# ELIOSOFT

geophysical software and services

# winMASW<sup>®</sup> 2023

## manuale



#### bozza release 2023



#### 7 dicembre 2023

La numerazione del presente manuale è deliberatamente scelta al fine di rendere ogni capitolo "indipendente": ognuno di esso parte da una sua pagina "1". Nel momento in cui desideriamo stampare la versione aggiornata di uno specifico capitolo (e non l'intero manuale), questo consente di organizzare in modo semplice diversi "fascicoli" (che possiamo definire *sezioni* o *capitoli* – il cui titolo è riportato nella parte alta di ciascuna pagina) relativi ai vari capitoli. Se le pagine fossero in successione, questo non sarebbe possibile.



Copyright © 2023 Tutti i diritti riservati

### Alcune delle novità delle recenti release di winMASW®

- Manuale rinnovato con nuove sezioni ed esempi (vedi ad esempio il capitolo introduttivo "Introduzione all'approccio olistico di winMASW<sup>®</sup>" e la nuova Appendice "Alcuni esempi di alcune delle cose che puoi fare con winMASW<sup>®</sup>")
- Versione Academy: possibilità di caricare e visualizzare (modificando vari parametri) i risultati di un'elaborazione svolta con RayFract (files .GRD) con anche comparazione con profili delle Vs ottenute con winMASW<sup>®</sup> (files .mod).
- Compatibile con Windows 11
- Versione Academy pannello ESAC. Qui le novità sono radicali e numerosissime. I nuovi strumenti di analisi di dati passivi multi-componente consentono infatti la determinazione di sezioni 2D delle Vs: strumenti PS-MuCAA e 2D-SuPPSALA nel nuovo e arricchito pannello ESAC
- Altamente arricchito il pannello ReMi (con limiti di validità e nuovi strumenti)
- Messaggi vocali: una serie di *warnings* e suggerimenti audio vengono forniti all'accadere di talune specifiche situazioni
- Gestione foto con dati GPS (per rapido ed efficace posizionamento del vostro *survey*, anche in caso di ricostruzioni 2D del profilo Vs)
- Possibilità (*winMASW*<sup>®</sup> *Academy*) di gestire **dati "MASW"** <u>non</u> equi-spaziati [utile in caso di lavori in condizioni complesse con problemi logistici di accesso]
- Strumento analisi back-scattering (per valutazione presenza cavità)
- Pannello HVSR: moltissime significative novità (ad esempio nella gestione, identificazione e attenuazione/rimozione di possibili segnali industriali; strumento per il computo in modalità batch di una moltitudine di dati HVSR con ricchi strumenti di visualizzazione)
- Altamente potenziato il pannello analisi congiunta velocità di fase e gruppo: un pannello che consente di avvicinarsi all'analisi delle velocità di grippo (fortemente sfruttate dal software *HoliSurface*<sup>®</sup>). Consente di svolgere la modellazione congiunta delle velocità di fase + velocità di gruppo + HVSR + rifrazione P o SH (a seconda di che componente è stata caricata)
- Miglioramento e arricchimento dello strumento *Site Response* per il computo dello spettro di risposta
- *Tool* per confrontare 2 *dataset* nel dominio del tempo e delle frequenze (utile in svariate situazioni come ad esempio analisi *time lapse* ecc) [*compare 2 datasets*].

# contenuti

Tecniche sismiche e principali abbreviazioni	6
SISTEMI DI ACQUISIZIONE: LE NOSTRE SOLUZIONI	15
Introduzione all'approccio olistico di winMASW®	1
Generalità	2
Perché non è raccomandato usare (solo) geofoni verticali?	3
Sismica attiva e passiva: breve ma importante sottolineatura	8
Le componenti sismiche	10
Capitolo 1 – Requisiti di sistema	1
Capitolo 2 – Installazione	2
Capitolo 3 – Licenza d'uso e versioni disponibili	1
Capitolo 4 – Alcune raccomandazioni generali	1
Cosa devo acquisire se desidero ottenere un profilo Vs privo di ambiguità?	3
Tre modi per generare le onde di Love	4
Foto e dati GPS nei nostri software: gestione foto geo-referenziate	9
Cosa posso fare con gli strumenti di gestione delle foto geo-referenziate?	10
4.1 step#1: determinazione proprietà dispersive (spettri di velocità)	13
Verifica della polarità, della continuità e della qualità delle tracce (versione Academy)	22
Computo spettro di velocità medio (da n spettri singoli/indipendenti)	23
Esplora spettro	25
Dati MASW non-equispaziati ( <i>winMASW</i> <sup>®</sup> Academy)	26
Lavorare per la ricostruzione di sezioni 2D	36
Il 2D ai massimi livelli: servizio di elaborazione ADAM-2D	39
Analisi ESAC (versione Academy)	48
Acquisizione dati per ESAC (anche multi-componente)	51
Dati ESAC: array lineari o bidimensionali?	57
Gestione di dati SmartSolo nel pannello ESAC (winMASW <sup>®</sup> Academy)	61
Input dati e parametri di elaborazione ESAC	68
Analisi multi-componente di dati passivi (pannello ESAC): tecnica PS-MuCAA	72
Sezioni 2D delle V <sub>s</sub> : lo strumento 2D-SuPPSALA	81
Brevissima introduzione allo strumento per l'interferometria	92
Analisi MFA ( <i>Multiple Filter Analysis</i> ): velocità di gruppo di dati attivi	93
4.2 Inversione curve di dispersione piccate (quindi interpretate)	. 111
4.3 Il pannello di analisi congiunta velocità di fase+gruppo+HVSR+rifrazione	. 115
Capitolo 5 - Alcune raccomandazioni generali	1
Capitolo 6 - Risultati inversione curve di dispersione	1
Capitolo 7 - Onde di Love	1
Capitolo 8 - Analisi congiunta onde di Rayleigh e Love	1
Capitolo 9 - Analisi attenuazione onde di Ravleigh	1
Capitolo 10 - Computo, analisi e modellazione HVSR	1
Analisi: determinazione della curva HVSR	3
Ascolta (e salva) i tuoi microtremori	21
Time Lapse dei dati nel dominio delle frequenze (spettrogrammi time lapse)	22
10.1 Identificazione componenti industriali	23
Rimozione semi-automatica di segnali industriali	34
Capitolo 11 - Modellazione rapporto spettrale H/V	1
Modellazione della sola curve HVSR in winMASW <sup>®</sup>	12
Capitolo 12 - Inversione congiunta dispersione + HV	1
Capitolo 13 - Sismogrammi sintetici e analisi FVS	1
Analisi FVS: lunghezza registrazione e numero di campioni dei sismogrammi sintetici	7

Capitolo 14 - Inversione automatica FVS	1 1
Capitolo 16 - Analisi RPM e RV/SR	1
16.1 Inversione condiunta (automatica): 7//F + R//F (F//S) + superficie RPM	7
Canitolo 17 - Risposta Sismica Locale [Site Response]	7
Site Response nelle recenti release di winMASM® Academy e HoliSurface®	11
Alguna importanti noto	11
Riculte Importanti note	16
Capitale 19 Apolici Pock Scottoring	10
Capitolo 10 - Allalisi Back Scallering	I 1
Capitolo 19 - Sintelici multi-componente altivi e passivi. 100/ educativo e di planincazione	1
Capitolo 20 - Demo e dall'a corredo	I 4
Dibilografia	I 1
Dieduriene prehlemi e essistenze	I
Annendiei	I
Appendici	I
Appendice A: acquisizione dati per MASVV multi-componente, Reivii, ESAC e HV	Z
Appendice B: unire 2 dataset attivi	8
Appendice C: concatenare dati multicanale	13
	.15
Appendice E: tool di confronto dati attivi ["compare 2 active datasets"]	. 16
Appendice F: creazione di sezioni 2D	. 19
Appendice G: conversione dati da formato seg a SAF (SEG2SAF)	.24
Appendice H: II too/ I CEMCD	.25
Appendice I: tool "combine 3C data"	.27
Appendice L: formula di Stesky	. 31
Appendice M: filtraggio automatico di <i>n</i> dataset	. 32
Appendice N: editing di dati (zeroing, flipping & removal)	. 34
Appendice O: ottenere dati in mm/s con i nostri strumenti	. 37
Appendice P: stack (verticale)	. 41
Appendice Q: strumento "show multiple HVSR" (sezioni HVSR 2D)	. 43
Appendice R: procedure di analisi in estrema sintesi	. 49
Appendice S: concatenare dati SAF (3 componenti)	. 52
Appendice T: software HS-QC - il tuo assistente di campagna	. 54
Appendice U: esempi di alcune delle cose che puoi fare con <i>winMASW</i> <sup>®</sup>	. 65
Appendice V: gestione di foto geo-referenziate multiple [esplorazione di lunghe linee] 1	110
Appendice W: elaborazione <i>batch</i> di dati HVSR multipli [anche per ricostruzioni 2D] 1	118
Appendice X: gestione del sistema di acquisizione HoliSurface (acquisitore, cavo sismic	o e
geofono triassiale da noi forniti)1	129
Appendice Y: HoliSurface <sup>®</sup> in winMASW <sup>®</sup> Academy?1	135
Appendice Z: regolarizzazione spettro di risposta1	141
Appendice Zbis: strumento per aprire ed editare figure .fig	142
Appendice Ztris: strumento gestione files ottenuti con <i>RayFract</i>	143
Servizio elaborazione dati (multi-componente)1	144

# THE LIMITS OF MY LANGUAGE MEAN THE LIMITS OF MY WORLD



## Tecniche sismiche e principali abbreviazioni

#### definizione

#### brevi note

MASW	Multi-channel Analysis of Surface Waves	Metodologia per la determinazione delle proprietà dispersive [velocità di fase] di un mezzo a partire da dati attivi multi- offset. La matematica ha diverse possibili varianti (analisi $fk$ , $\tau$ -p o <i>phase shift</i> (certamente la migliore). Al fine di superare la non-univocità è raccomandato l'utilizzo di dati multi- componente
MFA / FTAN	Multiple Filter Analysis / Frequency-Time ANalysis	Metodologia che consente di determinare le velocità di gruppo (cioè le proprietà dispersive) da un'unica traccia sismica (cioè dai dati raccolti ad un unico <i>offset</i> )
FVS	Full Velocity Spectrum	Metodologia di analisi della dispersione svolta <i>non</i> tramite <i>interpretazione</i> delle curve modali ma attraverso inversione/modellazione dell' <i>intero spettro di velocità</i> (quindi l'intera matrice velocità-frequenza). In questo modo non è necessario dare nessuna interpretazione degli spettri di velocità. Possibile sia analizzando velocità di fase [approccio multi-offset] che di gruppo [approccio single-offset], sia con dati a componente singola che con dati multi-componente [analisi congiunta].
RPM	Rayleigh-wave Particle Motion	Curva che esprime il moto della particella dovuta al passaggio dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza

e termini di moto progrado/retrogrado

rifrazione

confrontando gli HVSR su 2 o 3 punti della sezione di interesse [vedi software HS-QC]). Si ricordi che la rifrazione ha scarsa profondità di indagine che, nei casi più fortunati, sfiora [nella parte centrale] 1/3 della lunghezza dello stendimento.

Quando si decide di usarla, usare meno di 16/24 canali è sconsigliabile perché non si raccoglierebbero i dati necessari a quell'obiettivo. Onde P o SH? Se siamo su suoli soffici con presenza di acqua (anche lontani dalla saturazione) le P sono sconsigliatissime perché si rischia di vedere solo l'acqua.

Se anche solo uno di questi acronimi non ti è sufficientemente/perfettamente chiaro rispetto tanto agli aspetti teorici che pratici (di fatto non vi è alcun confine tra teoria e pratica), potresti avere qualche difficoltà a sfruttare le moltissime potenzialità dei nostri software. In qual caso suggeriamo di studiare i documenti/libri/articoli segnalati in questo manuale e/o partecipare ai nostri workshops/webinars.

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

#### 1 Introduction: A Miscellanea

- 1.1 Shear-Wave Velocities: A Brief Overview
- 1.2 Surface-Wave Analysis: Few Simple Introductory Aspects
- 1.3 Non-uniqueness of the Solution: Problems and Solutions
- 1.4 MASW Tests?
- 1.5 Some Legends and Some Opportunities: Number of Channels, f-k Versus
- f-v and Non-equally Spaced MASW 1.6 Seismographs?
- 1.7 Single-Component Geophones, Seismic Cables and Connectors
- 1.8 Geophones for MASW and Geophones for Refraction Surveys? Technical Notes and
- Commercial Legends
- 1.9 Three-Component (3C) Geophones 1.10 Seismic Components and Observables
- 1.11 HVSR: North-South, South-North or What?
- 1.12 Working in a Rational and Productive Way: Components and (Vertical) Stack
- 1.13 Paranoia #1: The Asphalt Cover
- 1.14 Paranoia #2: Shear Sources, Nails and P Waves
- References

#### 2 Surface-Wave Analysis Beyond the Dispersion Curves: FVS

- 2.1 A Brief but Important Introduction
- 2.2 Introduction to the FVS Analysis
- 2.3 Two Examples of Single-Component FVS Analysis

2.4 Joint FVS Analysis of the Phase-Velocity Spectra of the RVF and THF Components: Example #1

2.5 A Further Example of Joint Analysis (RVF + THF): The Asphalt Dataset References

#### 3 HVSR, Amplifications and ESAC: Some Clarifications

#### 3.1 HVSR: Few Initial Remarks

- 3.1.1 The H/V Spectral Ratio and the Contribution of Love Waves ( $\alpha$  Factor) 3.1.2 Multi-modal Populations and SESAME Criteria
- 3.1.3 HVSR and Industrial Components
- 3.1.4 What Is H?

3.1.5 Does the HVSR Represent the Actual Site Amplification During an Earthquake? 3.2 ESAC (Extended Spatial AutoCorrelation)

References

#### 4 New Trends: HS, MAAM and Beyond

- 4.1 Introducing HS and MAAM
- 4.2 HS and MAAM: How They Work from an Early Case Study
- 4.3 From the RPM Curve to the Advanced HS Analysis: Some Remarks and Two More Case Studies
- 4.4 Back to Purgessimo (NE Italy): Group Velocity Spectra (Z and R Components) + RPM Frequency Curve + HVSR
- 4.5 Group Velocities and Penetration Depth
- 4.6 MAAM: Data Quality, Radius and Weather Conditions
- 4.7 RPM Curves: More Insights and the Multi-offset Case
- References

#### 5 Introduction to Vibration Monitoring and Building Characterization via GHM

- 5.1 Vibrations Induced by Construction Activities, Quarry Blasts and Vehicles
- 5.1.1 Example #1: Vibrations Induced by Trains (Railway)
- 5.1.2 Example #2: Vibrations at a Construction Site (Sheet Pile Driving) 5.2 Characterization of the Behavior of a Building: The GHM Approach 5.2.1 Case Study #1: The GHM Technique for a 3-Storey Building

5.2.2 Case Study #2: GHM Analysis of Non-synchronous Data for a 25-Storey Building 5.2.3 Case Study #3: A 13-Storey Reinforced Concrete Building References

#### 6 Some Final Remarks and Recommendations

- 6.1 Summarizing
- 6.2 Miscellaneous Notes
- 6.3 Few Very Final Recommendations
- References

Appendices

Appendix A: Basic Guidelines for Surface-Wave Data Acquisition Appendix B: An Urban Park: Multi-component (Z + R) and Multi-offset Rayleigh Wave Joint Analysis also Together with the RPM Frequency-Offset Surface Appendix C: Large Lateral Variations in a Soft-Sediment (Perilagoon) Area Appendix D: Seismic and Geological Bedrock in a NE Italy Prehistoric Site Appendix E: HS and Microtremor Data: A Small Example of Comparative and Comprehensive Analysis (Joint Inversion and SSRn) Appendix F: Example of HS for a Hardly-Accessible Site Appendix G: 2D V<sub>S</sub> Section of an Urban Area from the Multi-offset Holistic Analysis of Rayleigh Waves (Multi-offset Z + R + RPM) Appendix H: Identification and automatic removal of industrial signals in the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

Buy it from the Springer store or get your copy with winMASW<sup>®</sup> Academy or HoliSurface®

Efficient Joint

Waves and

Introduction

Analysis of Surface

to Vibration Analysis:

🕗 Springer

Beyond the Clichés





#### **Table of Contents**

#### A brief foreword

- Chapter 1 Surface Waves: propagation, dispersion and attenuation
- Chapter 2 Data Acquisition (active and passive methodologies)
- Chapter 3 Understanding Surface Wave Phenomenology
- Chapter 4 Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio
- Chapter 5 Inversion and Joint Inversion: concepts and practice
- Chapter 6 Full Velocity Spectrum inversion and other unconventional approaches
- Chapter 7 Some final notes

References

#### Appendix – Case Studies

A brief introduction

- Case study #1 A simple ZVF analysis for geotechnical purposes
- Case study #2 A simple but interesting dataset
- Case study #3 Inverse dispersion by the book
- Case study #4 When the joint analysis of Love & Rayleigh waves is necessary
- Case study #5 Joint analysis of Rayleigh-wave dispersion and P-wave refraction
- Case study #6 A comprehensive survey in the Swiss Alps
- Case study #7 Joint analysis of Rayleigh and Love waves via FVS analysis
- Case study #8 A typical civil engineering job
- Case study #9 A landslide area
- Case study #10 Back to the Swiss Alps
- Case study #11 Modes and components (a very tricky site)
- Case study #12 Analyzing phase and group velocities and HVSR
- Case study #13 Some focus on HVSR computation
- Case study #14 Surface waves on the Moon

How to get it: store.elsevier.com

#### **TRE LIBRI IN ITALIANO**

Onde di Superficie in Geofisica Applicata acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR - Giancarlo Dal Moro (2012)

Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica - Giancarlo Dal Moro (2019)

Lezioni di sismica (onde di volume, di superficie, sezioni 2D e amplificazioni) - Giancarlo Dal Moro (2023)



