA posta fuori dal Golfo della Spezia a circa 7 miglia nautiche dalla costa (analisi di confronto) e la boa temporanea INGV sita all'interno dello stesso golfo (calibrazione del sistema).

Dal confronto fra le misure dell'altezza significativa d'onda ottenute dalle stazioni microsismiche a terra e quelle acquisite dalle due boe ondometriche già citate, è stata riscontrata, come atteso, una maggiore correlazione dei dati a terra con quelli acquisiti dalla boa ISPRA. Al fine di operare un'ulteriore verifica sulla bontà del metodo, è stato inserito nel confronto anche il *dataset* ottenuto da un'altra boa posta offshore, a 35 miglia nautiche dal porto della Spezia, di proprietà del CNR e denominata ODAS Italia 1; anche in questo caso è stata riscontrata una buona correlazione.

Allo stato attuale il sistema ha mostrato un notevole livello di affidabilità; ciò ha permesso la raccolta di numerosi dati nel corso della sperimentazione iniziata il 13 ottobre 2014 e tutt'oggi in corso.

Presto la sperimentazione, tutt'ora in corso, si arricchirà di un ulteriore elemento di confronto: un radar in banda X utilizzato, in particolare, per la determinazione della direzione delle onde.

### 1. Dalle onde del mare alle vibrazioni microsismiche

Il fenomeno fisico sul quale si fonda il metodo OS-IS<sup>®</sup> è noto dai primi del '900 ma è stato modellizzato solo nel 1950 da Longuet-Higgins, [Longuet-Higgins, 1950].

Già dagli albori della sismologia si era capito che il rumore diffuso con periodo compreso tra i 5 e i 10 secondi fosse da attribuire all'attività delle onde oceaniche che comportano escursioni verticali della terra dell'ordine di alcuni micrometri, da qui il nome microsisma [Arduin et al., 2012]. Il lavoro di Gutenberg [Gutenberg, 1947] contiene un esauriente resoconto degli studi fatti sull'argomento dai principi del secolo fino alla sua epoca e la descrizione di un'applicazione relativa alla previsione delle perturbazioni atmosferiche nel mar dei Caraibi, eseguita mediante l'uso di stazioni sismiche tripartite ovvero tre stazioni installate in posizioni diverse i cui dati vengono utilizzati congiuntamente.

In uno studio puramente teoretico sul movimento delle onde [Miche, 1944], l'autore scoprì che la pressione media esercitata sul fondale del mare al di sotto di un treno d'onde stazionarie non è costante ma fluttua con ampiezza indipendente dalla profondità ed in maniera proporzionale al quadrato dell'altezza d'onda; questo fenomeno prende il nome di variazione di pressione del secondo ordine. Tale oscillazione è proprio quella richiesta per provocare movimenti della terra ovvero onde sismiche di Stoneley che sono un particolare tipo di onde di Rayleigh [Bromirski et al., 1999].

Quindi, se consideriamo un infinito treno d'onde, c'è una variazione di pressione del secondo ordine a profondità infinita che viene applicata equamente all'intero fluido e non risulta essere associata ad alcun movimento di particelle. Un ulteriore fatto degno di nota è che la frequenza di questa variazione di pressione è due volte la frequenza fondamentale delle onde [Laing et al., 1998; Krogstada et al., 1999].

Longuet-Higgins nel 1950 è riuscito a dimostrare che la variazione media di pressione in una vasta area deriva dall'interferenza di gruppi d'onda della stessa lunghezza d'onda (ma non necessariamente anche della stessa ampiezza) che viaggiano in direzioni opposte.

La prima verifica dettagliata utilizzando un modello numerico è stata effettuata recentemente da Kedar [Kedar et al., 2008]. In tale lavoro non sono state prese in considerazione sorgenti e riflessioni dovute alla costa che sono comunque importanti e da tenere in considerazione applicando appositi algoritmi.

Negli ultimi anni diversi studi hanno implementato modelli numerici d'onda in applicazioni più accurate [Ardhuin et al., 2011; Barstow et al., 2005; Barruol et al., 2006].

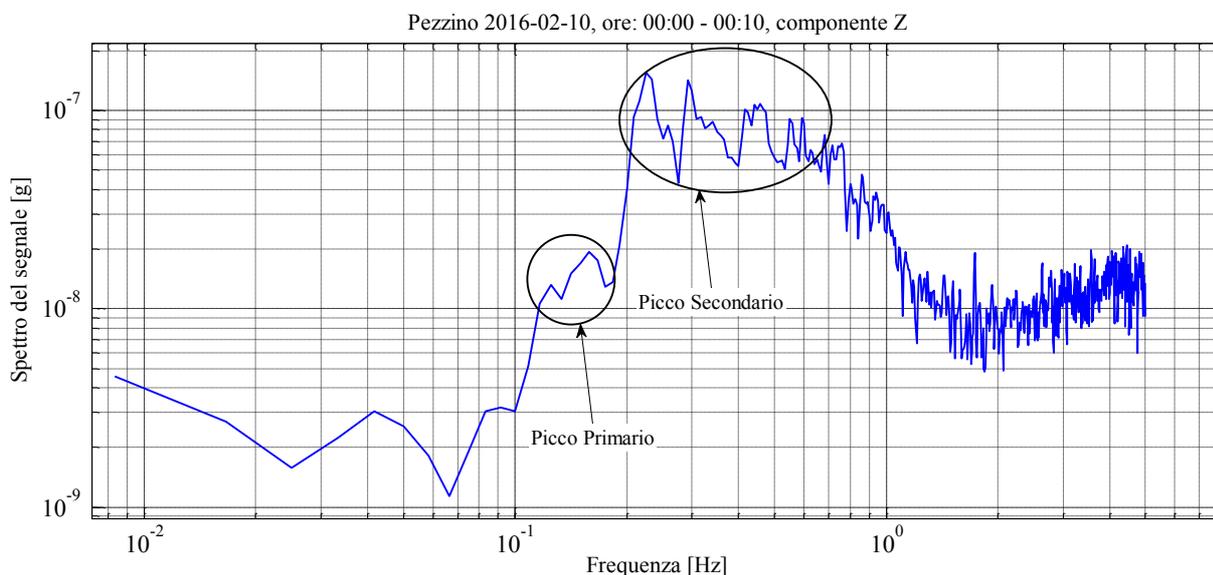
Recentemente in Irlanda è stata condotta un'analisi specifica sulla quantificazione dell'altezza d'onda usando dati sismici da terra [Donne et al., 2012]. In uno specifico grafico del lavoro si vede chiaramente che esiste una relazione tra ampiezza del microsisma e altezza significativa d'onda.

In particolare nei nostri studi si evince che:

- le onde di mare determinano una variazione di pressione sul fondale;
- alla variazione di pressione è correlato un segnale microsismico che si estende anche nell'entroterra;
- il segnale microsismico può essere misurato da terra con apparecchiature sismometriche;
- attraverso le misure microsismiche, mediante procedimento inverso, è possibile determinare alcuni parametri caratteristici dello stato del mare.

Il metodo OS-IS<sup>®</sup> si concentra precisamente sul segnale microsismico la cui forma spettrale è identica a quella delle onde del mare ma a frequenza doppia; questo fenomeno prende il nome di “picco secondario” il cui periodo varia da 2 a 10 secondi e la frequenza oscilla tra 0,1 e 0,5 Hz (figura 1).

Altri fenomeni producono un segnale microsismico denominato “picco primario” caratterizzato dalla stessa frequenza delle onde ma di minore intensità: il fenomeno non è ancora ben compreso ed in pochi studi presenti in letteratura esso è stato correlato allo stato del mare. Il segnale di questo picco ha un periodo compreso nell'intervallo tra i 5 e i 20 secondi ed una frequenza compresa da 0,05 a 0,2 Hz.



**Figura 1.** Spettro di potenza dell'accelerazione microsismica registrata lungo la componente verticale a poche decine di metri dal mare, presso la sede INGV di Porto Venere (Villa Pezzino). Il grafico individua le frequenze di interesse per la misura dello stato del mare.

Dalle misure microsismiche si può determinare lo stato di mare che risulta descritto dai seguenti parametri statistici: altezza significativa delle onde ( $H_s$ ); periodo medio delle onde ( $T_m$ ); periodo di picco delle onde ( $T_p$ ).

$$H_s = a \sqrt{\int_c^d E(f) df} + b$$

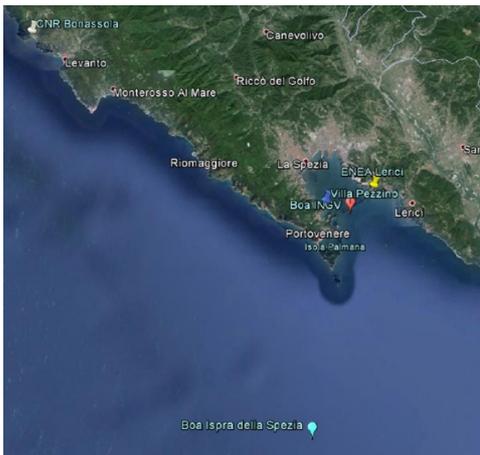
$$T_m = 2 \sqrt{\frac{\int_c^d E(f) df}{\int_c^d f^2 E(f) df}}$$

$$T_p = 2/f_p \quad ; \quad E(f_p) = \max_f \{E(f)\}$$

In queste relazioni  $f$  indica la frequenza,  $E(f)$  la densità spettrale del segnale microsismico,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  sono parametri di calibrazione,  $f_p$  è la frequenza di picco. I parametri di calibrazione possono essere determinati dai modelli teorici o utilizzando misure eseguite da boe temporaneamente installate nelle zone di mare di interesse.

## 2. Configurazione del sistema nel progetto ‘Vento, Porti e Mare’

All'interno del progetto VPM sono state installate tre stazioni multiparametriche nelle sedi mostrate in figura 2.



2.0



2.1



2.2



2.3

**Figura 2.** Ubicazione delle tre installazioni, della boa permanente ISPRA e della boa temporanea INGV- [2.0 Mappa Mar Ligure di levante - 2.1 Villa Pezzino, Sede INGV di Porto Venere (SP) - 2.2 - Lerici, Sede ENEA di Lerici (SP) - 2.3 - Bonassola, Sede CNR - Bonassola (SP)].

La scelta dei siti nei quali installare la strumentazione OS-IS<sup>®</sup> è stata fatta tenendo conto dell'idoneità dal punto di vista delle misure da eseguire (basso livello del rumore antropico) e dell'idoneità tecnico-infrastrutturale (aspetti logistici).

A seguito di un'analisi preliminare, basata sulla condizione di disporre le tre stazioni osservative secondo una geometria tale da permettere al meglio il monitoraggio dell'area di interesse e previa verifica logistica-amministrativa, sono stati selezionati i tre siti per i quali è stata condotta successivamente una approfondita analisi di validazione.

Le condizioni da soddisfare per le installazioni sono indicate nel seguente elenco:

- 1) presenza di un ambiente idoneo alla installazione della stazione sismica:
  - a) non soggetto al rumore antropico;
  - b) possibilità di realizzare una opportuna base di appoggio per il sismometro;
  - c) variazioni termiche contenute;
  - d) livello contenuto di umidità.
- 2) presenza della rete di alimentazione elettrica;
- 3) possibilità della connessione ad Internet con collegamento ethernet;
- 4) possibilità di alloggiamento esterno di una antenna GPS;
- 5) possibilità di alloggiamento esterno per una stazione meteo;
- 6) possibilità di realizzare le interconnessioni elettriche e di trasmissione dati con apposito cablaggio.

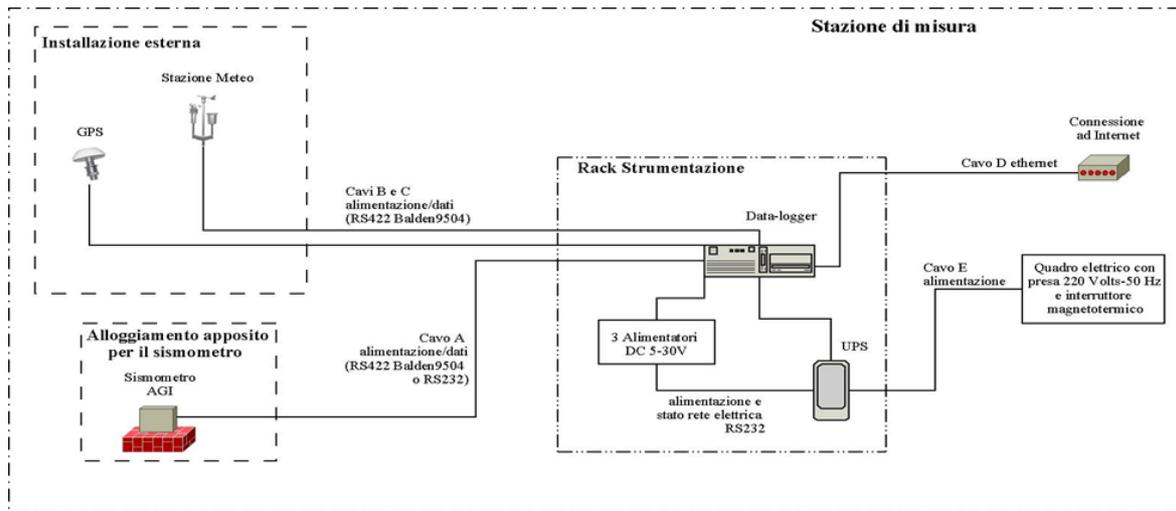
Come esposto nel paragrafo precedente, il segnale microsismico generato dalle onde del mare è concentrato nella banda attorno alla frequenza stessa delle onde ed al suo doppio: questa banda è compresa tra  $10^{-1} - 1$  Hz.

