

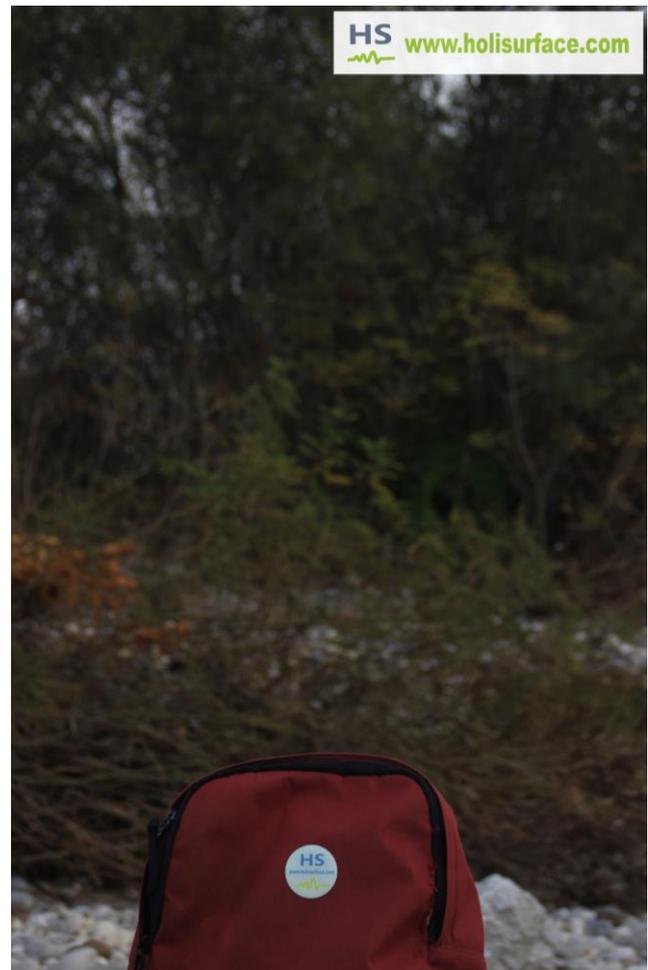
Sistema HoliSurface®

Sei sicuro di aver speso o stare per spendere bene il tuo denaro?

Sismografo, geofoni e software di analisi sono di fatto un tutt'uno e, se perfettamente pensati e coordinati, consentono di risparmiare e fare molto di più - e meglio - di quello che potresti pensare.

Vieni in campagna con noi e scoprirai un modo completamente diverso di lavorare nell'ambito dell'acquisizione e analisi di dati sismici.

Vedrai quante cose potrai fare - e con quale semplicità - con una strumentazione snella, pensata in modo razionale avendo ben chiare in mente tutte le tipologie di analisi.



KEEP IT SIMPLE, KEEP IT HOLI





***The more you know,
the less you need***

Yvon Chouinard

Il termine *HoliSurface*[®] (sinteticamente abbreviato con **HS**) nasce dall'unione di *Holistic* e *Surface*.

Per *olistico* (dal greco *όλος*, cioè "totalità") si intende il fatto che, nonostante la compattezza della strumentazione e l'estrema semplicità delle operazioni di campagna, i dati opportunamente acquisiti vengono efficacemente sfruttati seguendo un approccio congiunto. La versatilità del *software* di analisi consente infatti l'analisi *congiunta* di diverse componenti a seconda degli specifici obiettivi e delle peculiarità del sito.

La citazione di Yvon Chouinard rappresenta la sintesi dell'*estetica* dell'approccio *HoliSurface*[®]. E' grazie ad adeguate conoscenze tecnico/scientifiche legate ai più recenti sviluppi nell'analisi della propagazione delle onde di superficie che è possibile effettuare acquisizioni secondo procedure molto snelle andando ad ottenere dei profili V_S ben vincolati - e quindi precisi - e avendo la possibilità di svolgere anche una vastissima gamma di acquisizioni e analisi di dati di carattere vibrazionale.



- ✓ **Analisi dispersione onde di Rayleigh e Love secondo tecniche attive (*HoliSurface*[®]) e passive (MAAM - sorta di mini-ESAC che richiede pochissimi metri di spazio)**
- ✓ **Analisi HVSR**
- ✓ **Inversioni congiunte automatiche e strumenti di modellazione diretta**
- ✓ **Analisi vibrazionali (UNI9614 e DIN4150 - cioè di soglia di superamento dell'ampiezza della vibrazione rispetto a taluni valori di normativa)**
- ✓ **Analisi vibrazionali su edifici sia secondo tecniche semplificate (una sola terna) che avanzate (due terne sincronizzate) per distinguere moti torsionali e flessionali**
- ✓ **SSR (*Standard Spectral Ratio*) per la definizione della frequenza di risonanza di sito [dalla *release* 2018 è presente anche un *tool* per la risposta sismica locale]**
- ✓ **Un sistema di acquisizione (sismografo, cavi e geofoni) studiato in modo tale da poter crescere con il tempo e consentire tutte le possibili tipologie di acquisizione**

Perché questo?



Quando puoi fare molto di più con questo?



Lo zaino della foto contiene *tutto* quanto necessario per le acquisizioni relative a *tutte* le metodologie implementate nel software *HoliSurface*[®] (leggi con cura tutta la *brochure*).

Qual è la differenza sostanziale tra *winMASW*[®] e *HoliSurface*[®]?

Volendo sintetizzare lo snodo concettuale di *HoliSurface*[®] rispetto a *winMASW*[®], è utile sottolineare come le analisi possibili con *winMASW*[®] sono essenzialmente tutte quelle derivanti da acquisizioni multicanale (attive e passive - MASW, ReMi, ESAC e, naturalmente, HVSr e MFA), tecniche cioè note e ampiamente utilizzate dal punto di vista applicativo da diversi decenni. Questo genere di acquisizioni richiede, appunto, l'utilizzo di molti geofoni che si riflette in un notevole sforzo di acquisizione e nella necessità di notevoli spazi.

D'altra parte le metodologie (attive e passive) implementate in *HoliSurface*[®], benché in gran parte da tempo note, sono per motivi anche meramente commerciali meno conosciute nonostante i molti vantaggi che derivano da un loro corretto utilizzo.

In *HoliSurface*[®], la sismica attiva atta a studiare la propagazione delle onde di superficie è svolta considerando le velocità di gruppo e richiede quindi l'utilizzo di solamente un geofono, mentre la sismica passiva atta a studiare la propagazione delle onde di Rayleigh è basata sulla metodologia MAAM (*Miniature Array Analysis of Microtremors*) che, concettualmente simile alla tecnica ESAC (vedi *winMASW*[®] Academy), richiede però l'utilizzo di limitatissimi spazi (pochi metri) e di un limitato numero di geofoni (verticali) [il numero esatto dipende da una serie di fattori che vengono illustrati durante i nostri workshops, ma che possiamo indicare in minimo 4 geofoni verticali]. La foto qui sotto delinea una situazione ottimizzata: 3 geofoni verticali e un geofono triassiale al centro (il prototipo del dispositivo AREA51 utilizzato per posizionare il modo rapido e preciso i geofoni è stato realizzato in collaborazione con la FESN - *Friuli Experimental Seismic Network*). Al centro si può utilizzare un geofono triassiale (utile quindi anche a definire il rapporto spettrale H/V) o, più semplicemente, un quarto geofono verticale. In ogni caso è fondamentale che tutti i geofoni utilizzati abbiano le identiche caratteristiche.



Dispositivo AREA51 per acquisizioni MAAM

Tutto questo rende gli approcci possibili con il sistema *HoliSurface*[®] estremamente attraenti in particolare rispetto a tre aspetti:

- ✓ semplicissime procedure di acquisizione (con conseguente significativo risparmio di tempo)
- ✓ limitati costi per l'*hardware* e *software* necessario
- ✓ limitati spazi di manovra determinanti per le acquisizioni in ambito urbano (in cui spesso non si hanno a disposizione gli spazi necessari per le tecniche multicanale tradizionali), ma molto utili anche in tutte le altre situazioni

Ciò che si va ad analizzare è sempre legato alla propagazione delle onde di superficie e ciò che si ottiene è sempre e comunque il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s).

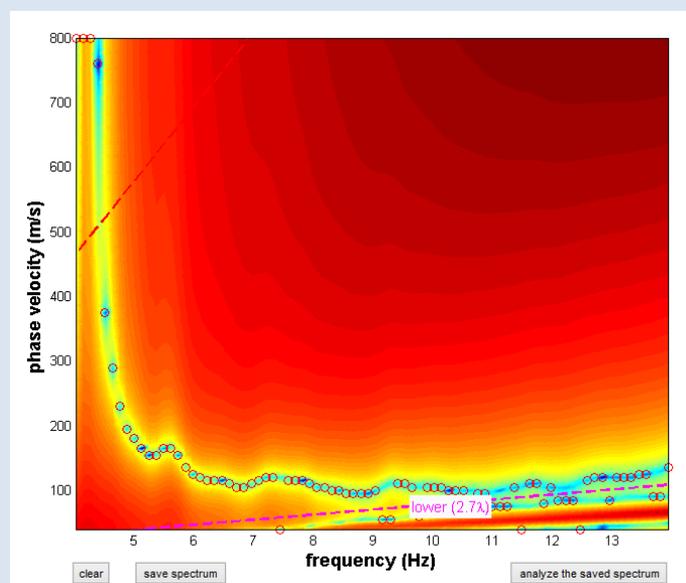
Le procedure possibili con *HoliSurface*[®] si basano sull'analisi congiunta di diversi "oggetti" andando in questo modo a risolvere i noti problemi di ambiguità ed indeterminatezza e fornendo, se correttamente utilizzati, profili V_s assolutamente accurati.

Appare evidente come, in relazione alla scarsa diffusione di tali tecniche al di fuori di limitatissimi ambienti accademici, per un corretto utilizzo di *HoliSurface*[®] è necessario usufruire della giornata di formazione da noi offerta assieme al sistema proposto.

Cos'è e cosa puoi fare con il software *HoliSurface*[®] e un'adeguata (estremamente leggera, flessibile ed economica) strumentazione di campagna?

1. **Analisi multi-componente della dispersione delle onde di superficie** (velocità di gruppo delle onde di Rayleigh e Love) secondo la **tecnica - attiva - *HoliSurface*[®]** (metodologia olistica di analisi multicomponente **brevettata**)
2. **Analisi della dispersione delle onde di Rayleigh** (velocità di fase) secondo la **tecnica passiva *Miniature Array Analysis of Microtremors* (MAAM)**, metodologia per molti versi analoga all'ESAC grazie alla quale è possibile delineare la curva di dispersione delle onde di Rayleigh disponendo opportunamente 3/4 geofoni (da noi forniti unitamente alla terna utile anche ad acquisizioni HVSR e *HoliSurface*[®]) pur avendo a disposizione (ed è questo il punto di forza di questo approccio particolarmente interessante ad esempio in ambito urbano) uno spazio di pochi metri
3. **Analisi HVSR** per stimare eventuali risonanze del sito e, congiuntamente all'analisi della dispersione [da analisi MAAM (passiva) o MFA/*HoliSurface* (attiva)], ad effettuare inversioni congiunte
4. **Analisi vibrazionali** (normative UNI 9614 e DIN 4150)

Se possiedi già un sismografo (necessariamente di ottima qualità) e vuoi effettuare tutte le analisi possibili con *HoliSurface*[®] contattaci e ti sapremo offrire tutto ciò di cui hai bisogno in termini di *hardware* e *software*. Attraverso il tool **TCEMCD (*Three-Component Extraction from Multi-Channel Data*)**, tanto *HoliSurface*[®] che *winMASW*[®] *Academy* sono ad esempio in grado di gestire dati passivi "misti" (acquisiti utilizzando opportunamente una serie di geofoni verticali e un geofono triassiale calibrato) utili ad analisi HS, MAAM e HVSR (per quanto riguarda il software *HoliSurface*[®]) o ESAC e HVSR (per quanto riguarda *winMASW*[®] *Academy*).



I quattro pilastri per un buon lavoro

Sono quattro i punti che, insieme, vanno a determinare la buona qualità di un lavoro di acquisizione e analisi del dato sismico.



È la consapevole armonizzazione di tutti questi aspetti che conduce alla realizzazione di lavori dall'alto profilo professionale.