#### www.winmasw.com

#### Tabella riassuntiva per le diverse versioni disponibili

	HVSR	Lite	Standard	PRO	3C	ACD
Versione semplificata del metodo HoliSurface® NEW						Х
ReMi con array (lineare) con canali <i>non</i> equi-spaziati NEW						Х
Analisi Back Scattering NEW						Х
Sezioni 2D delle VS da dati passive multi-componente PS-MuCAA [Passive Seismic – Multi-Component Amplitude Analysis] e 2D-SuPPSALA [2D Subsurface Profiling via Passive Surface wave data Analysis from Linear Array] NEW						x
Gestione dati MASW <i>non</i> equi-spaziati con doppia modalità di calcolo dello spettro di velocità di fase <b>NEW</b>						Х
Tool per computo della Risposta Sismica Locale						Х
<i>Tool</i> per visualizzare e gestire i risultati ottenuti con <i>RayFract</i> (files .GRD) <b>NEW</b>						Х
Analisi MASW in onde di Rayleigh (metodo classico)		Х	Х	Х	Х	Х
Analisi onde di Love (congiuntamente alle Rayleigh e all'HVSR)				Х	Х	Х
Analisi attenuazione onde di Rayleigh (determinazione fattori $Q_S$ )				Х		Х
Analisi <i>ReMimess</i> (sismica passiva)			Х	Х		Х
Analisi velocità di gruppo tramite <i>MFA</i> ( <i>Multiple Filter Analysis</i> ) (per onde di Rayleigh & Love)						Х
Analisi congiunta velocità di fase e gruppo						Х
Analisi dati HVSR ( <i>Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio</i> ) per determinazione periodo di risonanza di sito	x			x	Х	x
Modellazione rapporto spettrale H/V (Nakamura)	Х			Х	Х	Х
Filtraggio (passa-basso, passa-alto, passa-banda)		Х	Х	Х	Х	Х
Determinazione Vs30 e Velocità equivalente (dal piano campagna e da una profondità definita dall'utente)	x	х	х	x	х	x
Analisi spettrale e spettrogrammi		Х	Х	х		Х
Modellazione 1D <i>rifrazione</i> (con anche canali a bassa velocità)				onde P e S	per onde P	onde P e S
Strumento per assemblare 2 stese per simulare acquisizioni con numero di canali doppio		х	Х	Х	Х	Х
Strumento calcolo dei moduli elastici			Х	Х	Х	Х
Sismogrammi sintetici (modal summation)						Х
Inversione dello spettro di velocità da dati <i>attivi</i> tramite approccio <i>Full Velocity Spectrum</i> (nessun <i>picking</i> di curve interpretate)						x
<i>Tool</i> per lo <i>stack</i> di dati attivi						Х
<i>Tool</i> per la creazione di sezioni 2D						Х
<i>Tool</i> per la selezione/filtraggio di specifici modi (anche "nascosti") (per analisi MASW)						Х
Analisi ESAC multi-componente				<i>array</i> lineari		х
<i>Tool</i> per congiungere diverse acquisizioni eseguite con terna (cioè un singolo geofono triassiale) triggerabile a creare <i>dataset</i> multicanale per analisi MASW in onde di Rayleigh (componenti radiale e verticale) e Love				x	х	x
Tool <b>TCEMCD</b> ( <i>Three-Component Extraction from Multi-Channel Data</i> ) per gestire dati multi-canale "misti" acquisiti con i geofoni da noi proposti allo scopo di ottimizzare le acquisizioni ESAC+HVSR. Vedi appendice . <b>TCEMCD.</b>				x		x
Analisi RPM (frequency-offset RPM surface) e RVSR						Х





Software per l'analisi olistica delle onde di superficie secondo procedura *HoliSurface*<sup>®</sup> (metodologia oggetto di brevetto riconosciuto in data 01.04.2015) e molto altro (HVSR, MAAM, svariati tipi di analisi vibrazionali eccetera)

La scienza e la tecnica non ammettono scorciatoie e per utilizzare le potenzialità dei metodi implementati nel software *HoliSurface* è assolutamente necessario tenere a mente alcune cose e non credere che il ridottissimo sforzo di campagna necessario all'acquisizione dei dati abbia come parallelo un parimenti ridottissimo sforzo "intellettuale" in sede di analisi del dato.

Lavorare con le *velocità di gruppo* (a differenza di tutte le altre metodologie, la tecnica *HoliSurface* si basa sulle velocità *di gruppo*) offre rilevanti opportunità ma richiede padronanza di una serie non banale di aspetti.

Chi desideri impadronirti delle tecniche non può fare a meno di seguire *workshop* dedicati ed approfonditi, ricordando che una giornata di *training* non può rendere un neofita della geofisica un esperto di onde di superficie e misure vibrazionali.

Per questi motivi il *software* è proposto solamente in relazione e in occasione di *workshops* di profilo relativamente avanzato (tutto quello presentato nel libro "Onde di Superficie in Geofisica Applicata" viene dato per assodato).

Per coloro che non possono o desiderino dedicarsi in modo consapevole e rigoroso a queste nuove tematiche ma vogliono comunque ottenere dei profili Vs con un ridottissimo sforzo di campagna ed un ridotto costo della strumentazione è invece consigliabile una seconda opzione:

sfruttare il vantaggio di avere a che fare con operazioni di campagna semplicissime (per il metodo *HoliSurface* si utilizza solamente 1 geofono triassiale) e avvalersi del nostro servizio di elaborazione dati (questo consente oltretutto di risparmiare il costo del software). *Eliosoft* è disponibile ad effettuare attività di docenza nell'ambito di *workshops* organizzati da utenti o professionisti interessati ad approfondire le tematiche relative alle tecniche *MASW*, *MFA*, *HoliSurface* [HS], *MAAM*, *ESAC/SPAC*, *ReMi* e affini.

Gli unici soggetti abilitati a fornire informazioni su *winMASW* ed assistenza sono riconducibili al menzionato sito (per info gdm@winmasw.com).

Oltre al presente manuale, dal sito **www.winmasw.com** (area *Pubblicazioni*) si può accedere a pubblicazioni e *video tutorials* (vedi nostro **canale youtube**).

## **PROVE MASW?**

#### Un software (qualsiasi software) è uno strumento

L'accuratezza dei risultati dipende sempre ed unicamente dalla preparazione e dall'esperienza dell'utente.

Regola fondamentale di comportamento professionale: "se sai cosa stai facendo allora puoi farlo".

l dati non vanno *interpretati* (come spesso si sente purtroppo dire) ma *compresi e analizzati* nella loro interezza.

Ciò è evidentemente possibile solo se si possiede un'adeguata preparazione anche teorica.

Nella sismica (tutta) non esiste il concetto di *prova* così come in geotecnica.

Il termine **prova** rimanda a una serie di procedure standardizzate che consentono di ottenere "numeri" tra loro confrontabili in modo diretto. Le *prove* di laboratorio in geotecnica sono/possono essere fatte da "semplici" tecnici seguendo delle procedure/protocolli standardizzati e uguali per tutti.

#### In geofisica non è possibile nulla di tutto questo in quanto:

1) nulla è standardizzabile;

2) i dati devono essere "letti" (analizzati) da un professionista altamente qualificato rispetto quella *specifica* tecnica.

Come non si può parlare di "*prove di sismica a riflessione*" (mai sentito e sarebbe chiaramente una bestemmia), non si può parlare di *prove MASW* o altro (qui, purtroppo, le bestemmie abbondano quotidianamente). **Ogniqualvolta sentirete parlare di "prova MASW" o "prova HVSR" avrete l'evidenza che chi avete di fronte non ha alcuna** *competenza* **in fatto di sismica.** 

Una *prova* si riferisce ad un dato oggettivo, mentre l'analisi di un qualsiasi dato sismico è invece qualcosa in cui la persona esegue svariate scelte "soggettive".

#### Cos'è una beta version?

La **versione beta** è una versione non definitiva, già in parte testata dai creatori del software e che viene messa a disposizione di un numero maggiore di utenti, confidando proprio nelle loro azioni imprevedibili che potrebbero portare alla luce nuovi bug o incompatibilità del software stesso. Se chiedi di ottenere una *beta version* (allo scopo di utilizzare le più recenti novità del software) ti impegni a fornire *feedback* su funzionalità e possibili bachi. Inutile dire che per una *beta version* non è possibile assicurare il perfetto funzionamento di *tutti* moduli.

#### helps

Molti "help" sono visualizzabili semplicemente portando il cursore sopra il parametro in questione: una scritta su sfondo giallo apparirà con alcune informazioni di base.

Alcune delle figure del manuale possono riferirsi a vecchie *release* del *software*. Tutti gli aggiornamenti conservano le caratteristiche delle precedenti *release* e aggiungono nuove funzionalità o risolvono passati bugs.

#### Il sistema di acquisizione

Allorché si desideri sfruttare a pieno le potenzialità di *winMASW Academy* e/o di *HoliSurface* è fondamentale che l'intero <u>sistema</u> sia coerente.

L'equipaggiamento di campagna (sismografo, geofoni, terna per analisi HV, *HoliSurface* ecc.), il software di acquisizione ed analisi, i computer utilizzati in sede di acquisizione ed analisi del dato rappresentano del loro insieme un <u>sistema</u> che deve essere assolutamente coerente.

Le *performance* del *sistema* dipendono infatti dall'anello debole (di questo *sistema* fa in effetti parte anche il bagaglio di conoscenze teoriche e pratiche dell'utente).

È quindi fondamentale studiare il *sistema* nel dettaglio sulla base delle proprie esigenze professionali evitando di trasformare un buon *investimento* in un inutile *costo*.

A questo proposito ricordiamo i nostri servizi di elaborazione dati e consulenza, quest'ultima suggerita in particolare a chi, affacciandosi al mondo della geofisica, desideri farlo nel modo più coerente possibile acquisendo gli strumenti *hardware* e *software* più adatti e lavorare quindi nel modo migliore dal punto di vista del rapporto qualità/costi.

#### NOTA

*winMASW*<sup>®</sup>, *HoliSurface*<sup>®</sup> e ELIOVSP funzionano solo su sistemi operativi a 64bit (per dettagli vedi la sezione "requisiti di sistema")

D'altra parte, **HS-QC** (**Quality Check** – vedi pertinente *Appendice*) essendo il *software* da portarsi in campagna per una rapida valutazione della *qualità* dei dati acquisiti, funziona anche su sistemi operativi a 32 bit.

Un *software* (qualsiasi *software*) è un mero strumento e l'accuratezza dei risultati dipende dunque in prima ed ultima analisi dalla preparazione dell'utente rispetto i principi di fondo.

#### REGISTRAZIONE

Per perfezionare l'acquisto è necessario *registrarsi* inviando un e-mail (winmasw@winmasw.com) indicando il software acquistato (*Lite, HVSR, standard, 3C, Pro* o *Academy; HoliSurface; ELIOVSP*), la data di acquisto e il nome dell'eventuale distributore presso il quale è stato acquistato.

In questo modo si riceveranno notizie e suggerimenti sulle tecniche MASW multi-componente, FVS, ESAC/SPAC, ReMi, HVSR, RPM, HoliSurface, sismica DownHole, analisi vibrazionali ecc.

## SISTEMI DI ACQUISIZIONE: LE NOSTRE SOLUZIONI



## Il sistema di acquisizione ELIOSOFT

**SISTEMI DI ACQUISIZIONE** (sismografo a 24bit, cavi sismici, geofoni, geofoni da pozzo con doppio sensore eccetera) per l'acquisizione olistica di dati sismici multi-componente e vibrazionali.



Geofoni verticali e orizzontali da 4.5 e 2 Hz (per acquisizioni MASW ed ESAC/SPAC/MAAM): ricorda che per le acquisizioni attive (MASW), le onde di Rayleigh (la loro componente radiale) e le onde di Love possono essere acquisite **utilizzando solamente i geofoni orizzontali**.

Geofoni verticali (per acquisizioni ESAC/SPAC e MAAM - la MAAM è una sorta di mini-ESAC/SPAC implementata nel nostro software *HoliSurface*<sup>®</sup>, che con array circolare di un paio di metri di raggio fornisce la dispersione della componente Z delle onde di Rayleigh.

Geofono triassiale per HVSR, metodo *HoliSurface* e analisi vibrazioni di vario tipo (vedi *HoliSurface*<sup>®</sup>).



#### terna HOLI3C

geofono passivo da collegare al sismografo per effettuare acquisizioni utili ad analisi (anche congiunte) HVSR, MAAM, ESAC/SPAC e HoliSurface

Definizione della curva HVSR sino a circa 0.2 Hz





Geofoni verticali e orizzonali (da 4.5 e 2 Hz) con i relativi sostegni per lavorare su aslafto

**Le tue clip:** quanto ordini i tuoi geofoni ricordati di indicarci se il tuo cavo sismico accetta connessioni di tipo *Split Spring* or *Mueller* 



Split Spring



### SOFTWARE





geofono da pozzo con doppio sensore [vedi manuale ELIOVSP]

ELABORAZIONE DATI (vedi ad esempio il nostro servizio ADAM2D)

## Introduzione all'approccio olistico di winMASW®



#### Generalità

Nelle sue varie versioni, il software *winMASW*<sup>®</sup> consente di analizzare dati sismici (attivi e passivi) per ricavare il profilo verticale della V<sub>s</sub> (velocità delle onde di taglio) utilizzando diversi strumenti:

- Analisi MASW multicomponente (onde di Rayleigh e Love, anche congiuntamente), anche da dati *non* equispaziati
- Analisi RPM (Rayleigh-Wave Particle Motion)
- generazione di sismogrammi sintetici e conseguente analisi FVS (*Full Velocity Spectrum*) multi-componente
- Analisi attenuazione onde di Rayleigh per stima fattori di qualità Qs
- Analisi MFA (*Multiple Filter Analysis*) [spesso indicata anche come FTAN] per analisi delle velocità di gruppo
- Analisi ReMi (Refraction Microtremors) [anche con dati non equispaziati]
- Analisi ESAC (*Extended Spatial AutoCorrelation*) multi-componente [la SPAC non è altro che un caso particolare non particolarmente efficace della più generale ESAC]
- HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio)
- Batch processing di svariati files per HVSR con un semplice file di progetto
- Modellazione 1D tempi onde rifratte P e SH anche con inversioni di velocità
- ricostruzione di sezioni 2D delle V<sub>s</sub> da analisi di dati passivi multi-offset e multicomponente attraverso le routine 2D-SuPPSALA [SUbsurface Profiling via Passive Surface wave Analysis via Linear Array] e PS-MuCAA [Passive Seismics – Multi-Component Amplitude Analysis] presenti nel nuovo pannello ESAC

L'intera architettura di *winMASW*<sup>®</sup> (e *HoliSurface*<sup>®</sup>) è stata implementata tenendo bene a mente i problemi legati all'ambiguità dei dati e alla non-univocità della soluzione.

Per illustrare questo aspetto (comune a qualsiasi metodo geofisico) si riportano qui sotto i profili verticali di V<sub>S</sub> (velocità delle onde di taglio) per 6 modelli (a sinistra) e le relative curve di dispersione nel *range* 5-16 Hz (a destra). Come si vede, nonostante la significativa diversità dei 6 modelli considerati, le curve di dispersione modale sono del tutto simili (i dati sono sovrapposti ad uno spettro di velocità reale).



Tutti i nostri *software* si basano sullo sfruttamento congiunto di diversi *oggetti* o *componenti* utili a vincolare in modo estremamente stringente l'analisi dei dati in modo da ottenere un profilo verticale di V<sub>s</sub> libero dall'ambiguità che altrimenti affligge qualsiasi metodo (preso in modo indipendente da qualsiasi altro).

In altre parole si mira a identificare quella soluzione comune a tutti gli oggetti considerati che nel caso riportato nella seguente figura, è costituita dal modello F:



Nel caso avessimo utilizzato unicamente il metodo/dataset A, le soluzioni possibili sarebbero state i modelli A, B, C, D, E, F e G.

Nel caso avessimo utilizzato unicamente il metodo/dataset B, le soluzioni possibili sarebbero state i modelli G, E, F, L, I, M e H.

Solamente utilizzando assieme tutti i tre metodi possiamo identificare il modello F come l'unico in grado di dare conto di tutti i dati osservati.

Nella sezione *Riferimenti bibliografici* sono menzionati alcuni articoli e testi utili ad approfondire tematiche generali riguardo le tecniche utilizzate in *winMASW*<sup>®</sup> (MASW, MFA, FVS, ESAC/SPAC, ReMi, RPM, HVSR eccetera) e *HoliSurface*<sup>®</sup> (HS, RPM, MFA, HVSR, MAAM, analisi vibrazionali di cantiere e su edifici eccetera).

#### Perché non è raccomandato usare (solo) geofoni verticali?

Qui di seguito si mostra un esempio di *dataset* sintetico (ordinaria componente Z, cioè verticale) per mettere in evidenza l'intrinseca ambiguità delle onde di superficie da dati standard a singola componente (per coloro che per fare le "MASW" usano cioè i geofoni verticali): **a)** modello V<sub>S</sub> considerato (i numeri riportano i rapporti di Poisson); **b)** tracce sintetiche; **c)** spettro di velocità di fase calcolato dalle tracce sintetiche (tale spettro di velocità è apparentemente semplice [liscio e continuo senza alcuna "stranezza"] e quindi adatto alla classica procedura di *picking-e-inversione*); **d)** spettro della velocità di fase con le curve di dispersione modale teoriche dei primi due modi.



Il problema è che, una volta plottate le curve di dispersione modale dei primi due modi (grafico d), ci rendiamo conto che tale segnale continuo (vedi grafico c) **non appartiene** ad un solo modo ma è la combinazione del modo fondamentale (per frequenze superiori a 40 Hz) e del primo modo superiore (per le frequenze più basse).

Dovrebbe essere chiaro che, di fatto, è impossibile rendersi conto che i dati osservati (grafico *c*) sono in realtà composti da due modi distinti e, seguendo l'approccio ordinario, si è portati a *piccare* il segnale dispersivo nel grafico *c* come modo fondamentale, con la conseguenza di ottenere un profilo Vs errato (con valori di Vs sovrastimati).

Bisogna sottolineare che l'inversione della curva di dispersione erroneamente piccata fornirebbe sicuramente un ottimo *misfit* (qualsiasi curva di dispersione - giusta o sbagliata - può essere associata a un modello del sottosuolo).

Ricordate che in questo tipo di (purtroppo comune) approccio, **non si invertono i** *dati* ma la loro (personale e soggettiva – e a volte errata) *interpretazione*.

La conseguenza pratica è che tutto sembrerebbe semplice e corretto ma, di fatto, la soluzione ottenuta sarebbe priva di significato (valori V<sub>S</sub> sovrastimati).

# Questo tipo di dati è impossibile da risolvere poiché lo spettro di velocità di fase <u>non</u> può essere letto/interpretato in termini di curve di dispersione modale.