Lo scopo dei *test* è verificare nei siti l'eventuale presenza di sorgenti di rumore vibrazionale che potesse inficiare la misura. In effetti, escluso il mare, non ci sono molte sorgenti nella banda di interesse, ma devono essere considerati anche eventuali segnali impulsivi che possono dare un effetto su tutto lo spettro. Va comunque detto che i disturbi impulsivi possono essere eliminati dai dati in fase di pre-analisi mentre quelli che agiscono fuori dalla banda possono essere rimossi con un opportuno filtraggio.

Sulla base di precedenti esperienze di misura e da informazioni reperite in letteratura, è stato scelto un valore minimo limite per lo spettro del rumore di fondo microsismico pari a circa  $5 \cdot 10^{-8} \cdot g/\sqrt{\text{Hz}}$ . Nella valutazione del rumore di fondo va considerato che, nelle misure di caratterizzazione, le onde sismiche generate dal mare saranno anch'esse presenti ed il valore determinato sarà da intendere come un limite superiore (il rumore sarà senza dubbio inferiore). Al fine di determinare il valore più vicino al rumore minimo del sito, sono state analizzate acquisizioni sismometriche eseguite in intervalli di tempo nei quali i valori dell'altezza dell'onda significativa misurati dalla boa ISPRA della Spezia erano al loro minimo [Bencivenga et al., 2012]. Lo spettro del segnale che ci si aspetta è influenzato dall'effetto del mare che produce due picchi piuttosto larghi sovrapposti ad un fondo da stimare. Un altro contributo che può inficiare la misura è dovuto alle variazioni di temperatura: esse agiscono generalmente a basse frequenze, molto inferiori a quelle di interesse; non di meno la qualità dei dati può essere migliorata usando dei sistemi di termostatazione o isolamento termico, non utilizzati durante questi *test* [Solari et al., 2012b].

Ciascuna delle tre stazioni OS-IS<sup>®</sup> è costituita dai componenti indicati nella seguente lista e interconnessi secondo lo schema riportato nella figura.

- Accelerometro;
- Stazione Meteo;
- Ricevitore GPS per la sincronizzazione temporale;
- Data-logger.



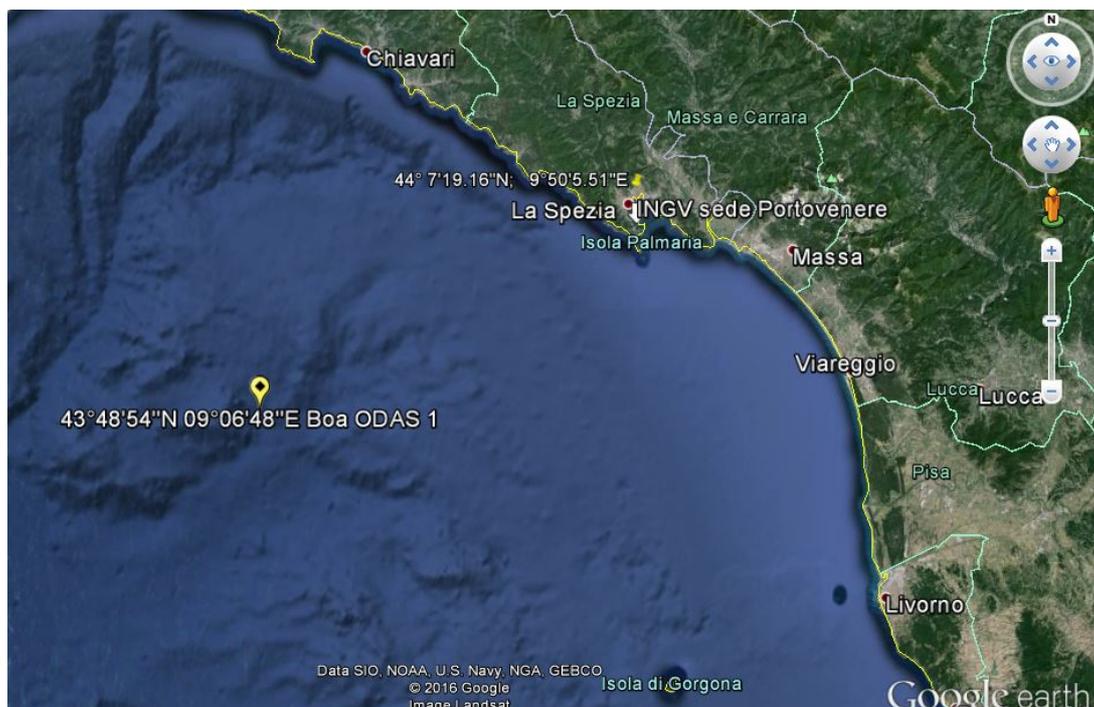
**Figura 3.** Schema generale di una stazione multiparametrica OS-IS®.

I dati sono registrati dal *datalogger* che provvede ad aggiungere una marcatura temporale basata sul segnale GPS; questo consente di sincronizzare i dati delle tre stazioni con una accuratezza migliore di 0.1 secondi, ben al di sotto del periodo del segnale relativo alle onde (> 1 secondo).

Il *datalogger*, oltre a raccogliere i dati dell'accelerometro e della stazione meteo, provvede al loro trasferimento via Internet ad un server centrale di raccolta ed elaborazione con una cadenza di 10 minuti. Il sistema è inoltre dotato di un modulo UPS (*Uninterruptible Power Supply*) che garantisce la continuità elettrica e ne migliora l'affidabilità.

L'attuale rete installata è costituita dagli elementi indicati nella seguente lista:

1. Tre stazioni microsismiche;
2. Boa ISPRA;
3. Boa INGV temporanea;
4. Due server di raccolta ed elaborazione dei dati.



**Figura 4.** Posizione boa ODAS Italia 1.

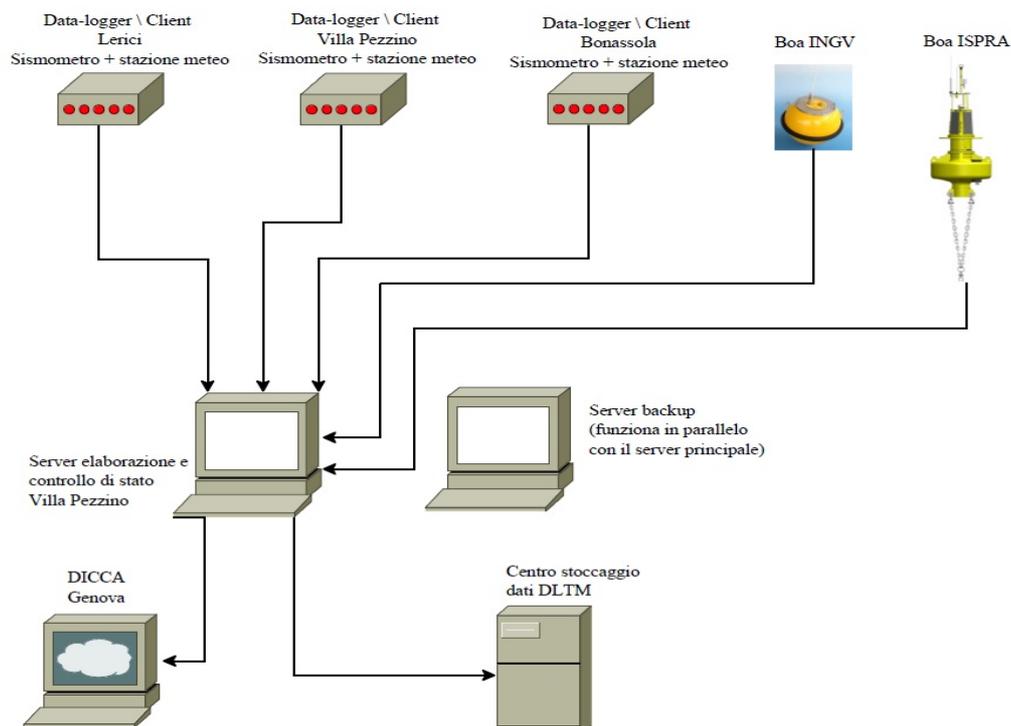
La boa INGV è utilizzata in fase di calibrazione degli algoritmi di conversione del dato sismico in dato ondametrico. In particolare, è stata utilizzata una boa temporanea dell'INGV, posta all'ingresso del Golfo della Spezia esternamente alla diga foranea, allo scopo specifico di fornire un elemento di calibrazione del sistema OS-IS<sup>®</sup>. Inoltre, sono stati utilizzati i dati pubblici della boa ISPRA quali elemento di confronto con i metodi tradizionali di rilevazione.

Nel presente lavoro, sono stati utilizzati anche i dati acquisiti dalla boa CNR ODAS Italia 1 [Bozzano et al., 2007] che è posta *offshore* a circa 35 miglia nautiche dal porto della Spezia (figura 4). Ciò ha rappresentato un ulteriore *test* per la fase di validazione del sistema in quanto i dati raccolti sono risultati sufficientemente coerenti nel confronto con i dati del sistema OS-IS<sup>®</sup>.

I server di raccolta dati (figura 5) sono ridondanti per evitare punti singoli di vulnerabilità che possono causare il non funzionamento dell'intero sistema. Ad ogni server sono demandati i seguenti compiti:

1. raccolta dati;
2. elaborazioni per la valutazione del dato ondametrico;
3. controllo dello stato di funzionamento delle stazioni microsismiche e delle boe di calibrazione;
4. trasmissione dei dati al server di UNIGE-DICCA.

Infine, il centro HPC del Distretto Ligure delle Tecnologie Marine (DLTM) garantisce l'archiviazione dei dati acquisiti per lunghi periodi di tempo [Iafolla et al., 2014].



**Figura 5.** Schema della rete di acquisizione del progetto “Vento, Porti e Mare”.

Nella sede dell'INGV di Villa Pezzino a Porto Venere è stata istituita una sala operativa (figura 6) nella quale è possibile monitorare lo stato di funzionamento del sistema OS-IS<sup>®</sup> e dove è possibile visualizzare in tempo reale i dati raccolti dai sensori e dalle boe mediante un opportuno portale consultabile solo mediante autorizzazione rilasciata dall'Autorità Portuale della Spezia.



**Figura 6.** Sala Operativa OS-IS® - Sede INGV di Porto Venere.

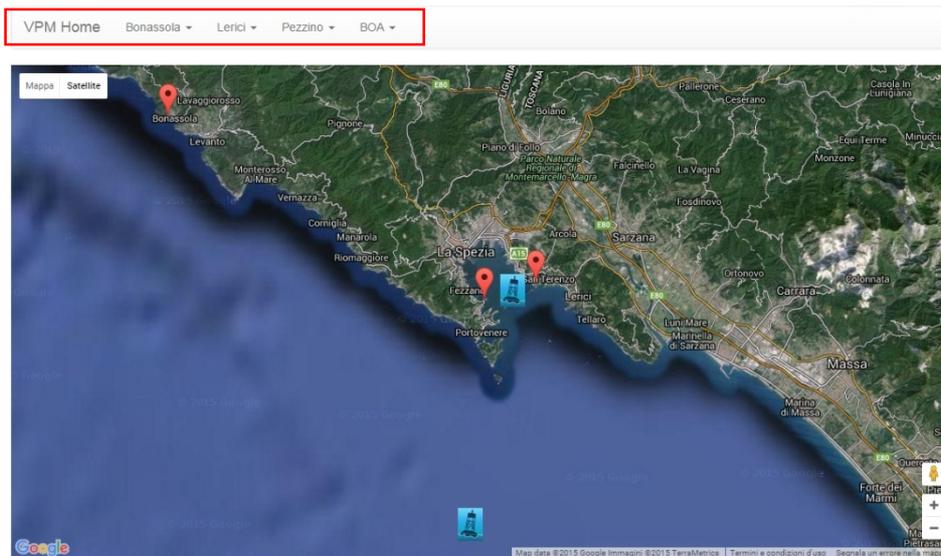
Il sistema è in grado di inviare un *Automatic Notification* (figura 7) via e-mail al fine di monitorare lo stato operativo ed eventuali malfunzionamenti di alcuni componenti della rete.

