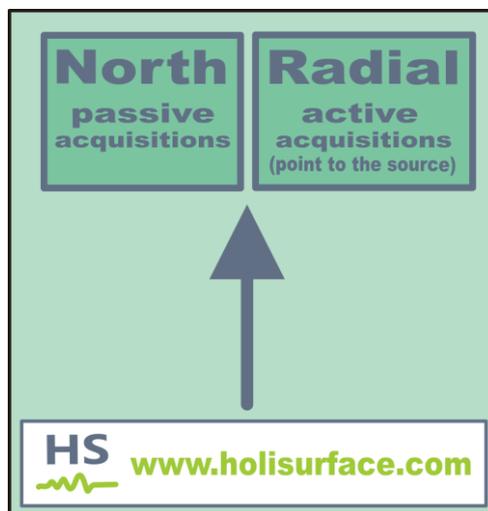


<b>File name</b>	Analisi_Vibrazionali_Campanile_Pozzuolo_del_Friuli
<b>Data creazione</b>	Maggio 2016
<b>Autore</b>	Giancarlo Dal Moro e-mail: <a href="mailto:gdm@winmasw.com">gdm@winmasw.com</a>



# **Il campanile della chiesa di S. Andrea apostolo di Pozzuolo del Friuli (UD): analisi vibrazionali**



[www.holisurface.com](http://www.holisurface.com)

## La Chiesa di Sant'Andrea Apostolo (Pozzuolo del Friuli)

La Chiesa di Sant'Andrea Apostolo è una chiesa parrocchiale sita nel centro abitato di Pozzuolo del Friuli, in via Mortegliano. Progettata nel 1853 dall'architetto udinese Andrea Scala, fu costruita nel luogo della preesistente chiesa ed aperta al culto nel 1892. Si presenta come una vasta costruzione in stile neoclassico con sasso e mattone a vista e pianta a croce greca. Della chiesa preesistente risulta ancora integro il coro, che ora funge da atrio, dove sono visibili gli affreschi condotti da Martino Fischer tra il 1709 ed il 1711, raffiguranti la Trinità, gli Evangelisti, tre profeti e due Dottori della Chiesa. Proveniente dalla precedente chiesa è anche l'altare maggiore, che fu iniziato nel 1717 da Antonio Gratij. Annesso all'edificio è il campanile della chiesa di Sant'Andrea apostolo.

Fonte: [http://www.provincia.udine.it/terradeipatriarchi/poi/Pages/p6\\_chiesasandreaapo.aspx](http://www.provincia.udine.it/terradeipatriarchi/poi/Pages/p6_chiesasandreaapo.aspx)



## 1. Acquisizione dati

Le acquisizioni sono state svolte nel mese di marzo 2016 utilizzando una terna da 2Hz (in altre parole un geofono triassiale in cui tutti e tre i geofoni - 2 orizzontali ed 1 verticale - hanno la medesima curva di risposta con *cut frequency* di 2Hz). Tre set di dati (ciascuno da 10 minuti, con intervallo di campionamento di 100Hz, con successivo ri-campionamento a 64Hz) sono stati acquisiti alla base, a metà della struttura e in cima (vedi immagini di seguito riportate). L'altezza del campanile è di approssimativamente 30m.

L'asse NS dello strumento è stato posto longitudinale rispetto l'asse dell'adiacente chiesa (gli assi dello strumento devono corrispondere agli assi della struttura secondo una mera convenzione locale che può prescindere dal Nord geografico).



Fig.1 Direzione utilizzata quale NS "locale" durante le acquisizioni dei dati vibrazionali.



Fig.2 Acquisizione dati in cima al campanile.