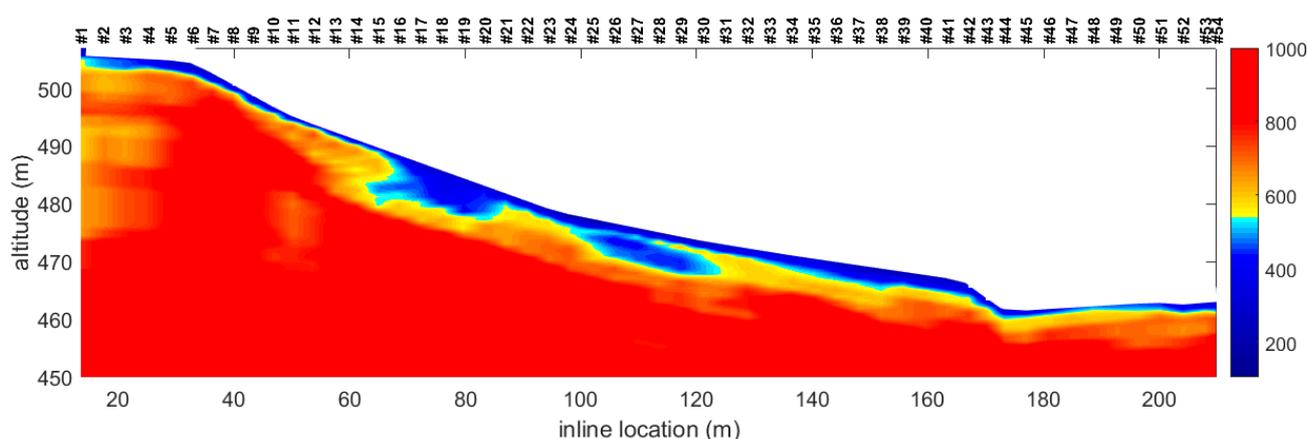
Lacune, mancanze o inadeguatezze di anche solo uno di questi quattro aspetti conducono a lavorare inevitabilmente in modo approssimativo o eccessivamente complicato (il senso di HS è invece ottimizzare gli sforzi perfezionando la ricostruzione del modello del sottosuolo).

Per quanto poco considerato e, apparentemente, di difficile definizione, è il primo punto - riferito alle conoscenze teoriche - quello che di fatto è alla base di tutto.

Non conoscere adeguatamente le tecniche di analisi del dato e le relative problematiche e opportunità, significa non essere in grado di scegliere con cognizione di causa il proprio *arsenale* di lavoro (il proprio sismografo, geofoni, computer ecc).

Spesso ci si rivolge a noi per il *software* solamente dopo aver effettuato l'acquisto del sismografo e dei relativi "accessori" (*in primis* i geofoni) e, spesso, l'acquisto effettuato non risulta ottimale limitando il tipo di acquisizioni/analisi possibili e/o obbligando a procedure di campagna inutilmente complesse.

Se credi che la **competenza** sia l'unica via utile per ottimizzare le proprie risorse contattaci ***prima*** di acquistare l'*hardware*: studieremo assieme la soluzione/combinazione ***coordinata*** (ragionata e motivata) migliore per le tue esigenze e, in ogni caso, finalizzata ad acquisire i dati necessari a determinare il modello del sottosuolo in modo stringente e senza ambiguità e senza spendere più di quanto necessario.



Esempio di profilo 2D della distribuzione della velocità delle onde di taglio (V_s) lungo un pendio ottenuto grazie all'analisi della propagazione delle onde di superficie (i numeri in alto riportano il numero dello *shot point* considerato).

Sismica passiva in *HoliSurface*[®]: MAAM e HVSR

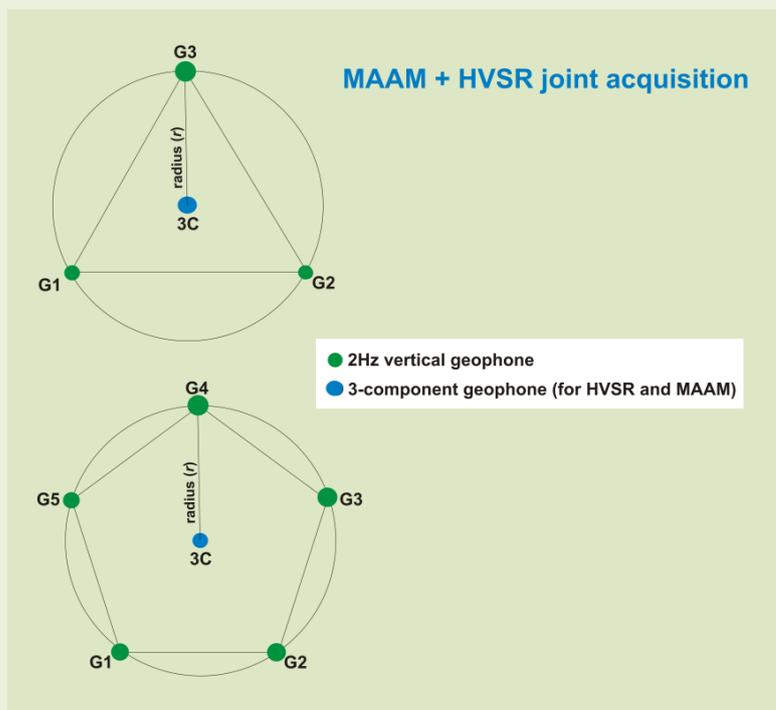
Che differenza c'è tra ESAC e MAAM?

Entrambe sono tecniche passive ma mentre l'ESAC richiede necessariamente diversi geofoni e ampi spazi (svariate decine di metri), la tecnica **MAAM necessita di solamente 3/4 geofoni** e di **limitatissimi spazi** (per le comuni applicazioni il raggio del triangolo o del pentagono è tipicamente tra 0.5 e 5m andando a definire la curva di dispersione in un *range* di frequenze proporzionale al raggio stesso).

Va da sé che, specie quando si lavora in aree urbane con limitati spazi di manovra, l'approccio MAAM risulta di fatto l'unica soluzione utile a definire le curve di dispersione

dell'onda di Rayleigh (che è poi possibile invertire anche congiuntamente alla curva HVSR - richiedici ad esempio il *caso studio Natissa*).

E' essenziale sottolineare come la tecnica MAAM impone l'utilizzo di sismografi di ottima qualità in grado di acquisire dati con un ottimo rapporto segnale/rumore, che è necessario definire (in funzione della frequenza) in modo rigoroso e quantitativo. Chiaramente possiamo assicurare l'adeguatezza del sismografo solamente testandolo con i nostri algoritmi. D'altra parte potete voi stessi verificare se il vostro sistema sismografo+geofoni è adeguato a questo genere di analisi, acquisendo sullo stesso sito (e seguendo scrupolosamente le istruzioni che possiamo fornirvi) dati utili ad analisi ESAC e MAAM e inviandoci poi i dati.



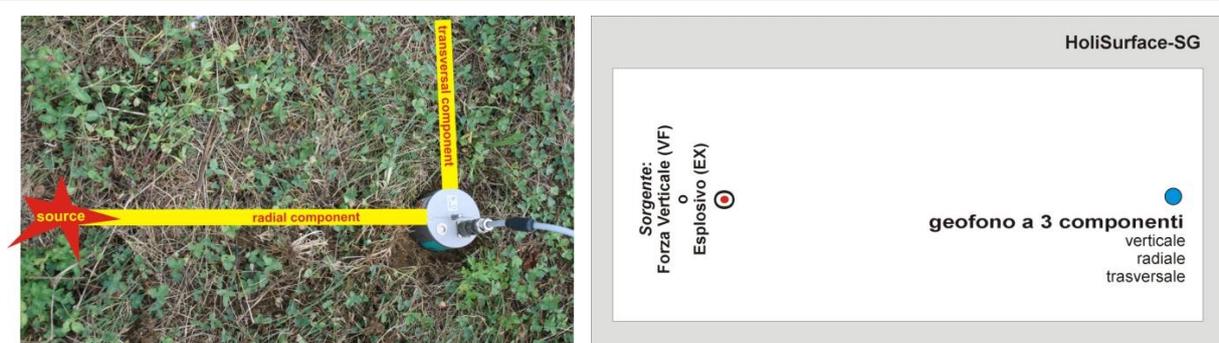
L'HVSR in *HoliSurface*[®] e in *winMASW*[®] Academy

Le *releases* correnti del software *HoliSurface*[®] e *winMASW*[®] Academy consentono la **modellazione** (quindi anche l'inversione automatica) della **curva HVSR tramite codici proprietari** (i quali permettono di sfruttare il calcolo distribuito possibile con i processori *multi-core* andando quindi a ridurre significativamente i tempi di calcolo) che **implementano nel modo più completo il calcolo del rapporto spettrale H/V considerando l'effetto congiunto di tutti i modi tanto delle onde di Rayleigh che di Love, seguendo di base la formulazione di Arai e Tokimatsu (2004) a cui viene ulteriormente aggiunto l'effetto dell'attenuazione.**

Tra i punti cruciali vi è l'aggiunta del "**fattore α** " che **definisce il peso delle onde di Love nel rapporto spettrale H/V** (uno dei parametri troppo spesso trascurati ma invece significativi - vedi anche ad esempio Fäh et al., 2001 e Bonnefoy-Claudet et al., 2008).

Sismica attiva in *HoliSurface*[®]: il brevetto HS

Acquisire un dato per analisi *HoliSurface*[®] non è molto diverso rispetto alle tradizionali acquisizioni di sismica attiva per, ad esempio, analisi MASW o rifrazione (lo zero dei tempi è fissato dal *trigger*). La differenza sostanziale è che in questo caso si utilizza **un unico geofono a tre componenti** (3C - spesso indicato anche come 3D in quanto si tratta di un geofono con 3 sensori orientati in tre direzioni spaziali ortogonali) la cui orientazione rispetto alla sorgente è però fondamentale. Questo significa che, per fare analisi *HoliSurface*[®], sarà **necessario orientare il NS dello strumento in assetto radiale rispetto alla sorgente** (i dettagli vengono illustrati durante le nostre giornate formative).

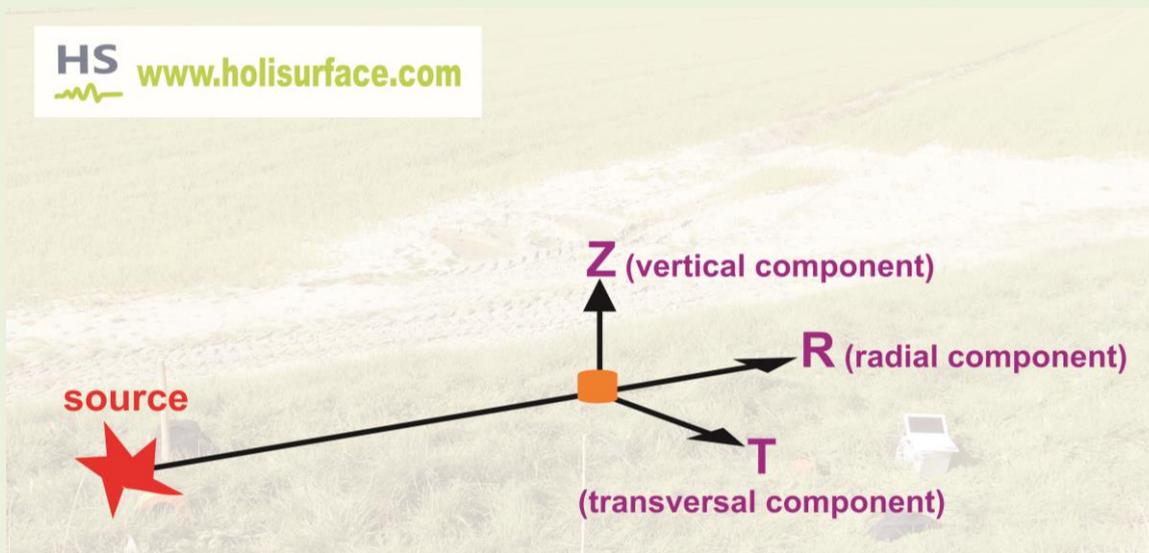


Assetto del geofono 3C per analisi *HoliSurface*[®]: a seconda del tipo di sorgente adottata potremo acquisire tanto le onde di Rayleigh (componente radiale e verticale) che di Love (componente trasversale).

In pratica si colloca questo unico geofono triassiale ad una certa distanza (offset) dalla sorgente e si energizza come una qualsiasi MASW in onde di Rayleigh e/o Love.



È importante che il software di acquisizione del sismografo consenta di effettuare lo *stack* verticale dei dati; per capire cos'è lo *stack* verticale vedi Capitolo 3 (Figura 3.8) del libro "*Onde di Superficie in Geofisica Applicata*" - Giancarlo Dal Moro, Dario Flaccovio Editore (a cui si rimanda anche per la nomenclatura relativa al tipo di sorgente e geofoni - componenti RVF, ZVF, REX, ZEX e THF).



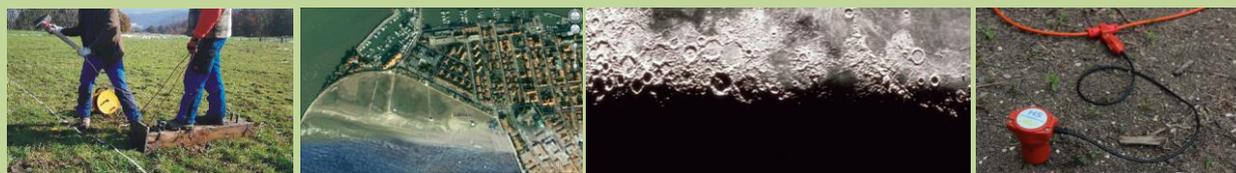
Acquisire onde di Rayleigh e Love

E' naturalmente possibile acquisire sia le onde di Rayleigh che quelle di Love (per il tipo di sorgente vedi il Capitolo 3 del libro sopra menzionato).