<b>TimeStamp: 2016-01-29T00:00:01Z</b>			
<b>SERVER: vpm.ns0.it</b>			
	Free %	Free Space	Total Space
	88%	400G	455G
<b>STATIONS</b>			
	<b>Lerici:</b>		
	Data On Disk		
	Missing Files	0	
	Power Supply		
	Powered? (Yes/No)		
	Yes		
	<b>Bonassola:</b>		
	Data On Disk		
	Missing Files	0	
	Power Supply		
	Powered? (Yes/No)		
	Yes		
	<b>Pezzino:</b>		
	Data On Disk		
	Missing Files	0	
	Power Supply		
	Powered? (Yes/No)		
	Yes		

Last Modified: 2016-01-29 16:10:02.727283

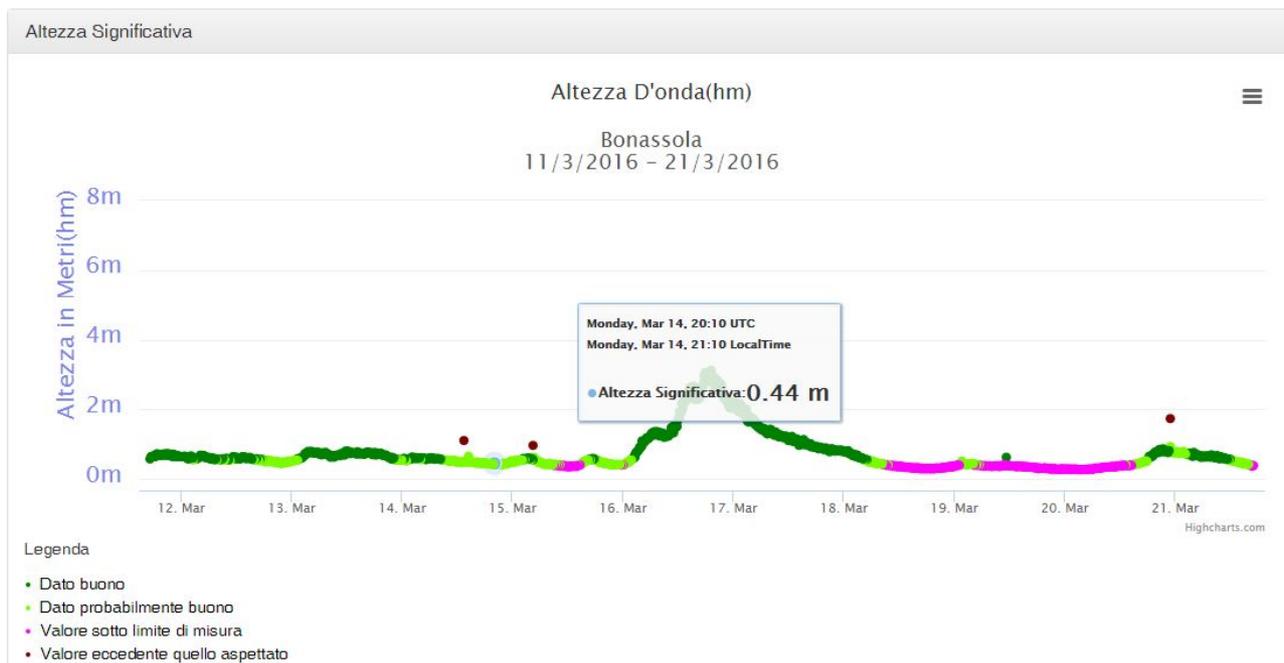
**Figura 7.** Automatic Notification del sistema OS-IS®.

Si possono consultare i dati attraverso un webGIS (figura 8) che riporta la mappa della rete e le icone attive relative sia alle stazioni che alle boe. In questo modo è possibile accedere al *database* ed alle serie storiche in esso contenute.



**Figura 8.** Schermata di homepage del portale “Vento Porti e Mare”.

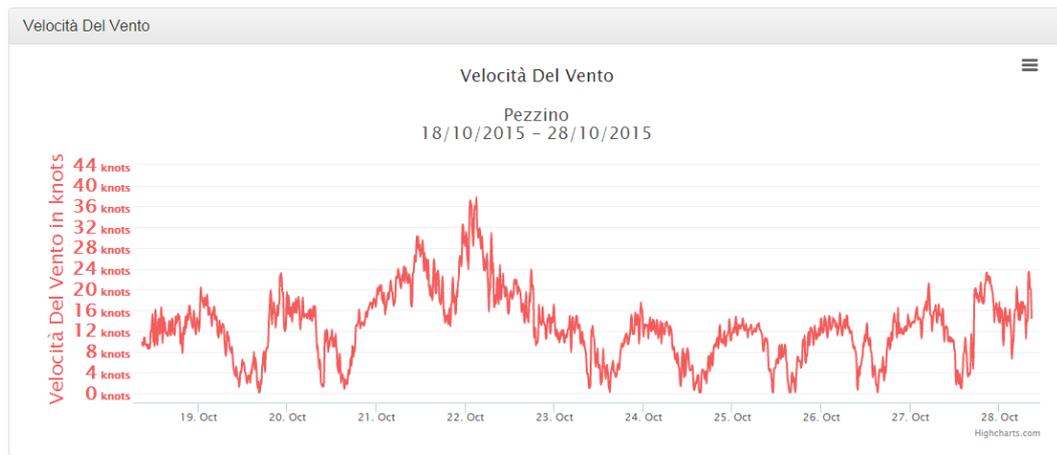
Dalla *homepage* è possibile selezionare in modo interattivo la stazione che si vuole visualizzare (sia attraverso le icone presenti sulla mappa, sia dall’apposito menù). Si può quindi scegliere di esaminare sia i parametri meteo che quelli relativi alle onde. In figura 9 un esempio di visualizzazione delle altezze significative delle onde.



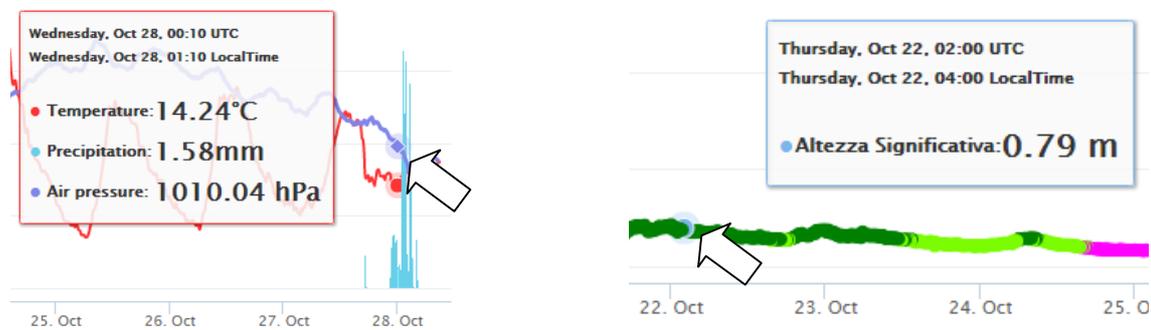
**Figura 9.** Grafico dell’altezza significativa d’onda consultabile dal portale “Vento porti e Mare”.

Qualora si volessero visualizzare dati relativi ad un intervallo temporale diverso da quello corrente si può selezionare l’opzione “dati storici onde” e scegliere l’opportuno intervallo di tempo; quindi sarà possibile anche scaricare i dati sia in formato Excel, PDF o semplicemente come immagine .jpeg

Le solite opzioni si possono applicare alla sezione “meteo” nella quale sono disponibili grafici di temperatura dell’aria, precipitazioni, pressione atmosferica, velocità e direzione del vento; come mostrato negli esempi che seguono (figure 10 e 11).



**Figura 10.** Grafico della velocità del vento consultabile dal portale “Vento, porti e Mare”.



**Figura 11.** Finestra con valore della misura ottenibile dai grafici del portale “Vento, porti e Mare”.

Qualora si volesse conoscere il valore preciso di un punto sul grafico basterà portare il puntatore del mouse sul punto di interesse e apparirà in automatico una finestra con esplicitati data e orario sia locale che UTC (*Universal Time Coordinated*) e il valore specifico di quella misura (figura 11).

## 2.1 La boa ondometrica INGV

Una boa HS *Compact Sea Ranger* (figura 12), posta poche decine di metri all'esterno della diga foranea che protegge il Golfo della Spezia, è stata utilizzata per il monitoraggio costiero dei parametri d'onda. Il sensore ondometrico è basato su accelerometri triassiali con tecnologia MEMS e una terna di *gyro*.

Inoltre è corredata di un Modem GPRS con GPS integrato e di antenna combinata per ambiente marino. La batteria al litio della boa è in grado di fornire ininterrottamente alimentazione ai sistemi di bordo per una durata complessiva di 14 mesi.



**Figura 12.** Boa INGV nel Golfo della Spezia.

Le prestazioni dei sensori di base sono le seguenti:

- Range di accelerazione: +/- 5g (-40°C.+85°C);
- Banda da 0 a 20Hz;
- Risoluzione: 0.15 mg;
- Heading, Pitch e Roll: risoluzione di 0.1deg con precisione di 0.5deg.

In termini di misura d'onda le prestazioni sono le seguenti:

- Range di misura d'onda: +/-25m;
- Precisione d'ampiezza: 1cm;
- Periodo: 1sec. 40sec;
- Precisione di direzione: 2deg.

L'elettronica è basata su processore CMOS LV a basso consumo che esegue le attività di acquisizione, *processing* e comunicazione necessarie. Il *processing* è eseguito mediante FFT (*Fast Fourier Transform*) per ottenere i parametri statistici direttivi dell'onda dall'elaborazione dei movimenti della boa.

## 2.2 La boa ondometrica ISPRA

L'istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) gestisce una rete denominata Rete Ondometrica Nazionale (RON) composta da otto boe Datawell Wavec MKI e tre boe Datawell Waverider MKII, distribuite in acque nazionali; tra queste la boa antistante il Golfo della Spezia [ISPRA-APAT, 2003; Picone, 2009].

La boa di tipo Triaxis (figura 13) è composta da una carena Wavec (del tipo *slope following*) che è conformata in modo da favorire l'inseguimento del profilo d'onda e, mediante il sensore "Hippy 120", ne misura l'elevazione e le inclinazioni riferite ad una piattaforma inerziale interna al sensore che individua il piano di riferimento orizzontale. L'elevazione è ottenuta dalla doppia integrazione dell'accelerazione verticale misurata da un accelerometro montato sulla piattaforma.



**Figura 13.** Boa ISPRA.

Un sistema di bussole misura le componenti del campo magnetico lungo gli assi del sistema di riferimento solidale con la boa: Hx, Hy, Hz. Da tali componenti del campo magnetico e dalle suddette inclinazioni si ricavano:

- il valore assoluto e l'inclinazione del campo magnetico terrestre;
- l'orientamento della boa;
- le due pendenze locali della superficie dell'acqua nelle due direzioni nord-sud ed est-ovest che consentono di definire la direzione di propagazione delle onde.

I valori misurati vengono trasmessi in continuo dalla boa, via radio, e ricevuti nella stazione a terra dal ricevitore DIREC che contiene, oltre al ricevitore radio e un timer, un microprocessore. Quest'ultimo

decodifica i dati, esegue il controllo sulla qualità degli stessi e li elabora. I dati vengono restituiti ad intervalli di 30 minuti, questo intervallo è inferiore in caso di mareggiate particolarmente significative.

**Purtroppo va segnalato che dal 1 gennaio 2015, il servizio RON è stato sospeso da parte dell'ISPRA e ciò permane al momento della redazione del presente lavoro.**

### 2.3 La boa ondometrica CNR - ODAS Italia 1

La boa ODAS Italia 1 (figura 14) è costituita da un corpo a palo, realizzato con tubo di acciaio, suddiviso in quattro tronchi. I tre elementi superiori sono stagni e riempiti con una schiuma densa e compatta per limitare, in caso di allagamento della sezione, lo sprofondamento della boa a pochi metri. Il quarto elemento è allagato e termina con un grosso piatto che smorza i movimenti verticali. Al di sotto è appesa la zavorra di 1300 Kg. In cima al palo vi è la testa della boa, realizzata interamente in lega d'alluminio sul quale si trova un piccolo laboratorio che ospita il sistema d'acquisizione. Il vano di circa 3 m<sup>3</sup> di volume posto a circa 6 m slm, può ospitare fino a 2 persone nel corso degli interventi manutentivi.



**Figura 14.** Boa CNR - ODAS Italia 1.

Sopra il laboratorio si trova il traliccio che arriva sino a 15m slm e sul quale sono montati i sensori meteorologici ed il fanale. La struttura è lunga complessivamente 51,22 m (dei quali 36,4 m immersi) ed ha un peso a terra di circa 11,9 tonnellate.

La lunghezza totale dell'ormeggio, 1.900 m, consente alla boa di ruotare attorno all'ancora con un raggio di circa 800 metri, evitando che, sotto forti spinte trasversali, la boa tenda ad immergersi. La strumentazione ospitata a bordo può essere suddivisa in tre categorie: sensori per misure atmosferiche, sensori per misure marine e sensori di servizio. I sensori di servizio comprendono un GPS per il rilevamento della posizione, una bussola e una coppia di inclinometri, per misurare il rollio e il beccheggio. L'alimentazione è supportata da 8 pannelli solari, disposti circolarmente attorno al laboratorio, e da un generatore eolico montato sul traliccio.

Tutti i dati, sia geofisici che di servizio, sono controllati, acquisiti e pre-processati da un controller intelligente di prestazioni industriali, configurato usualmente, per acquisire un set completo di dati ogni ora. I sensori GPS e quelli marini sono interrogati e registrati nei 5 minuti intorno all'ora. I sensori meteorologici sono acquisiti a più bassa frequenza (0.1 Hz). Tutti i dati così raccolti sono memorizzati localmente e quindi trasferiti alla stazione di terra presso il CNR - ISSIA di Genova. La trasmissione avviene con una comunicazione a due vie che utilizza il sistema satellitare Globalstar.