**Fig.3** Acquisizione dati a metà del campanile.



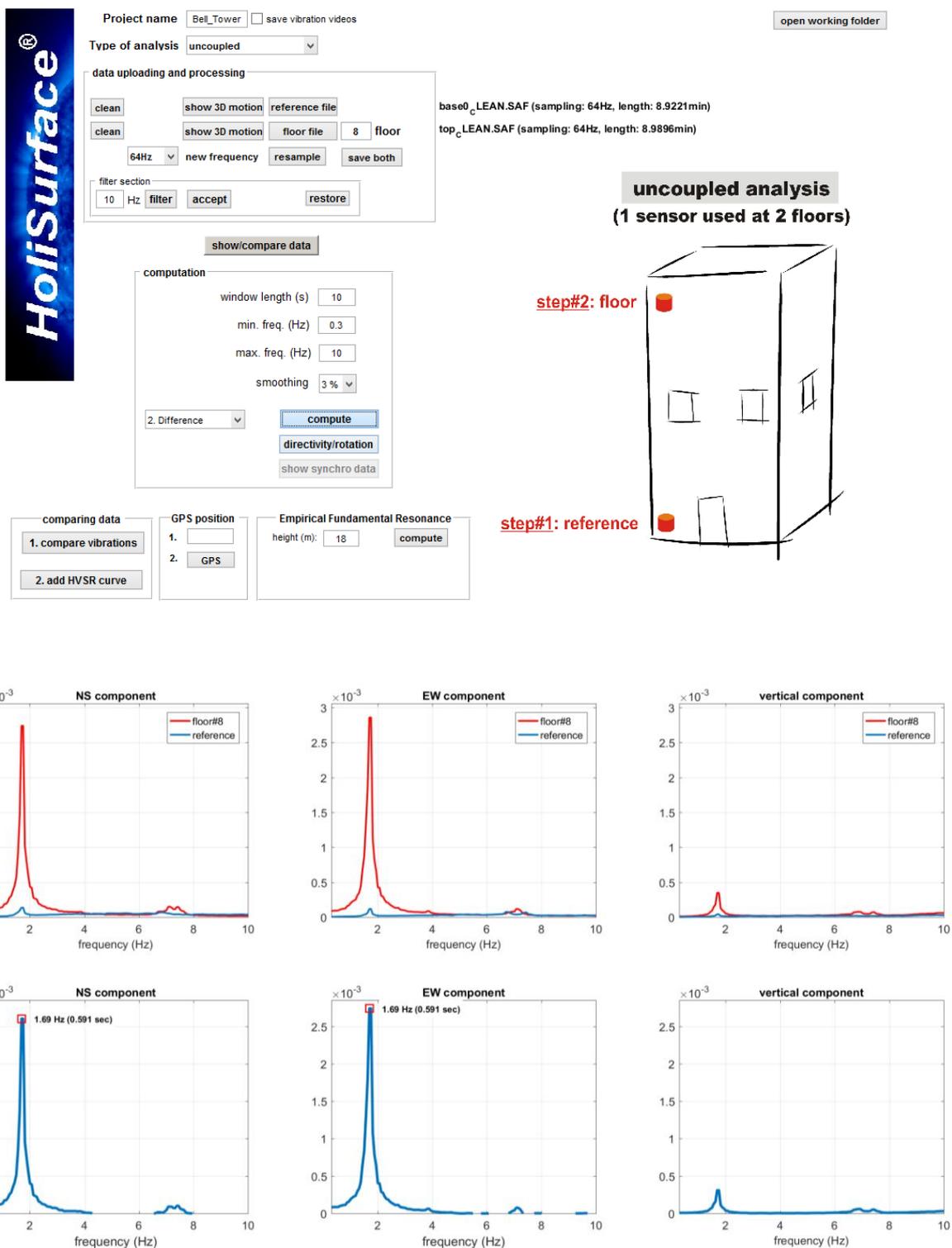
**Fig.4** Acquisizione dati alla base del campanile.

Nel caso le acquisizioni fossero state eseguite con 2 terne sincronizzate (che cioè acquisiscono contemporaneamente le vibrazioni in due punti diversi della struttura), si sarebbero potute svolgere analisi di tipo *sincrono* in grado di porre in evidenza dettagli che l'analisi semplificata ("disaccoppiata") non possono verificare.

## 2. Analisi dei dati

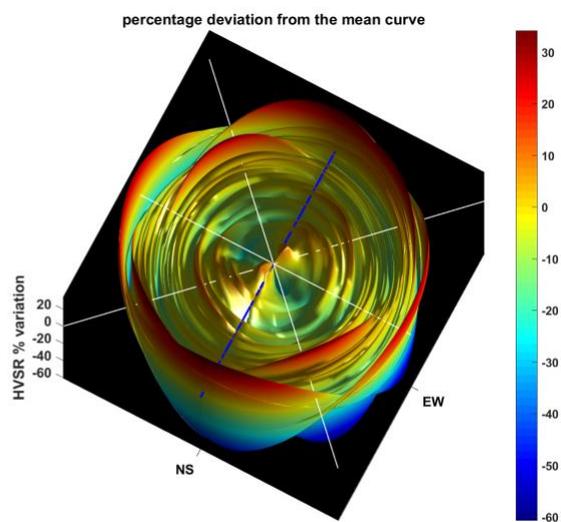
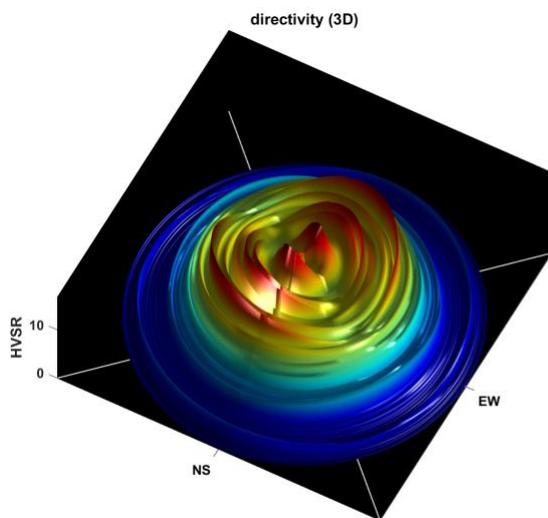
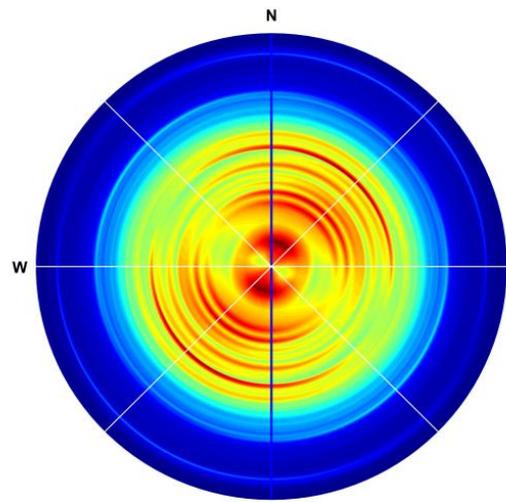
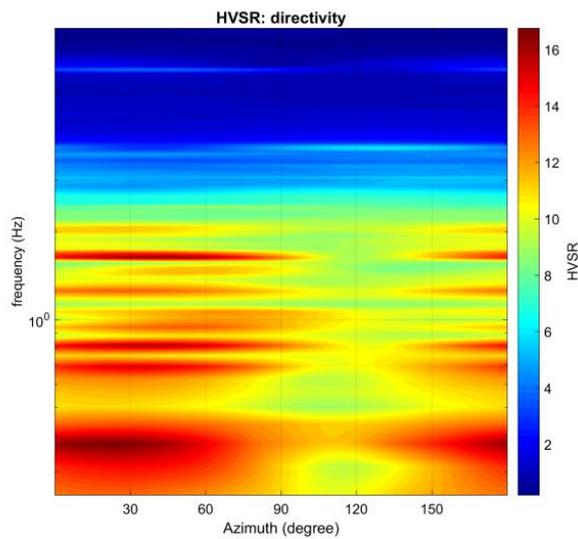
### 2.1 Analisi *base-top* del campanile