In alcuni casi, le onde di Rayleigh non mostrano <u>alcuna</u> evidenza del modo fondamentale (vedi anche Dal Moro et al. 2015, *Multi-component Joint Analysis of Surface Waves* o il libro Elsevier). Nella successiva figura sono riportati gli spettri delle velocità di fase delle componenti verticale (Z) e radiale (R) delle onde di Rayleigh e delle onde di Love con sovrapposte le curve di dispersione modale.

<u>Riesci a comprendere che la componente verticale (Z) delle onde di Rayleigh non mostra</u> <u>alcuna evidenza del modo fondamentale</u>? La stratigrafia eccita solo i modi superiori.



Esempio di dataset/sito in cui la componente verticale delle onde di Rayleigh non mostra alcuna evidenza del modo fondamentale. Sono eccitati solo i modi superiori (tratto da Dal Moro et al., 2015).

Ciò significa che senza il supporto delle onde di Love si è portati inevitabilmente ad interpretare il modo(i) superiore delle onde di Rayleigh come modo fondamentale e, di conseguenza, a sopravvalutare significativamente le velocità delle onde di taglio. Questo è il motivo per cui non bisognerebbe usare (solo) i geofoni verticali (in realtà li usiamo raramente e solo per obiettivi molto specifici – vedi ad esempio la tecnica PS-MuCAA e 2D-SuPPSALA disponibili nel pannello ESAC di winMASW<sup>®</sup> Academy).

#### Qual è la soluzione a questi inevitabili problemi?

L'acquisizione e l'analisi congiunta di diverse componenti/osservabili possibile attraverso diversi approcci implementati nelle nostre applicazioni software *winMASW*<sup>®</sup> e *HoliSurface*<sup>®</sup> (vedi l'Appendice dedicata all'acquisizione dei dati delle onde di superficie).

Necessario ricordare come il problema della non-univocità (ambiguità) affligga in modo radicale anche la **modellazione della curva HVSR**.

Per esempi e dettagli vedi i **libri della** *Flaccovio* (del 2012 e 2019), della *Elsevier* (2014) e della *Springer* (2020), nonché i molti documenti menzionati nella *Bibliografia* e nel sito web www.winMASW.com.

Per ottenere i corretti valori delle V<sub>s</sub> è dunque necessario dotarsi di appropriata strumentazione *hardware* in grado di registrare dati idonei a questo tipo di analisi (che sono l'unico modo per evitare una lunga serie di errori ampiamente descritti nei libri sopra citati così come in svariati articoli pubblicati su riviste specializzate).

In sintesi: è impossibile ottenere un profilo V<sub>S</sub> corretto provando ad analizzare i dati registrati utilizzando (solo i) geofoni verticali e la curva di dispersione modale (questo è l'approccio standard che, purtroppo, molti considerano ancora *il metodo MASW*).

Inoltre: come ampiamente spiegato nei nostri libri e articoli l'acronimo "MASW" è oggi del tutto privo di significato perché con questo acronimo possiamo indicare una serie molto ampia di differenti tecniche aventi *performances* completamente differenti (ESAC/SPAC, MASW multi-componente multi-*offset*, *HoliSurface*, MFA, ReMi, analisi FVS o modale, curve modali o effettive e così via: sono tutte tecniche che possiamo definire "MASW").

#### Quindi, l'acronimo MASW oramai non significa (definisce) nulla di preciso

Prima di acquistare la tua strumentazione, considera che "MASW" può (dovrebbe essere) qualcosa di diverso dal collocare un *set* di geofoni verticali e quindi provare a indovinare dove si trova il modo fondamentale.

## Ricorda e considera con la dovuta attenzione che:

#### 1) il tuo lavoro *non* è effettuare una "*prova*" (termine errato) MASW/ESAC/HVSR (eccetera) ma ottenere un profilo V<sub>S</sub> corretto;

2) le svariate "linee guida" locali non hanno alcun valore tecnico (vedi ad esempio libro "ACQUISIZIONE E ANALISI DI DATI SISMICI E VIBRAZIONALI PER STUDI DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOTECNICA") o legale: le tecniche si sviluppano molto rapidamente e, non a caso e *comme d'habitude* per qualsiasi legge di carattere tecnico, le NTC (che solo l'unica *legge* in vigore di cui dobbiamo tenere conto) non indicano specifiche tecniche ma "solamente" obiettivi [corretta determinazione del profilo V<sub>S</sub> eccetera].



## Tomografia a rifrazione. Ricorda e considera adeguatamente che:

**1)** "It is now generally recognized that non-uniqueness is a fundamental reality with the inversion of virtually all sets of geophysical data (Oldenburg and Li, 2005; Treitel and Lines, 1988), including near-surface seismic refraction data (Ivanov et al, 2005a, 2005b). Nevertheless, there can still be considerable reluctance to address the issue with the inversion of near-surface seismic refraction data, often because of the implications for litigation with geotechnical applications." (*The Inverse Problem of Refraction Travel Times, Part I: Types of Geophysical Nonuniqueness Through Minimization* - Ivanov et al., 2005, *Pure and Applied Geophysics* 162(3):447-459; DOI: 10.1007/s00024-004-2615-1)

2) "The inversion of near-surface seismic refraction data for geotechnical and environmental investigations is fundamentally non-unique. It is possible to generate tomograms, which range from the geologically improbable to the very detailed, all of which satisfy the traveltime data to sufficient accuracy."

#### &

"It is concluded that the major effect of tomography is largely cosmetic: refraction tomography rarely, if ever, improves resolution. Furthermore, a simplistic comparison of the misfit errors of tomography does not "prove" that a given result is either "correct" or even geologically reasonable. It is proposed that the three tomograms generated with detailed GRM time and velocity models for the optimum XY value and plus/minus half the station spacing, constitute a more useful measure of the uncertainties of refraction inversion." (*Are refraction attributes more useful than refraction tomography?* Derecke Palmer, 2010 - *First break, 28*)

In termini semplici: anche la rifrazione non è univoca e le elaborazioni tomografiche non risolvono il problema. In aggiunta a questo, le V<sub>P</sub> ricavate verticale considerando la componente (qeofoni verticali) sono necessariamente pesantemente influenzate dalle condizioni di saturazione dei materiali (vedi parametro compressibilità nell'equazione base che definisce le V<sub>P</sub>) che non vanno invece a influire in modo problematico sui valori delle V<sub>S</sub> (la compressibilità non rientra nelle equazioni che definiscono il valore delle V<sub>S</sub>). Ciò significa che chi fa rifrazione in onde P ottiene una delle possibili soluzioni (in termini di V<sub>P</sub>) che è legata a quanta acqua c'è nel terreno. Legare invece V<sub>S</sub> e terreni/materiali è evidentemente più diretto.

Per i più comuni lavori è dunque raccomandato l'utilizzo di un **set di geofoni orizzontali** sia nel caso si lavori di rifrazione che di onde di superficie (vedi Appendice sul come effettuare le acquisizioni).

#### Per ottenere sezioni 2D delle V<sub>S</sub> ricorda che puoi utilizzare lo strumento SuPPSALA di winMASW<sup>®</sup> Academy.

#### Sismica attiva e passiva: breve ma importante sottolineatura

Nelle sue varie versioni, il software *winMASW*<sup>®</sup> consente di analizzare dati sismici (attivi e passivi) per ricavare il profilo verticale della V<sub>S</sub> (velocità delle onde di taglio) secondo diversi approcci.

È importante comprendere e ricordare che esistono moltissimi modi diversi di analizzare i dati sismici (attivi e passivi) e così come parlare "sismica passiva" non significa **nulla** (quale "sismica passiva"? ESAC (quale/quali componente/i?), SPAC (quale/quali componente/i?), ReMi (quale/quali componente/i?), HVSR, MAAM, PS-MuCAA, 2D-SuPPSALA, interferometria eccetera), anche parlare di "MASW" non significa più **nulla** (che tipo di *Analisi*? Su quante e quali *componenti*? Su quale *tipo di velocità*?).

Ricordando che i limiti del nostro linguaggio sono anche i limiti del nostro mondo, quando si intende indicare qualcosa, è bene e necessario essere puntuali e precisi (si vedano ad esempio le svariate modalità con cui grazie a *winMASW*<sup>®</sup> (e *HoliSurface*<sup>®</sup>) possiamo analizzare la dispersione delle onde di superficie secondo tecniche attive e passive).



## Vs equivalente (VsE) NTC2018

Nelle versioni della primavera 2018 viene anche introdotta la V<sub>S</sub> equivalente inserita nelle NTC [Norme Tecniche per le Costruzioni] 2018 e definiva dalla seguente relazione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

in cui la profondità H è quella a cui la velocità V<sub>S</sub> è pari o superiore a 800 m/s (*bedrock* sismico).

Si tratta in pratica di una *variazione sul tema* rispetto al parametro Vs30 (in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m).

Di fatto se il *bedrock* sismico è più profondo di 30 m (dal piano di fondazione) la Vs equivalente (<u>che nei nostri software è sinteticamente indicata come **VsE**) è uguale alla Vs30.</u>

#### Le "categorie di sottosuolo" sono:

**A** - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m

**B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

**C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

**D** - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

**E** - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018.

#### Le componenti sismiche

Cosa si intende per "componente"?

In modo molto sintetico e pratico possiamo definire la *componente* la direzione lungo la quale si sviluppa un certo moto della particella in relazione al passaggio di una certa fase (onda) sismica.

Ad esempio (vedi immagine qui sotto):

l'onda di Love si muove unicamente lungo la componente T (trasversale) [come anche la rifrazione SH];

l'onda di Rayleigh si muove lungo la componente verticale (Z) e radiale (R) [come pure la rifrazione P]

Per **analisi multi-componente** si intende l'analisi di quanto avviene lungo 2 o più delle indicate componenti (attenzione che se si volesse essere veramente completi dovremmo registrare anche le componenti rotazionali e non unicamente quelle legate ai *displacements* lungo i tre assi cartesiani).

Il <u>metodo</u> *HoliSurface*<sup>®</sup> e le versioni di *winMASW*<sup>®</sup> di medio-alto profilo (*3C*, *Professional* e *Academy*) mirano ad analizzare in modo congiunto due o più componenti andando a definire una soluzione particolarmente ben vincolata.



Capitolo 1 – Requisiti di sistema



Il software *winMASW*<sup>®</sup> gira sotto **sistema operativo** *Windows* a 64 bit (grazie a "emulatori di sistema" è chiaramente possibile farlo girare anche su Mac) ed è compatibile con *Windows 11* (sistema operativo raccomandato).

È importante sottolineare l'importanza di aggiornare di frequente il sistema operativo (*Windows update*) e tenere pulito e ordinato il computer [evitando ad esempio di installare e disinstallare troppi programmi "minori" e inutili].

Per le versioni *Lite*, *Standard*, 3C e *Professional* non vi sono particolari requisiti ma, data la notevole mole di lavoro necessaria per effettuare talune elaborazioni relative a alcune metodologie implementate nella versione *Academy* (come anche nel nostro prodotto di punta *HoliSurface*<sup>®</sup>), agli utenti che ne vogliano sfruttare appieno le potenzialità si consiglia un PC (o, meglio, una *workstation*) dalla buone/ottime prestazioni.

Questo diventa assolutamente fondamentale quando (versione *Academy*) si effettua ad esempio l'inversione dell'intero spettro di velocità tramite calcolo di sismogrammi sintetici (vedi sezioni dedicate all'analisi FVS e RPM).

Se vogliamo sfruttare le potenzialità del calcolo parallelo (*parallel computing*) e delle procedure di inversione automatica multi-obiettivo di taluni moduli di *HoliSurface*<sup>®</sup> e/o *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* (analisi congiunte FVS, RPM, PS-MuCAA, HVSR eccetera), diventa quindi necessario l'utilizzo di macchine (computer) dalle ottime caratteristiche.

# Vi sono due vie: pensare (pianificare) in grande o limitarsi a ottime (ma relativamente limitate) soluzioni.

Per la seconda via (che molti, comprensibilmente, decideranno di scegliere), si segnalano le macchine (disponibili già pronte) che montano ad esempio processori *Intel i9-10900 K* (e successivi) da 10 *cores* fisici (20 *threads*) o gli AMD Ryzen 9 3950X (16 *cores*, 32 *threads*). Si avrà una buona macchina che però non potrà essere ulteriormente "upgradata" (la soluzione è certamente valida per un uso non particolarmente spinto).

La soluzione consigliata a chi analizza quotidianamente un massiccio numero di dati è invece la seguente (**pensare/pianificare in grande e a lungo termine**): un computer (*workstation*) con una scheda madre che consenta di montare **due** CPU. All'inizio è possibile montarne anche solo una (sconsigliatissime CPU con meno di 8 *cores* fisici) tenendosi comunque aperta la porta per una possibile seconda CPU nel futuro (che andrà a raddoppiare la potenza di calcolo). In questo secondo caso ci si deve rivolgere a un qualche negozio o ditta in grado di assemblare *workstation* (grazie a internet, non è difficile trovarne uno che faccia al caso nostro). Attenzione: una *workstation* non è tale solamente perché gli è stato dato nome *workstation*. Molti PC mediocri sono chiamati *workstation* per mere questioni di *marketing* sebbene non abbiano nulla della *workstation*. Sempre da ricordare che lavorare con una buona *workstation* significa risparmiare tempo (quindi danaro) e, potendo poi usarla per molti più anni rispetto un comune computer, ammortizzarla lungo un maggiore lasso di tempo (quindi di fatto risparmiare due volte).

RAM: per winMASW<sup>®</sup> Academy sono consigliati almeno 16 GB

Risoluzione schermo e scheda grafica: 1920x1080 (e oltre)

Grazie al pulsante "**current releases & benchmarks**" presente nel pannello principale del *software*, è possibile avere un'idea delle *performance* del proprio processore (preso nella sua singolarità – le capacità cioè di un singolo *core*) rispetto una serie di unità di riferimento.

Qui di seguito un esempio per un processore (unità CPU) che monta una serie di *cores* non particolarmente potenti (anzi, piuttosto lenti), ma che acquista valore nel momento in cui consideriamo che la CPU in questione ha un elevato numero di *cores* (in questo caso 36).

1 🔊	MATLAB Benchmark (times in seconds) — 🗆 🕹							
	Computer Type	LU	FFT	ODE	Sparse	2-D	3-D	
	Windows 10, AMD Ryzen Threadripper(TM) 3970x @ 3.50 GHz	0.2008	0.1881	0.3469	0.4396	0.2029	0.1117	
	Debian 10(R), AMD Ryzen Threadripper 2950x @ 3.50 GHz	0.3122	0.2377	0.3219	0.5047	0.5941	0.1631	
	iMac, macOS 11.2.3, Intel Core i9 @3.6 GHz	0.3278	0.2648	0.2674	0.2763	0.6898	0.3946	
	Windows 10, Intel Xeon(R) W-2133 @ 3.60 GHz	0.4154	0.2991	0.4348	0.4574	0.3167	0.2184	
	Windows 10, Intel Xeon CPU E5-1650 v3 @ 3.50 GHz	0.4614	0.3030	0.4455	0.4433	0.3559	0.2623	
	Windows 10, AMD Ryzen(TM) 7 1700 @ 3.00 GHz	0.7507	0.5163	0.4884	0.5441	0.3397	0.1849	
	Windows 10, Intel Core i7-10610 @ 1.8 GHz	0.9218	0.4394	0.3666	0.3844	0.7386	0.6251	
	Surface Pro 3,Windows(R) 10, Intel(R) Core(TM) i7-5600U @ 2.6 GHz	1.7475	0.9090	0.6178	0.5711	0.5713	0.3623	
	MacBook Pro, macOS 10.15.2, Intel Core i5 @ 2.6 GHz	1.6237	0.9786	0.5446	0.6173	2.5214	2.0229	
	This machine	0.4473	0.2700	0.8640	0.8753	2.4623	11.8298	

Place the cursor near a computer name for system and version details. Before using this data to compare different versions of MATLAB, or to download an updated timing data file, see the help for the bench function by typing Theip bench' at the MATLAB prompt.





Capitolo 2 – Installazione



Per lanciare la procedura di installazione è sufficiente cliccare sull'appropriato file di installazione (relativo cioè alla versione *Standard*, *Professional o Academy* a seconda di quale chiavetta/licenza possediamo) e seguire le poche istruzioni che compariranno.

Dettagli aggiornati sulla procedura di installazione sono presenti nel file LEGGIMI.PDF (o README.PDF) nel CD *winMASW*.

#### ATTENZIONE

#### I sistemi operativi

Sotto taluni sistemi operativi (*Windows Vista* in particolare) la gestione dei privilegi di installazione e scrittura in talune cartelle è piuttosto restrittiva.

Si è a volte notato (specie appunto con il sistema *Windows Vista*) che installando il programma fuori dalle cartelle "di sistema" (*C:\Program Files, C:\Programmi* e *C:\Windows*) all'interno di cartelle create *ad hoc* (come ad esempio *C:\winMASW* o *C:\geofisica\winMASW*) sussistono meno vincoli per gli utenti e non si verificano possibili problemi legati appunto a privilegi mancanti.

Doveste verificare problemi al lancio di *winMASW* (ne abbiamo verificati solo sotto *Windows Vista*) controllate quindi come prima cosa le impostazioni dei privilegi (le "proprietà" impostabili tramite tasto destro del mouse sull'icona di *winMASW* sul *desktop*).

È importante che l'utente che sta utilizzando *winMASW* abbia il privilegio di scrittura nella cartella "winMASW/output" (se avete installato il programma come *Amministratore* ma lo lanciate con un diverso utente questo potrebbe non verificarsi).

Sotto *Windows Vista* si suggerisce quindi di installare il programma in una cartella esterna quale ad esempio "*C*:\*winMASW*".

#### ATTENZIONE

Se installate *winMASW*<sup>®</sup> in una cartella dove precedentemente vi erano versioni precedenti del *software* tutti gli eventuali *file* di dati ed analisi saranno cancellati. Utilizzate quindi una cartella diversa e/o effettuate prima un *backup* dei vostri dati.



*WinMASW* si appoggia a librerie *Matlab*, che vengono contestualmente installate (come lingua di installazione si scelga l'Inglese):

Choose	Setup Language X
2	Select the language for this installation from the choices below.
	Inglese (Stati Uniti)
	OK Cancel

Nel caso sul vostro computer siano già installate le librerie grafiche *Matlab* nella seguente finestra di dialogo va scelta l'opzione "*Modify*"



Durante l'installazione delle librerie è possibile che compaia un messaggio come quello riportato qui sotto:



Ignoratelo senza patemi, cliccando su "OK".