Presso la stazione a terra i dati sono processati in tempo quasi-reale, secondo un protocollo internazionale per il controllo qualità, archiviati e messi a disposizione della comunità scientifica.

## 2.4 Accelerometro AGI

L'accelerometro (figura 15) esegue le misure microsismiche ed è il componente essenziale per il metodo OS-IS<sup>®</sup> [Iafolla et al., 2015]. L'aspetto fondamentale è la capacità di misurare piccoli segnali nella banda di frequenze di interesse per le onde del mare (da 10<sup>-1</sup> Hz a 1 Hz); la frequenza di acquisizione scelta è di 10 Hz in modo da evitare eventuali problemi legati all'*aliasing*. Lo strumento ha la catena elettronica integrata al suo interno, inoltre l'uscita è già digitalizzata ed espressa in g e la risposta è lineare nell'intervallo di interesse.

In tabella 1 sono riportate le caratteristiche principali dell'accelerometro triassiale AGI utilizzato nel sistema OS-IS<sup>®</sup>



Figura 15. Vista interna dell'accelerometro AGI.

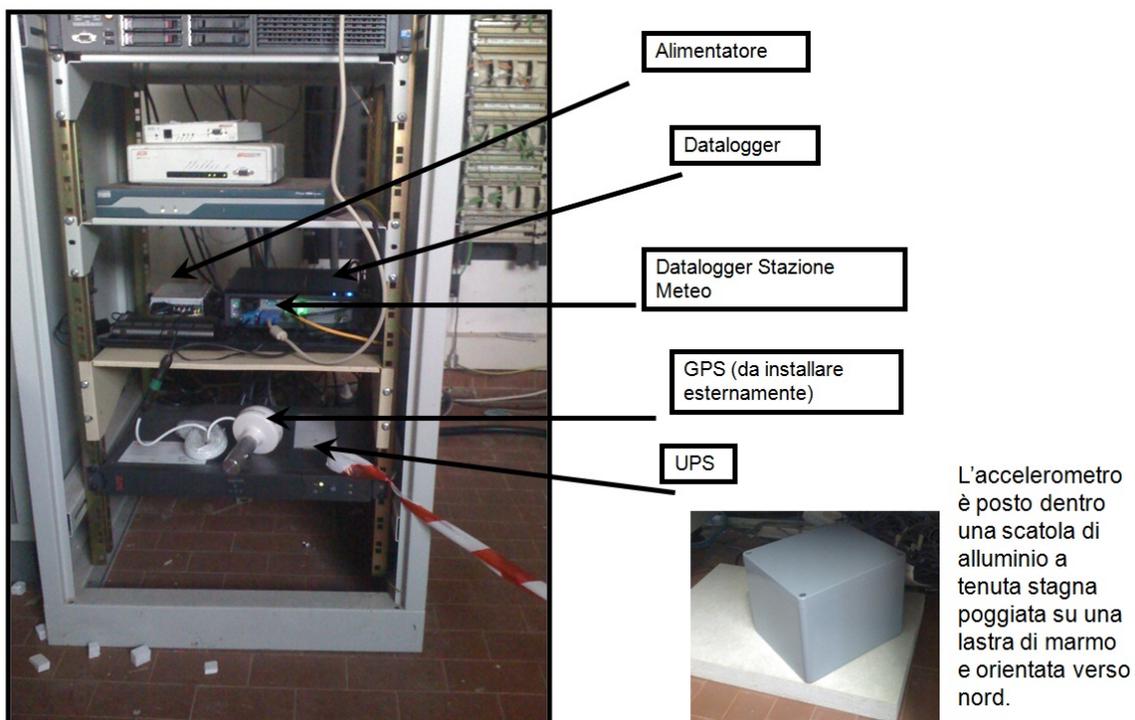


Figura 16. Insieme della stazione accelerometrica assemblata presso la sede INGV di Porto Venere.

Caratteristica	Valore
Banda di frequenze	$10^{-3}$ Hz – 10 Hz
Numero di bit	24
Rumore di fondo strumentale	$\sim 2 \cdot 10^{-8}$ g/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Assi sensibili	x, y, z
Dinamica	120 dB
Linearità	> 80 dB
Peso	2.5 Kg
Dimensioni	155x125x125 mm
Alimentazione	5V esterna o con USB
Potenza assorbita	<75 mW
Batteria	Incorporata, 3.6-5.4 A/h
Termometro	PT10000
Sistema GPS con sistema di sincronizzazione PPS	
Memoria	2 Gb
Interfaccia di comunicazione	USB,RS232
Protocollo di comunicazione	NMEA
No Force-balance	
Processore <i>embedded</i> per pre-elaborazione, controllo e acquisizione	

**Tabella 1.** Caratteristiche generali dell'accelerometro AGI.

## 2.5 Stazioni meteorologiche

Le stazioni meteorologiche (figure 17 e 18) che fanno parte del *network* OS-IS<sup>®</sup> sono composte da diversi sensori, come descritto di seguito.



**Anemometro:** include i sensori di velocità e direzione del vento. I solidi componenti sono in grado di resistere ai venti più intensi pur essendo sensibili alle brezze più leggere. Provato nella galleria del vento a velocità superiori a 274 km/h (170 miglia orarie).

**Figura 17.** Stazione meteorologica; installazione presso la sede INGV di Porto Venere.

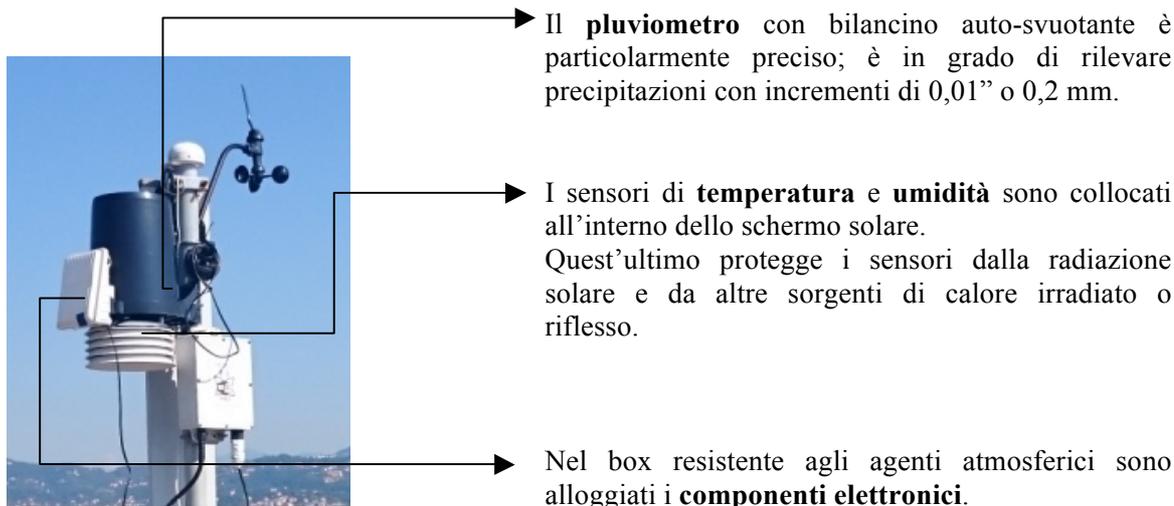


Figura 18. Particolari della stazione meteorologica.

## 2.6 Anemometro ad ultrasuoni



Il Gill Wind Observer 65 (figura 19) è un anemometro preciso, compatto e ultrasonico che fornisce informazioni sulla velocità e direzione del vento attraverso un *output* digitale e tre analogici opzionali, possiede un involucro in acciaio inossidabile IP66 che lo rende particolarmente indicato per ambienti costieri. Lo strumento in questione è posizionato sul tetto della sede INGV di Porto Venere, in prossimità della stazione meteorologica.

Figura 19. Anemometro ad ultrasuoni.

I dati provenienti da questo strumento confluiscono in un apposito server predisposto nella sala operativa INGV e sono consultabili dagli operatori attraverso una specifica connessione intranet; di seguito (figura 20) la relativa *homepage*.



Figura 20. Consultazione web dati dell'anemometro ultrasonico.

È possibile monitorare in tempo reale la velocità, direzione e intensità del vento oltre che la temperatura dell'aria.

Dal menu posto a sinistra, selezionando "Storico", è possibile scegliere un intervallo temporale per i parametri che si vogliono visualizzare, come nell'esempio di figura 21.

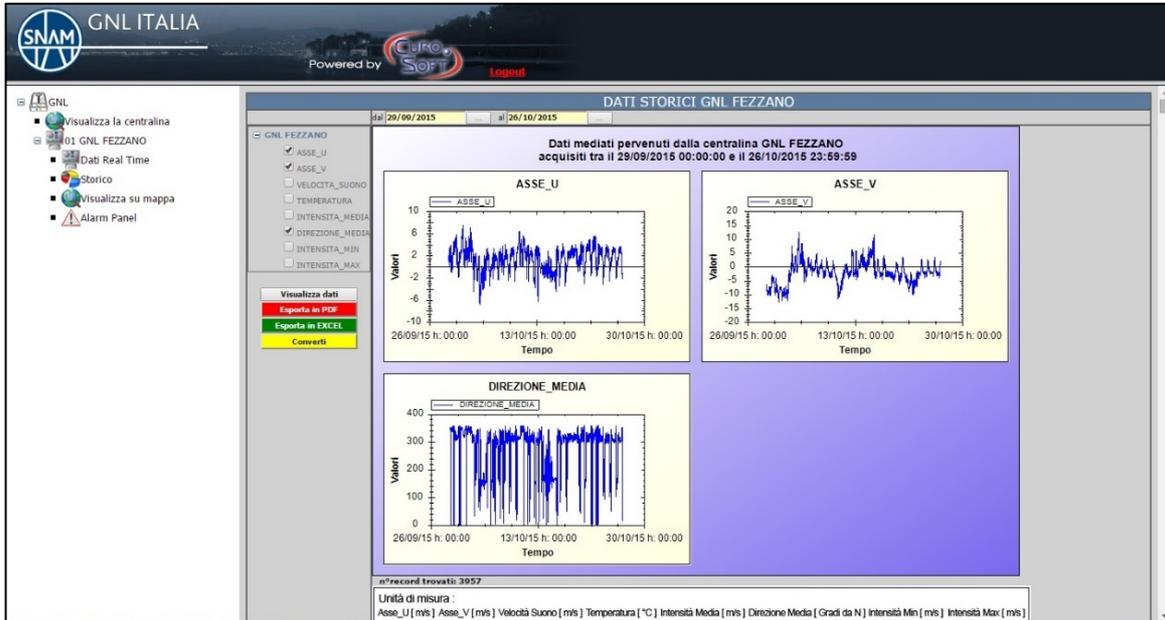


Figura 21. Archivio storico di dati dell'anemometro.

Una volta selezionati periodo e parametri da visualizzare, i dati compariranno su un grafico e, se lo si desidera, è possibile scaricarli scegliendo tra diversi formati (figura 22).

DATA	ASSE_U	ASSE_V	DIREZIONE_MEDIA
29/09/2015 00:00:00	1.43	-6.273	347.16
29/09/2015 00:10:00	2.078	-7.306	344.126
29/09/2015 00:20:00	1.834	-7.128	345.969
29/09/2015 00:30:00	1.742	-6.997	346.018
29/09/2015 00:40:00	1.723	-6.178	348.101
29/09/2015 00:50:00	1.322	-6.629	351.291
29/09/2015 01:00:00	0.946	-7.431	352.748
29/09/2015 01:10:00	1.609	-6.796	349.634
29/09/2015 01:20:00	1.103	-6.252	352.384
29/09/2015 01:30:00	1.733	-6.747	348.791
29/09/2015 01:40:00	1.728	-6.386	348.356
29/09/2015 01:50:00	3.223	-6.14	338.4
29/09/2015 02:00:00	3.44	-6.714	338.461
29/09/2015 02:10:00	3.061	-6.162	341.524
29/09/2015 02:20:00	2.642	-6.302	344.142
29/09/2015 02:30:00	1.539	-6.84	351.111
29/09/2015 02:40:00	2.438	-10.161	346.206
29/09/2015 02:50:00	1.706	-6.611	349.935
29/09/2015 03:00:00	1.439	-6.079	350.991
29/09/2015 03:10:00	1.432	-6.563	351.483
29/09/2015 03:20:00	1.273	-6.374	352.265
29/09/2015 03:30:00	-0.018	-6.207	0.118
29/09/2015 03:40:00	1.556	-6.778	350.958
29/09/2015 03:50:00	1.044	-6.901	353.983
29/09/2015 04:00:00	1.373	-6.209	351.52
29/09/2015 04:10:00	1.213	-6.016	352.339
29/09/2015 04:20:00	1.679	-6.382	350.063
29/09/2015 04:30:00	1.216	-6.614	352.789

Figura 22. Database anemometrico.

## 2.7 Il data-logger



Il *data-logger* possiede alta affidabilità anche per lunghi periodi di funzionamento. È possibile inoltre aggiornarlo da remoto. Viene utilizzato in fase di elaborazione e *storage* dei dati provenienti dai sensori (stazione sismometrica, stazione meteo, modulo GPS, unità UPS).

Figura 23. Data-logger Advantech.