Se effettuiamo prima un'acquisizione per le onde di Rayleigh (martellata verticale o sorgente esplosiva) otterremo un primo file in cui la prima traccia rappresenta la componente verticale delle onde di Rayleigh mentre la seconda la componente radiale (la terza traccia può essere ignorata).

Se poi effettuiamo una seconda acquisizione per le onde di Love (chiaramente utilizzando una sorgente orizzontale) otterremo un secondo file in cui la terza traccia (quella trasversale) conterrà appunto i dati relativi alle onde di Love (in questo caso ignoreremo le prime due tracce).

Con lo strumento "*assemble*" (accessibile anche dal pannello principale del software *HoliSurface*®), potremo unire i due files ed ottenere così un unico file in cui le prime due tracce rappresentano il moto delle onde di Rayleigh, mentre la terza quello delle onde di Love (va sottolineato che l'orientazione del geofono non va modificata).



HoliSurface® from the Alps to the Moon...

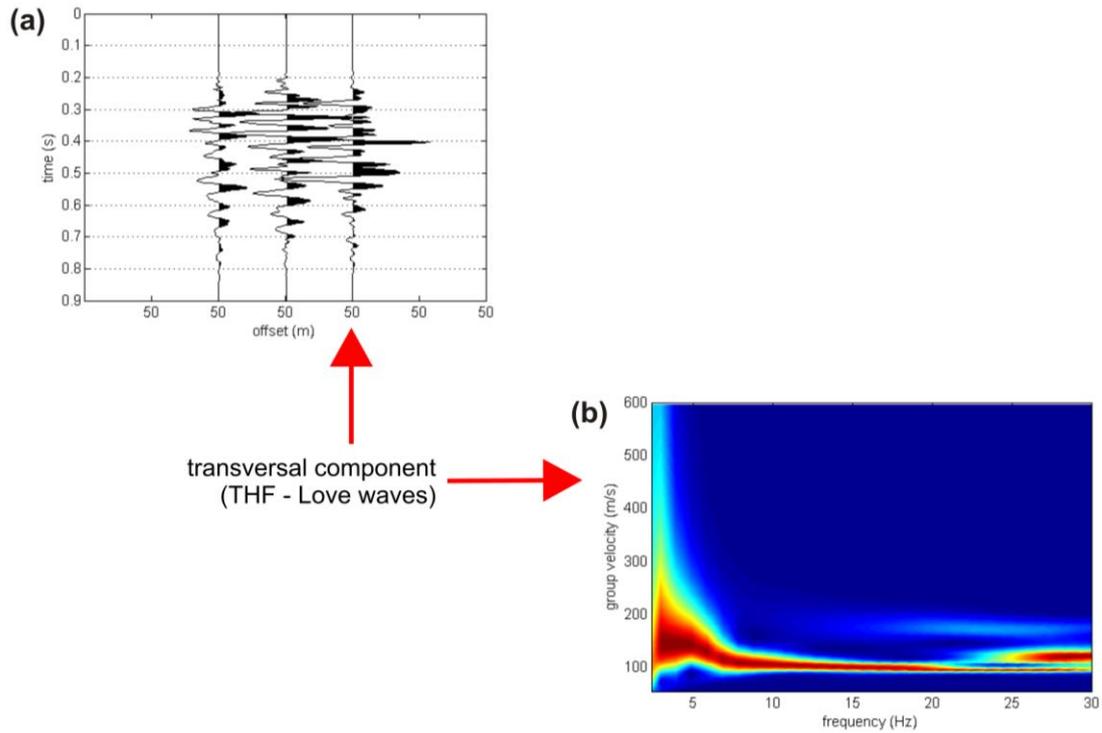
Le metodologie di analisi implementate nel software *HoliSurface*® sono già state ampiamente impiegate per l'elaborazione di dati raccolti in diversi contesti geologici: dalla caratterizzazione di alcuni siti delle Alpi svizzere svolta per *NAGRA (Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle)* sino all'elaborazione dei dati sismici raccolti dalla *NASA* durante le missioni *Apollo* sulla Luna (vedi riferimenti bibliografici).

Esempio#1: analisi congiunta spettro di velocità delle onde di Love+HVSr

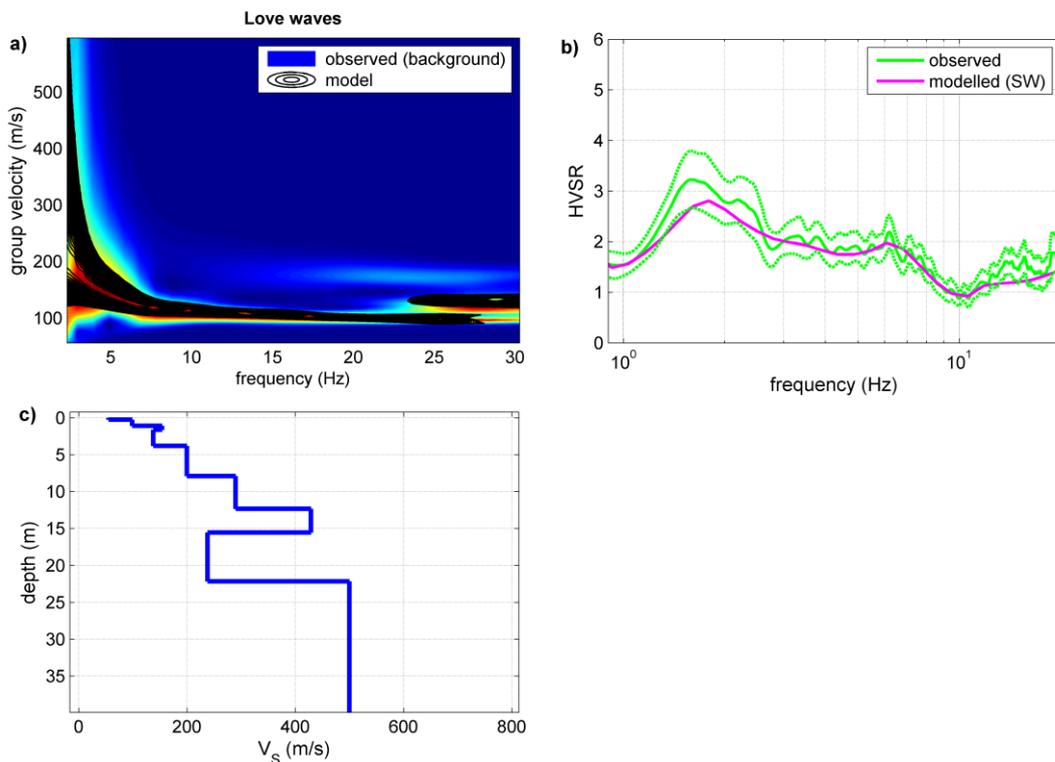
Nell'esempio qui riportato si considera unicamente lo spettro di velocità delle onde di Love acquisite facendo uso di una banalissima traversina di legno (sismica attiva, offset 50m) e la curva HVSr (sismica passiva) acquisita a metà dello stendimento utilizzato per la sismica attiva.

Questo, in generale, è l'approccio che consigliamo ad un utente medio: onde di Love + HVSr.

Per ottenere questi dati è stato utilizzato solamente un geofono triassiale sia per la sismica attiva (acquisizione dei dati utili a determinare lo spettro di velocità di gruppo dell'onda di Love) che per quella passiva (HVSr).



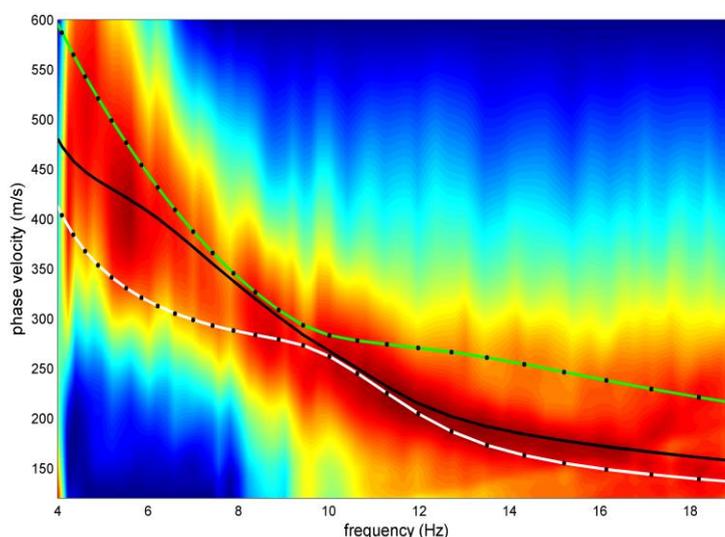
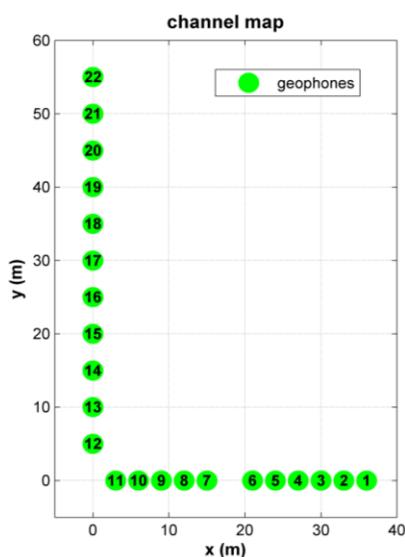
Qui di seguito il risultato dell'analisi congiunta: si noti l'ottimo accordo tra dati osservati e sintetici.



Per evidenziare l'efficacia di questo approccio, in questo sito si è anche eseguita un'indagine ESAC (tecnica passiva multicanale bidimensionale disponibile in *winMASW*[®] Academy).

Qui di seguito è riportata la mappa dello stendimento (ogni canale rappresenta un geofono verticale) e lo spettro di velocità (a colori) da analisi ESAC. La curva nera sovrapposta riporta la curva di dispersione *effettiva* dell'onda di Rayleigh del modello identificato dalla precedente analisi mentre le due curve puntinate (bianca e verde) si riferiscono alle curve *modali* dei primi due modi. Appare evidente l'identità della soluzione e - quindi - come indagini così articolate quali l'ESAC (certamente da preferire alla ReMi) non risultino di fatto sempre necessarie.

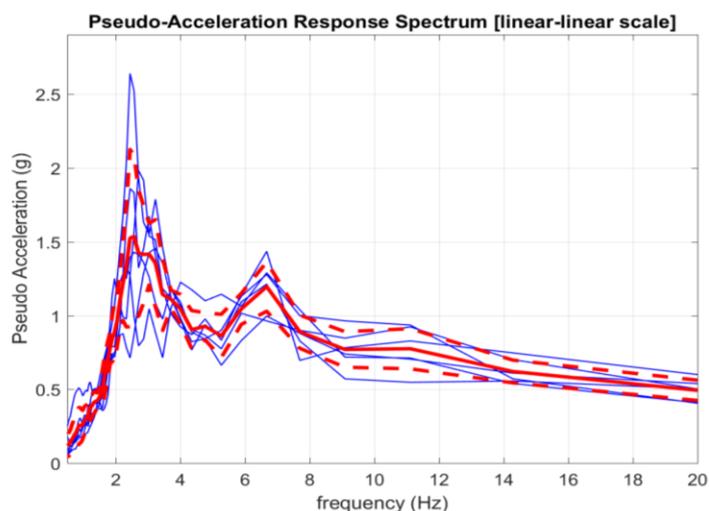
Si noti anche come la curva di dispersione ottenuta da indagini ESAC (o ReMi - tecnica quest'ultima sconsigliata per una lunga serie di motivi tecnici e pratici) non sia in alcun modo semplicemente riconducibile ad un unico modo (men che meno quello fondamentale). Ciò che si ottiene è una curva cosiddetta *apparente* (o *effettiva*) che è il risultato della combinazione di tutti i modi presenti. In questo caso, come si vede, è una sorta di "compromesso" tra il fondamentale e il primo modo superiore - per i dettagli matematici vedi Tokimatsu et al. (1992).



Per ulteriori dettagli vedi il caso studio#12 del libro *Surface Wave Analysis for Near Surface Applications* (Dal Moro, 2014 - Elsevier).

HS-2018

Spettro di risposta computato dal modello del sottosuolo identificato tramite analisi congiunta HS+HVSr e considerando una serie di sismi caratteristici dell'area in esame.