Qui di seguito la schermata in cui sono evidenti i parametri di elaborazione del segnale e, di seguito, i tre grafici (spettri di ampiezza) per le tre componenti del moto (NS, EW and UD [verticale]).



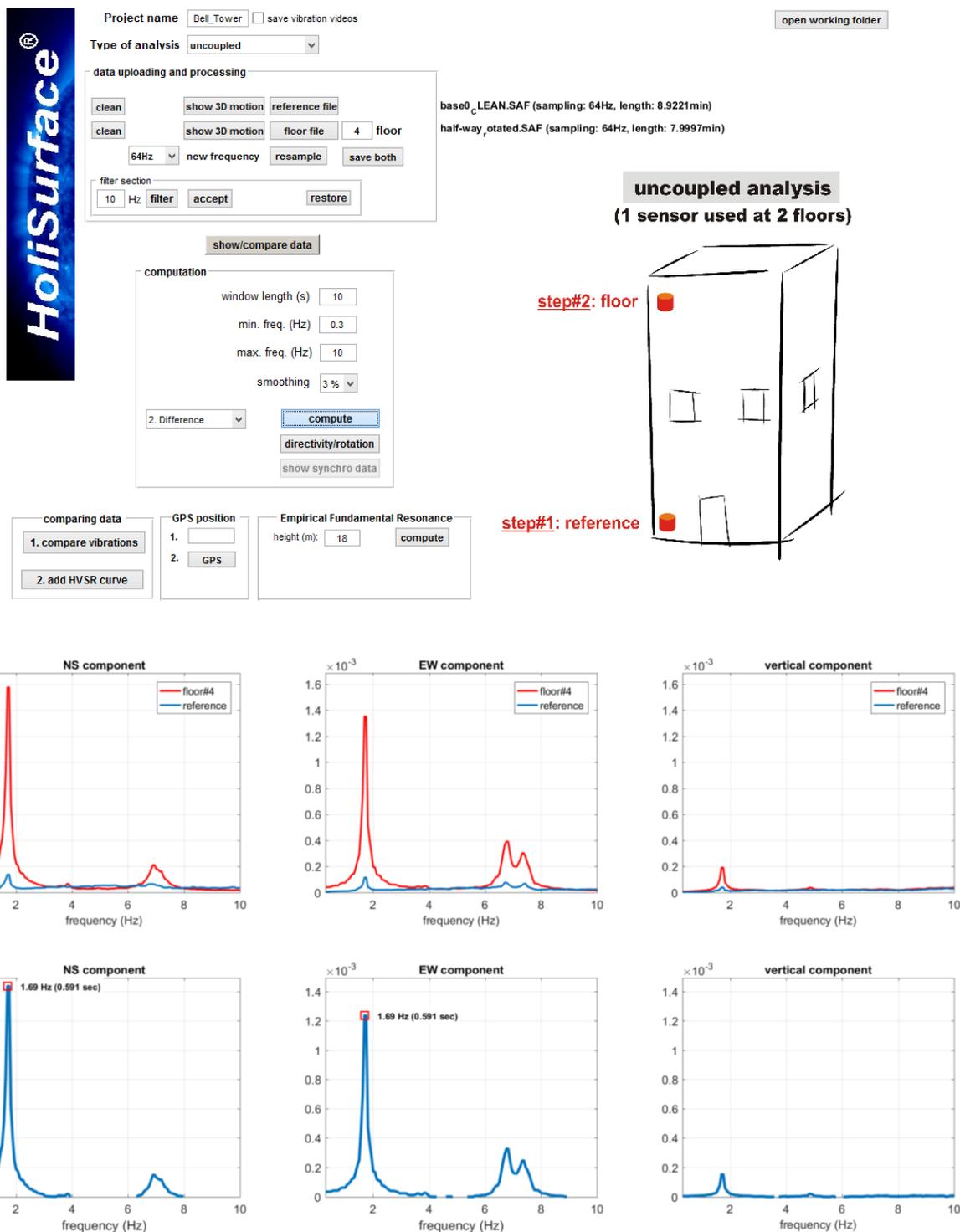
Nell'immagine sopra riportata sono presentati (in alto) gli spettri di ampiezza del moto registrato alla *base* e al *top* del campanile, mentre in basso la loro differenza. Risulta evidente una frequenza di risonanza (fondamentale) di circa 1.7Hz.