## 2.8 Il GPS



Ricevitore GPS marino *waterproof* con filtri anti UV e protezione da acidità e alcalinità. Dispone di batteria ricaricabile che assicura l'alimentazione dell'orologio in tempo reale e controlla i parametri di memoria per una rapida acquisizione dei satelliti in fase di avviamento. Avviamento a freddo senza bisogno di *reset* dell'utilizzatore. Filtro per le interferenze generate dai principali canali VHF e dai radar marini.

Figura 24. GPS Evermore SA-320.

## 2.9 L'UPS



L'UPS - *Uninterruptible Power Supply* è un dispositivo ad alte prestazioni. Protegge le attrezzature elettroniche da *blackout*, abbassamento di tensione, sottotensione e sovratensione, piccole fluttuazioni e disturbi più rilevanti. L'UPS fornisce anche una batteria di *backup* che alimenta i dispositivi collegati finché la corrente elettrica non torna a livelli di sicurezza, oppure finché si scarica la batteria.

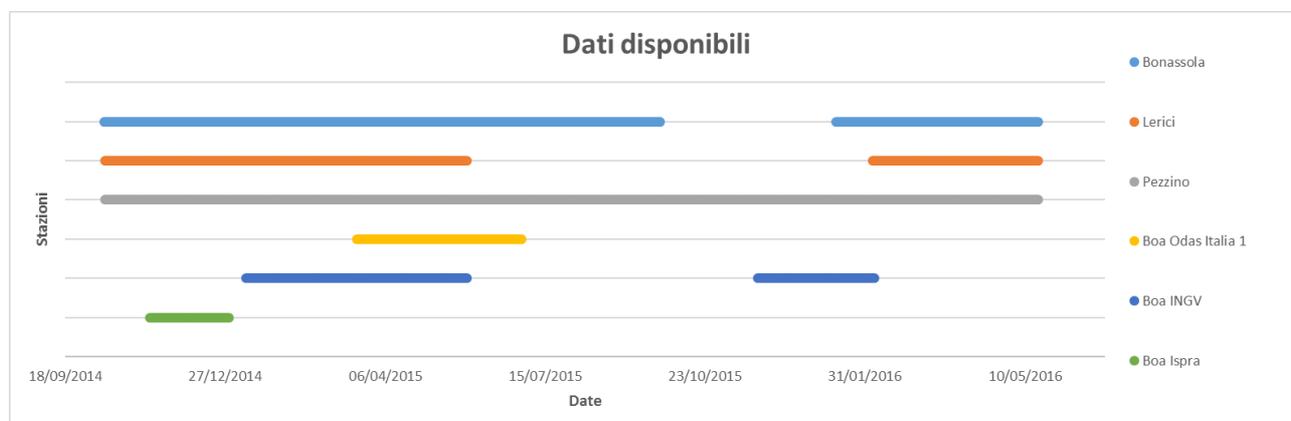
Figura 25. UPS APC.

## 3. Analisi dei dati

Le boe ondometriche del *network* forniscono un dato ogni 30 minuti mentre l'accelerometro ogni 10 minuti; pertanto, per rendere le misure confrontabili, si è proceduto in due distinte modalità; in un caso abbiamo sottocampionato i valori e nell'altro si è fatta una media aritmetica, introducendo quindi uno *smoothing* sul segnale associato.

Per la Boa ODAS Italia 1 si ha un valore ogni 6 ore; in questo caso si sono utilizzati i valori corrispondenti a quell'intervallo temporale.

Come si può vedere dalla figura 26, non è stato possibile effettuare confronti esaustivi per tutte le stazioni nello stesso periodo in quanto i dati non sempre erano disponibili.

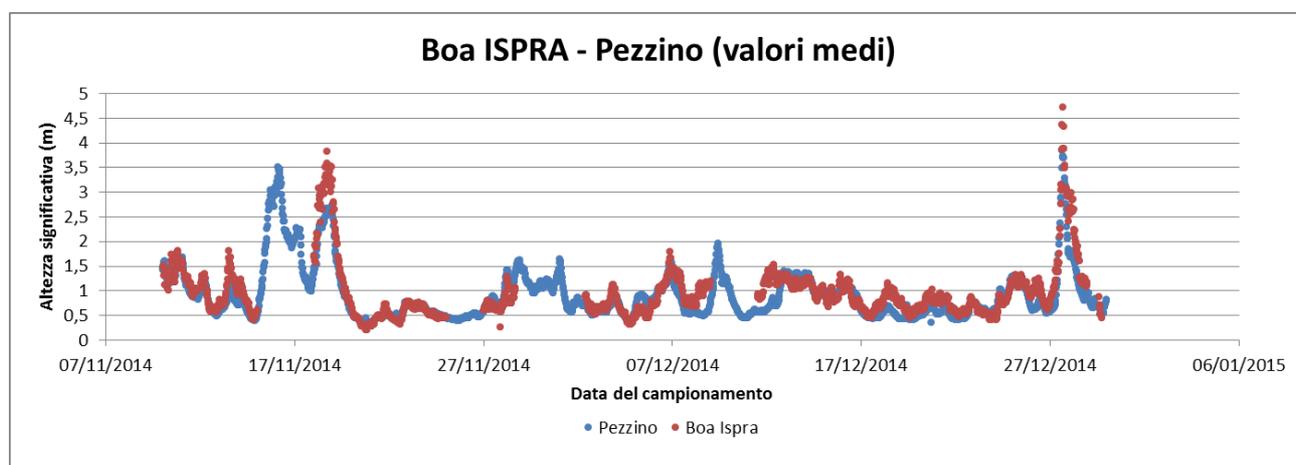


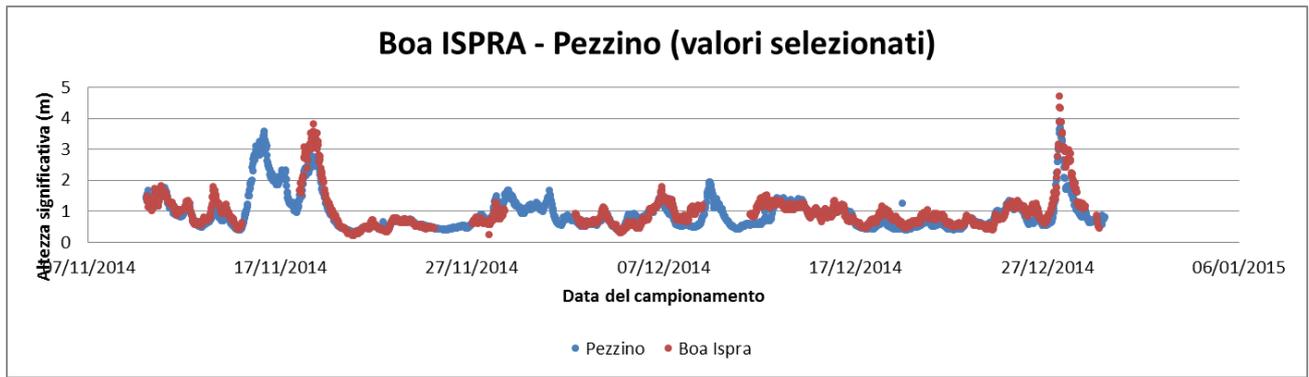
**Figura 26.** Serie temporali disponibili per ciascuno strumento.

I confronti tra le serie di dati (Figura 27) sono stati pertanto effettuati come mostrato nel seguente elenco:

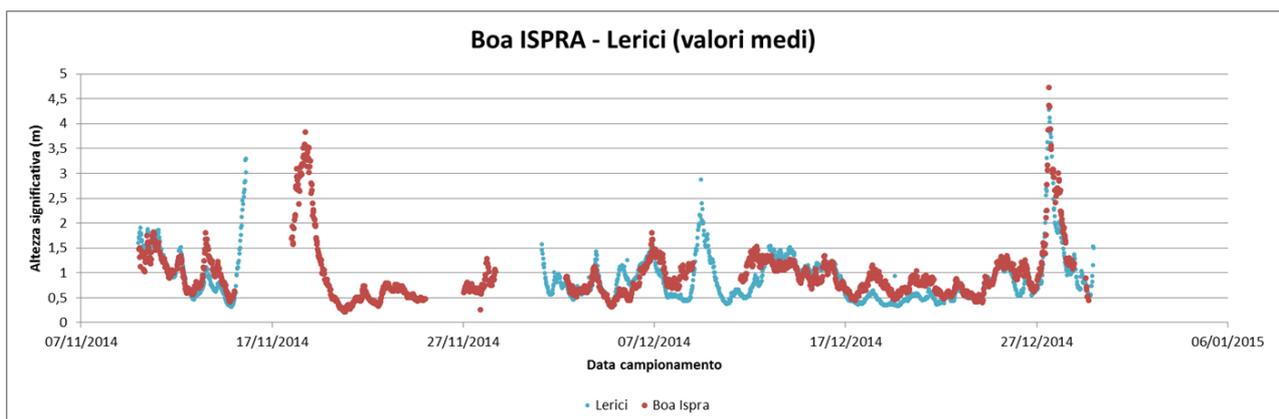
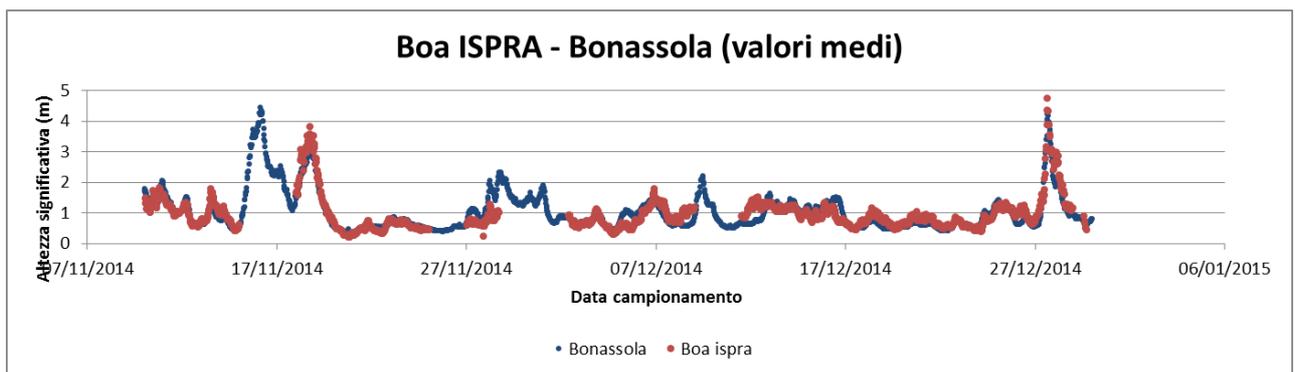
- 1) Boa ISPRA con:
  - a) Pezzino;
  - b) Lerici;
  - c) Bonassola.
- 2) Boa ODAS Italia 1 con Pezzino;
- 3) Boa INGV con Pezzino;
- 4) Pezzino con Bonassola;
- 5) Pezzino con Lerici;
- 6) Bonassola con Lerici.

### 3.1 Confronto tra dati microsismici e boe





Boa ISPRA - Pezzino	Errore medio	Errore assoluto	RMS	Indice correlazione
Valori selezionati	0,22	0,44	0,72	0,9173
Valori medi	0,23	0,44	0,72	0,9198



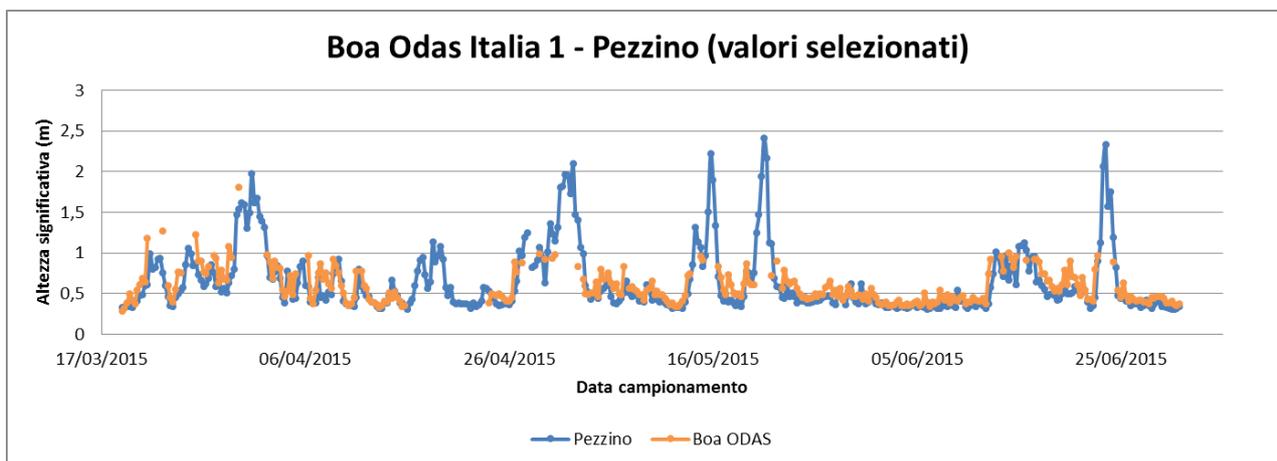
**Figura 27.** Esame comparativo fra serie delle varie stazioni microsismiche con i dati acquisiti alla boa ISPRA.