	Firewalls e calcolo parallelo
Se il vostro firewall è partico otteniate il seguente messago	olarmente restrittivo, è possibile (una volta lanciato <i>winMASW</i> ) che jio:
	Avviso di protezione Windows 🔀
	Windows Firewall non consente al programma di accettare connessioni di rete in entrata. Se si sblocca il programma, lo sblocco avra effetto in tutte le reti pubblica a cui di si connette. <u>Bischi</u> derivanti dalo sblocco di un programma
	Nome: mplexec.exe Autore: Sconosciuto
	Percorso: C1(program files/matlabl/2011b)bini/win32/mplexec.exe Percorso di rete: Rete pubblica <u>Che cosa sono i percorsi di rete</u>
	Continua a bloccare Sblocca
Questo avviene perché il com	nuter, per sfruttare le procedure di calcolo parallelo, deve essere messo.

Questo avviene perché il computer, per sfruttare le procedure di calcolo parallelo, deve essere messo nelle condizioni di fare alcune operazioni che richiedono l'esplicito permesso dell'utente/amministratore. "Sbloccate" l'applicazione senza timori

#### Sistemi anti-virus: sorgenti di possibili problemi

Con taluni *anti-virus* incapaci di gestire i sistemi di protezioni basati su un "guscio" (sistemi *envelope* quali quello della FEITIAN) è possibile che, in riferimento all'applicativo *winMASW.exe*, vi venga segnalato un *trojan*. Se dovesse accadere ignorate la segnalazione indicando all'*anti-virus* di ignorare la cartella di installazione di *winMASW*.

Sistemi di anti-virus più aggiornati (<u>noi suggeriamo il gratuito e ottimo AVG</u>) non hanno questo tipo di problemi al momento talvolta segnalati con AVAST, AVIRA, Panda, Trend Micro Internet Security e Eset Nod32 (che sconsigliamo con forza).

Una volta completata l'installazione sul *Desktop* apparirà l'icona di *winMASW* (il consueto doppio click lancerà l'applicazione):



Similmente, il gruppo *winMASW* viene creato tra i programmi cui si accede dal menu di *windows* Start  $\rightarrow$  tutti i programmi (oltre a lanciare *winMASW*, dal gruppo è possibile consultare il sito internet di *winMASW*, il manuale, ecc.).




# Capitolo 3 – Licenza d'uso e versioni disponibili



Il software *winMASW*<sup>®</sup> funziona con chiave hardware (USB *dongle*) e la licenza d'uso è concessa per un periodo di tempo illimitato.

In caso di danneggiamento della USB *dongle* è possibile ottenerne una nuova <u>previa restituzione</u> <u>della chiave hardware danneggiata</u> e pagamento dei costi relativi alla fornitura di nuova USB *dongle* e delle spese di spedizione. In caso di furto o smarrimento è necessario inviare copia della denuncia effettuata alle autorità competenti.

Le USB *dongles* aggiuntive alla prima devono essere intestate alla stessa ragione sociale, sono previste solo per società/studi associati (ad es. snc, sas, srl) e non per ditte individuali o liberi professionisti, e non possono essere cedute a terzi separatamente.

*ELIOSOFT* (come anche l'eventuale distributore) non si assume la responsabilità di risultati derivanti da un uso inappropriato del software dovuto a negligenza o mancanza di conoscenza delle metodologie *MASW ReMi* o *H/V*.

Non si effettuano elaborazioni di dati a titolo gratuito (gli utenti registrati ricevono una *mailing list* con esempi di elaborazioni, casi studio, eccetera), salvo diversa pattuizione.

È attivo un servizio di elaborazione dati ed è possibile acquistare pacchetti di elaborazioni, per maggiori informazioni scrivi a: <u>info@winmasw.com</u>.

L'assistenza è fornita via e-mail (<u>info@winmasw.com</u>) o con sessione in remoto, per maggiori informazioni si consulti la sezione *"Risoluzione problemi e assistenza"* del presente manuale.

La *routine* per il calcolo del rapporto spettrale H/V da onde di corpo è concessa in licenza a *ELIOSOFT* dal Prof. Herak (Università di Zagabria, Croazia) (vedi articolo indicato in bibliografia).

#### Licenza Educational

Per università ed istituzioni scientifiche che utilizzino il software per scopi *esclusivamente* didattici e di ricerca (e non svolgano lavori conto terzi) è prevista una *Licenza Educational*.

#### winmasw@winmasw.com



## Alcune note sul senso delle varie versioni disponibili

*winMASW*<sup>®</sup> consente l'analisi congiunta dei dati sismici al fine di ricavare il corretto profilo verticale della V<sub>s</sub> (velocità delle onde di taglio) e quindi anche il parametro Vs30 e Vs equivalente richiesti dalle normative. Le versioni disponibili sono sei - vedi tabella sottostante – e, se si sceglie una versione base (ad es. Lite o Standard), si potrà in qualsiasi momento effettuare un upgrade ad una versione superiore.

La presenza dell'acronimo MASW in *winMASW*<sup>®</sup> non deve trarre in inganno: *winMASW*<sup>®</sup> nelle varie versioni implementa un ricco arsenale di strumenti utili all'analisi delle onde di superficie secondo svariate tecniche sia attive che passive.

Lite	Analisi MASW in onde di Rayleigh secondo il classico metodo delle curve modali. È la versione base e rappresenta un'ottima soluzione per il professionista che inizia a cimentarsi con le onde di superficie volendo tenersi aperta la possibilità di crescere assieme al software, in quanto successivamente potrà sempre passare a versioni più ricche e complete (vedi poco oltre il paragrafo sul perché scegliere winMASW <sup>®</sup> ).
winHVSR	Analisi dati HVSR per determinare il periodo di risonanza di sito e molto altro.
Standard	Analisi MASW e ReMi in onde di Rayleigh (secondo le curve modali). La ReMi è comunque una tecnica che non consigliamo in quanto, a differenza della modalità attiva (MASW), in modalità passiva l'array lineare genera ambiguità nelle velocità determinate e determinabili (vedi libro Elsevier e nostri incontri formativi). Se quello che interessa è scendere più in profondità rispetto alla tecnica attiva (MASW), ciò che consigliamo è la versione 3C (che integra anche analisi HVSR) e/o, per i più esigenti, la versione Academy (di tutto, di più).
3C	Analisi congiunta di MASW in onde di Rayleigh e Love (secondo le classiche curve modali), analisi HVSR, modellazione 1D rifrazione onde P. È la versione che consigliamo a chi cerca una valida via di mezzo tra le versioni base e la completezza della versione Academy, in quanto i tools presenti consentono di definire senza ambiguità il profilo Vs e di effettuare quanto mediamente richiesto nella libera professione.
Professional	Analisi MASW in onde di Rayleigh e Love (secondo le curve modali), ReMi (metodo ESAC solo per array lineari - indi non troppo sensato ma utile per meglio interpretare gli ambigui spettri ReMi), analisi HVSR, modellazione 1D rifrazione onde P e SH (potendo anche includere canali a bassa velocità).
Academy	Analisi MASW in onde di Rayleigh e Love (secondo curve modali, <u>effettive e FVS</u> ), analisi MFA, ReMi (anche con array non equi-spaziati), ESAC/SPAC (quello "vero" con array bidimensionali), analisi HVSR, analisi congiunta velocità di fase e di gruppo, modellazione 1D rifrazione onde P e SH, sismogrammi sintetici di tutte le possibili componenti, inversione spettri di velocità tramite FVS senza necessità di <i>picking</i> o interpretazione dei modi, gestione dati MASW a distanze non-equispaziate. Sismica Passiva Multicomponente (PS-MuCAA) per la ricostruzione di sezioni 2D (strumento 2D-SuPPSALA). Gestione di dati GPS da foto per l'esplorazione di vaste aree in relazione a ricostruzioni 2D. <i>In altri termini, tutto ciò di cui potreste aver bisogno per un'infinita serie di applicazioni.</i>

#### Per ulteriori dettagli e approfondimenti:

- manuale d'uso di winMASW<sup>®</sup>
- > scheda informativa con tabella riassuntiva di tutti i tools presenti nelle varie versioni
- > pagina winMASW<sup>®</sup> per info generali sul software, singole versioni e casi studio
- pagina FAQ per info sulla strumentazione hardware ottimale e ulteriori approfondimenti (molto spesso ci rendiamo conto di acquisti hardware per così dire "non ottimali", cioè al contempo ridondanti e lacunosi, ad es. 24 geofoni verticali sono piuttosto inutili mentre 12 orizzontali...).

#### Perché scegliere winMASW<sup>®</sup>?

- winMASW<sup>®</sup> va molto oltre le MASW. L'<u>analisi congiunta</u> è l'unica che consente di identificare soluzioni precise (non soggette ad ambiguità). L'autentica analisi congiunta è quella che si effettua all'interno dello stesso strumento di analisi/software. Avere software distinti per ad. es. MASW in onde di Rayleigh, ESAC/SPAC (o, per i meno "aggiornati", ReMi), HVSR ecc., è il modo migliore per spendere di più, lavorare in modo complicato e inefficace e quindi, in sintesi, svolgere male il proprio lavoro professionale, non avendo l'occasione di cogliere le relazioni tra tutti questi metodi che solo un *software* completo e integrato come *winMASW*<sup>®</sup> può darti.
- winMASW<sup>®</sup> è un software flessibile. Se scegli una versione base (ad es. Lite o Standard), potrai in qualsiasi momento effettuare un upgrade ad una versione superiore e più completa.
- chi sceglie winMASW<sup>®</sup> può fruire di un supporto tecnico scientifico di rilievo (vedi <u>pubblicazioni</u>) fondato sulla nostra continua e, internazionalmente riconosciuta, attività di ricerca applicata nell'ambito dell'analisi delle onde di superficie.

#### Conferma d'ordine e tempi di consegna

Per procedere all'acquisto invia a <u>winmasw@winmasw.com</u> i dati completi di fatturazione (ragione sociale, indirizzo, partita iva e codice fiscale) e, se diversi, di spedizione (unitamente ad un contatto telefonico) indicando la versione di *winMASW*<sup>®</sup> scelta.

Spedizione: a mezzo corriere entro, indicativamente, 2gg dalla ricezione del pagamento.

#### Registrazione

Per perfezionare l'acquisto è necessario registrarsi inviando una e-mail (winmasw@winmasw.com) ed indicando versione e data di acquisto e nome del distributore presso il quale avete acquistato il *software* Solo in questo modo si avrà diritto a ricevere assistenza sul software.

# Capitolo 4 – Alcune raccomandazioni generali



Acquisizioni di sismica attiva: si raccomanda di utilizzare nomi di *files* che abbiano un significato (vedi esempi riportati nei nostri libri pubblicati per la Flaccovio nel 2012 e 2019).



Esempio di acquisizione HF per onde di Love e rifrazione SH (per dettagli vedi libro Flaccovio 2019)

Acquisizioni di sismica passiva (per tutte le svariate metodologie): si raccomanda di non acquisire *files* troppo pesanti per lunghezza della registrazione e/o per campionamento eccessivamente alto perché potresti avere problemi a gestirli (oltretutto vedi il <u>teorema di</u> <u>Nyquist-Shannon</u> e considera che per le comuni applicazioni geologiche/geotecniche raramente interessano frequenze superiori a 30 Hz).

Se, per qualche motivo, desideri "monitorare" lunghi intervalli di tempo, è certamente preferibile acquisire files in sequenza. In altri termini: invece di un file unico da 12h campionato a 250 Hz si raccomanda innanzitutto di ridurre il campionamento (a cosa serve conoscere le ampiezze del segnale sino a 125 Hz?).

Inoltre è bene acquisire ad esempio 6 files da 2 ore (un sistema di acquisizione progettato e testato in modo razionale dovrebbe essere in grado di farlo automaticamente impostando la lunghezza della registrazione base e il numero di acquisizioni/ripetizioni).

Sempre bene dare un nome che abbia un significato (vedi citati libri) evitando nomi che non raccontano/spiegano nulla della geometria dell'acquisizione.

# Cosa devo acquisire se desidero ottenere un profilo V<sub>S</sub> privo di ambiguità?

Per quanto sintetizzato nella sezione introduttiva di questo manuale (*Breve introduzione all'approccio olistico di winMASW*<sup>®</sup>), in termini generali sono **necessari** quattro elementi:

1) Onde di Rayleigh (quindi acquisizione VF)

2) Onde di Love (quindi acquisizione HF)

**3)** Un paio (<u>non</u> solamente uno) di HVSR [ad esempio: uno a fine stendimento ed uno al centro o presso la sorgente]

**4)** Un paio di **foto** dell'acquisizione (possibilmente con informazioni GPS incluse – vedi dettagli in questo stesso manuale).

#### I nomi dei files devono essere rappresentativi del tipo di dati.

**Esempio#1** per sismica mista attiva + passiva:

RVF\_dx5\_mo5.seg2 o ZVF\_dx5\_mo5.seg2; THF\_dx5\_mo5.seg2;

HVSR\_sorgente.seg2; HVSR\_centrale.seg2; HVSR\_FineStendimento.seg2

Esempio#2 per sismica passiva multi-canale:

Z\_passive\_dx5.seg2; R\_passive\_dx5.seg2; T\_passive\_dx5.seg2;

HVSR\_centrale.seg2; HVSR\_FineStendimento.seg2.

Certamente le possibili opzioni e combinazioni sono infinite ma è importante conoscere i fatti salienti riguardanti l'acquisizione e analisi delle onde di superficie e comprendere il senso del *tutto*.



# Tre modi per generare le onde di Love

L'acquisizione e l'analisi delle onde di Love è un **punto cruciale** nell'analisi delle onde di superficie (vedi i libri della Flaccovio del 2012 e del 2019 e relativa bibliografia).

Puoi generare le onde SH (e quindi le Love) utilizzando una classica traversina in legno come mostrato nelle foto seguenti:



Al fine di evitare danneggiamenti, puoi anche coprire la traversina con la piastra di polietilene utilizzata per le acquisizioni VF.



Infine, se lavori su terreni soffici, puoi scavare una piccola buca nel terreno e collocare la piastra di polietilene (quasi) in verticale come nella seguente immagine:



Quando viene lanciato *winMASW*<sup>®</sup>, oltre alla finestra principale rimarrà aperta in *background* una finestra DOS in cui vengono visualizzate informazioni sul procedere delle operazioni ed analisi.

承 winMASW® - Surface Wav	res & Beyond	_		×
🤌 🖂 🐸 🤣 🧼 🖥 🖡				r
Parallel computing Parallel Computing Off (please activate) 40 set your working folder	winMASW <sup>®</sup> Academy surface waves & beyond www.winmasw.com	- Internet sites -	(GPS)	
single-component analys Velocity Spectrum, M Dispersion Curve or Ve Joint Analysis of Phase Rayleigh-Wave Atter	sis (Rayleigh/Love) (+ HV) odeling & Picking ? el. Spectrum Inver. ? & Group Velocities ? huation Analysis ? but for the second se	e seismics	? ? /SR	
joint analysis of Surfa Velocity Spectra, Mo Joint Inversion of S	ace Waves (+ HV) joint inversion of di Ideling & Picking Joint Inversion of Ray Surface Waves Joint Inversion of Ray	ispersion & HVSR/ f Rayleigh/Love + H' leigh Waves (Disp+	PRM V RPM)	
	Academy - release 7.1 check current release Please remember to register your purchase: winmasw@winmasw.com (read carefully the license)	]		

Con le *release* più recenti l'attivazione del "*parallel computing*" (nello snapshot sopra riportato si può notare che al lancio è disattivato) è svolta in modo automatico. Si deve attendere che il software legga la CPU del PC e automaticamente attivi tutti i *cores* disponibili.

La procedura dura pochi secondi e al termine lo status (vedi sezione "parallel computing") muterà da *off* a *on* (e il colore cambierà da rosso a verde - vedi successivo *snapshot*).

Quasi tutte le CPU dei moderni computer sono infatti *multi-core* (contengono di fatto più unità di calcolo). Poiché le operazioni più pesanti effettuate da *winMASW* sono parallelizzate, è fondamentale attivare tale possibilità. Il numero di *workers/cores* (unità di calcolo) che è possibile utilizzare dipende dalle caratteristiche della CPU del vostro computer.

Nell'esempio qui considerato sono state attivati 40 *cores* (il PC utilizzato monta 2 CPU Xeon ognuna con 10 *cores* - grazie al "multithreading" i 20 *cores* fisici sono raddoppiati a 40 logici). bene tenersi un *core* per sé, mentre se invece questo non è importante si possono attivare tutti i *cores* della macchina a disposizione.

Per sapere quanti *cores* possiede il proprio computer consultare la tabella delle sue caratteristiche tecnica (a puro titolo di esempio si ricorda come le vecchie CPU *i7* hanno solo 4 *cores*).

Il nostro consiglio resta in generale sempre lo stesso: acquisti oculati e mirati (possibili solo se si ha <u>perfettamente</u> in mente *tutto* quanto vorremo poi svolgere a livello professionale): equipaggiamento di campagna e software di analisi danno il meglio solo ed unicamente se acquistati in modo congruente (*hardware* e *software* devono potersi parlare in modo da capirsi al meglio).