Analisi del moto della particella legato al passaggio dell'onda di Rayleigh: le curve RPM (*Rayleigh-wave Particle Motion*)

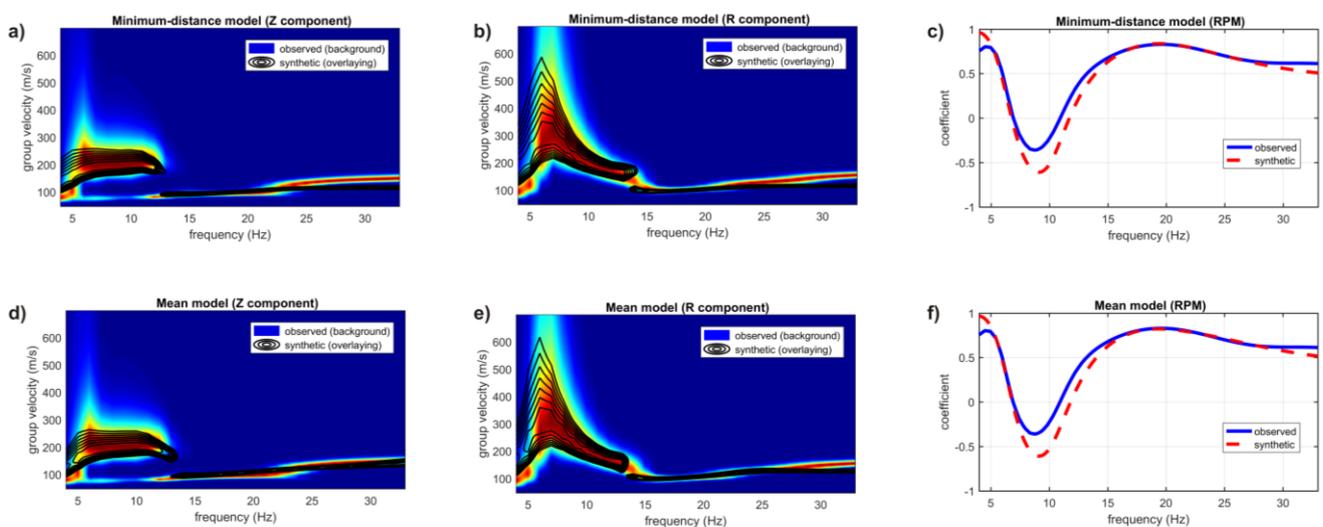
Il moto dell'onda di Rayleigh è usualmente lontano dall'essere retrogrado (come spesso erroneamente assunto).

L'effettivo movimento della particella è in effetti funzione della frequenza e, unitamente agli spettri di velocità delle componenti verticale e orizzontale, può essere utilizzato per meglio vincolare il modello del sottosuolo.

Una serie di articoli su questi aspetti è stata pubblicata a partire dal 2017 (vedi riferimenti bibliografici in calce).

La curva che descrive il moto (progrado o retrogrado) legato alla propagazione dell'onda di Rayleigh è chiamata *RPM frequency curve* (vedi articolo *Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics*).

Nell'immagine qui di seguito riportata (tratta dall'articolo *Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra*), si presentano i dati di campagna (colori sul fondo) e quelli sintetici per i due modelli più importanti ottenibili da un'inversione congiunta, il modello a minima distanza dal punto utopico e il modello medio (per dettagli vedi il menzionato articolo).



Tutte queste tematiche (e il modo di effettuare l'inversione al fine di definire in modo sempre più stringente il profilo V_s) sono ampiamente descritte ad esempio nei seguenti articoli:

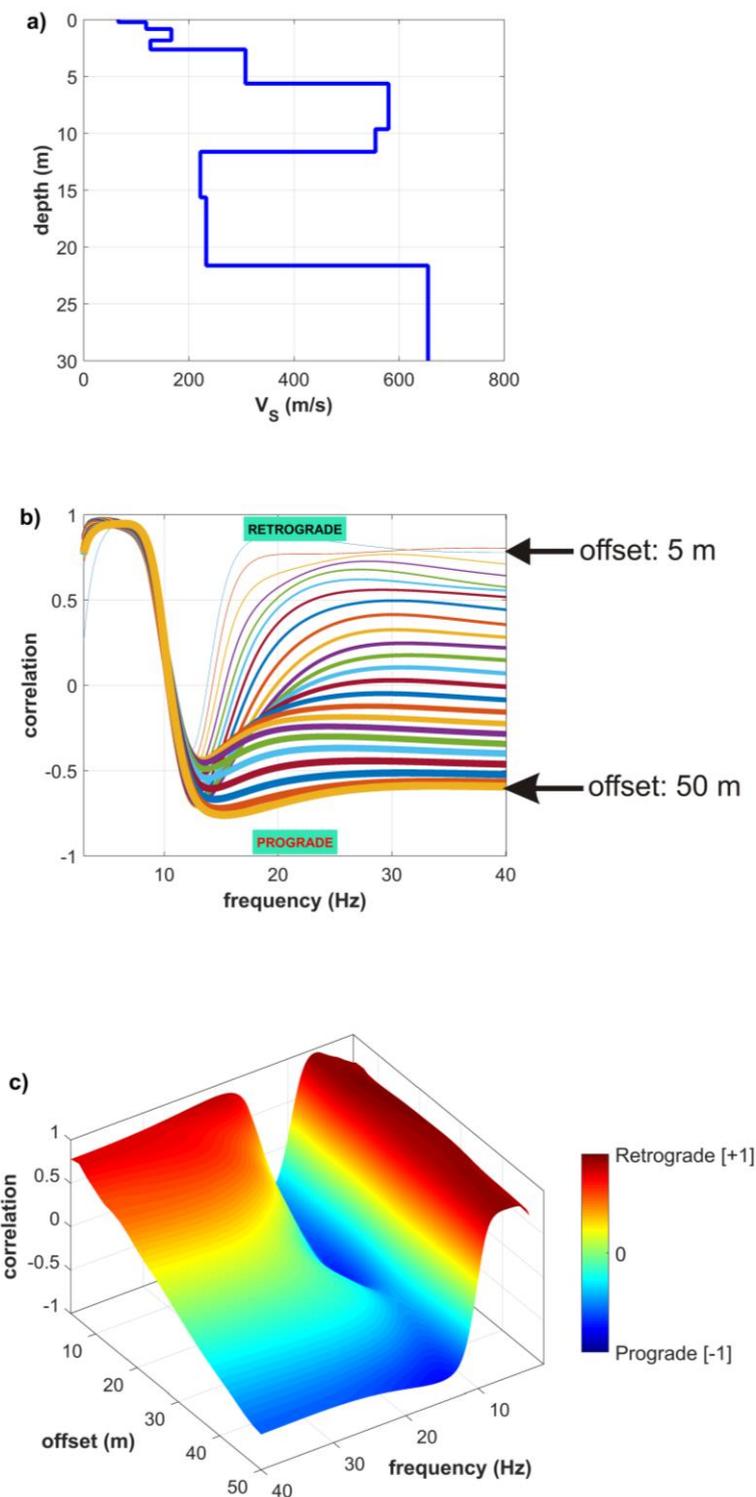
Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2019. *On the efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves: technical aspects and two comparative case studies*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, in stampa

Dal Moro G., 2017. *Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra*. Pure and Applied Geophysics, 175, 67-88, DOI [10.1007/s00024-017-1694-8](https://doi.org/10.1007/s00024-017-1694-8)

Dal Moro G. e Puzzilli L.M., 2017. *Single- and multi-component inversion of Rayleigh waves acquired by a single 3-component geophone: an illustrative case study*. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 14, No. 4 (188), 431–444, DOI: [10.13168/AGG.2017.0024](https://doi.org/10.13168/AGG.2017.0024)

Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017. *Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics*. Bulletin of the Seismological Society of America, 107, 51-62

In caso di **dati multi-offset** (il classico mondo multi-canale) **non si tratterà più di un'unica curva RPM ma di una superficie RPM frequenza-offset** (*RPM frequency-offset surface* - vedi immagine qui di seguito) che potrà essere invertita congiuntamente agli spettri di velocità di fase delle componenti Z e R (*winMASW® Academy*).



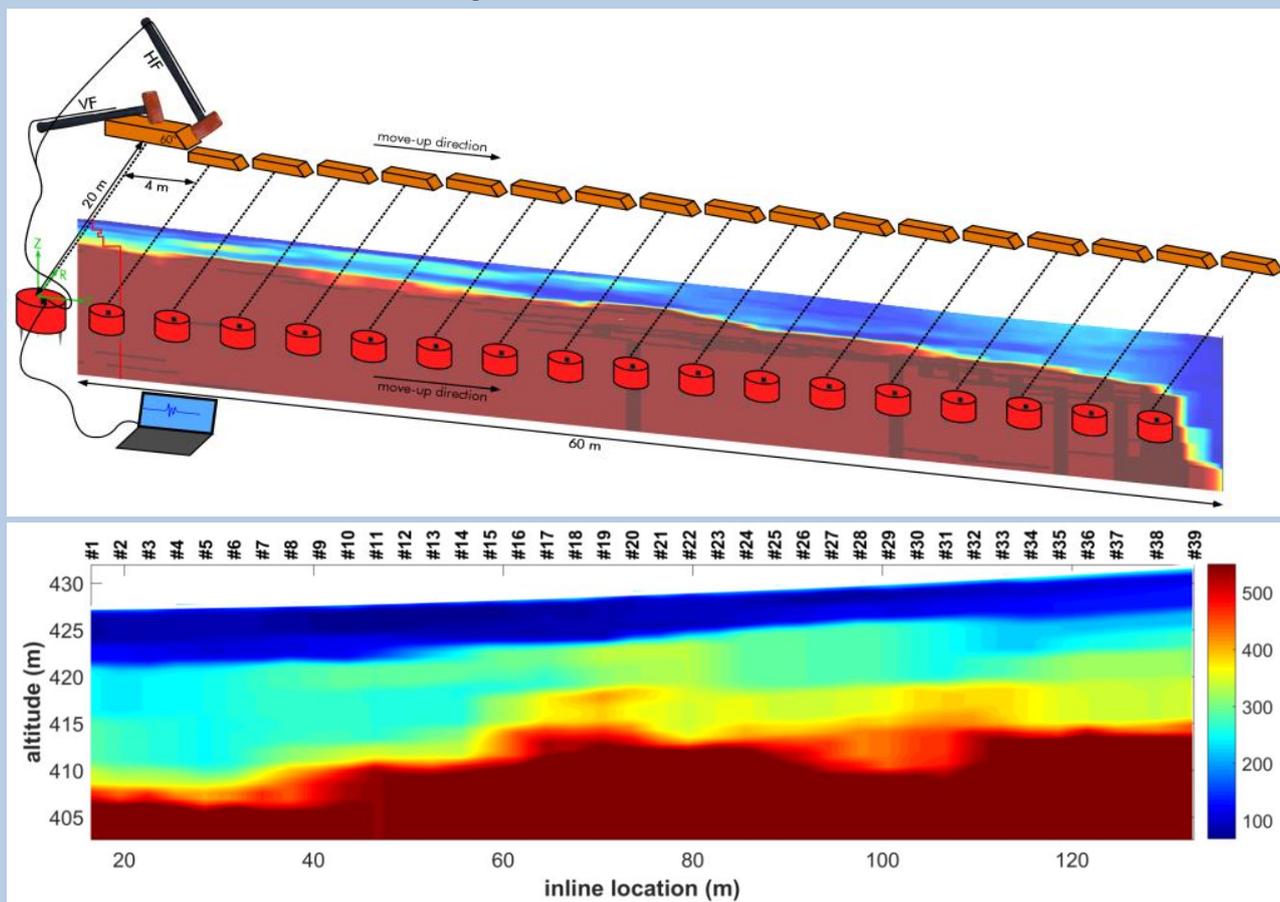
Superficie RPM frequenza-offset che descrive il moto della particella legata al passaggio dell'onda di Rayleigh in caso di dati multi-canale (vedi *winMASW® Academy*): **a)** modello sintetico; **b)** curve RPM per i vari offset; **c)** *RPM frequency-offset surface* (da Dal Moro, 2017).

CORRETTA ACQUISIZIONE DATI PER ANALISI RPM

Per effettuare queste analisi è fondamentale acquisire i dati in modo assolutamente puntuale e rigoroso. In questo caso non conta infatti unicamente la *direzione* ma anche il *verso*. Per essere sicuri di acquisire i dati in modo corretto, effettuate le acquisizioni con strumentazione da noi esplicitamente approvata. Assicuratevi cioè di utilizzare geofoni triassiali con l'adesivo HS come quello qui sotto riportato e puntate il Nord dello strumento in direzione della sorgente (VF) utilizzata.