Raccogliendo tutti gli indici di correlazione in un'unica tabella (tabella 2), possiamo osservare che i valori con correlazione migliore sono quelli tra la Boa ISPRA e la stazione di Pezzino, inoltre non risultano differenze rilevanti considerando i valori medi piuttosto che valori puntuali.

La stazione che ha un minore valore dell'indice di correlazione con la Boa ISPRA risulta essere quella posta a Lerici, particolarmente se si considerano i valori medi. Questo potrebbe essere dovuto alla mancanza di dati per periodi piuttosto lunghi, in mesi diversi, tra le due serie di valori. Il fatto che la serie di valori medi presenti un indice di correlazione minore, rispetto alla serie sottocampionata, è dovuto ad una maggiore presenza di *spike*.

Confronti	Valore indice di correlazione
Pezzino (valori medi) – Boa ISPRA	0,9198
Pezzino (valori selezionati) – Boa ISPRA	0,9173
Bonassola (valori medi) – Boa ISPRA	0,8915
Bonassola (valori selezionati) – Boa ISPRA	0,8891
Lerici (valori medi) – Boa ISPRA	0,8579
Lerici (valori selezionati) – Boa ISPRA	0,8541

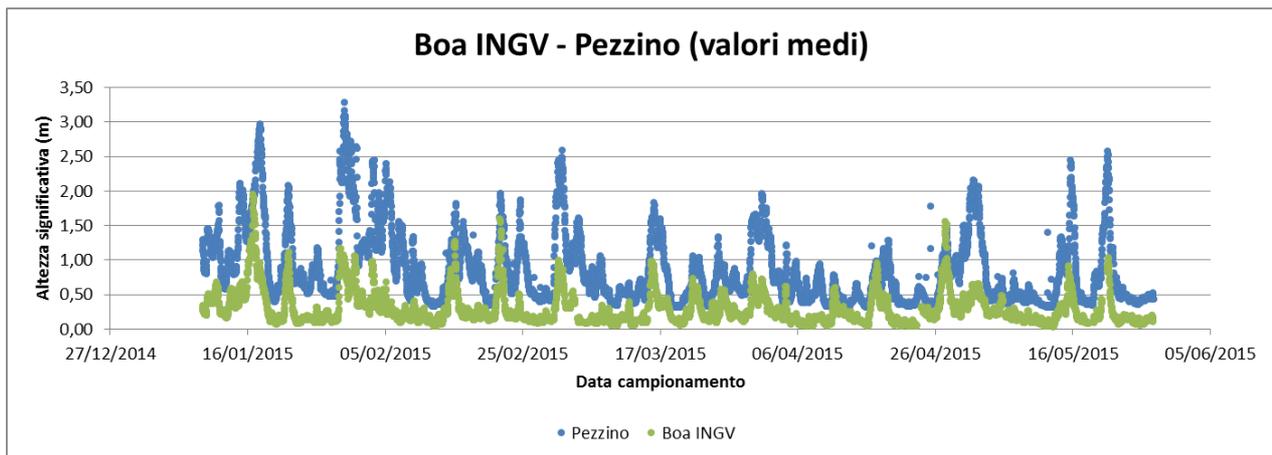
**Tabella 2.** Indici di correlazione ottenuti dai confronti effettuati.



**Figura 28.** Esame comparativo fra stazione Pezzino e Boa ODAS 1.

Dal grafico in figura 28, ottenuto confrontando le due serie, la prima cosa che si nota sono i numerosi *gap* di dati della boa ODAS Italia 1 in quanto nei valori di altezza d'onda misurati dalla boa erano presenti numerosissimi *spike*. Ogni tentativo di migliorare la qualità del dato è risultato vano. Di conseguenza, per poter effettuare il confronto, è stato necessario un massiccio intervento di *despike* che ha notevolmente ridotto i dati disponibili. Negli intervalli dove il confronto è stato possibile possiamo evidenziare una buona correlazione tra i dati, confermando che il sistema OS-IS<sup>®</sup> è coerente con le misure effettuate *offshore*.

È da notare inoltre che gli *spike* sono tutti in corrispondenza con i picchi maggiori di altezza d'onda; questo fa supporre un malfunzionamento sistematico della boa in corrispondenza di valori di altezza superiori ad un certo valore critico. L'indice di correlazione risultante dal confronto delle due serie è 0,7878



**Figura 29.** Esame comparativo fra stazione Pezzino e Boa INGV.

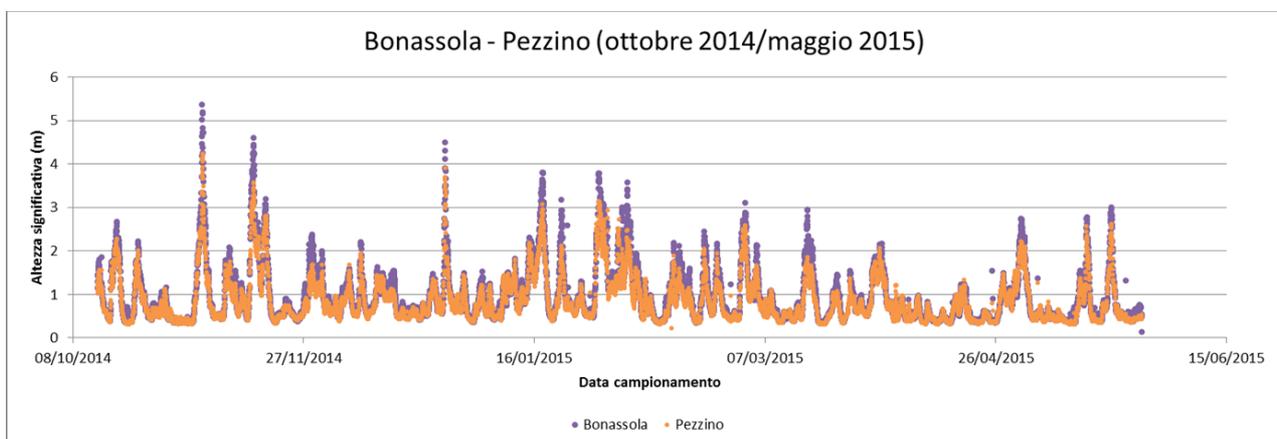
Il grafico di figura 29 mostra il confronto fra la stazione OS-IS<sup>®</sup> del Pezzino e la Boa INGV; si riscontra che, nonostante vi sia una discreta corrispondenza nell'andamento generale delle serie, sono presenti, un offset di circa 0,5 m e significative variazioni nei valori delle altezze massime.

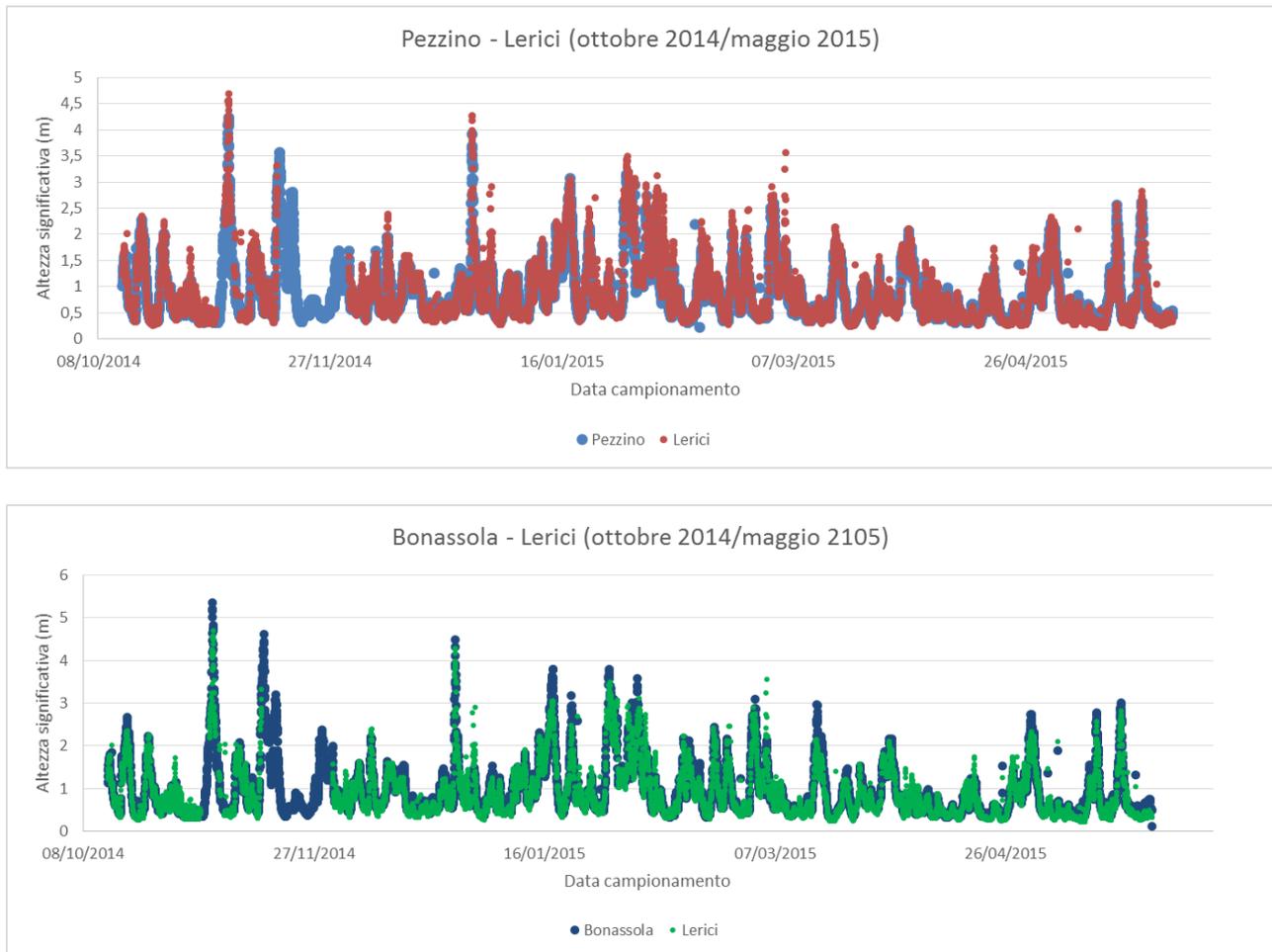
Quest'ultima informazione ci permette di confermare che le misure ottenute dai sensori sismici siano maggiormente affini ai valori *offshore* piuttosto che a quelli provenienti dall'interno del porto stesso dove le boe continuano ad essere un efficace metodo di misura puntuale e, nel nostro caso, si è fatto riferimento alla boa INGV che è l'unica ad essere posta all'interno del Golfo della Spezia. L'indice di correlazione risultante dal semplice confronto delle due serie è 0,7547. Non abbiamo elaborato ulteriormente i dati in nostro possesso, in quanto, come detto precedentemente, i due strumenti (stazione microsismica e boa INGV) sono sensibili a zone di mare diverse.

### 3.2 Comparazione dei dati microsismici

Si passa ora al confronto, nel periodo compreso tra il mese di ottobre 2014 e maggio 2015, tra le stazioni sismometriche (figura 30) per vedere se c'è coerenza tra i dati ottenuti e per controllare se la scelta del sito dove è stata posta la strumentazione ha rispettato effettivamente i requisiti iniziali.

Per tutte le sequenze di dati è stato scelto un intervallo di campionamento di mezz'ora, selezionando i dati corrispondenti all'intervallo stesso.

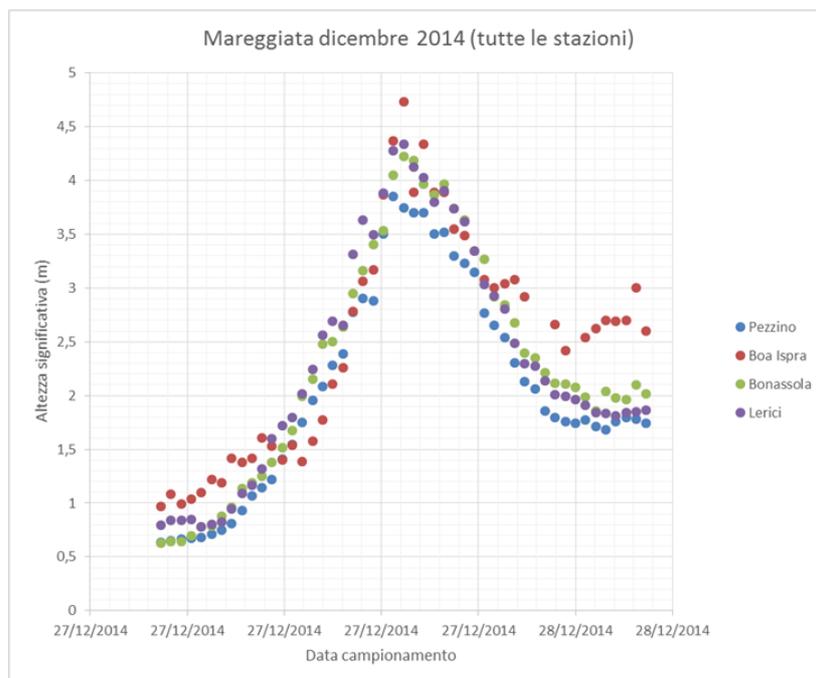




**Figura 30.** Esame comparativo fra le stazioni Pezzino, Bonassola e Lerici.

Alla luce delle considerazioni fatte in precedenza possiamo affermare che tutte le stazioni stanno lavorando bene e coerentemente con gli standard richiesti. Unica osservazione è da riferirsi alla stazione di Lerici: sono assenti dati per periodi relativamente lunghi ed inoltre la stazione presenta un numero maggiore di *spike* rispetto alle altre; ciò potrebbe essere dovuto ad una non ottimale ubicazione dello strumento o alla necessità di una ulteriore calibrazione del sensore.