▲ winMASW® - Surface Waves & Beyond	- 🗆 X
i 🥙 🖂 🤣 🧶 🖻 🏬 🕞 i 🎧 纲	د
parallel computing Parallel Computing On (40 workers) 40 set your working folder open working folder	- Internet sites - V where am 1? [GPS] utilities
I:\ELIOSOFT\Dati\data_in_progress\Baciacavallo\MASW	
single-component analysis (Rayleigh/Love) (+ HV)         Velocity Spectrum, Modeling & Picking       ?         Dispersion Curve or Vel. Spectrum Inver.       ?         Joint Analysis of Phase & Group Velocities       ?         Rayleigh-Wave Attenuation Analysis       ?	Passive seismics          ReMi       ?       ESAC         HVSR tools       ?         compute HVSR       ?         convert SEG to SAF       show multiple HVSR
joint analysis of Surface Waves (+ HV) Velocity Spectra, Modeling & Picking Joint Inversion of Surface Waves	joint inversion of dispersion & HVSR/PRM Joint Inversion of Rayleigh/Love + HV Joint Inversion of Rayleigh Waves (Disp+RPM)
Academy - release 7.1 Please remember to register your purchase: winmasw@winmasw.com (re	check current release ead carefully the license)

La struttura delle cartelle e sottocartelle è la seguente:

winMASW	Documents	Qui sono presenti il manuale ed alcuni documenti utili da considerare (esempi di elaborazioni ecc.). Nella sotto-cartella "videos" potete inserire i <i>video</i> <i>tutorials</i> disponibili al nostro sito www.winmasw.com
	Application	Qui risiede il software di elaborazione: non giocateci (pena possibili malfunzionamenti)
	<i>IO</i> (sta per "Input/Output")	Cartella da utilizzare a proprio piacimento

si suggerisce di porre i *files* di campagna in una cartella unica (suddivisa in ordinate sottocartelle - vedi ad esempio *snapshot* qui di seguito) da settare poi come cartella di lavoro "working folder"

File Here	Udine	- 0	×
Navigation management	e Snare View  Extra large icons Medium-sized icons Extra large ico	Current Show/ view + hide + Options	
$\leftrightarrow \rightarrow \cdot \cdot$	V Juline >	<ul><li> o Search Udine </li></ul>	Q
Name	^ Date modified	Туре	Size
СРТ	18/01/2017 09:10	File folder	
ESAC	18/01/2017 09:10	File folder	
HVSR	18/01/2017 09:10	File folder	
MASW	18/01/2017 09:10	File folder	
pictures	18/01/2017 09:10	File folder	
🖳 ReadMe.de	bcx 18/01/2017 09:11	Documento di Microsoft Office Word	
<			>
6 items			

Da qualsiasi pannello è anche possibile lanciare (chiaramente se il software è già installato nel PC in uso) *Google Earth Pro* (icona ):



Suggeriamo poi di scaricare i *video tutorials* (man mano che saranno resi disponibili) nella cartella *winMASW/Documents/videos* (poi accessibili da qualsiasi pannello – icona <sup>(M)</sup>).

I manuali sono direttamente accessibili da qualsiasi pannello (icone 🔊 – per le versioni in Italiano ed Inglese).

## Foto e dati GPS nei nostri software: gestione foto geo-referenziate

In tutti i pannelli, è possibile caricare un'immagine (da includere nel *report*) e, nel caso in cui tale immagine contenga informazioni GPS (diverse *App* del tuo cellulare possono farlo [ad es. **MapCam** o **GPS Map Camera**] così come tutte le *action cam* [es. **GoPro**] e i **droni**), tali informazioni GPS (latitudine, longitudine, altitudine e numero di satelliti) verranno riportate e mostrate nel *report* di output.

Ovviamente è possibile caricare qualsiasi foto si voglia inserire automaticamente nel proprio *report*, anche senza che questa contenga le informazioni GPS.



## Cosa posso fare con gli strumenti di gestione delle foto geo-referenziate?

Sono essenzialmente due gli usi pratici possibili con le recenti release di *winMASW*<sup>®</sup> Academy e *HoliSurface*<sup>®</sup> in cui sono attivi questi strumenti di gestione delle foto georeferenziate.

utilizzo#1 (il più comune): arricchire i propri (semplici) *report* quotidiani ottenendo in un solo *click* l'immagine e l'ubicazione del sito



Da uno studio dell'erosione di sponda fluviale (vedi articoli Dal Moro 2023)



Studio di antiche paleodune peri-lagunari (vedi articolo Dal Moro & Stemberk 2022 e libro "Lezioni di sismica" del 2023)

#### utilizzo#2: gestione facilitata di dati per ricostruzioni 2D

E se vogliamo ricostruire un "profilo HVSR 2D" lungo un certo profilo?

Vedi la procedura riportata in dettaglio nell'Appendice "Gestione di foto georeferenziate multiple [esplorazione di vaste aree]".

1. Scattare le foto e caricarle nello *strumento di gestione foto multiple* in modo da ottenere le posizioni di ciascuna foto e del profilo lungo il quale ci siamo mossi













number10.jpg



number7.jpg



number8\_2m\_socer\_northward.jpg









www.winMASW.com - geophysical software & services





Nel software (cioè nel modo di lavorare) **HoliSurface**<sup>®</sup>, le foto geo-referenziate sono anche utilizzate per determinare la distanza tra due punti in caso, ad esempio, la sorgente e il ricevitore siano posti a distanze notevoli non facilmente gestibili con cordelle metriche *et similia* (ricorda che il metodo HS si basa sull'utilizzo di un unico geofono triassiale attiva). Chiedici una versione aggiornata del **manuale HoliSurface**<sup>®</sup>

# 4.1 step#1: determinazione proprietà dispersive (spettri di velocità)

MASW multi-componente, ReMi, ESAC/SPAC, MFA (velocità di fase e gruppo)

## Nota importante: *modella*, non *invertire*!

Le tecniche basate sull'analisi delle onde superficiali (*MASW* e *ReMi*) sono sempre più diffuse ma alcuni aspetti legati alla generazione e propagazione delle onde di superficie (nonché di quelle guidate) impongono di adottare sempre buon senso (sviluppabile solo attraverso una solida base teorica) allorché si interpretano gli spettri di velocità e si effettua il *picking* delle curve di dispersione che si intende poi invertire.

L'argomento è trattato (tramite modellazioni sintetiche e dati reali) in molte delle nostre pubblicazioni (vedi ad esempio i due libri pubblicati per la Flaccovio nel 2012 e 2019).

Dal punto di vista pratico è importante sottolineare alcuni punti:

- 1. non è affatto detto che il massimo dell'energia delle onde di Rayleigh sia associato alla propagazione del modo fondamentale: molti modi possono coesistere nello stesso *dataset*.
- non è affatto detto che i modi superiori si manifestano solo alle frequenze più alte (essi possono invece trovarsi alle basse frequenze e il fondamentale può imporsi proprio alle alte e possono verificarsi diversi "salti di modo")

Di conseguenza è spessissimo consigliabile in luogo della classica procedura *picking*  $\rightarrow$  inversione (che per i motivi esposti nel citato articolo rischia – se svolta da utenti poco esperti – di portare a non trascurabili errori interpretativi) è invece una "modellazione diretta" (vedi sezione appropriata): cercare la più sensata coerenza tra distribuzione di energia nello spettro di velocità (che è l'unico dato oggettivo) e curve di dispersione teoriche di un modello che l'utente, a partire dalle conoscenze stratigrafiche note a priori, testa e modifica (con le procedure di "modellazione diretta").

# Analisi MASW (note e procedure generali)

Come prima operazione si carica il file acquisito in campagna (*common-shot gather*). Questo si esegue tramite la classica icona presente in alto a sinistra, che consente di aprire il file desiderato (vedasi il *box* riguardante i formati supportati). A causa di possibili e frequenti errori di campagna, l'utente deve sempre verificare che i dati immessi (distanza tra tracce, offset minimo ecc.) siano corretti ed eventualmente correggerli.

A seconda della modalità di acquisizione (ordine delle tracce) è possibile che il *dataset* sia "invertito". In questo caso è sufficiente cliccare il pulsante "ruota le tracce" (vedi *box* "Ruota le tracce") ed ordinare così i dati.

Una volta caricati i dati si procede con il *calcolo dello spettro di velocità*, tramite l'omonimo pulsante. L'utente deve indicare velocità e frequenze massime e minime (in altri termini i limiti dello spettro di velocità) (vedi Figura 1a).

Si otterrà qualcosa di simile a quanto riportato in Figura 1b.

Nel caso la finestra dello spettro (l'intervallo frequenza-velocità) non ci soddisfi perché vogliamo ad esempio avere una migliore visione dell'area dove si concentra il segnale di interesse (la curva di dispersione delle onde di superficie), possiamo ricalcolare lo spettro di velocità con nuovi parametri cliccando nuovamente il pulsante "calcolo spettro di velocità"

Poiché i limiti qui inseriti saranno considerati anche per lo spettro visualizzato sulla finestra dei risultati (vedi Figura 7a), si suggerisce di utilizzare limiti tali per cui la visualizzazione sia chiara senza dover utilizzare lo *zoom*,



# Dataset attivi: strumento per la *rimozione*, l'azzeramento o il cambio di polarità di tracce

# [in winMASW<sup>®</sup> Academy]

Carichiamo un *dataset* con sorgente lungo l'array quindi non adatto ad elaborazioni MASW:



In questo caso l'offset minimo è negativo (-2.5m).

Cliccando sull'icona 🌂 sulla barra degli strumenti e si aprirà la seguente finestra:



Nel box "*traces to keep*" (tracce da mantenere) l'utente deve inserire le tracce da inserire seguendo la seguente sintassi:

#### prima traccia da mantenere: step : ultima traccia da mantenere

Nell'esempio che segue si sono mantenute tutte le tracce dalla 6 alla 24; se avessimo scritto ad esempio "6:2:14" avremmo mantenuto le tracce 6 8 10 12 e 14 (in quando lo step è appunto 2).



Cliccando il pulsante "show" si visualizzano le tracce scelte. Se i parametri sono corretti e il dataset ottenuto è quello desiderato basterà cliccare il pulsante "accept" e torneremo al pannello principale:



Ora è possibile continuare con le analisi (non è necessario salvare il dataset in un nuovo file ma nel caso lo si desideri fare è sufficiente utilizzare il pulsante "save" nel gruppo "data selection".

other tools & setting

b)

1.02362 Time length to visualize (s) done

flip traces

zero padding



Figura 1. Calcolo dello Spettro di Velocità. Vanno forniti i limiti della finestra: frequenze e velocità (minime e massime).

HVSR 4 H/V modes

800 0.35 0

0 0.35 0

0 0.35

rnd model:

report

synthetics



#### Formato dati

Attualmente *winMASW*<sup>®</sup> è in grado di leggere diversi tipi di formato:

1. formato *segy* (tipicamente con estensione .segy o .sgy). Si tratta del formato standard di dati raccomandato dalla *Society of Exploration Geophysicists* (SEG).

2. formato *seg2* (tipicamente con estensione .dat o .sg2). Si tratta di un formato "di campagna" molto comune. Molti dei sismometri in commercio lo utilizzano come formato di scrittura dei dati acquisiti (tipicamente in formato *integer 32 bits* o *Floating-point 32 bits*). Dalla versione 3.0 il programma è in grado di identificare automaticamente il formato, ma – allo scopo di poter correggere possibili errori di scrittura del sismografo – l'utente può comunque forzare il formato.

3. formato SU (seismic unix). Classico (anche se poco frequente) formato.

4. formato ORG (estensione .org): formato tipico di molti sismografi OYO (tipicamente in formato *integer 32 bits*).

5. formato ASCII (estensione .txt o .asc). Taluni strumenti e software utilizzano un formato ASCII (visualizzabile con qualsiasi *editor* di testo) in cui le colonne rappresentano le diverse tracce (si tratta in altre parole di una matrice  $m \times n$ , con m numero di dati per traccia e n numero di tracce).

In *winMASW*<sup>®</sup> il formato considerato per dati in formato ASCII è il seguente: sulla <u>prima riga</u> di testo è riportato l'intervallo di campionamento (in secondi) sulla <u>seconda riga</u> gli *offset* (che possono essere NON equi-spaziati)

A seguire (dalla seconda riga in poi) è riportata la matrice dei dati *m* x *n*, ove *m* è il numero di campioni per traccia ed *n* il numero di tracce (geofoni).

#### Esempio

(dataset campionato ad 1ms, distanza inter-geofonica variabile (dati non equi-spaziati), offset minimo 4 m, 10 canali)

•••

6. formato *Matlab* (.mat). Nella sostanza analogo al precedente ma scritto secondo il protocollo *Matlab*. Si tratta comunque di una semplice matrice e i dati relativi a intervallo di campionamento, *offset* minimo e distanza intergeofonica devono anche in questo caso essere indicati dall'utente.

7. formato SAC (*big endian*): format usato specie in ambito sismologico (per tracce singole).

#### Formato numerico dei dati



Durante il caricamento dei dati è importante che il formato (da scegliere da un menu a tendina come "*Floating-point 32 bits*", "*Integer 16 bits*" ecc.) sia corretto. Nel caso il formato non dovesse essere quello corretto la visualizzazione dei dati risulterebbe diversa da quanto visibile ad esempio in Figura 1 dove la traccia sismica è



correttamente visualizzata secondo la cosiddetta modalità *wiggle*. Sono qui riportati due esempi che rendono evidente un erroneo formato utilizzato in fase di lettura dei dati.

Dalla versione 3.0, per il formato seg2 *winMASW*<sup>®</sup> è in grado di identificare automaticamente il formato di scrittura dei dati. Resta tuttavia – allo scopo di poter correggere possibili errori di scrittura da parte del sismografo – la libertà di "forzare" la lettura secondo formati diversi.

#### II dominio $\tau$ - velocità

Quando si calcola lo spettro di velocità è possibile rappresentare il dato anche nel dominio  $\tau$ -velocità (basterà attivare l'opzione *"Tau-v" presernte* nella *toolbar*). Il parametro  $\tau$  rappresenta il tempo intercetto sull'asse dei tempi e l'operazione è effettuata tramite trasformata lineare di Radon.

Per utenti particolarmente esperti la rappresentazione dei dati in questo dominio può risultare in taluni casi utile per svolgere una serie di considerazioni e/o anche a scopo didattico. Si rinvia a specifiche pubblicazioni e future versioni di *winMASW*<sup>®</sup> per ulteriori ragguagli.



Un possibile problema numerico che può insorgere nel caso si stiano analizzando *dataset* non sufficientemente lunghi (limitato tempo di acquisizione) è descritto nel box sotto riportato. **Per ovviare si aggiungano degli zeri in coda ai dati utilizzando lo strumento** "*zero padding*". Evidentemente questo è possibile solamente se il *dataset* è sufficientemente lungo da aver

registrato per intero il passaggio delle onde di superficie (se nel caso sotto riportato fossero stati acquisiti solamente 0.07 secondi si sarebbero persi dati e l'operazione di "*zero padding*" sarebbe risultata impropria/inutile).

#### Sezione "seleziona dati"

Tramite questa sezione è possibile selezionare una specifica porzione di *dataset* da considerare per le successive analisi. Per fare questo è sufficiente attivare la funzione (pulsante "attiva"): sarà visualizzato un poligono spostando i cui vertici si selezionerà una specifica porzione di dati. Per tagliare la porzione di dati esterna al poligono individuato basterà cliccare il pulsante "Seleziona". Il numero che compare sulla destra di tale pulsante rappresenta il numero di campioni della rampa utilizzata per tagliare i dati esterni al poligono considerato. In altri termini: i valori interni al poligono sono mantenuti tali e quali, quelli esterni azzerati. Il numero di campioni della rampa rappresenta il numero di campioni della zona "di passaggio": se troppo limitata possono verificarsi problemi legati al troncamento del segnale. Il valore di *default* (20) si adatta alla maggior parte delle situazioni.



Dataset completo: si noti l'energia legata a modi superiori (oltre al fondamentale).

# Verifica della polarità, della continuità e della qualità delle tracce (versione Academy)

Uno spettro di velocità è significativo e di buona qualità solo nel momento in cui tali sono le tracce acquisite. Nel caso qualche traccia presenti dei problemi (come ad esempio una polarità invertita – vedi libro pubblicato per la Flaccovio nell'autunno del 2023) è bene rendersene conto e provvedere a sistemare le tracce (con lo strumento "zeros/flips/remove"). Nelle due immagini qui di seguito è mostrato come rendersi conto della cosa. Tali grafici sono automaticamente creati all'atto di computare lo spettro di velocità di fase (pulsante "phase velocity").



Esempio di dataset (tracce riportate nel pannello superiore) con corrette polarità indicate dalle correlazioni tra tracce riportate nel pannello inferiore (si noti la continuità).



Esempio di dataset (tracce riportate nel pannello superiore) in cui due tracce (la 6 e la 12) hanno polarità invertita. Si tratta dello stesso dataset mostrato nella precedente figura a cui si è intenzionalmente invertita la polarità delle due tracce indicate. L'andamento delle correlazioni riportate nel pannello inferiore indicano con chiarezza il problema (discontinuità dei valori attorno alle due tracce incriminate).

# Computo spettro di velocità medio (da n spettri singoli/indipendenti)

Una volta determinato e salvato lo *spettro di velocità* di una serie di *datasets* (ad esempio, in alcune Regioni italiane si ama fare una mazzata *diretta* e una *inversa*, dall'altra parte dello stendimento), è possibile caricare tutti gli spettri salvati e ottenere lo <u>spettro medio</u>.

Per farlo è sufficiente caricare tutti gli spettri salvati tramite il pulsante "upload" (nel gruppo "*handling the spectra*"). La selezione di più spettri si ottiene semplicemente mantenendo premuto il tasto "Ctrl" durante la selezione degli spettri che desideriamo caricare per calcolarne lo spettro medio.

Ciò che si ottiene è qualcosa di analogo all'immagine qui sotto riportata: sulla sinistra si vedono i quattro spettri precedentemente salvati e ora caricati (in questo caso sono relativi a 4 diverse mazzate) e sulla destra viene presentato lo spettro medio.



Nella versione *Academy*, durante il calcolo dello spettro medio nella cartella di lavoro vengono automaticamente salvati una serie di ulteriori *plots* (vedi immagini qui di seguito):

- le tracce dei singoli datasets (IndividualTraces.png)
- i loro spettri di velocità (*IndividualSpectra.png*)
- lo snapshot dello spettro medio (AverageSpectrum.png).





#### **Esplora spettro**

Il pulsante "*explore spectrum*" (in alto a destra sulla schermata principale della sezione per l'analisi di singole componenti) consente di visualizzare lo spettro di velocità in 3D (qui sotto a sinistra) e avere una prima rapida stima dei valori di V<sub>s</sub> in profondità sulla base dell'approssimazione detta "*Steady State Approximation*".

Tale approssimazione è tanto più sbagliata quanto maggiori sono i contrasti di V<sub>S</sub> in profondità: se il gradiente è grossomodo costante questa approssimazione potrà dare dei valori di V<sub>S</sub> non troppo distanti dal vero, se invece in profondità si verificano forti variazioni di V<sub>S</sub>, i valori indicati dall'approssimazione saranno particolarmente errati.





# Dati MASW non-equispaziati (winMASW® Academy)

Con *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* è possibile gestire dati attivi ("MASW") non equi-spaziati. La prima volta che si caricano dati non equi-spaziati è chiaramente necessario modificare gli *offsets* secondo la reale geometria (il valore di dx – la spaziatura tra i geofoni - non è infatti costante). Ecco come procedere:

- caricare i dati nel modo usuale (il *software* richiederà i valori di *mo* [*minimum offset*] e di dx [*distanza intergeofonica*]);
- 2) cliccare il pulsante "modify offsets" (modifica offsets) e inserire i valori reali;



- 3) determinare (come al solito) lo spettro di velocità di fase ("phase velocities");
- 4) salvare lo spettro (pulsante "save" nel gruppo "handling the spectra").