Qui di seguito sono anche riportati i dati relativi ai rapporti spettrali H/V (riferiti ai dati raccolti in cima al campanile) che, come si vede, forniscono dati poco chiari rispetto quelli che sono invece le analisi degli spettri d'ampiezza sopra riportati.



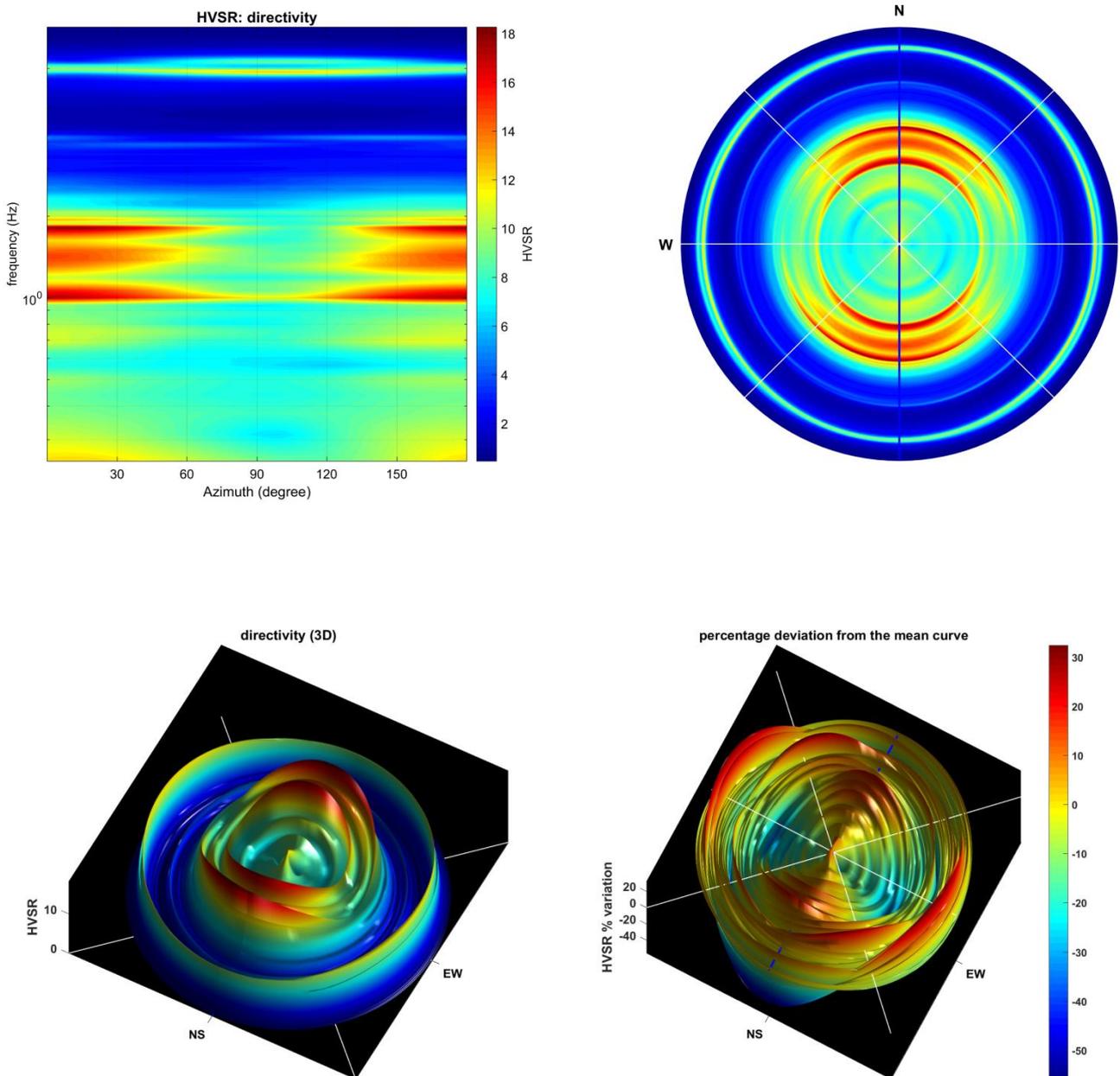
## 2.2 Analisi *base-metà* campanile

Qui di seguito la schermata in cui sono evidenti i parametri di elaborazione del segnale e, di seguito, i tre grafici (spettri di ampiezza) per le tre componenti del moto (NS, EW and UD [verticale]).