Esempio di sezione 2D della V_s

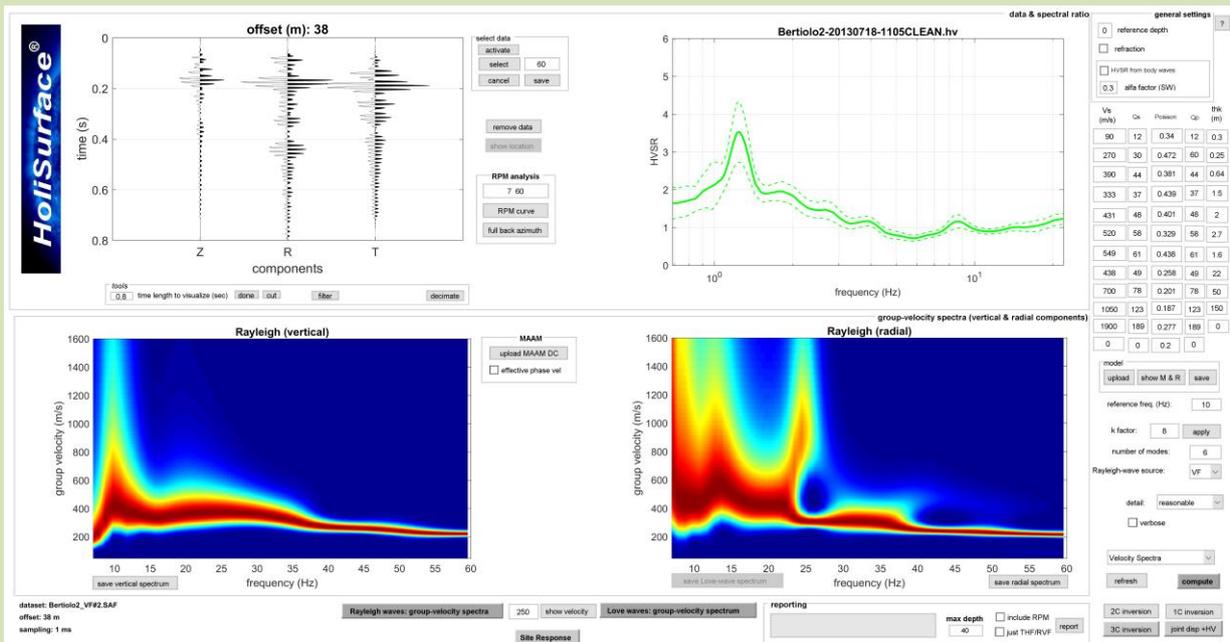


Sezione 2D ottenuta utilizzando l'apposito *tool* presente nel software *HoliSurface*® e in *winMASW*® *Academy* (si noti come sia possibile inserire anche i dati relativi alla topografia).

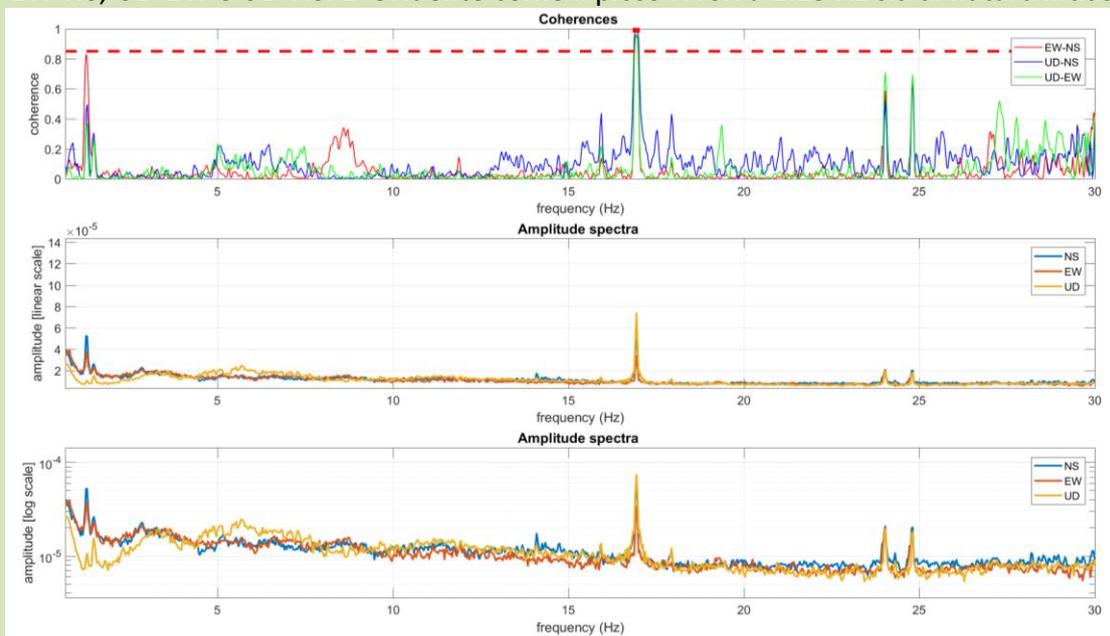
Esempio#2: analisi congiunta velocità di gruppo delle componenti Z e R dell'onda di Rayleigh (metodo HS) + HVSr

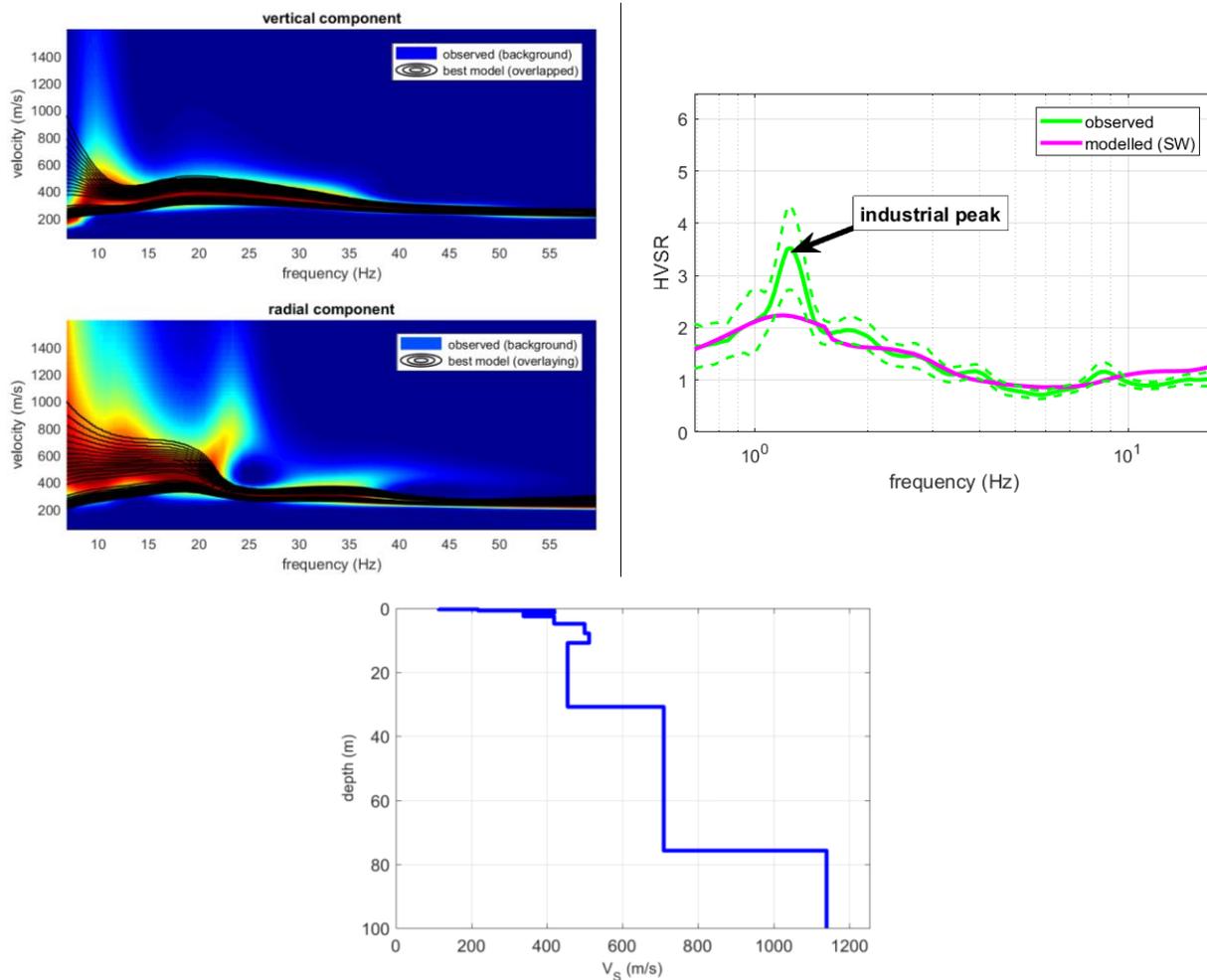
Per quanto riguarda l'analisi *HoliSurface*® in questo caso ci siamo limitati alle onde di Rayleigh, in quanto i dati visualizzati in campagna risultavano di semplice comprensione e quindi di facile analisi, ma in generale raccomandiamo di acquisire sempre anche le onde di Love.

Metodo *HoliSurface*® - dati di campagna: in alto a sinistra le tre tracce relative alle componenti Z, R e T. Per questa analisi (per la quale si è considerata unicamente una sorgente verticale in grado di generare onde di Rayleigh) si considereranno solamente le prime due tracce relative rispettivamente alle componenti verticale e radiale dell'onda di Rayleigh prodotta. Se avessimo utilizzato anche una sorgente di taglio, avremmo potuto utilizzare anche le onde di Love descritte dalla componente trasversale (la terza traccia). Qui sotto sono riportati gli **spettri di velocità di gruppo della componente verticale e radiale**.



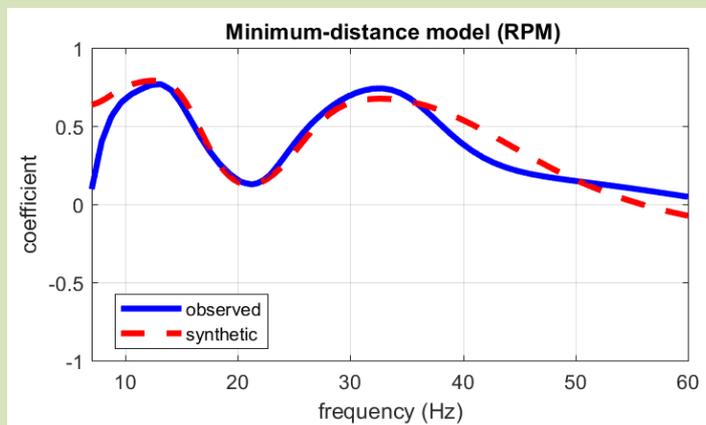
HVSr: qui di seguito gli spettri di ampiezza (con scala lineare) e le funzioni di coerenza per le coppie EW-NS, UD-EW e UD-NS. E' evidente come il picco HVSr a 1.25 Hz sia di natura industriale.





Risultato dell'analisi congiunta *HoliSurface*[®] (spettri di velocità di gruppo delle componenti ZVF e RVF) + HVSR. I colori in *background* rappresentano gli spettri di velocità dei dati di campagna mentre le *contour lines* nere in sovrapposizione gli spettri di velocità del modello identificato (riportato in alto a destra). Da notare come il "picco" dell'HVSR a 1.25 Hz sia in effetti di natura industriale e non litologica (nel *modelling* della curva non se ne tenta quindi la riproduzione).

Analisi RPM: qui di seguito la curva RPM di campagna e quella sintetica (dal modello identificato).

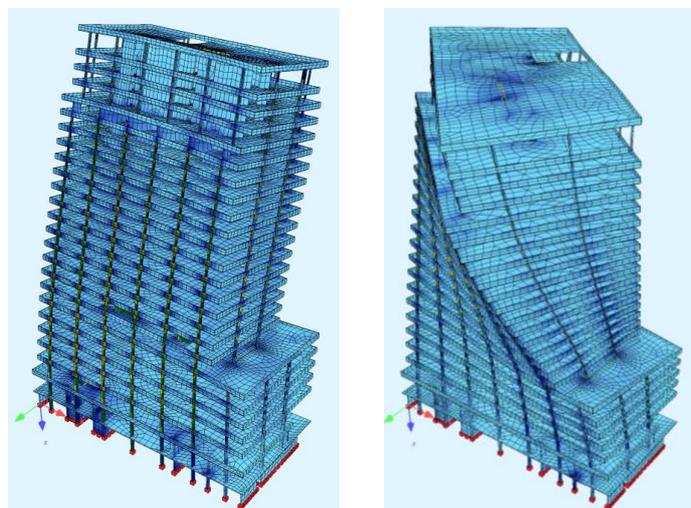


Di fatto, questo approccio HS, consente - utilizzando un unico geofono triassiale posto ad una certa distanza dalla sorgente - di analizzare congiuntamente quattro oggetti: gli spettri di velocità di gruppo delle due componenti (Z e R), la curva RPM e la curva HVSR. Il modello identificato risulta di necessità molto più vincolato (quindi preciso) rispetto a quello ottenibile con la vecchia tecnica MASW (che consente l'analisi di un solo oggetto, lo spettro di velocità di fase della componente verticale dell'onda di Rayleigh).