Lo spettro salvato conterrà non solo lo spettro di velocità di fase computato ma anche i dati (le tracce) con gli *offset* corretti. Successivamente (in futuro), per (ri)analizzare i dati sarà a questo punto sufficiente ricaricare lo spettro di velocità salvato (non sarà cioè più necessario modificare/reimpostare gli *offset* corretti).



<u>NOTA</u>: nell'analisi di dati non-equispaziati si raccomanda l'approccio FVS (non quello a curve modali) [vedi esempio qui sopra].

# Analisi *ReMi* (*winMASW*<sup>®</sup> Standard, Professional & Academy)

Dalla finestra principale, tramite il pulsante "*ReMi spectra*" si accede alla sezione dedicata all'analisi degli spettri determinati tramite analisi di dati di sismica passiva.

۹	
	velocity spectrum: limits         frequency (Hz)       3       30         min       max       velocity (m/s)       100       1100         min       max       max       max
data parameters geophone distance (m) [regular]	<ul> <li>show average spectra only [recommended]</li> <li>window length (in seconds) for spectra calculation</li> <li>minimum value (s): 1</li> <li>maximum value (s):</li> </ul>
sampling rate (s)	Smooth and normalize  number of channels for smoothing  smoothing (%) for the Spectral Ratio

Ciccando il pulsante "input file(s)" si andranno a selezionare i *files* relativi alle acquisizioni *ReMi* (sismica passiva) (vedi *Appendice* di pertinenza).

Si possono caricare contemporaneamente più *files* (naturalmente con identici parametri di acquisizione). Per farlo è sufficiente (comune convenzione in *Windows*) mantenere cliccato il tasto *Ctrl* ed evidenziare tutti i *files* che si desiderano considerare, <u>ma questi devono avere tutti</u> <u>medesimi parametri di acquisizione: distanza intergeofonica, intervallo di campionamento e lunghezza</u>.

Una volta definita la distanza intergeofonica utilizzata in fase di acquisizione (anche il "*sampling rate*" – il passo di campionamento utilizzato - è modificabile ma il valore letto e proposto è pressoché sempre corretto e lo si può modificare solo allorché sono noti problemi con il sismografo e ben consci di quanto si sta facendo) e la lunghezza della finestra da considerare (per questo ultimo parametro si possono provare vari valori ma il valore suggerito è tipicamente di 2 sec) basterà cliccare il pulsante "*spectra calculation*".

#### Attenzione

Analogamente a quanto considerabile per indagini attive (*MASW*), i limiti dello spettro da inserire nella finestra principale del *tool* di analisi dati *ReMi* dipende certamente dal sito. Se ci troviamo su terreni alluvionali lenti il limite superiore (che si può pensare come la massima V<sub>s</sub> che ci si attende) può essere fissato a circa 600 m/s, mentre se siamo su terreni rigidi (veloci) possiamo tenere il limite superiore a 1000-2000 m/s.

Il *software* divide il *dataset* in tante finestre di lunghezza pari a quella indicata dall'utente (il valore deve essere compreso tra 1 secondo e la lunghezza di ciascun singolo dataset).

In base al rapporto tra lunghezza del *dataset* e dimensioni della finestra potranno presentarsi diverse finestre quali quella sopra riportate.

L'utente deve selezionare lo spettro meglio definito utilizzando il bottoncino in basso a destra di ciascun spettro. Lo spettro scelto in una schermata verrà riproposto in alto a sinistra nella successiva schermata (che è determinata cliccando il pulsante "*next window or save selected spectrum*").

Quando saremo giunti all'ultima finestra, cliccando lo stesso pulsante si andrà a salvare lo spettro in quel momento selezionato.

Una volta salvato lo spettro che ci appare più chiaro (quindi utile alle analisi), accederemo al modulo "*Velocity spectra, Modeling, Picking*" tramite il pulsante "*Analyze saved spectrum*". Qui, nella sezione "#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)", caricheremo lo spettro appena salvato tramite il pulsante "upload (ReMi) spectrum".



Gli ultimi 3 grafici che compaiono nell'ultima finestra si riferiscono agli spettri medi (2 secondo le due *direttività* - destra e sinistra – l'ultimo totale). Se invece di scegliere uno spettro medio si sceglie uno spettro relativo ad un singolo evento (nella figura sopra si vede selezionato uno spettro relativo ad uno specifico evento e non uno spettro medio), nel momento in cui clicchiamo su "*next window or save selected spectrum*" (per salvare lo spettro selezionato) comparirà anche l'evento selezionato.

Nel caso sopra riportato vedremo quindi una finestra tipo la seguente:



Si noti (sulla sinistra) l'evento selezionato (il propagarsi delle onde di superficie).

Nel caso nella schermata principale della finestra del modulo *ReMi* sia stata l'opzione "*Show average spectra only*" si otterranno solamente i 3 spettri medi:



# Spettri di velocità finali (l'utente deve scegliere il *migliore*): sono anche mostrati i limiti di validità teorica (la dispersione è attendibile solo tra le due curve verdi.

#### Riguardo i limiti di validità

Quello inferiore (massima frequenza) è legato all'*aliasing spaziale* è dipende dalla spaziatura dei geofoni mentre il superiore (minima frequenza attendibile) dipende dalla lunghezza totale dell'array ma dipende molto anche dal sito e dai dati e deve quindi essere valutato con cognizione di causa caso per caso.

A questo punto le analisi continuano analogamente a quanto si fa con i dati *MASW* con un'unica distinzione che sintetizziamo con il seguente schema:



#### Criteri di modellazione/picking per le due tipologie di dati: sismica attiva o ReMi (passiva)

Se si considerano dati passivi ed elaborazione ReMi, nella maggior parte dei casi la dispersione reale si trova lungo il confine "inferiore" del segnale mostrato dallo spettro di velocità. Ma nel caso in cui le principali sorgenti di microtremore siano in linea con l'array lineare, è necessario utilizzare un divferso paradigma intepretativo. [vedi l'articolo di prossima pubblicazione "Determination of the V<sub>S</sub> profile in a "noisy" industrial site via active and passive data: the critical role of Love waves and the opportunities of multi-component group-velocity analysis"].

#### Una possibile procedura (non raccomandata/utile ma da alcuni ostinatamente perseguita)

Specie nel passato si pensava di fare cosa utile a combinare i dati attivi MASW e quelli passivi ReMi. Lo si faceva in questo modo:

- 1. determinare la curva di dispersione da *MASW* e salvare la curva piccata (file .cdp)
- 2. analizzare dati *ReMi* (salvare lo spettro più chiaro vedi procedura sopra riportata)
- 3. caricare la curva di picking dei dati MASW (pulsante "input curve" in alto a destra nella sezione "visualize curves")
- 4. procedere al *picking* dello spettro da analisi *ReMi* coerentemente con quello fatto per l'analisi *MASW* (lo scopo è individuare qualche ulteriore punto a frequenze più basse)

Nella cartella "Lamporecchio" (tra i dati forniti per il proprio autoapprendimento – vedi capitolo "**Demo e dati a corredo**") vi sono alcuni "antichi" dati utili per giocare con: - analisi MASW in onde di Rayleigh [componente Z] (Lamporecchio\_ZVF\_mo10\_dx1.sgy)

- analisi MASW in onde di Love (Lamporecchio\_THF\_mo10\_dx1.sgy)
- analisi ReMi (Lamporecchio\_ReMi\_dx2.sgy)

#### Qui di seguito due snapshot.

<u>Il primo</u> relativo all'analisi *MASW* (con curva piccata – dato il carattere dello spettro abbiamo piccato solamente sino a circa 6Hz, evidenziandosi a frequenze inferiori un andamento che fa pensare all'intervento anche del primo modo superiore); <u>il secondo</u> (sotto) relativo ad analisi *ReMi*: in sovrapposizione la curva di dispersione piccata sui dati *MASW*. Si noti come, rispetto allo spettro *ReMi*, questa si ponga ora sul "limite inferiore" del segnale (e non sul picco come avviene per dati *MASW*). Su questo spettro è ora possibile aggiungere un ulteriore punto a frequenza di circa 4Hz e velocità di fase di circa 320 m/s.



Dati MASW (componente Z): tracce, spettro di velocità e curva piccata



Spettro di velocità da dati ReMi: si noti come la curva piccata sui dati MASW (componente Z) si collochi lungo il bordo inferiore dello spettro ReMi (ancora da componente Z)

Nelle recenti release di *winMASW*<sup>®</sup>, le *performance* del modulo ReMi sono state **fortemente** rafforzate.



La normalizzazione delle ampiezze (frequenza per frequenza) rende ora possibile una migliore visualizzazione dell'energia anche alle alte frequenze.

Qui di seguito gli spettri medi determinati considerando tutte le finestre (metodo ReMi propriamente detto):



Da sinistra a destra: spettri medio considerando la propagazione da sinistra, da destra e spettro medio complessivo (va scelto quello in cui la dispersione è meglio rappresentata - in questo caso ad esempio lo spettro più chiaro è il primo da sinistra).

Qui di seguito invece lo spettro di velocità riferito ad un unico/specifico evento scelto dall'utente (questo non è l'approccio ReMi canonico e apre alcuni problemi illustrati durante i nostri incontri):


#### Assemblare spettri di velocità da sismica attiva e passiva (ReMi o ESAC)

Da ora è possibile assemblare assieme uno spettro da sismica attiva (MASW) e uno da passiva (sia *ReMi* che *ESAC/SPAC*) [funzione "merge"].

Chiaramente per avere uno spettro di velocità da ESAC devi possedere winMASW<sup>®</sup> Academy: tra i mille vantaggi c'è quello che, a differenza dello spettro derivante da analisi ReMi (che sconsigliamo sempre molto caldamente), con lo spettro ESAC si otterrà un segnale in continuazione rispetto quello MASW. Nel caso sotto riportato i dati sopra gli 8 Hz derivano da dati MASW mentre sotto gli 8 Hz da dati ESAC.

In winMASW® standard e Pro è chiaramente possibile assemblare solo spettri ReMi+MASW.





spettro assemblato (MASW + ESAC) in prospettiva 3D



Qui sotto invece il merging di un dataset MASW (componente ZVF) e ReMi.

Sotto i 6 Hz si nota il "salto" dovuto all'acquisizione di tipo *ReMi* [array lineare]. Nelle *ReMi* di deve seguire l'ambiguo confine tra "segnale" (coerenza) e "non-segnale" (bassa coerenza).

Circoscrivendo il discorso alla sismica passiva, non ci stancheremo mai di scoraggiare con forza l'utilizzo del metodo ReMi a favore della necessariamente migliore ESAC.

Basandosi su acquisizioni da svolgere con *array* bidimensionali (e un diverso *processing* dei dati), la metodologia ESAC risolve in buona misura le ambiguità legate al problema della direttività inevitabile con la matematica implicita nel metodo ReMi.

Si ricorda che il metodo SPAC è, di fatto, un caso speciale del più generale metodo ESAC. La "E" sta per *Extended*, cioè *generalizzato*: l'ESAC è la versione generalizzata dell'inutilmente più rigido e poco efficace SPAC. La SPAC impone infatti geometrie simmetriche (triangoli, pentagoni ecc.) non facilmente gestibili in campagna e, tipicamente, fornisce la dispersione in un *range* di frequenze minore rispetto l'ESAC.

NUOVO in winMASW	/ <sup>®</sup> Academy			
Analisi ReMi con dati n	on equi-spaziati			
	velocity spectrum: limits			
www.winmasw.com	frequency (Hz) 1 16 min max			
input file(s) Resample to 7 ms [Nyquist: about 71 Hz]	velocity (m/s) 140 555 min max			
data: H2_T_component.mat sampling: 10 ms [100 Hz]	Show average spectra only [recommended]			
record length: 107.2 min (6429.51 s)	7 window length (in seconds) for spectra calculation			
data parameters geophone distance (m) [regular]	minimum value (s): 1 maximum value (s): 6429.52 🗹 ESAC —			
0 39 45 1 31 offsets (m) in case of non-regularly spaced data				
0.01 sampling rate (s)	smooth and normalize			
show traces & spectra	1 number of channels for smoothing 8 smoothing (%) for the Spectral Ratio			
	compute			

A partire dalla release 2023-beta, la ReMi (cioè la tecnica *phase shift* con dati passivi) può essere eseguita anche considerando dati non equi-spaziati. Questo può essere utile per ottenere spettri di velocità di fase di buona qualità con un numero limitato di geofoni/canali che, per comuni *arrays* di alcune decine di metri, può essere da 6 a 12.

Per elaborare dati non equi-spaziati è necessario impostare a zero (0) la "*geophone distance*" e fissare gli *offset* corretti nel box "offsets" (vedi snapshot qui sopra).

Nel caso si decida di sfruttare questa opportunità, è necessario prestare attenzione alla corretta sequenza dei canali. Concretamente: potreste ad esempio disporre i vostri geofoni secondo una certa sequenza di distanze/offsets (ad esempio 0, 3, 5, 8, 12, 16, 25, 35, 50 m) ma, a seconda di come il vostro sistema di acquisizione considera la sequenza dei canali, la sequenza corretta da impostare potrebbe essere "0, 3, 5, 8, 12, 16, 25, 35, 50" o il contrario ("50, 35, 25, 16, 12, 8, 5, 3, 0"). Quindi, in sintesi, bisogna sempre verificare dove si trovi il primo canale (nel nostro esempio, a 0 o a 50 m?).

Ricordate sempre che è possibile **analizzare la dispersione di qualsiasi componente** (Z, T o R – quest'ultima è spesso la più problematica e quindi, in generale, si consiglia di considerare le componenti Z e R).

Il seguente esempio riguarda la dispersione della componente T (onde di Love) ottenuta considerando un *array* lineare di 6 canali non equi-spaziati.

Vengono mostrati i risultati ottenuti sia tramite ESAC che ReMi, in quanto il confronto tra le due tecniche può essere utile a comprendere alcuni interessanti fatti.

Si tratta di una situazione particolare poiché, in questo caso, il sito è dominato dai microtremori generati da un vicino impianto industriale e l'*array* è distribuito in modo da essere "in linea" con tale luogo/sito sorgente: se si considera la seguente figura e l'*array* mostrato nel grafico **b**) si deve immaginare la sorgente sul lato sinistro (si tratta dunque in un certo senso di una sorta di acquisizione di segnali relativi ad una "sorgente continua di microtremori" generati all'interno dell'importante impianto industriale in questione). La figura è tratta da un articolo di prossima pubblicazione su *Geophysics* (2024).



**Dati passivi della componente T (onde di Love):** a) dati di campagna; b) mappa della distribuzione dei canali (array lineare); c) distanze tra coppie di canali; d) funzioni di Bessel (ESAC) per tre frequenze campione (mostrate le curve sperimentali [linee blu] insieme a quelle associate alla velocità di propagazione identificata [linee rosse]); e) spettro delle velocità di fase (i colori di fondo riportano l'ESAC standard mentre le linee di *contour* in sovrapposizione si riferiscono alla stessa matrice frequenza-velocità dopo l'applicazione di un filtro *fk*); f) spettro delle velocità di fase ottenuto tramite ESAC dopo l'applicazione del filtro *fk* (lo stesso mostrato nel grafico precedente come linee di *contour*); g) spettri delle velocità di fase calcolati secondo la tecnica *phase shift* considerando le due possibili direzioni di propagazione (*direct* e *reverse*). Per tutti gli spettri di velocità vengono mostrate (linea verde e triangolo giallo) le rette associate alle massime lunghezze d'onda che si possono ritenere affidabili in base a Ohori et al. (2002). Il confronto tra spettri ESAC e ReMi (*direct* e *reverse*) indica con chiarezza la posizione dei microtremori dominanti.

#### Lavorare per la ricostruzione di sezioni 2D

In *winMASW*<sup>®</sup> *Academy*, allo scopo di velocizzare la modellazione di una serie di *shots/datasets* raccolti in sequenza (ad esempio per la ricostruzione di sezioni 2D secondo la tecnica *roll along*), nel pannello *single-component analysis* è stato aggiunto il pulsante/funzione "next shot". Vediamo come funziona il tutto.

#### Procedura

1) <u>preparare la cartella e i dati</u>. Salvare tutti i dati in una stessa cartella adottando la nomenclatura per la quale l'ultimo numero si riferisce allo *shot*, separato da un segno meno (-) rispetto le altre informazioni:

Esempi di nomi di *file* utili per il primo shot/dataset (vedi anche nostri libri Elsevier, Springer e Flaccovio):

#### ZVF\_dx2\_mo5\_dataset-1.sg2 THF\_dx3\_mo6-1.sg2 RVF\_dx2\_mo5\_shot-1.sg2

Si suggerisce di usare il segno *meno* ("-") unicamente alla fine, allo scopo di separare il nome file dal numero di shot (ad esempio: ZVF\_dx2\_mo5\_shot-1.sg2, ZVF\_dx2\_mo5\_shot-2.sg2, ZVF\_dx2\_mo5\_shot-3.sg2 e così via).

Sulla destra, qui sotto, si mostra una cartella con i primi 28 shots/datasets relativi alla componente RVF.





#### 2) caricare primo dataset, pulizia e computo spettro di velocità di fase:

In questo caso abbiamo caricato il dataset "17MEIL-1-ZVF50m-dx2.0-mo5-**30**.sg2" (cioè abbiamo cominciato dallo shot#30).

Come chiaro dallo *snapshot* sopra riportato, poiché i dati di campagna sono spesso "rumorosi", la qualità dello spettro di velocità computato dai dati grezzi può risultare non eccelsa.

È di conseguenza spesso utile pulire e "aggiustare" le tracce. È spesso utile/necessario rimuovere anche ad esempio il dato in eccesso (a volte si acquisiscono 2 secondi di dati ma il segnale utile è limitato ai primi 0.6 s). Per farlo è sufficiente fissare un certo valore di *"time to visualize"* (in basso a sinistra) e tagliare ("cut") il primo dataset. Al caricamento dei successivi *shots* (vedi oltre), verrà automaticamente applicato lo stesso valore di *"tempo massimo da visualizzare/mantenere"* (naturalmente è possibile anche modificare tale valore).

Nello seguente *snapshot* è presentato il dato e lo spettro di velocità puliti, avendo anche effettuato un non-necessario ri-campionamento del dato a 1 ms [i dati grezzi erano campionati a 0.5 ms], riducendo il tempo a 0.6 s e selezionando solo i dati relativi alle onde di Rayleigh.

Ora lo spettro di velocità è chiaramente molto più chiaro (vedi successiva figura).