Confronti	Valore indice di correlazione
Pezzino - Bonassola (valori selezionati)	0,9762
Pezzino - Lerici (valori selezionati)	0,9751
Bonassola - Lerici (valori selezionati)	0,9592



**Figura 31.** Esame comparativo fra le stazioni nel corso di una intensa mareggiata (dicembre 2014).

Nella figura 31 sono riportati i valori delle tre stazioni in corrispondenza di un evento significativo occorso nel dicembre 2014 in occasione di una intensa mareggiata. Osservando i grafici e la tabella 3, si nota che le stazioni che si avvicinano maggiormente al massimo di picco sono quelle di Bonassola e Lerici.

Strumento	Valore della misura (m)	Differenza con Boa ISPRA (m)
Boa ISPRA	4,73	/
Pezzino	3,91	0,81
Bonassola	4,49	0,24
Lerici	4,27	0,46

**Tabella 3.** Nella tabella viene esplicitato per ogni strumento la misura massima di picco e la differenza tra il valore massimo di picco della Boa ISPRA con il valore massimo ottenuto dalla stazione durante la mareggiata che ha avuto luogo nel Mar Ligure nel dicembre 2014.

Anche per la mareggiata di dicembre 2014, l'indice di correlazione nel periodo di  $\pm 12$  ore dal picco massimo (tabella 4) non presenta differenza tra le stazioni di Pezzino e Bonassola e quello di Lerici risulta il minore.

Confronti	Indice di correlazione
Pezzino – Boa ISPRA	0,9341
Bonassola – Boa ISPRA	0,9354
Lerici – Boa ISPRA	0,9080

**Tabella 4.** Indici di correlazione ottenuti dai confronti effettuati tra la Boa ISPRA e le singole stazioni a terra.

Complessivamente possiamo dire, anche alla luce dei confronti effettuati in precedenza, che la stazione di Pezzino interpreta meglio il *trend* della serie temporale dell'altezza significativa d'onda. Le stazioni di Bonassola e Lerici si avvicinano maggiormente ai valori massimi dei picchi delle mareggiate.

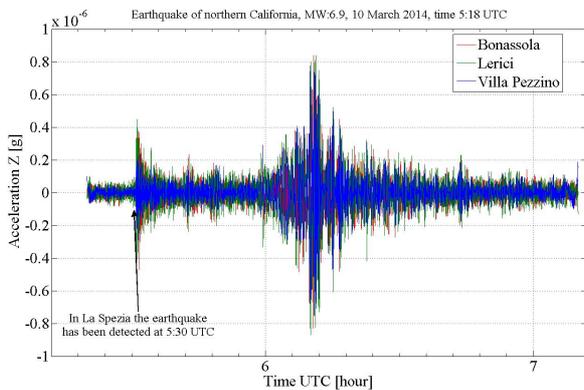
### 3.3 I terremoti

Osservando le serie temporali dei dati di altezza significativa ottenuti con i sismometri, non è raro notare la presenza di un punto non coerente con l'andamento della curva e con valore decisamente superiore agli altri nel suo intorno. In effetti, OS-IS<sup>®</sup> è costituito di fatto da un sismometro ad alta sensibilità ed è in grado di rilevare terremoti locali oppure sismi remoti di magnitudo superiore a 6.0 verificatisi nel mondo, il cui numero è mediamente dell'ordine di 150 all'anno. Il dispositivo installato a Pezzino, ad esempio, è stato in grado di rilevare il sisma avvenuto nel Cile in data 16 settembre 2015 alle ore 22:54 UTC.

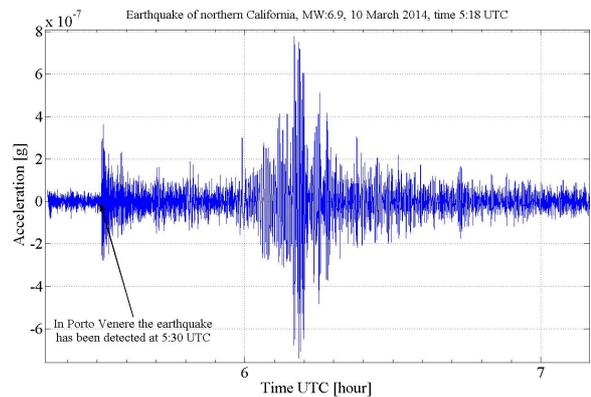


**Figura 32.** Sisma in Cile - 16 settembre 2015 alle ore 22:54 UTC.

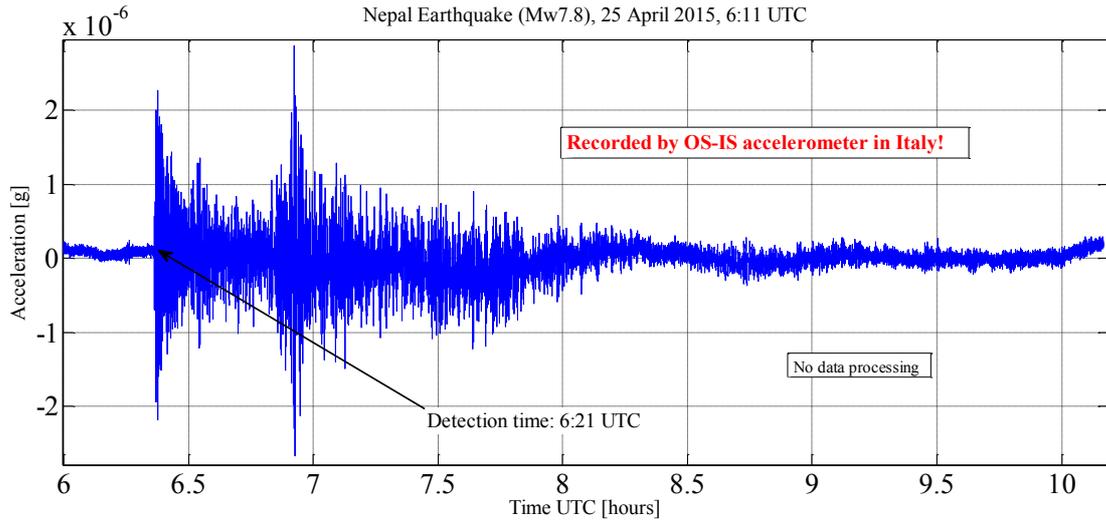
Nelle figure che seguono (Figure 33-34-35 e 36) sono mostrati i sismogrammi di alcuni sismi registrati dalle stazioni OS-IS<sup>®</sup> verificati con la lista dei terremoti presenti nelle pagine web del sito ufficiale INGV.



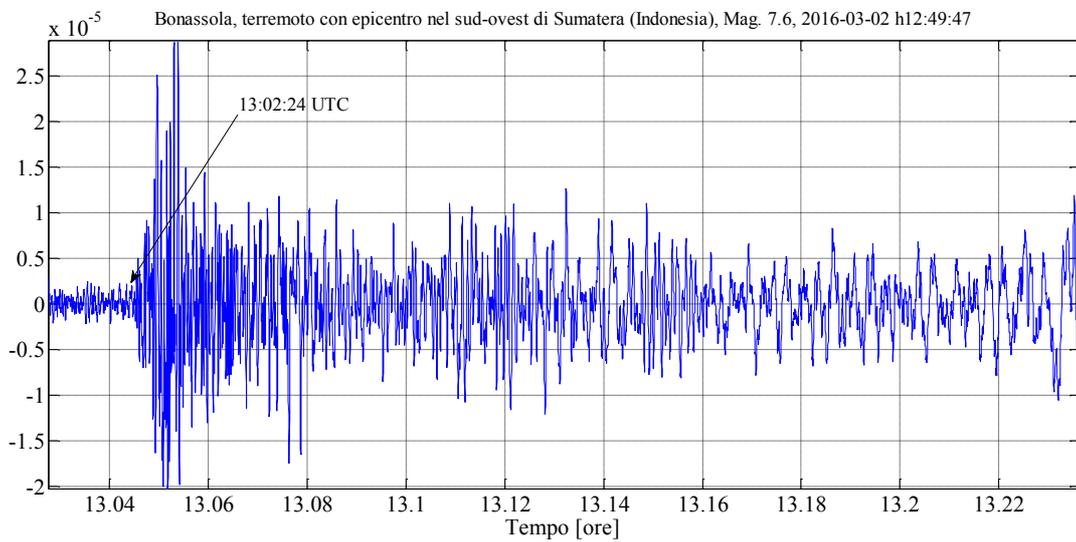
**Figura 33a.** Sisma in California - 10 Marzo 2014 alle ore 5:18 UTC rilevato da tutte le stazioni OS-IS<sup>®</sup>.



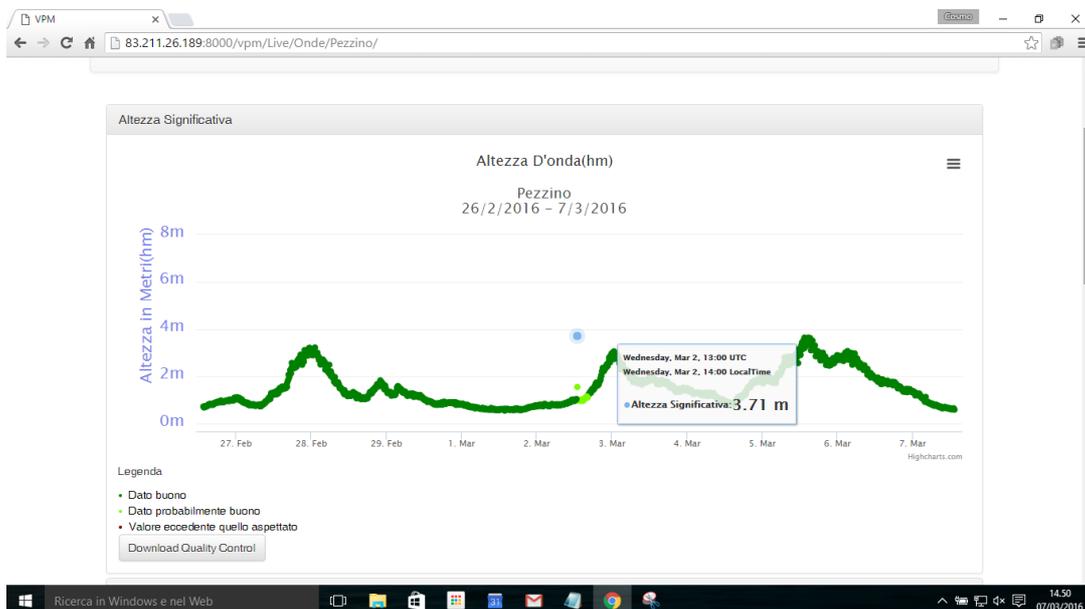
**Figura 33b.** Sisma in California - 10 Marzo 2014 alle ore 5:18 UTC - Rilevato dalla stazione Pezzino.



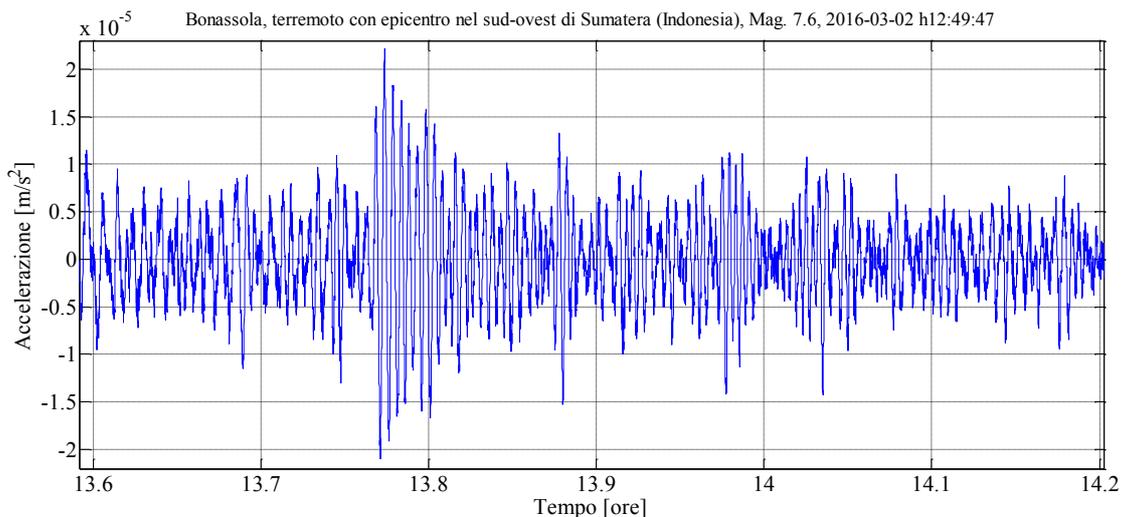
**Figura 34.** Sisma in Nepal - 25 Aprile 2015 alle ore 6:11 UTC - Rilevato dalla stazione Pezzino.