Esempio#3: misure vibrazionali su edifici con *HoliSurface*[®] disaccoppiate, sincronizzate e metodo GHM

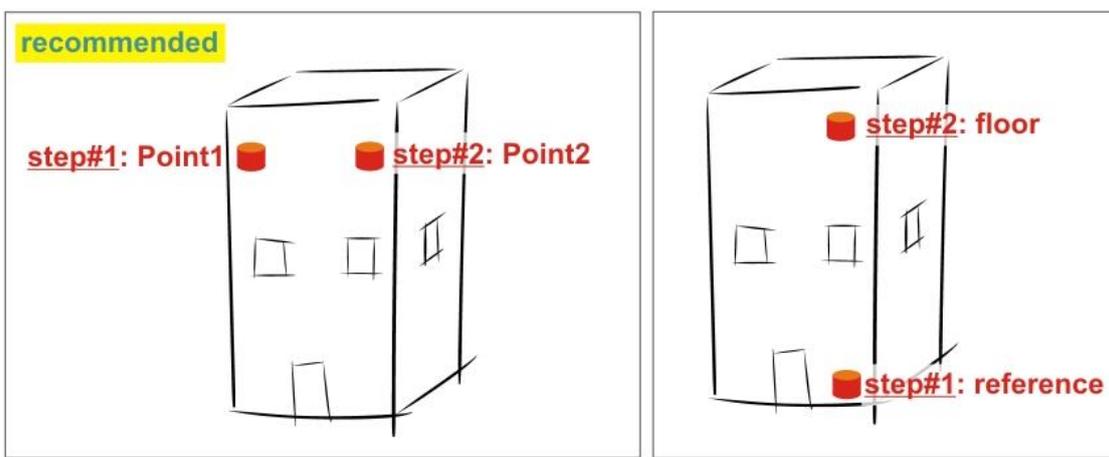
L'acquisizione di dati - in particolare se vi affidate al **metodo GHM** che consente tra l'altro di discriminare i **modi flessionali da quelli torsionali** - è di fatto piuttosto semplice.

Per avere una panoramica sufficientemente completa è necessario seguire uno dei nostri corsi specifici e leggere con estrema cura l'articolo in cui viene presentata la tecnica GHM (vedi qui sotto).



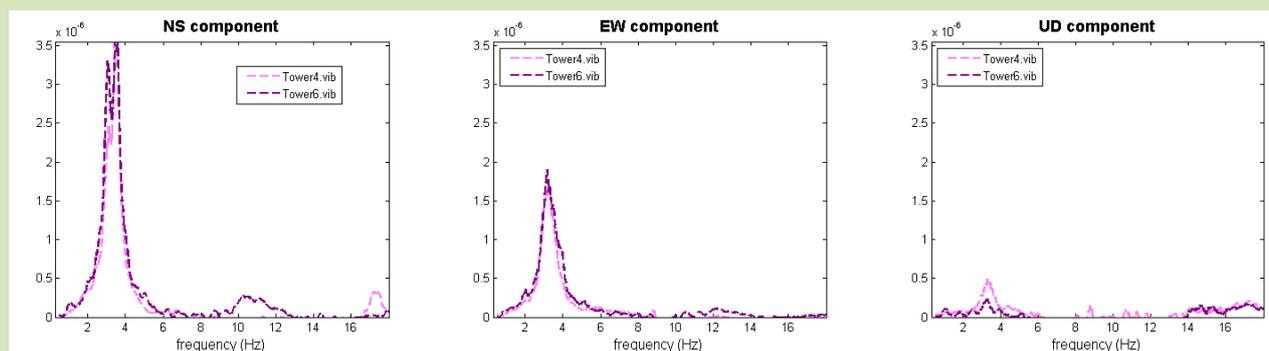
Gaussian-filtered Horizontal Motion (GHM) plots as a simple and efficient procedure for the identification of flexural and torsional modes of a building through the analysis of non-synchronous data acquired by a single sensor at several points

Dal Moro G., Weber T., Keller L.



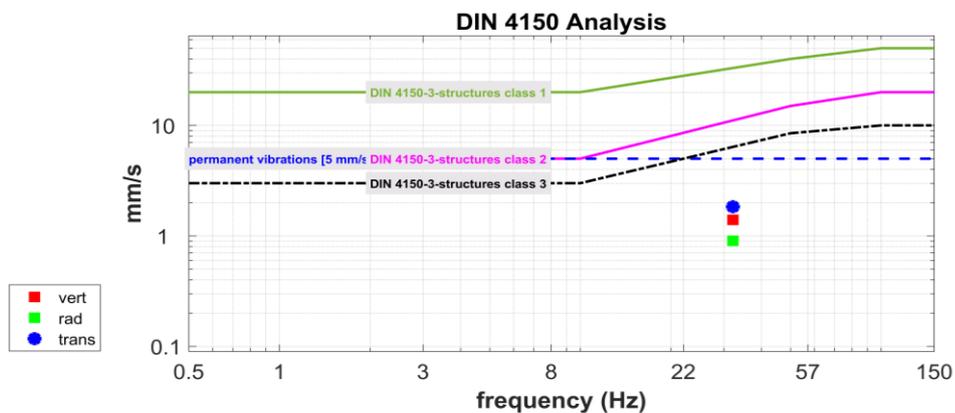
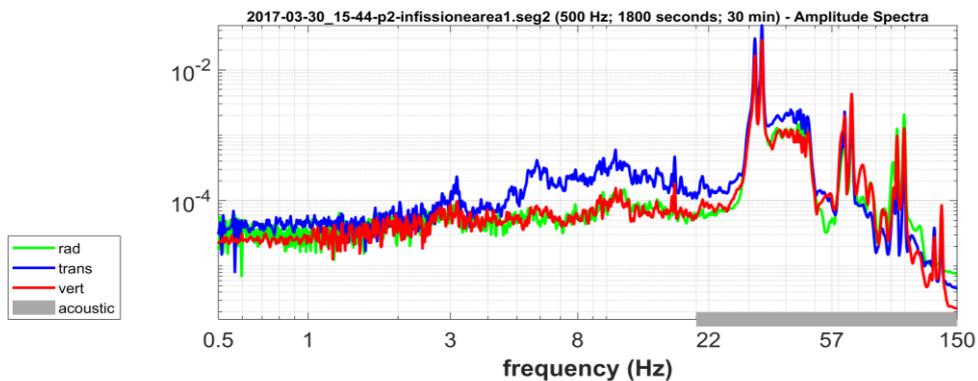
Anche in questo settore, come in quello delle onde di superficie, viene spesso proposto un tale numero di semplificazioni da snaturare il senso stesso di questo tipo di analisi.

Tra le molte semplificazioni che *affliggono* questo tipo di studi vi è, per esempio, quello (non falso ma certamente semplicistico e quindi rischioso) della *doppia risonanza*...



Esempio#4: analisi vibrazionali di cantiere

Tra le molte applicazioni possibili con *HoliSurface*®, vi è l'analisi delle vibrazioni prodotte da attività di cantiere di qualsiasi tipo rispetto ai limiti delle normative internazionali UNI/DIN.



Qui sopra sono riportati gli spettri di ampiezza delle tre componenti analizzate con indicati i picchi di velocità registrati (in funzione della relativa frequenza). È chiaro come, in questo caso, le vibrazioni indotte dalle attività di cantiere non vadano a superare le soglie di normativa relative a nessuna tipologia di edificio.

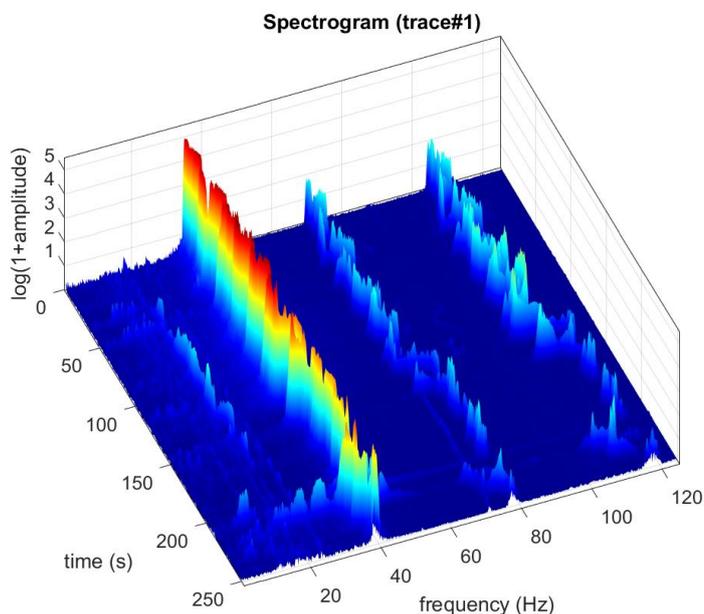
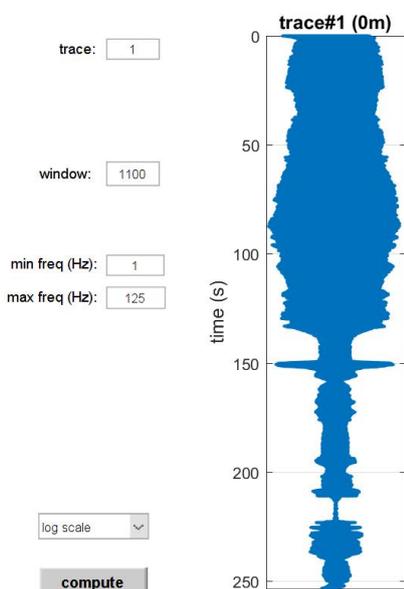
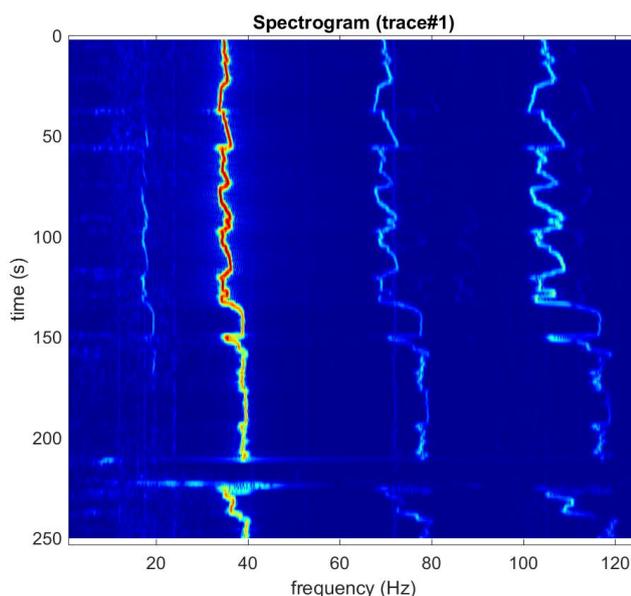
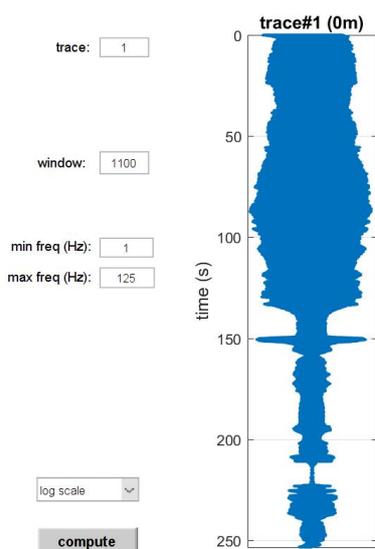
Si noti come il sistema da noi proposto non fornisca unicamente valori puntuali di picco (come fatto da altri "geofoni da vibrazioni"), ma l'intera storia vibrazionale.

Questo consente un'analisi molto più approfondita dei dati, utile anche a caratterizzare il sito in termini, ad esempio, di attenuazione efficace ecc.

Qui di seguito gli spettrogrammi (spettri di ampiezza nel tempo) di una delle 3 componenti registrate.

È in questo caso possibile apprezzare (oltre all'armonica fondamentale attorno ai 40 Hz e a maggiore ampiezza) anche 2 armoniche superiori (identiche ma al doppio delle rispettive frequenze).

Allo scopo di porle meglio in evidenza, si è optato per una scala logaritmica delle ampiezze (vedi opzione in basso a sinistra).



principali caratteristiche

winMASW®
Academy

Analisi MASW in onde di Rayleigh e Love (anche congiuntamente) secondo tre possibili modalità: curve di dispersione *modali*, *effettive* e FVS (*Full Velocity Spectrum*); analisi attenuazione onde di Rayleigh per stima dei fattori di qualità Q_s ; analisi ESAC per array bidimensionali (sismica passiva); analisi ReMi; analisi velocità di gruppo tramite MFA (*Multiple Filter Analysis*) (sia per onde di Rayleigh che Love); analisi congiunta velocità di fase e gruppo; analisi dati HVSR per determinazione periodo di risonanza di sito; modellazione rapporto spettrale H/V (Nakamura); determinazione Vs30 e Vs equivalente; filtri; analisi spettrale e spettrogrammi; modellazione 1D *rifrazione/riflessione* (con anche - grazie ad un algoritmo di *ray tracing* - canali a bassa velocità); strumento per la somma di 2 (o più) stese per simulare acquisizioni con numero di canali doppio (triplo ecc.); calcolo moduli elastici; sismogrammi sintetici (*modal summation*); inversione dello spettro di velocità (da dati MASW o MFA) tramite approccio *Full-Velocity Spectrum*; *tool* per il *vertical stacking*; *tool* per la creazione di sezioni 2D; *tool* per la selezione/filtraggio di specifici modi - anche "nascosti" (per analisi MASW); *tool* per congiungere diverse acquisizioni eseguite con diversi *offset* con terna (cioè un singolo geofono triassiale) triggerabile a creare *dataset* multicanale per analisi MASW in onde di Rayleigh (componenti radiale e verticale) e Love.