#### capitolo 4 [Procedure e fondamenti] - pag. 38

#### winMASW®



3) modellare lo spettro di velocità e salvare il risultato (modello) (cliccare su "report DC" or "report SS") (per comprendere come effettuare il modelling attraverso l'approccio classico alle curve di dispersione o secondo l'approccio FVS, consulta il resto del manuale): il modello sarà salvato in una sotto-cartella il cui nome includerà il numero dello shot che stai analizzando. Se stai per esempio analizzando lo shot#30, i risultati andranno in una cartella chiamata "reportDC30" se hai optato per l'opzione "curve di dispersione modali" o "reportSS30" se stai lavorando secondo l'approccio FVS (molto più rigoroso e sofisticato).

Siamo ora pronti per analizzare il prossimo shot.

#### 4) caricare il successivo shot

Cliccando sul pulsante **"next shot"** (in alto a destra rispetto alle tracce sismiche visualizzate), si caricherà automaticamente il file con il numero di *shot* superiore (nel nostro esempio *17MEIL-1-ZVF50m-dx2.0-mo5-31.sg2*) e sarà anche automaticamente mostrato il relativo spettro di velocità di fase.

È ora possibile pulire e modellare il segnale analogamente a quanto fatto per lo *shot* precedente (il numero #30).

Alla fine si otterranno una serie di sottocartelle con le soluzioni di tutti gli shot considerati (model30.mod per lo shot#30, model31.mod per lo shot#31 e così via).

•	→ 2D_data v	5				
	Nome		Ultima modifica	Тіро	Dimensione	
	reportSS1		20/11/2019 17:54	Cartella di file		
	reportSS2		20/11/2019 18:11	Cartella di file		
	reportSS3		20/11/2019 18:11	Cartella di file		
	reportSS4		20/11/2019 18:10	Cartella di file		
	reportSS5		20/11/2019 18:11	Cartella di file		
	reportSS6		20/11/2019 18:11	Cartella di file		Esempio di modellazione di 8
	reportSS7		20/11/2019 18:12	Cartella di file		
	reportSS8		20/11/2019 18:12	Cartella di file		Shots Successivi.
	19TATE_2_ZVF_dx2.5_mo6.25-1.sg2		25/09/2019 14:26	File SG2	285 KB	
	19TATE_2_ZVF_dx2.5_mo6.25-2.sg2		25/09/2019 14:26	File SG2	285 KB	
	19TATE_2_ZVF_dx2.5_mo6.25-3.sg2		25/09/2019 14:26	File SG2	285 KB	
	19TATE_2_ZVF_dx2.5_mo6.25-4.sg2		25/09/2019 14:26	File SG2	285 KB	
	19TATE_2_ZVF_dx2.5_mo6.25-5.sg2		25/09/2019 14:26	File SG2	285 KB	
	19TATE_2_ZVF_dx2.5_mo6.25-6.sg2		25/09/2019 14:26	File SG2	285 KB	
	19TATE_2_ZVF_dx2.5_mo6.25-7.sg2		25/09/2019 14:26	File SG2	285 KB	
	19TATE_2_ZVF_dx2.5_mo6.25-8.sg2		25/09/2019 14:26	File SG2	285 KB	

Ora, per costruire la sezione 2D (con anche in caso la relativa topografia) si segua la procedura illustrata in <u>Appendice F: creazione di sezioni 2D</u>.

## II 2D ai massimi livelli: servizio di elaborazione ADAM-2D

Mentre per brevi sezioni 2D puoi sicuramente utilizzare gli strumenti che **winMASW**<sup>®</sup> **Academy** ti mette a disposizione, nel caso tu abbia bisogno di esplorare aree più ampie (secondo un'elaborazione avanzata dei dati), **ADAM-2D** è un servizio di elaborazione dati che offriamo per analizzare grandi quantità di dati e ricostruire la sezione V<sub>S</sub> 2D grazie all'analisi congiunta di dati multi-componente (tale approccio è l'unico in grado di fornire valori di V<sub>S</sub> affidabili e privi di ambiguità che inevitabilmente affliggono qualsiasi tipo di analisi basata su una sola componente).

#### ADAM-2D

#### Apparent Dispersion Analysis of Multi-component Data - 2D

Ecco alcune immagini di ciò che possiamo fare con i vostri dati (possibilmente multicomponente). Per capire *chi* è *cosa*, leggete attentamente il titolo di ogni figura [sono infatti utilizzati gli acronimi più comuni – *Common Offset Gather*, eccetera] e quanto indicato in ordinata e ascissa. In questo caso l'obiettivo era quello di verificare la presenza di un possibile paleo-canale (che si immetteva nel vicino lago) e che ora è completamente coperto da depositi alluvionali recenti (topografia piatta).

Esempio#1



Esempio di 8 shots successivi (componente Z) [vedi numero di shot nel suffisso di ciascun nome file] che possono essere invertiti congiuntamente alla componente R (radiale) o T (trasversale – onde di Love) in modo da ottenere un modello altamente vincolato.



www.winMASW.com - geophysical software & services



www.w<mark>inmas</mark>w.com







www.winmasw.com

www.winmasw.com







www.winMASW.com - geophysical software & services





# Servizio di acquisizione e/o elaborazione di dati multi-componente per la caratterizzazione 2D e 3D di vaste aree

Grazie alla sinergia con alcune aziende *partner* europee specializzate nell'ambito dell'acquisizione di dati sismici (dotate dell'equipaggiamento adatto per l'acquisizione di dati su vaste aree, vedi ad es. *land streamer*) e alle nostre procedure di analisi congiunta multi-componente FVS (*Full Velocity Spectrum*), *Eliosoft* è in grado di acquisire ed elaborare dati utili alla caratterizzazione geotecnica (2D e 3D) di vaste aree.



## Esempio#2

Qui un esempio di sezione da 160 m per la verifica delle variazioni laterali della profondità del *bedrock*.



Alcuni degli shots acquisiti (componente ZVF).



Sezione COG (offset 43.75 m)



Figura finale di sintesi in cui si può apprezzare la coerenza tra i risultati dell'analisi dell'inversione e gli spettri di ampiezza dei dati di campagna.



## Vuoi fare la stessa cosa per il tuo prossimo survey?

- Registra i tuoi dati (possibilmente multi-componente) usando la nomenclatura consigliata (e.g. ZVF\_dx5\_mo5\_point-1.sg2 & RVF\_dx5\_mo5\_point-1.sg2, ZVF\_dx5\_mo5\_point-2.sg2 & RVF\_dx5\_mo5\_point-2.sg2)
- 2. Durante l'acquisizione dei dati fai alcuni foto del sito
- 3. Forniscici le informazioni sulla stratigrafia del sito
- 4. Fornisci la posizione (e in caso la topografia) per ogni punto del survey svolto (punto centrale dell'array)

## winMASW@winMASW.com

## Analisi ESAC (versione Academy)

## Nella versione Pro solo per *array* lineari (quindi di fatto una sorta di ReMi con curva di dispersione *effettiva* già indicata)

Tale strumento è indicato per l'analisi di dati di sismica passiva raccolti secondo una geometria di acquisizione bidimensionale. I geofoni non sono cioè allineati in linea (come per le acquisizioni *ReMi*), bensì secondo geometrie bidimensionali quali ad esempio cerchi, croci ecc.



## Alcuni punti caratterizzanti

- la possibilità di analizzare dati di sismica passiva acquisiti con *array* bidimensionali (di forma arbitraria) consente di non aver problemi rispetto eventuali direttività del segnale (punto che invece caratterizza l'analisi *ReMi*).

- non esiste una geometria di acquisizione ideale; talvolta lo è quella circolare, ma considerato che tale aspetto non è generalizzabile e le difficoltà logistiche che si incontrerebbero in fase di acquisizione, le geometrie più "comoda" è quella a "L". È chiaramente indispensabile conoscere con precisione le coordinate *x*, *y* di ciascun canale (l'origine del sistema di riferimento può essere scelto in modo assolutamente libero, in modo tale da rendere il più semplice possibile la determinazione delle coordinate *x*, *y* di tutti i geofoni utilizzati).

- poiché le analisi svolte assumono la presenza di onde piane, è bene che le sorgenti di segnale non siano troppo vicine all'*array* (motivo per cui, oltretutto, si sconsiglia di utilizzare tali metodologie per l'analisi di dati di sismica attiva)

## Pannello principale del modulo ESAC (multi-componente)

Nella parte in alto a sinistra vi sono le finestre ove inserire coordinate (x, y) (le coordinate possono essere lette e salvate su un file ASCII esterno - vedi oltre formato .pos). Vi è anche una riga in cui è possibile indicare delle tracce che si desiderano escludere dalla analisi (ad esempio perché rumorose).



#### ATTENZIONE al corretto posizionamento dei canali

ATTENZIONE ad associare la posizione corretta dei canali/tracce!

Se non siete utilizzatori esperti del vostro sismografo ponete in atto tutte le possibili cautele per essere sicuri che alle tracce siano assegnate le corrette coordinate.

Per farlo è quindi bene fare prima di tutto un'acquisizione in attiva (poi utile anche ad analisi MASW e/o rifrazione) usando poi il terzo occhio (= competenze + esperienza) per stabilire con esattezza le effettive posizioni delle tracce.

Una controprova è anche data dall'andamento delle correlazioni spaziali che appaiono nel caso si selezioni l'opzione "verbose" (dettagli su questi aspetti saranno inviati a tutti gli utenti *winMASW*).

Il pannello ESAC consente di caricare dati multi-componente (Z, R e T) secondo varie modalità. Oltre a poter caricare le tre componenti separatamente (un file per la Z e altri files riferiti alla T e in caso anche R), nel caso abbiamo a che fare con dati acquisiti ad esempio con il **sistema SmartSolo che distribuiamo**, è anche possibile caricare un set di files riferiti a ciascuna terna come ad esempio 10 files che si riferiscono a 10 terne collocate su terreno secondo un certo **array- in genere lineare** (in modo tale da poter fare un po' di analisi **SuPPSALA e PS-MuCAA**).

Il pannello ESAC offre molti strumenti di analisi e *check* del dato (passando il cursore sopra un pulsante un breve help fornisce le indicazioni sul tipo di operazione svolta da quel pulsante) e in alto a destra vanno indicati i parametri da considerare per le analisi. L'opzione "*verbose*" porta alla visualizzazione di una serie di output "intermedi" utili per alcune valutazioni su qualità dei dati ecc. (vedi oltre).

## pulsante "clean data"

Tramite questo strumento è possibile pulire il dato in modo del tutto analogo a quanto fatto (ad esempio) per le analisi HVSR.

È necessario? Se il dataset è sufficientemente lungo in genere non lo è: l'analisi ESAC è piuttosto "robusta" e non richiede dati particolarmente puliti.

## pulsante "play & save audio data"

Con il pulsante "**play & save audio data**" è possibile "suonare" i vostri dati ESAC (se ne consiglia l'ascolto in cuffia).

Il file è automaticamente salvato nella cartella di lavoro con nome "audioESAC.flac".

## Analisi ESAC per problemi estremamente "near surface"

Associare l'ESAC (o, per essere più generali, la *sismica passiva*) alle basse frequenze significherebbe avere idee poco chiare sulla differenza tra una stanca e infondata consuetudine (burocratiche "linee guida") e il concetto di *metodologia* (che può essere applicata a svariati problemi in dipendente delle sue specificità).

Cosa fare se, per un qualsiasi motivo, abbiamo bisogno di indagare le porzioni più superficiali (quindi le frequenze più alte) con una sismica multi-offset passiva (stile ESAC) e stendimenti di, ad esempio, 3-8 m?

A dispetto di quanto si potrebbe pensare, la finestra di analisi va mantenuta di alcuni secondi (5-8 s) e non va ridotta.

In questi casi, usualmente non si deve considerare lo spettro *fk-filtered* ma quello "standard".

Esempi ed esercizi durante i nostri workshops e webinars.

## Acquisizione dati per ESAC (anche multi-componente)

- **tempi di registrazione**: non sono in genere necessari grandi numeri ma tutto dipende dal sito. Si consiglia di acquisire un minimo di 10 minuti (ma per sicurezza sarebbe bene portarsi a casa almeno qualcosina in più).

- **numero di canali**: anche qui inutile abbondare (portando ad un aumento dei tempi di elaborazione): 12 canali possono risultare sufficienti, ma naturalmente è sempre consigliabile stare in sicurezza (per una discussione ragionata su questo aspetto vedi libro "Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica" – Flaccovio 2019).

**Fondamentale** è la loro corretta disposizione. I geofoni devono essere disposti in maniera tale che alcuni siano vicini ma alcuni lontani.

I geofoni "vicini" consentiranno di analizzare le alte frequenze (parte superficiale), quelli distanti le basse (parte profonda).

I geofoni non devono quindi essere necessariamente equi-spaziati.

**Nel caso siamo interessati all'1D**, la geometria più semplice consiste nel disporre a "L" i geofoni: ad esempio 12 da una parte (spaziati ad esempio di 5 m) e 12 dall'altra (spaziati ad esempio di 3 m).





Completamente inutile fare acquisizioni ESAC se non abbiamo adeguati spazi (stendimenti ESAC con massima distanza di, ad esempio, 40 m sono del tutto inutili perché le basse frequenze non avranno le informazioni che stiamo cercando).

Poiché lo scopo di queste misure è definire la dispersione alle basse frequenze, è bene sottolineare che l'utilizzo di buoni geofoni (e di un sismografo altrettanto affidabile) è assolutamente necessario. Gli oramai noti geofoni da 4.5 Hz sono il minimo ma, costi a parte, sarebbero in alcuni (estremi) casi utili geofoni da 2 Hz.



Nel seguente snapshot, la dispersione ottenuta da analisi ESAC. La linea magenta è associata alla lunghezza d'onda maggiore che è possibile investigare. Questo valore dipende dal sito (quindi dai dati) e può essere modificato nella casella del gruppo "compute" (angolo in alto a destra del pannello ESAC) [valore di default 2.3 - per dettagli vedi Ohori et al. 2002].



La seguente figura mostra gli spettri di velocità di fase ottenuti considerando sia l'elaborazione ESAC ordinaria (standard) sia dopo un leggero filtraggio *f-k* (si veda il libro " Efficient joint analysis of surface waves and introduction to vibration analysis: beyond the clichés" 2020 Springer).



## Frequenza minima e massima durante le analisi ESAC/SPAC

Mentre la frequenza massima determinabile (linea verde ad alte frequenze - vedi figura) è chiaramente/oggettivamente determinata dall'*aliasing* spaziale, la frequenza minima che è possibile investigare è più difficile da fissare in termini universali ed oggettivi. La linea verde a bassa frequenza nella seguente figura si basa su Ohori et al. (2002) ("... *twice the largest sensor spacing as the maximum wavelength*."), ma va sottolineato che tale valore dipende dal sito e quindi dai dati. In generale, non possiamo identificare in termini oggettivi tale retta e durante l'analisi congiunta della dispersione e dell'HVSR [si vedano ad esempio i casi di studio a disposizione in questo manuale e nelle nostre pubblicazioni], alle basse/bassissime frequenze dovremmo dare più credito all'HVSR.



Analisi ESAC (ma anche SPAC): solo la porzione di curva all'interno delle due linee (verdi) indicate è pienamente affidabile, mentre a frequenze più alte e più basse è necessario valutare attentamente i dati, caso per caso.

## Acquisizione dati multi-componente (ESAC e interferometria)

1) **Considerare più di una componente** [verticale, radiale, trasversale – vedi immagini di seguito riportate] è sempre un'ottima cosa (vedi sezione introduttiva del manuale)





**Orientazione dei geofoni orizzontali** per l'acquisizione della **componente Trasversale** (T – onde di Love) e **Radiale** (R - componente radiale dell'onda di Rayleigh). Sono le stesse orientazione utilizzate anche per la sismica attiva.

2) **Arrays lineari** in linea con la/e principali sorgente/i di microtremore [vedi figure qui di seguito]. Con l'ESAC si può lavorare anche con *array* con geometria bidimensionale (ma nella stragrande maggioranza dei casi l'array lineare offre performance del tutto equivalenti e il vantaggio di poter ottenere sezioni 2D – vedi tecnica **SuPPSALA**) mentre per l'interferometria è più indicato un *array* lineare.

ged	ophone array	busy highway
	geophone array	busy highway

Disposizione/orientamento consigliato in caso di autostrade/strade trafficate



Disposizione/orientamento consigliato in caso di sorgenti dominanti di microtremori.

## Dati ESAC: array lineari o bidimensionali?

La prima cosa da comprendere è che l'ESAC è un'operazione matematica e non una *magia* migliore (o peggiore) di altre. È un'operazione grazie alla quale da dati (tendenzialmente passivi) si ricavano informazioni sulla dispersione delle onde di superficie.

Punto.

Null'altro.

**Ciò che si ottiene è uno spettro di velocità di fase**, <u>non</u> **un profilo V**s (quest'ultimo si ottiene "invertendo" in modo appropriato, le informazioni ricavate dallo spettro di velocità di fase ottenuto dall'ESAC).

Essendo una mera operazione matematica, l'ESAC può essere utilmente applicata anche su dati raccolti con *array* lineari che, certamente di più semplice gestione in campagna, soffrono molto (molto) poco di eventuali problemi di direttività dominante del segnale (lo mostra la teoria e lo conferma, naturalmente, la pratica – provare per credere).

Utilizzare array linear offre un grande vantaggio: permette di gestire in modo semplice l'acquisizione di dati multi-componente (orientando i geofoni come quando facciamo la sismica attiva Z, R e T) [vedi anche approccio PS-MuCAA].

## Esaminiamo qui due esempi (in questo caso riguardanti la componente Z)

#### dataset#1

Esaminiamo qui brevemente un *array* bidimensionale (con soli geofoni Z) lungo il quale sono anche disponibili 4 HVSR.

Se manteniamo tutti i canali (array 2D) lo spettro di velocità di fase che otteniamo è quello riportato nella figura qui sotto (mostrata sia la versione standard che quella dopo un filtraggio fk – vedi pertinente sezione del manuale e libro della Springer del 2020).



Se ora confrontiamo le 4 curve HVSR per i quattro punti riportati nella mappa sopra riportato notiamo che certamente sussistono variazioni laterali (lo spettro di velocità di fase è dunque uno spettro di velocità "medio").



Ora manteniamo solamente i canali lungo l'asso che potremmo definire NS (in altri termini rimuoviamo tutti i canali come mostrato nella mappa qui sotto) e calcoliamo il relativo spettro di velocità di fase.