Nell'immagine sopra riportata sono presentati (in alto) gli spettri di ampiezza del moto registrato alla base e a metà del campanile, mentre in basso la loro differenza. Anche qui appare evidente l'ampiezza relativa ai 1.7Hz.

Anche qui come nel precedente caso, i rapporti spettrali H/V (riportati nel seguito) forniscono dati poco chiari (o comunque non risolutivi) rispetto quelli che sono invece le analisi degli spettri d'ampiezza sopra riportati.



### 3. HVSr

Sul prato adiacente al campanile si sono acquisiti anche 20 minuti di microtremori utili a definire il rapporto spettrale H/V (da confrontare con la risonanza del campanile stesso).



show data    reset

step#1 (optional) - decimate  
 128Hz    new frequency    resample

step#2 - HV computation  
 remove events    both Rat. & Tr.    clean axes  
 20    window length (s)    Min. freq.: 0.25Hz  
 5    tapering (%)  
 7    amplitude threshold    test removal  
 10%    spectral smoothing (triangular window)  
 show particle motion and all HVSrS  
 full output    compute

continuity

directivity analysis  
 frequencies to highlight: 1.5 15.3 Hz    compute

3D motion  
 save video    show 3D motion

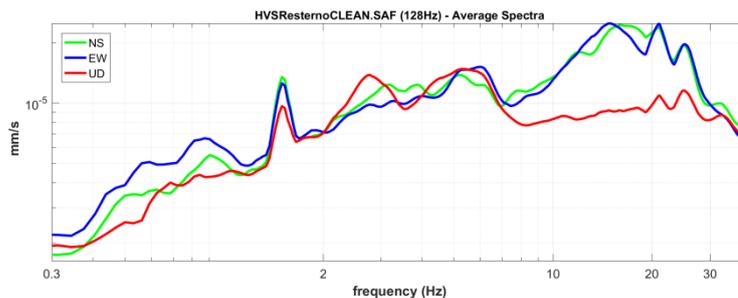
save - option#1: save HVSr as it is  
 save HV from 0.3 to 40 Hz  
 save HV curve (as it is)

save - option#2: picking HV curve  
 pick HV curve    save picked HV

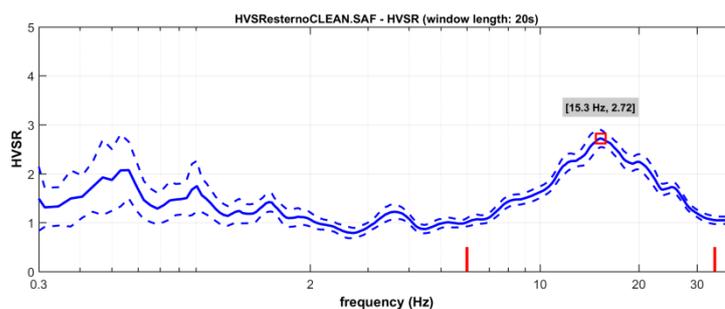
quick analysis (H/Vs/H)  
 average V<sub>s</sub> (m/s) (from surface to bedrock)    200  
 depth of the bedrock    20  
 V<sub>s</sub> of the bedrock    1000  
   

highlight a frequency  
    10 Hz

directivity over time  
 directivity in time    time step: 60 s



open working folder  
 show location  
 field notes



Criteria for a reliable HV curve  
 #1: OK  
 #2: OK  
 #3: OK

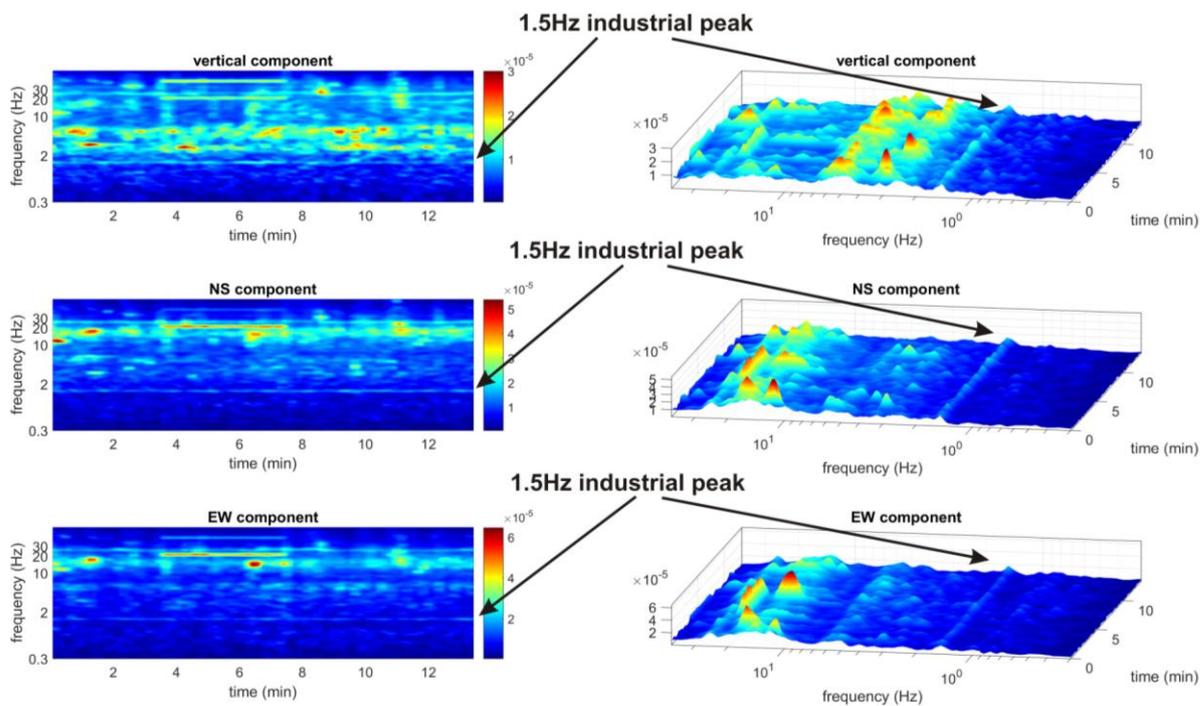
Criteria for a clear HV peak [15.3 Hz]  
 #4: NO  
 #5: NO  
 #6: OK