Analisi della RPM (*Rayleigh-wave Particle Motion frequency-offset surface*) [per acquisizioni ZVF+RVF].

Tool TCEMCD (*Three-Component Extraction from Multi-Channel Data*) per gestire dati multi-canale "misti" acquisiti con i geofoni da noi suggeriti allo scopo di ottimizzare le acquisizioni ESAC+HVSR contenendo i costi e velocizzando le procedure di campagna.

Nuovo tool *Site Response* per il computo della risposta sismica locale (RSL).

HoliSurface®

Analisi *HoliSurface®* (*metodo brevettato*) che consente di analizzare in modo congiunto (quindi molto robusto) la dispersione delle onde di superficie utilizzando i dati raccolti da un unico geofono triassiale (calibrato e triggerabile) e potendo quindi ricostruire il profilo V_s (quindi anche il parametro Vs30 e Vs equivalente) grazie a procedure di campagna estremamente snelle.

Inversione congiunta (anche automatica) di diverse componenti (ad esempio spettro di velocità di gruppo delle onde di Love + curva RVSR, RPM e/o HVSR).

Tool per *Miniature Array Analysis of Microtremors* (MAAM): curve di dispersione (velocità di fase) delle onde di Rayleigh da *array* di limitate dimensioni (pochi metri).

Analisi dati HVSR (*Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio*) per determinazione periodo di risonanza di sito; decimazione; determinazione Vs30 e e Vs equivalente; analisi spettrale (spettri di ampiezza e fase) e spettrogrammi (variazione contenuto in frequenza nel tempo); modellazione 1D *rifrazione* delle onde P ed SH (con anche canali a bassa velocità); calcolo moduli elastici; inversione congiunta HVSR + spettro di velocità di gruppo (componente radiale o verticale dell'onda di Rayleigh e/o onde di Love); strumento per la creazione di sezioni 2D; analisi vibrazionali rispetto soglie di normativa (DIN 4150 e UNI 9614) e per la definizione delle frequenze di risonanza di edifici.

Tool TCEMCD (*Three-Component Extraction from Multi-Channel Data*) per gestire dati multi-canale "misti" acquisiti con i geofoni da noi suggeriti allo scopo di ottimizzare le acquisizioni MAAM+HVSR contenendo i costi e velocizzando le procedure di campagna.

Analisi della curva RPM (*Rayleigh-wave Particle Motion*).

Tool di *Site Response* per il computo della risposta sismica locale (RSL).

Di che tipo di strumentazione ho bisogno per utilizzare appieno e in modo efficace i diversi moduli presenti nel software *HoliSurface*®?

Vediamo innanzitutto cosa significa se un **geofono/sensore è attivo o passivo**.

Un geofono/sensore è detto *passivo* quando è un mero dispositivo che converte le vibrazioni in segnali elettrici che per essere poi analizzati devono essere prima convertiti in numeri - tramite un digitalizzatore (unità A/D) - e salvati su una qualche unità (ad esempio il disco fisso di un computer).

Tutti i geofoni che collegate ad esempio ad un cavo sismico sono di tipo passivo.

Un geofono/sensore è detto invece *attivo* quando è anche dotato di digitalizzatore che ne converte i segnali elettrici in numeri (che tipicamente sono poi registrati grazie ad un computer ad esso collegato). Molti geofoni triassiali spesso proposti commercialmente per l'acquisizione di dati passivi utili a definire la curva HVSR sono di tipo attivo e questo significa che non devono/possono essere collegati ad un cavo sismico.

Questo è un bene e un male a seconda del tipo di acquisizioni e analisi a cui siamo interessati. Al fine di renderlo il più flessibile possibile, il *sistema di acquisizione* da noi proposto è associato a geofoni di tipo passivo che possono essere collegati in modo sincrono secondo svariate procedure.

La strumentazione che suggeriamo - e proponiamo - come ottimale per poter sfruttare in modo semplice e completo tutti i moduli di analisi di HS è costituita da un sistema di acquisizione (sismografo o *data-logger*) a 24bit dotato di GPS, un geofono triassiale (passivo e dalle appropriate caratteristiche) e 4 geofoni verticali da 4.5 Hz (in questo caso ad "alta sensibilità").

Tale strumentazione, unitamente al software HS, una solida formazione e un ottimo computer (suggeriamo almeno una CPU i9-9900K da 8 *cores* fisici, quindi 16 *threads*) consente di effettuare diversi tipi di analisi vibrazionali e della propagazione delle onde di superficie (tecniche attive e passive) di altissimo profilo (vedi bibliografia).

E' certamente possibile anche utilizzare strumentazioni proprie e non ottimizzate per il *mondo HS*, ma questo porterà a procedure di acquisizioni più complesse ottenendo dati con qualità tale da non assicurare l'utilizzo al meglio di tutte le metodologie implementate nel software *HoliSurface*®.

Riassunto dei moduli e dei relativi requisiti *hardware*:

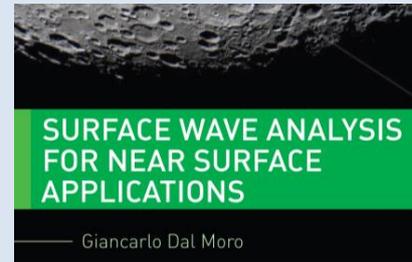
Modulo	Utilizzo	Requisiti hardware
HVSR	<i>Definire la curva HVSR e suo utilizzo (congiuntamente a dati di dispersione) per meglio definire il profilo V_s</i>	<i>Terna calibrata (geofono triassiale)</i>
<i>HoliSurface</i> ®	<i>Analisi velocità di gruppo (da sismica attiva) di tutte le componenti, curve RVSR e RPM (anche congiuntamente all'HVSR)</i>	<i>Terna calibrata triggerabile, utilizzabile cioè come un comune sismografo il cui "tempo zero" è dato dal trigger</i>
MAAM	<i>Definire curva di dispersione <u>effettiva</u> (velocità di fase) della componente verticale dell'onda di Rayleigh in modalità passiva.</i>	<i>Almeno 4 geofoni verticali di ottima qualità e sismografo in grado di registrare almeno 15 minuti di dati (4 canali minimo)</i>
DIN4150-UNI9614	<i>Verifica superamento soglie di normativa (vibrazioni di cantiere)</i>	<i>Terna calibrata (geofono triassiale) <u>con uscita in mm/s</u></i>
Vibrations (buildings)	<i>Verifica sperimentale dei modi flessionali e torsionali degli edifici</i>	<i>Terna calibrata (geofono triassiale)</i>
SSR (<i>Standard Spectral ratio</i>) e <i>Spectral Difference</i> (SD)	<i>Verifica amplificazione di sito</i>	<i>Una o due terne calibrate</i>

Alcuni riferimenti bibliografici

Surface Wave Analysis for Near Surface Applications

Dal Moro G., 2014

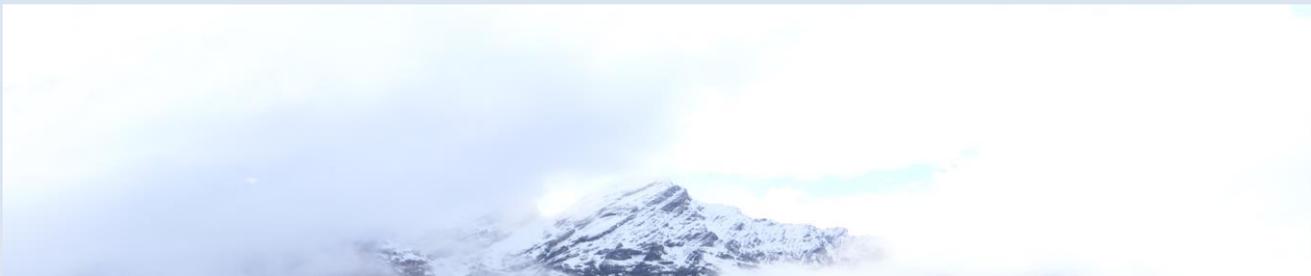
Elsevier [circa 252 pp. - in lingua inglese]



Efficient Joint Acquisition and Analysis of Surface Waves and Introduction to Vibration Analysis: Beyond the Clichés

Dal Moro G., 2019

Springer (in stampa)

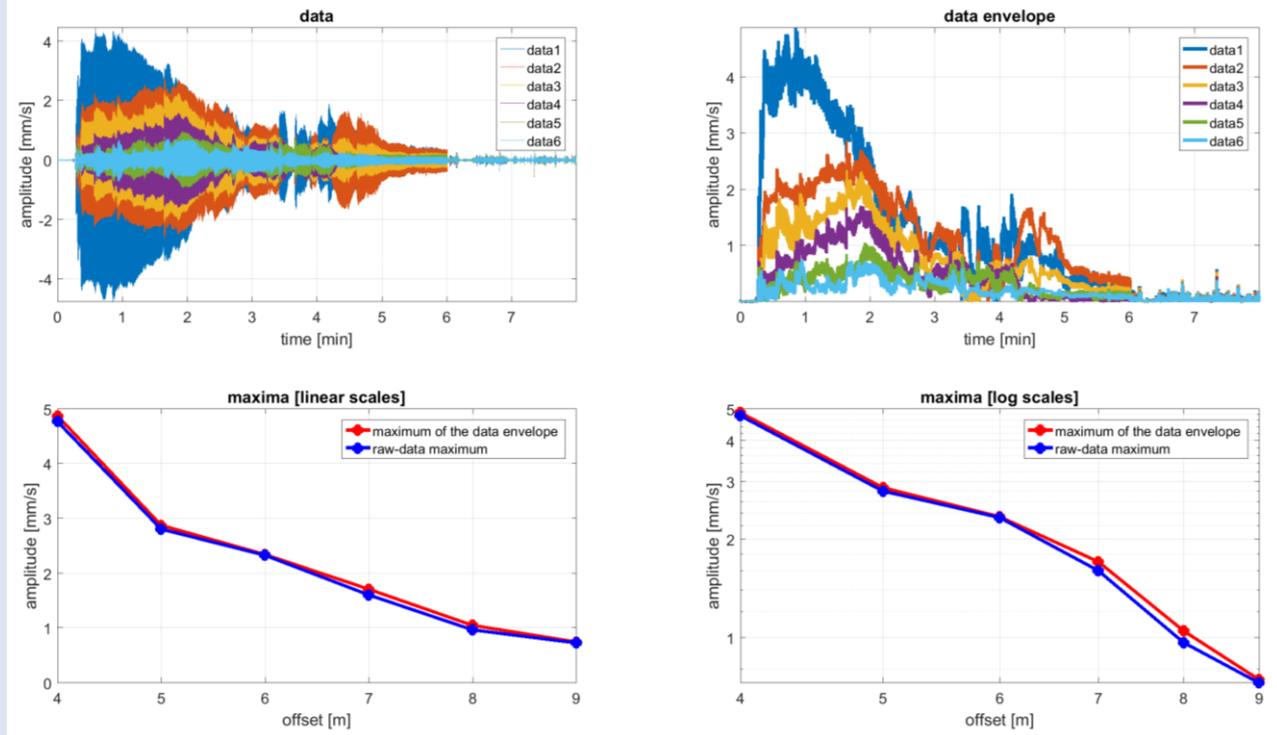


Libri per la Dario Flaccovio Editore

Onde di superficie in Geofisica Applicata - acquisizione ed analisi secondo le tecniche MASW e HVSr (Dal Moro G., 2012), pp. 191, ISBN 978-8857901169, Dario Flaccovio Editore

Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica (Dal Moro G., 2019), pp. 280, ISBN 9788857908786, Dario Flaccovio Editore