**Figura 35a.** Registrazione a Bonassola del Sisma in Indonesia [Mare] - 2 Marzo 2016 alle ore 12:49:47 UTC.



**Figura 35b.** Effetto delle onde P sul dato ondametrico a Pezzino.



**Figura 36a.** Registrazione a Bonassola del Sisma Indonesia [Mare] - 2 Marzo 2016 alle ore 12:49:47 UTC.



**Figura 36b.** Effetto dell'arrivo delle onde S sul dato ondametrico a Pezzino.

Riassumendo:

- 1) Per ottenere valori indiretti di altezza significativa delle onde dagli accelerometri bisogna ottimizzare i parametri espressi nelle equazioni descritte nel paragrafo 1. Ciò si è ottenuto attraverso i dati forniti dalla boa ISPRA che, allo stato dell'arte, risulta di fatto quella maggiormente correlabile con i segnali microsismici misurati. Infatti, a seguito di una preliminare analisi condotta sui dati della boa ODAS, si è potuto verificare che quest'ultima presenta valori inaffidabili in presenza di mare grosso, ovvero nelle situazioni di maggiore interesse.
- 2) Sebbene l'intenzione iniziale fosse di utilizzare la boa INGV per la calibrazione del sistema OS-IS® al fine di operare al meglio in ambito portuale, di fatto si è visto che ciò è difficilmente ottenibile in quanto scarsa è la correlazione tra i valori di livello del mare provenienti da segnali microsismici ed i segnali forniti dalla boa INGV.
- 3) Allo stato attuale non siamo in grado di discriminare efficacemente i contributi locali da quelli più

remoti (es. oceani) né tantomeno di identificare con estrema accuratezza il tratto di mare oggetto delle osservazioni condotte dalle stazioni microsismiche; entrambi questi aspetti saranno oggetto di analisi future che saranno condotte attraverso analisi di correlazione con i modelli di vento su scala locale e globale e soprattutto quando sarà disponibile un *dataset* più consistente.

#### 4. Conclusioni

Le analisi preliminari e comparative, effettuate con il convenzionale metodo di misura delle boe, mostrano che il sistema OS-IS<sup>®</sup> presenta considerevoli potenzialità nell'ambito del monitoraggio dello stato del mare. Tale sistema inoltre ha dimostrato un notevole livello di affidabilità, in quanto tra i possibili guasti che possono avvenire, per tutta la durata del progetto, non si è mai registrato un rumore microsismico di origine antropica oppure atti di vandalismo o furti.

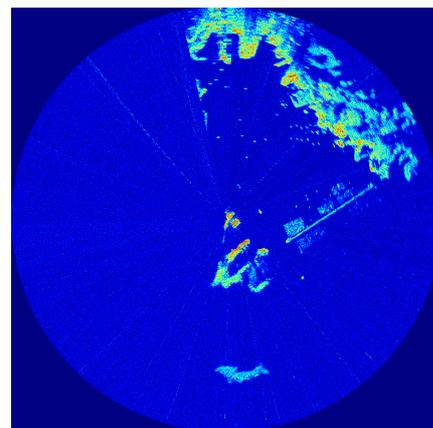
Non si sono mai verificati neppure malfunzionamenti del sistema di misura ed acquisizione o deterioramento della strumentazione; questo grazie al fatto che il dispositivo è posto a terra piuttosto che in mare. Inoltre, questa collocazione comporta costi relativamente bassi di gestione, semplicità di installazione e manutenzione degli strumenti stessi.

Con frequenza media di una volta ogni tre mesi si è verificata l'interruzione della connessione ad internet e l'interruzione della alimentazione elettrica; in entrambi i casi si è reso necessario l'intervento di un operatore locale. Più spesso invece, in media una volta a settimana, il rumore sismico dovuto a terremoti vicini oppure remoti di grande entità ha comportato la perdita di dati ondametrici per circa 10-20 minuti.

Per una determinazione più esaustiva dello stato del mare i futuri sviluppi si potrebbero concentrare sulla determinazione della direzione delle onde, sull'associazione delle misure a specifiche aree di mare e sull'interpretazione delle misure relative alla banda di frequenze centrata sul picco primario.

Allo stato attuale questo sistema funziona bene per i dati *offshore* ed è ancora in avanzata fase di studio l'identificazione del tratto di mare che influenza la misura, mentre necessita un approfondimento per i rilievi all'interno di aree più piccole come piccoli golfi e porti.

Una possibile ricerca futura (attualmente in fase di allestimento) sarà l'integrazione dell'attuale sistema OS-IS<sup>®</sup> con un radar costiero o in banda X. Tale ricerca è inquadrata in una collaborazione con il CNR-IREA nell'ambito del progetto RITMARE.



**Figura 37.** Radar di villa Pezzino. - Immagine radar del golfo della Spezia.

Attualmente, una prima installazione *test* è in via di sperimentazione presso la sede INGV di Villa Pezzino a Porto Venere (SP). A seguito di analisi preliminari, si è però decisa una diversa collocazione.

Con il radar costiero vengono misurare sia le correnti marine che l'altezza e la direzione delle onde, la batimetria e la marea. È possibile inoltre quantificare l'energia delle onde che si infrangono sulle barriere di protezione di coste e spiagge permettendo quindi di monitorare e prevedere lo stato dei porti e delle infrastrutture. Con il radar le misure sono prese in continuo e i dati possono essere visualizzati in tempo reale [Harlan, 2010; Heron, 2009]. Analizzando adeguatamente le immagini ottenute è possibile riconoscere un

*upwelling* e nelle zone costiere si evidenziano le *rip current*. Inoltre recenti studi stanno dimostrando che dall'analisi dei dati derivanti dalla scia di una nave è possibile conoscerne la velocità di navigazione, ciò risulta di importanza strategica per prevedere ed intervenire tempestivamente in caso di attacchi di pirateria marittima [Wyatt, 2011].

## 5. Ringraziamenti

Gli autori ringraziano l'Autorità Portuale della Spezia per aver sostenuto l'inserimento della sperimentazione OS-IS<sup>®</sup> quale progetto pilota all'interno del programma Transfrontaliero Italia - Francia Marittimo finanziandone l'attività attraverso i fondi di progetto 'Vento, Porti e Mare'.

Si ringrazia il Dott. Fawzi Doumaz per il contributo allo sviluppo dell'*Automatic Notification*.

Si ringrazia il Dott. Francesco Serafino del CNR-IREA per il supporto nella sperimentazione del Radar *Consilium* installato nell'ambito del progetto RITMARE presso la sede INGV di Porto Venere.

Si ringrazia il Prof. Lorenzo Papa (UNIGE e Istituto Idrografico della Marina) per i preziosi suggerimenti nell'ambito dell'ideazione del sistema OS-IS<sup>®</sup> sulla base delle sue pregresse esperienze.

Si ringrazia il Prof. Giovanni Solari ed il team di UNIGE-DICCA per aver svolto un efficace coordinamento scientifico nell'ambito del progetto 'Vento, Porti e Mare' e per gli utili spunti scientifici forniti allo sviluppo del sistema OS-IS<sup>®</sup>.

Si ringraziano le Autorità Portuali di Genova, Savona, Livorno e la Camera di Commercio di Bastia per il supporto alla sperimentazione OS-IS<sup>®</sup> nell'ambito del progetto Vento, Porti e Mare.

## Bibliografia

- Ardhuin F, Stutzmann E., Obrebski M., (2012). *From seismic noise to ocean wave parameters: General methods and validation*. J. Geophys. Res., 117, C05002.
- Ardhuin F., Stutzmann E., Schimmel M., Mangeney A., (2011). *Ocean wave sources of seismic noise*. J. Geophys. Res., 116, C09004.
- Barruol G., Reymond D., Fontaine F.R., Hyvernaud O., Maurer V. and Maamaatuaiahutapu K., (2006). *Characterizing swells in the southern pacific from seismic and infrasonic noise analysis*. Geophys. J. Int., 164, 516-542. doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.02871
- Barstow S.F., Bidlot J.R., Caires S., Donelan M.A., Drennan W.M., et al., (2005). *Measuring and Analysing the directional spectrum of ocean waves*. D. Hauser, K. Kahma, H. Krogstad, S. Monbaliu, S. Lehner et L. Wyatt. COST Office, pp.465, 2005, COST 714; EUR 21367.
- Bencivenga M., Nardone G., Ruggiero F., Calore D., (2012). *The Italian Data Buoy Network (RON)*. Advances in Fluid Mechanics, IX, M. Rahman and C. Brebbia, Eds., WIT Press, 321-332.
- Bozzano R., Pensieri S., Schiano M.E., Sparnocchia S., Borghini M., Picco P., (2007). *La Boa meteorologica ODAS-Italia1: un laboratorio marino d'altura*. In: Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR, 337-340 Vol. 1, ISBN 978-88-8080-075-0.
- Bromirski P.D, Reinhard E.F., Graham N., (1999). *Ocean wave height determined from inland seismometer data: Implications for investigating wave climate changes in the NE Pacific*. J. Geophys. Res., 104,20,753-20,766.
- Burlando M., De Gaetano P., Pizzo M., Repetto M.P., Solari G., and Tizzi M., (2015). *The European project Wind, Ports, and Sea*. In: Proceedings of the 14th International Conference on Wind Engineering, Porto Alegre, Brasil, June 21-26, 2015.
- Burlando M., De Gaetano P., Repetto M.P., Solari G., (2014). *Wind and waves numerical forecasting for safety access to port areas: the Wind, Ports, and Sea project*. In: Proceedings of the 6th International Symposium on Computational Wind Engineering, Hamburg, Germany, June 8-12, 2014.
- Donne S., Bean C.J., Lokmer I., Lambkin K., Creamer C., (2012). *Towards a quantification of ocean wave heights off the west coast of Ireland using land based seismic data*. American Geophysical Union, Fall Meeting 2012.
- Gutenberg B., (1947). *Microseisms and weather forecasting*. Journal of Atmospheric Sciences, Vol. 4, Issue 1, 21-28.
- Harlan J., Terrill E., Hazard L., Keen C., Barrick D., Whelan C., Howden S., Kohut J., (2010). *The*

- Integrated Ocean Observing System High-Frequency Radar Network: Status and Local, Regional, and National Applications*. Marine Technology Society Journal, Volume 44 Num. 6, Nov/Dec 2010.
- Heron M.L., (2009). *The Australian Coastal Ocean Radar Network Facility*. IEEE, doi: 10.1109/CCECE.2009.5090084.
- Kedar S., Longuet-Higgins M., Webb F., Graham N., Clayton R., Jones C., (2008). *The origin of deep ocean microseisms in the North Atlantic Ocean*. Proceeding of the Royal Society, doi: 10.1098/rspa.2007.0277.
- Krogstad H.E., Wolf J., Thompson S.P., Wyatt L.R., (1999). *Methods for intercomparison of wave measurements*. Coastal Engineering, Volume 37, pp 235-257, doi: 10.1016/S0378-3839(99)00028-9.
- Iafolla L., Fiorenza E., Iafolla V.A., Carmisciano C., Montani L., Burlando M., De Gaetano P., Solari G., (2015). *OS-IS® A new method for the sea waves monitoring*. OCEANS 2015 - Genova, IEEE Xplore Digital Library, doi: 10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271432.
- Iafolla L., Carmisciano C., Fiorenza E., Iafolla V., Manzella G., Montani L., Bencivenga M., Burlando M., Solari G., De Gaetano P., (2014). *OS-IS® Sistema sismico per il monitoraggio e la previsione del moto ondoso*. Atti 18<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA, 14 – 16 ottobre 2014, Firenze, ISBN: 9788890313295.
- ISPRA-APAT, Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine, Servizio Difesa delle Coste, (2003). *ATLANTE DELLE COSTE, Il moto ondoso a largo delle coste italiane*. www.isprambiente.gov.it, Rome, Italy.
- Laing A.K. et al., (1998). *Guide to wave analysis and forecasting*. WMONo. 702, Secretariat of the World Meteorological Organization - Geneva - Switzerland, ISBN 92-63-12702-6, 1998.
- Longuet-Higgins, (1950). *A theory of the origin of the microseisms*. Proc. R. Soc. London Ser. A, 243, 1-35.
- Miche J., (1944). *Annales des ponts et chaussées*.
- Picone M., (2009). *Analisi e Ricostruzione delle serie storiche dei dati mareografici ed ondametrici dell'ISPRA*. ISPRA e Università di Roma Tre.
- Solari G., Repetto M.P., Burlando M., (2012a). *Vento e Porti – La previsione del vento per la gestione e la sicurezza delle aree portuali / Vent et Ports – La prévision du vent pour la gestion et la sécurité des zones portuaires*. A. P. Genova Ed., ISBN 978-88-901246-4-8.
- Solari G., Repetto M.P., Burlando M., De Gaetano P., Pizzo M., Tizzi M., and Parodi M., (2012b). *The wind forecast for safety management of port areas*. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 104-106, pp. 266-277.
- Wyatt L.R., Green J.J., Middleditch A., (2011). *HF radar data quality requirements for wave measurement*. Coastal Engineering 58 - 327-336.



# Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

# Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2016 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**