To model the HVSr (also jointly with MASW or ReMI/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV cu

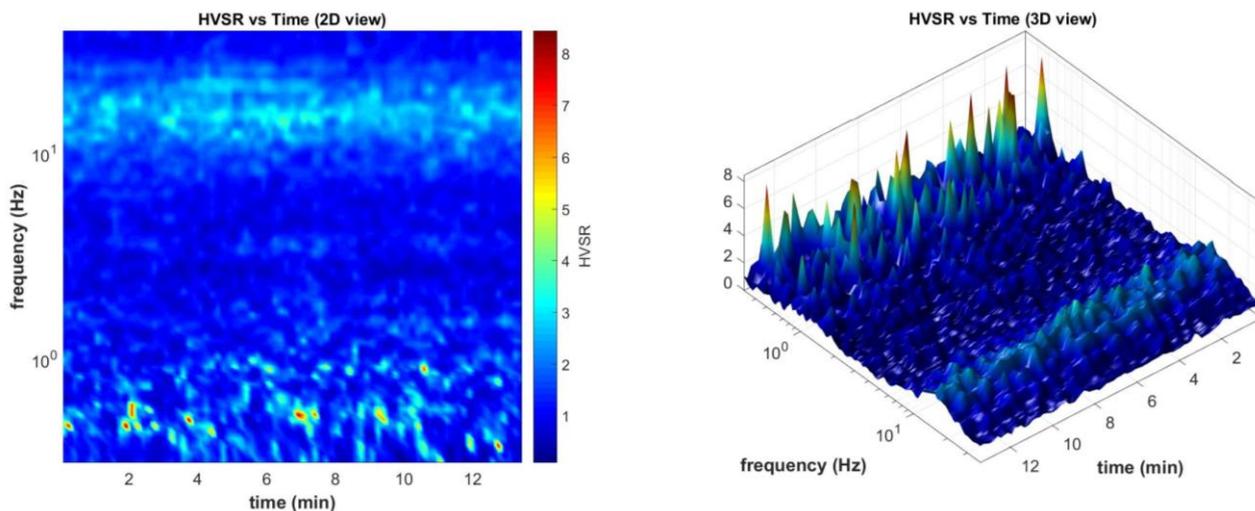
Spettri di ampiezza delle tre componenti (si noti il chiaro picco industriale a 1.5Hz) e rapporto spettrale H/V (sulla destra sono anche indicati i 6 criteri SESAME relativi al picco a 15Hz).

Allo scopo di meglio evidenziare il picco di natura industriale, vengono qui di seguito riportati gli spettri di ampiezza delle tre singole componenti in funzione del tempo. La continuità e il carattere molto definito del segnale sono del tutto caratteristici (a più alte frequenze altri segnali di natura industriale sono chiari, ma non raggiungono l'evidenza di quello a 1.5Hz).