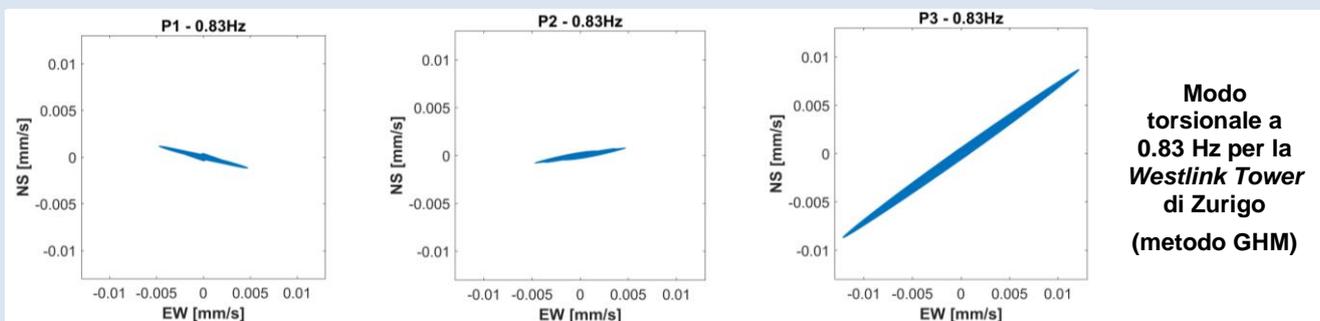




Dati vibrazionali di cantiere: analisi dell'attenuazione

Alcuni articoli

- Bonnefoy-Claudet S., Köhler A., Cornou C., Wathelet M., Bard P.Y., 2008. *Effects of Love Waves on Microtremor H/V Ratio*. Bulletin of the Seismological Society of America, 98, 288-300
- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2019. *On the efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves: technical aspects and two comparative case studies*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 105742, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105742>
- Dal Moro G., 2018. *Effective Active and Passive Seismics for the Characterization of Urban and Remote Areas: Four Channels for Seven Objective Functions*. Pure and Applied Geophysics. On-line: <https://doi.org/10.1007/s00024-018-2043-2>
- Dal Moro G., Weber T., Keller L., 2018. [Gaussian-filtered Horizontal Motion \(GHM\) plots of non-synchronous ambient microtremors for the identification of flexural and torsional modes of a building](https://doi.org/10.1007/s00024-018-2043-2). Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 112, 243–255

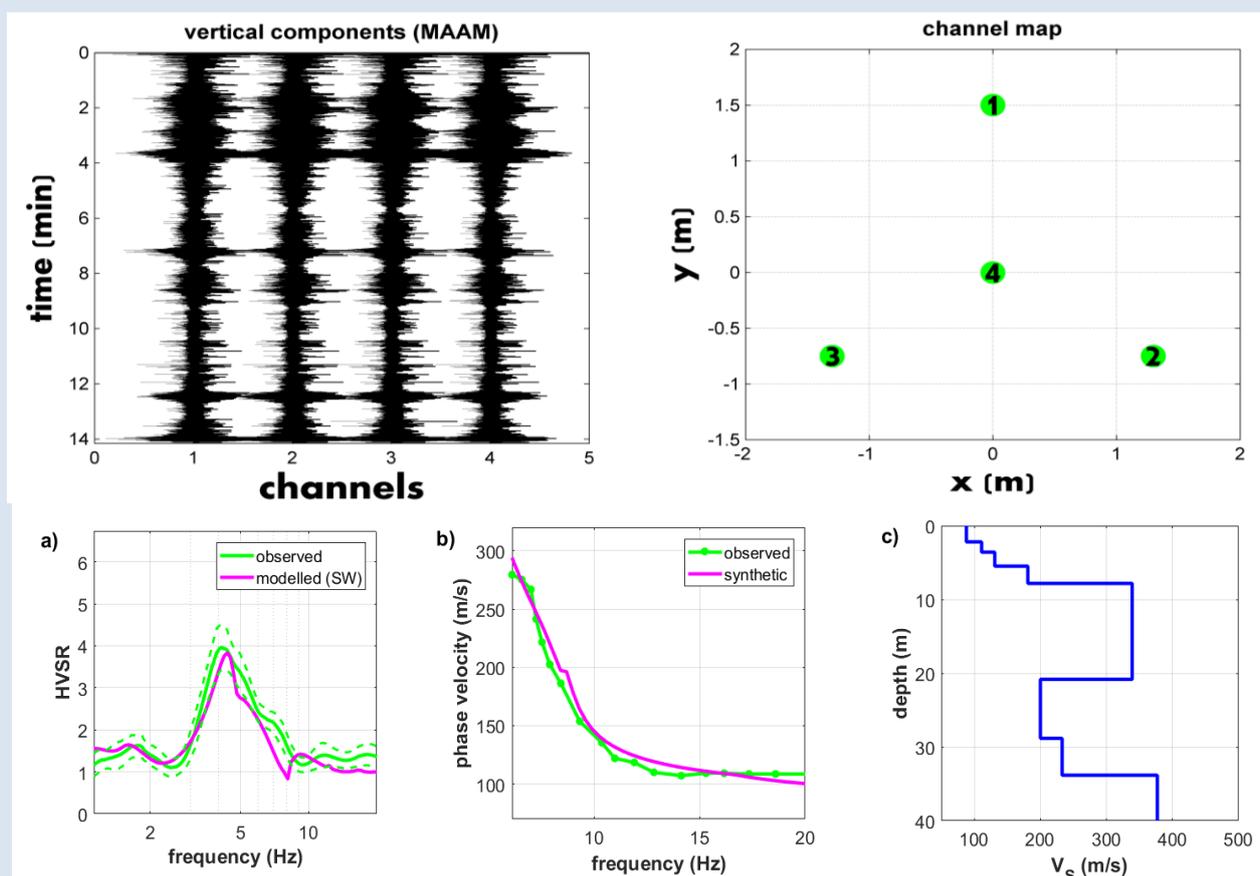


- Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2017. *Improved Holistic Analysis of Rayleigh Waves for Single- and Multi-Offset Data: Joint Inversion of Rayleigh-wave Particle Motion and Vertical- and Radial-Component Velocity Spectra*. Pure and Applied Geophysics, disponibile online [qui](https://doi.org/10.1007/s00024-017-1443-2)
- Dal Moro G. e Puzzilli L.M., 2017. *Single- and multi-component inversion of Rayleigh waves acquired by a single 3-component geophone: an illustrative case study*. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 14, No. 4 (188), 431- 444 (disponibile online [qui](https://doi.org/10.1515/acta-2017-0044))
- Dal Moro G., Ponta R., Mauro R., 2015. *Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: a Geotechnical Application in a Perilagoon Area*. J. Appl. Geophysics, 114, 158-167

- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2017. *Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics*. Bulletin of the Seismological Society of America, 107, 51-62
- Dal Moro G., Keller L., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2016. *Shear-wave velocity profiling according to three alternative approaches: a comparative case study*. Journal of Applied Geophysics, 134, 112–124
- Dal Moro G., Keller L., Poggi V., 2015. *A Comprehensive Seismic Characterization via Multi-Component Analysis of Active and Passive Data*. First Break, 33, 45-53
- Dal Moro G., Moustafa S.R., Al-Arifi N., 2015. *Efficient acquisition and holistic analysis of Rayleigh waves*. Atti del convegno Near-Surface EAGE 2015 congress (Torino) [segnalato tra i migliori del convegno e invitato per la pubblicazione della versione completa]
- Dal Moro G., 2015. *Joint Inversion of Rayleigh-Wave Dispersion and HVSR of Lunar Seismic Data from the Apollo 14 and 16 sites*. ICARUS (rivista internazionale di scienze planetarie della Elsevier), volume 254, 338-349
- Dal Moro G. and Keller L., 2013. *Unambiguous determination of the Vs profile via joint analysis of multi-component active and passive seismic data*. Atti del 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Bochum, Germany, 9-11 September 2013 [al pari del precedente lavoro, anche questo è stato segnalato tra i migliori del convegno]
- Sancin L., Dal Moro G., Amadio C., Romanelli F., Vaccari F., 2018. *Influenza della modellazione degli edifici sulla determinazione della loro vulnerabilità sismica*. Atti convegno GNGTS 2018 (gngts.ogs.trieste.it)

Nuovo libro disponibile ad inizio 2020:

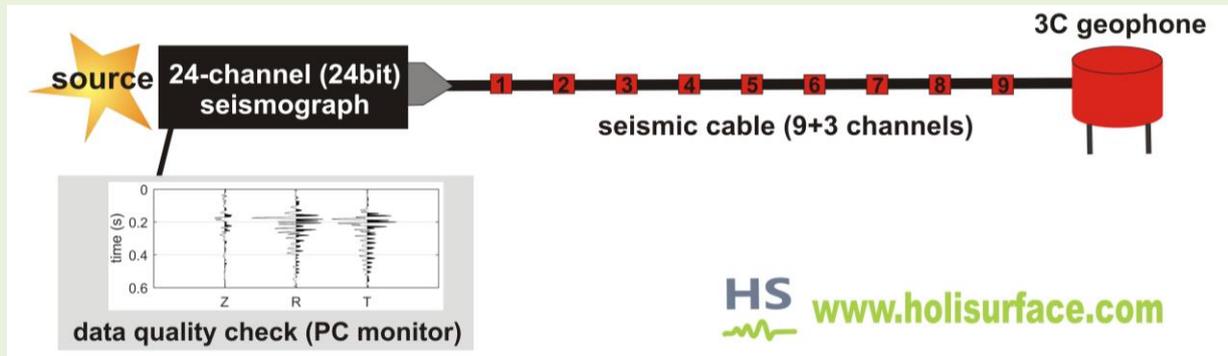
Efficient Joint Acquisition and Analysis of Surface Waves and Introduction to Vibration Analysis: Beyond the Clichés



Sistema di acquisizione e analisi *HoliSurface*[®]

Software *HoliSurface*[®] + sismografo 24bit (sino a 24 canali) + cavo sismico modulare *HoliSurface*[®] [9+3 canali] + geofono trigger + geofono triassiale equalizzato sino 0.2 Hz + antenna GPS + 4 geofoni verticali da 4.5 Hz ad alta sensibilità (ed altissima qualità) (per MAAM) + 2 elaborazioni complete.

Giornata formativa su *hardware* e *software* (necessaria e "obbligatoria").



Tra i mille vantaggi del sistema ideato:

- 1. può crescere nel tempo:** quello sopra riportato è il punto di partenza di un sistema perfettamente scalabile: il cavo sismico che forniamo di base (utilissimo per poter svolgere in scioltezza acquisizioni HS) può essere utilizzato sin da subito con 9 geofoni a componente singola, consentendo quindi di utilizzare il sistema sin da subito anche per MASW (consigliamo anche l'acquisto di 9 geofoni orizzontali utili alla registrazione e successiva analisi delle onde di Rayleigh [componente radiale] e Love). Si ricorda che con *winMASW*[®] è poi possibile raddoppiare il numero delle tracce che da 9 diventeranno 18.
- 2. il punto di battuta e di registrazione coincidono mentre il geofono che riceve il segnale è posto ad una certa distanza (*offset*):** questo permette di lavorare molto agevolmente anche da soli (si batte e si controlla il buon risultato sul *notebook* al nostro fianco senza dover far la spola tra la *sorgente* e il *sistema di acquisizione*; altre "soluzioni" disponibili in commercio hanno invece l'acquisitore vicino al triassiale mentre la sorgente si trova dalla parte opposta e questo obbliga a fare un complicato "su e giù" tra sorgente e acquisitore).
- 3. L'unità dei dati in uscita è nota (mm/s) e consente di fare quindi analisi UNI/DIN/ISO in modo semplice e diretto.**

Ulteriori sviluppi del sistema di acquisizione/analisi:

Per metodi del mondo <i>HoliSurface</i> [®]	Per fare anche MASW/ESAC/rifrazione
Secondo geofono triassiale (per misure vibrazionali sincronizzate) e per velocizzare l'acquisizione di dati utili a definire due curve HVSr (è sempre consigliato acquisire un solo dato).	Aggiungi 9 geofoni orizzontali e/o 5 verticali e <i>winMASW</i> [®] -3C o <i>Academy</i> (nella stessa chiavetta <i>HoliSurface</i> [®]) e grazie ai vari <i>tools</i> presenti potrai fare MASW in onde di Rayleigh e Love. Per la sismica a rifrazione è necessario aggiungere un ulteriore cavo da 12 canali (non necessario per l'analisi delle onde di superficie - vedi libro " Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica " – Flaccovio 2019).



Il veicolo delle foto è il *Rover Mars Curiosity* della serie *Hot Wheels* - courtesy of *Mattel Inc.*

Al pari del veicolo utilizzato dalla NASA per l'esplorazione di Marte, il software *HoliSurface*® è particolarmente utile per l'esplorazione di luoghi remoti o con limitati spazi a disposizione e comunque ogni qualvolta si desiderino ottenere ottimi profili V_s con un limitato sforzo di campagna e procedure di acquisizione semplici e snelle.

I nostri social media

Consigliamo in particolare il nostro profilo *facebook* in quanto sulle nostre pagine possiamo regolarmente piccoli casi studio, video, novità, offerte e suggerimenti vari.

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

 <https://twitter.com/winmasw>

 <https://www.youtube.com/user/winMASW/videos>

 https://www.researchgate.net/profile/Giancarlo_Dal_Moro

ELIOSOFT - geophysical software & services

www.holisurface.com

holisurface@winmasw.com

 www.holisurface.com

Copyright © 2020