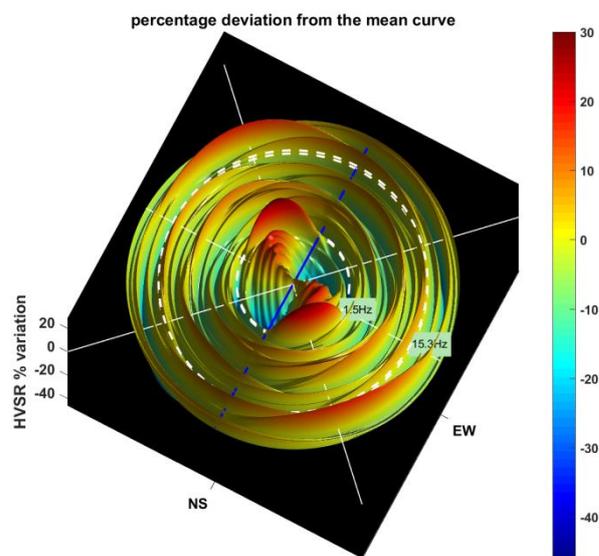
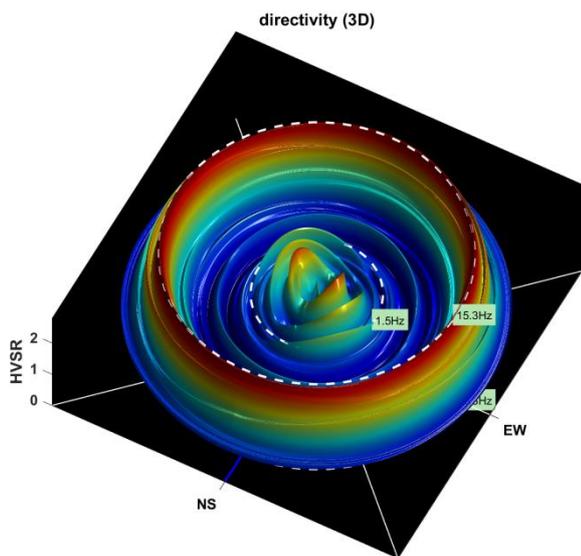
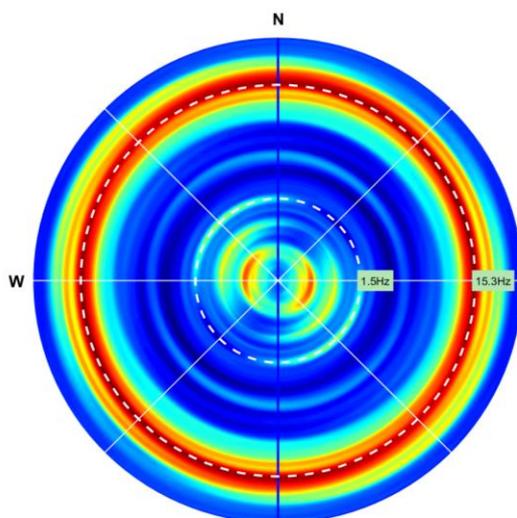
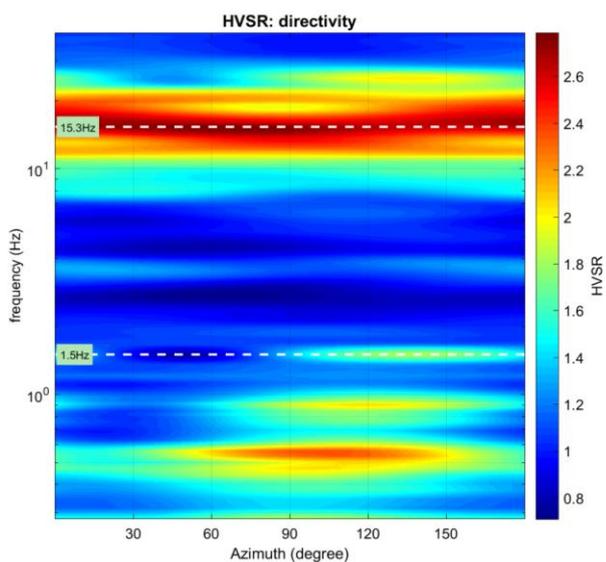
AMPLITUDE SPECTRA



Analizzando i grafici di continuità temporale del rapporto H/V e di direttività, appare chiaro come (in questo caso) tali picchi antropici non si riflettano sul rapporto H/V (questo per il semplice fatto che l'ampiezza dei picchi antropici è tale da non modificare il rapporto H/V stesso [se le componenti H e V si alzano della stessa quantità, il loro rapporto non cambia]).



Qui di seguito la direttività del rapporto H/V (il picco a 15Hz non mostra alcuna variazione azimutale).

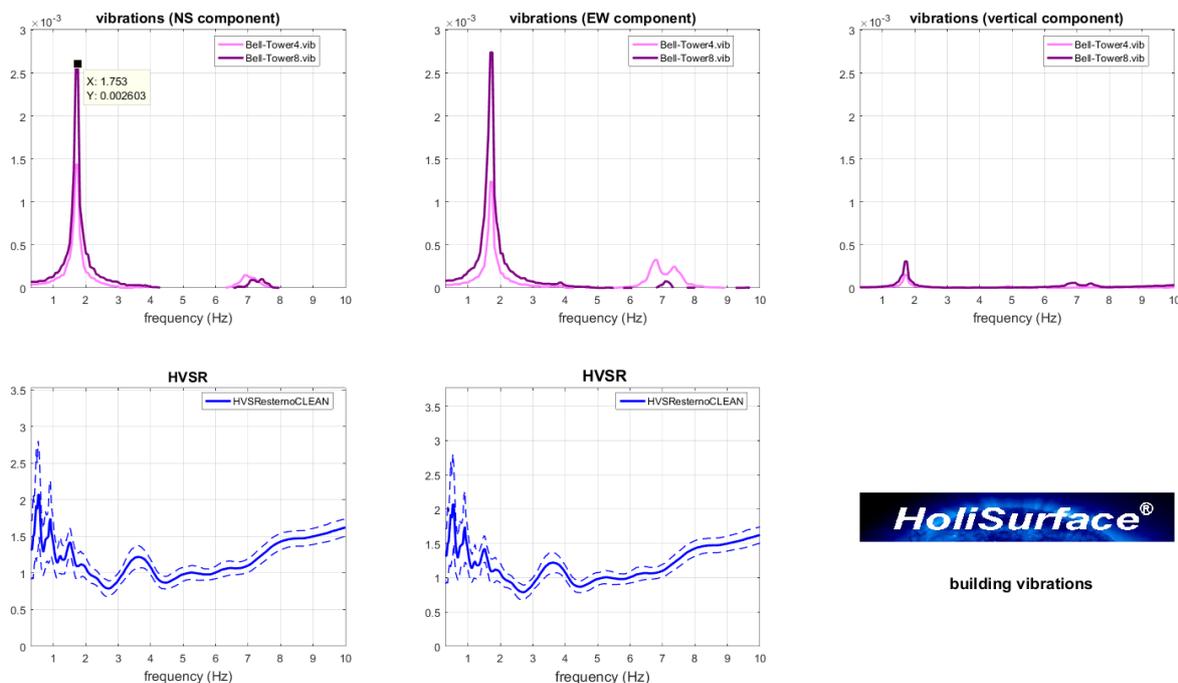


Prospettiva tridimensionale del rapporto H/V e, sulla destra, deviazioni percentuali rispetto l'HVSr medio (in funzione dell'azimuth).

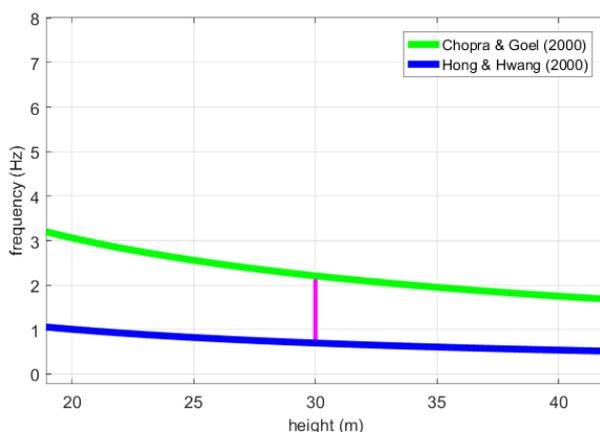
## 4. Alcune elementari considerazioni finali

Nell'immagine qui di seguito riportata sono mostrate le oscillazioni registrate sia in cima che a metà della struttura (naturalmente una volta sottratta la parte relativa al movimento alla base).

Appare evidente come (non sorprendentemente) l'ampiezza dell'oscillazione in cima sia circa il doppio di quella a metà della struttura. Nella riga sottostante è anche riportato il rapporto HVSR così come registrato sul prato adiacente al campanile stesso (per favorire il confronto in questo caso l'HVSR è riportato con scala delle frequenze lineare e non, come solitamente fatto, logaritmica). Alla risonanza del campanile non corrisponde alcuna potenziale risonanza del suolo/sito.



Infine, l'immagine qui di seguito riportata mostra due stime estreme del periodo di risonanza (fondamentale) in funzione dell'altezza di una struttura. Nel nostro caso, il campanile ha un'altezza approssimativa di 30m e, rispetto le stime degli autori indicati, la frequenza di risonanza "teorica" dovrebbe cadere tra circa 1 e 2Hz, in questo caso in accordo con il dato osservato (circa 1.7 Hz).



A scanso di equivoci è bene sottolineare che strutture più complesse, mostrano spesso modi di vibrare ben più complessi (e il modo flessionale fondamentale non necessariamente è quello dominante).

E' infine bene sottolineare come il picco industriale verificato a 1.5Hz, non ha nulla a che fare con la frequenza di risonanza del campanile (1.7Hz). Il picco a 1.5Hz è in effetti piuttosto "ubiquitario" nell'area in esame (vedi schede HV della Micro Zonazione Sismica di Livello I) e, nonostante talune leggende metropolitane, è ben difficile che la vibrazione di una struttura venga trasmessa all'area circostante (la massa dei materiali in gioco è di gran lunga insufficiente).

## Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito della *Micro Zonazione Sismica* di Livello I del comune di Pozzuolo del Friuli (UD) e grazie anche alla collaborazione del Geom. Riccardo Rossi - Istruttore ufficio tecnico Pozzuolo del Friuli e Responsabile gruppo FESN (*Friuli Experimental Seismic Network*).

## Riferimenti

Manuale *HoliSurface*® 6.0 (a disposizione degli utenti *HoliSurface*®)

Chopra A.K. and Goel R.K., 2000. Building Period Formulas for Estimating Seismic Displacements, *Earthquake Spectra*, 16, n° 2, 533–536.

Dal Moro G., 2014, *Surface Wave Analysis for Near Surface Applications*, 978-0-12-800770-9, Elsevier, 252pp

Hong L.L. and Hwang W.L., 2000. Empirical formula for fundamental vibration periods of reinforced concrete buildings in Taiwan. *Earthq. Engin. and Struct. Dyn.*, 29, 327-337.



## Contatti

email: [holisurface@winmasw.com](mailto:holisurface@winmasw.com)



[www.holisurface.com](http://www.holisurface.com)



<https://www.facebook.com/winMASW>