Notiamo significative differenze nei valori delle velocità?

Molto semplicemente nulla di realmente significativo e le piccole variazioni possono essere in effetti imputabili alle variazioni laterali evidenziate dai 4 diversi HVSR (vedi sopra).



**Infine manteniamo solamente i canali lungo l'asso che potremmo definire EW** (vedi mappa qui sotto) e calcoliamo il relativo spettro di velocità di fase.

Notiamo significative differenze nei valori delle velocità?

Ancora nulla di realmente significativo e le piccole variazioni imputabili alle variazioni laterali evidenziate dai 4 diversi HVSR (precedentemente mostrati).





Grazie ai rapporti spettrali (*spectral ratios*) computati direttamente dal pannello ESAC (sezione in basso a sinistra), possiamo verificare the presso gli ultimi canali il segnale sia significativamente maggiore (prossimità di strada) ma, come abbiamo sopra visto, questo non ha portato a significative problematiche nel trattare gli array lineari al posto di quello 2D. Cosa significa? Che la matematica messa in gioco dall'ESAC è tale da funzionare bene anche in caso di stendimenti lineari. D'altronde sappiamo anche dalla letteratura "classica" che i microtremori con direzioni fuori asse non vadano ad incidere significativamente sulle velocità nel momento in cui usiamo un'adeguata matematica. La matematica dietro alle ReMi invece non funziona altrettanto bene e gli spettri di velocità di fase che si ottengono con quel metodo soffrono delle direttività e sono mal definiti (specie alle basse frequenze).

Quindi l'applicazione della matematica dell'ESAC a stendimenti lineari funziona egregiamente e ci apre la porta ad interessanti applicazioni (vedi sezione dedicata all'approccio **PS-MuCAA** nel pannello ESAC).



## dataset#2



in progress

## Gestione di dati SmartSolo nel pannello ESAC (winMASW<sup>®</sup> Academy)

I dati "continui" (passivi) registrati con il **sistema SmartSolo** possono essere facilmente caricati ed analizzati nel pannello ESAC. A questo proposito, ricordiamo che ELIOSOFT fornisce sia sistemi di acquisizione tradizionali (con cavo sismico) sia il sistema senza cavo SmartSolo (costituito da geofoni triassiali indipendenti sincronizzati via GPS). La procedura di acquisizione più semplice prevede l'utilizzo di un **array lineare** e nell'esempio illustrato qui di seguito (volto a mostrare la semplicità della procedura) utilizzeremo i dati registrati con solamente quattro sensori (nodi) **SmartSolo IGU-BD3C-5** (cioè geofoni a 3 componenti).

## Modalità di acquisizione

Quattro (4) geofoni SmartSolo IGU-BD3C-5 sono stati posizionati secondo un array lineare. Il "Nord" dei geofoni <u>non è orientato secondo il Nord geografico</u> ma in accordo alle componenti sismiche: il "Nord" dei geofoni è la direzione dell'array (in termini sismologici viene detta componente radiale) e la direzione EW è, necessariamente, la componente trasversale (che è perpendicolare alla componente radiale). Pertanto, non si parla di NS e EW ma di componenti radiale e trasversale, che sono rispettivamente la direzione dell'array e l'asse perpendicolare ad esso (a queste componenti si aggiunge chiaramente anche quella verticale).

Raccomandiamo vivamente di posizionare i geofoni utilizzando una semplice regola: il **numero di serie crescente** (cioè, nel primo punto si posiziona il geofono con il numero di serie minore e a seguire gli altri geofoni con il numero di serie via via crescente).



Qui un esempio di array con soli quattro (4) sensori **SmartSolo IGU-BD3C-5**. Ricorda che per poter analizzare facilmente le componenti *radiale* e *trasversale*, i geofoni sono posizionati con la direzione NS in asse con la direzione dell'array. In altre parole, il nostro "Nord relativo" (che coincide con la direzione dell'array e rappresenta la componente *radiale*) punta (più o meno) a N35W.



Quando si utilizza un array lineare (solitamente consigliato), il Nord del geofono SmartSolo non deve puntare al Nord geografico: deve coincidere con la direzione dell'array.

#### Conversione dei dati SmartSolo

Rientrati nel proprio ufficio/studio, con il software fornito assieme al **sistema SmartSolo**, salverete/convertirete i dati acquisiti con i vostri geofoni in una serie di file (uno per ogni geofono) con i dati delle tre componenti. Ciò significa che, nel nostro caso, otterremo quattro *file* (uno per ogni geofono) contenenti le tre componenti. Si otterranno dunque quattro file con questo tipo di nome:

.0001.2023.11.28.12.01.00.000.ENZ.seg2 .0001.2023.11.28.12.01.00.000.ENZ.seg2 .0001.2023.11.28.12.01.00.000.ENZ.seg2 .0001.2023.11.28.12.01.00.000.ENZ.seg2

La prima serie di cifre è il **numero di serie dei vostri geofoni che, ricordiamo, devono** essere posizionati seguendo il numero di serie crescente – si veda la mappa mostrata in precedenza: abbiamo iniziato dall'angolo in alto a sinistra [1 -590002381], poi ci siamo spostati al secondo punto [2 - 590002493], al terzo [3 -590002523] e infine al quarto [4 - 590002525].

Le ultime tre lettere del nome del file indicano che la prima traccia riguarda la componente EW (trasversale), la seconda la componente NS (radiale) e l'ultima quella verticale.

#### Caricare i dati nel pannello ESAC

Nell'angolo in alto a sinistra, un pulsante azzurro ("upload SmartSolo 3C data") consente di caricare tutti e quattro i *file* assieme. Il software *winMASW*® estrarrà le informazioni GPS dai *file* e creerà automaticamente tutte le mappe che si possono vedere in questa sezione (e altre ancora). Naturalmente, queste informazioni (Latitudine, Longitudine ed Altitudine) non sono di solito troppo precise, ma è possibile modificare

#### winMASW<sup>®</sup>

facilmente (manualmente/personalmente) le distanze. In termini pratici: le imprecisioni dovrebbero essere regolate/modificate personalmente **quando i sensori sono relativamente vicini tra loro**, ma possono essere ignorate per i geofoni molto distanti. Nel caso in esame abbiamo misurato (con una semplice cordella metrica) la distanza tra il sensore #1 [590002381] e #2 [590002493] e abbiamo modificato il valore in base alla misura effettiva (15 metri invece dei 13.6 deducibili dai dati GPS contenuti nei file sismici). **Per i geofoni molto distanti** [nel nostro caso i geofoni 590002523 e 590002525], nel caso in cui non sia possibile/semplice misurare le distanze effettive, possiamo lavorare con i valori estratti automaticamente dai dati GPS poiché l'errore è solitamente piuttosto contenuto da non creare alcun serio problema (un errore di 2 metri nel caso di due geofoni distanti 80 metri non deve causare eccessiva preoccupazione). Si consideri sempre che questo tipo di tecniche sono importanti soprattutto per ottenere informazioni su larga scala e in profondità (basse frequenze) deducibili solo quando stiamo lavorando con array molti grandi.



Nel corso della procedura, alcune finestre di dialogo vi aiuteranno a caricare correttamente i dati e ad ottenere esattamente ciò che desiderate.

**NOTA IMPORTANTE:** proprio alla fine della procedura di caricamento, il software vi chiederà se volete lavorare con un **array lineare "ottimizzato"** (cioè se volete ignorare e rimuovere le piccole deviazioni da una linea perfettamente retta) e, in caso di risposta positiva, dal *dataset* registrato secondo l'array mostrato sopra, otterrete un array come quello mostrato qui di seguito. Questo è utile nel caso in cui si tratti di analisi volte a ottenere un profilo 1D standard, ma è "obbligatorio" nel caso in cui si utilizzino più geofoni (minimo 20) e si voglia ottenere un profilo 2D delle Vs secondo le procedure **SuPPSALA** e **PS-MuCAA**.



Una volta che i dati sono stati correttamente caricati, si potrà **lavorare con tutte le tre componenti (sismologiche): verticale, radiale e trasversale**. Le prime due si riferiscono alle onde di Rayleigh, mentre la terza alle onde di Love (necessaria lo studio dell'articolo di Dal Moro & Mazanec, "Determination of the V<sub>S</sub> profile at a "noisy" industrial site via active and passive data: the critical role of Love waves and the opportunities of multi-component group velocity analysis").

## Analisi dei dati

In questo caso (stiamo considerando solamente quattro geofoni/nodi SmartSolo), possiamo facilmente ottenere sette "oggetti" (da analizzare poi congiuntamente): le quattro curve HVSR e la dispersione per le componenti Z, R e T

#### Le quattro curve HVSR ottenute dal pannello ESAC (modulo PS-MuCAA)

I quattro punti reali sono quelli contrassegnati dal quadrato magenta, mentre gli altri sono ottenuti interpolando i valori lungo l'intero *array* (con spaziatura costante).



#### x (m): y (m): z (m): 10 .. ~ epen working folder comput may unit 700 ck data shew inces spectra spectrograms rodus distribution & top main component channel map 700 60 fk filtere 650 40 600 (s/u) 500 20 450 400 400 (m) -20 350 -40 60 20 60 80 100 120 140 160 x (m) frequency (Hz) itanad v mooneos Kolsaacha Ineerio-aada v gabaad o dear saao speciultii shaxiimaa A portoda kuloodaace Y upland DC showl

## Dispersione della componente verticale delle onde di Rayleigh ("main component")

## Dispersione della componente radiale delle onde di Rayleigh ("H1 component")

Un breve commento allo spettro di dispersione di seguito mostrato. L'andamento intorno ai 3 Hz è dovuto al numero limitato di tracce utilizzate (solo quattro) [fenomeno di *aliasing*]. Si può attenuare/evitare questo problema utilizzando un numero maggiore di geofoni, anche se nella prossima *release* di *winMASW*® sarà presente un nuovo interessante strumento volto ad evitare questo tipo di artefatti (associati all'utilizzo di un numero limitato di sensori).



Un modo drastico per ridurre questo tipo di fenomeni è l'applicazione di un filtro *fk* piuttosto spinto. Lo si fa utilizzando un valore piuttosto piccolo del parametro utilizzato in fase di filtraggio *fk* (durante l'elaborazione ESAC si apre una finestra di dialogo nella quale inserire tale valore) ma questo dovrebbe essere fatto solo da parte di utenti esperti con un eccellente *know-how* in fatto di elaborazione del segnale. Il seguente *snapshot* mostra cosa si può ottenere con un filtro *fk* più spinto rispetto quello utilizzato per la precedente elaborazione (confronta con la figura precedente).



#### Dispersione della componente trasversale (onde di Love) ("H2 component")

Anche in questo caso l'*aliasing spaziale* è responsabile dell'andamento della curva attorno a 1.8 Hz (vedi commento sulla componente radiale) ma nell'insieme le informazioni riguardo la dispersione sono evidentemente di ottima qualità.



Non male, se consideriamo che abbiamo acquisito con soli quattro geofoni, vero?

#### Come valutare la qualità dei dati?

Analizzando le correlazioni spaziali (metodo ESAC) è possibile in qualche misura comprendere se i nostri dati sono di buona qualità o meno.

Qui di seguito due esempi: il primo mostra dati di buona qualità (i puntini blu sono le correlazioni determinate, in rosso i valori delle funzioni di *Bessel* che meglio fittano i dati).



Qui di seguito invece dei dati decisamente di minore qualità (gli stessi presentati nel precedente box), che dipende da un intreccio di diversi fattori: caratteristiche del sito in termini di stratigrafia e di rumore ambientale, lunghezza dello stendimento e disposizione dei geofoni, caratteristiche e settaggio dell'attrezzatura utilizzata (sismografo, cavo e geofoni).


#### Input dati e parametri di elaborazione ESAC

È possibile caricare più *dataset* assieme (come comunemente avviene per molti programmi in ambiente *Windows*, la multi-selezione si effettua utilizzando il tasto *ctrl*). Alcuni sismografi possono infatti registrare un numero limitato di dati per file. Effettuando in successione diverse acquisizioni si potrà ricavare una sufficiente quantità di dati (nella maggior parte dei casi 10 minuti dovrebbero risultare più che sufficienti).

- *resampling*: al fine di incrementare la velocità di calcolo è altamente consigliato consentire al software di effettuare il ri-campionamento dei dati letti (opzione attivata di *default*).

- i tempi di calcolo del metodo *fk* sono più alti rispetto il metodo ESAC ma dipendono fortemente dai parametri adottati. Si consiglia di analizzare i dati sino a frequenze non superiori ai 30-40 Hz (al di sopra dei quali – per il dettaglio ottenibile - è decisamente più consigliabile l'analisi di dati attivi). La minima frequenza utilizzabile dipende dal sito (sua "rumorosità" e struttura del sottosuolo) e dall'apertura massima dello stendimento.

 la posizione dei geofoni può essere inserita a mano e/o indicata in un file ASCII esterno (con estensione .pos) organizzato come nella seguente tabella (la prima riga deve riportare la dicitura "Xcoordinates Ycoordinates Z")

File ASCII (estensione .pos)							
Xcoordinates Ycoordinates Z (topography)							
-48	0	101					
-44	0	101.2					
-40	0	102					
-36	0	102.1					
-32	0	102					
-28	0	103					
-24	0	101					
-20	0	102					
-16	0	102					
-12	0	103					
-8	0	104					
-4	0	104.4					
0	3	105					
0	6	105					
0	9	105.5					
0	12	106					
0	15	106.6					
0	18	107					
0	21	107.3					
0	24	108					
0	27	108.4					
0	30	109					
0	33	109					

- di *default* vengono forniti e salvati solamente la curva di dispersione ESAC e il relativo "pseudo spettro" (vedi box "outputs"). In caso venga attivata anche l'opzione "FK" si aggiungerà anche la curva di dispersione determinata dall'analisi FK.

Infine, se verrà attivata anche l'opzione "verbose" verranno mostrati una serie di dati "intermedi" quali le correlazioni misurate, i grafici  $k_x$ - $k_y$  eccetera.

# Massima e minima frequenza in un'analisi ESAC

Mentre la *massima* frequenza determinabile (linea verde alta-frequenza – vedi seguente figura) è chiaramente determinata dall'*aliasing spaziale*, la frequenza minima è più difficile da determinare in modo oggettivo. La linea verde a bassa frequenza mostrata nella seguente figura si basa su Ohori et al (2002) ("...twice the largest sensor spacing as the maximum wavelength.") ma va sottolineato che tale valore varia a seconda del sito oggetto di indagine e dai dati. Quindi non possiamo determinare oggettivamente la frequenza minima affidabile e durante l'analisi congiunta della dispersione e dell'HVSR [vedi ad esempio i casi studio disponibili sul nostro sito web e nelle nostre pubblicazioni], nella gamma di frequenze molto basse, dovremmo spesso dare un po' più di peso all'HVSR.



Analisi ESAC/SPAC: solo la curva all'interno delle due linee verdi mostrate è del tutto attendibile, mentre alle frequenze più alte e più basse bisogna valutare attentamente e consapevolmente i dati caso per caso.

# Spettro di velocità ReMi e curva di dispersione da analisi ESAC

Nel pannello *ReMi* (all'interno del quale è possibile analizzare dati acquisiti con *array* lineari) è anche possibile attivare l'opzione ESAC. Facendolo, otterremo qualcosa analogo a quanto presentato in questo box (spettri ReMi con, sovrapposta, la curva di dispersione derivante da analisi ESAC - <u>evidentemente svolte considerando un *array* lineare).</u>

#### Dataset "Purgessimo" (fornito a corredo del software winMASW).

Analizzando solamente un paio di *files* (per un totale di 2 minuti), si ottengono dei dati che pongono in evidenza un chiaro salto di modo a circa 9 Hz (cosa non molto comune in dati di sismica passiva ma assolutamente utile).



Analizzando invece l'intero dataset ReMi (oltre 10 minuti di dat) otteniamo quanto segue:



In entrambi i casi la più bassa frequenza di fatto utilmente identificata dalle curve ESAC è pari a circa 3.5Hz (al di sotto di questa la curva scende perdendo di senso). È altamente probabile che adottando *array* non-lineare (cioè bidimensionale) tale frequenza scenderebbe ulteriormente consentendo di scendere in profondità con le nostre analisi.

Attenzione: quanto sopra mostrato non può ne intende essere generalizzato (quasi nulla lo è). Lo scopo di tali grafici è quello di "farsi l'occhio".

# Esempio di utilizzo congiunto MASW-ESAC

Le analisi ESAC sono utili a definire le basse frequenze, ma non risultano altrettanto utili alle alte (ove invece le analisi si sismica attiva si rivelano decisamente superiori).

Qui di seguito un esempio di spettro di velocità da analisi MASW sopra il quale è sovrapposta (in magenta) la curva di dispersione ricavata da analisi ESAC.

Se lo spettro MASW risulta di fatto utile solo fino a 7 Hz (ma definisce molto bene i modi superiori presenti alle alte frequenze), la curva di dispersione da analisi ESAC consente di scendere sino a circa 5 Hz (la limitata dimensione dello stendimento non consente di scendere ulteriormente). Si ricorda che per sovrapporre una curva di dispersione (precedentemente salvata nel formato .cdp adottato da *winMASW*<sup>®</sup>) è sufficiente cliccare il pulsante "input curve" presente in alto a destra della schermata.



Sarà a questo punto possibile modellare interattivamente o fare un *picking*, considerando tanto dell'analisi MASW (lo spettro di velocità) che ESAC (la curva di dispersione magenta).

Naturalmente, come per qualsiasi tecnica non è mai bene attendersi miracoli e la qualità delle analisi dipendono *in primis* dall'esperienza e dalla preparazione dell'utente.

# Importante

La curva di dispersione ottenuta tramite indagine ESAC è da considerare come la *curva effettiva/apparente* che si può/deve invertire attivando appunto la modalità "*effective*".

Per comprendere bene cosa sia una curva effettiva (rispetto ad una modale) vieni ad una delle nostre giornate formative o vedi il libro "Surface Wave Analysis for Near Surface Applications" o il volume della Springer del 2020 ("Efficient Joint Analysis of Surface Waves and Introduction to Vibration Analysis: Beyond the Clichés").

In italiano sono tre i **libri che riguardano questi argomenti e pubblicati per la Dario Flaccovio Editore** nel corso degli anni (2012, 2019, 2023).

# Analisi multi-componente di dati passivi (pannello ESAC): tecnica PS-MuCAA

**PS-MuCAA** è l'acronimo di **P**assive **S**eismics – **Mu**lti-**C**omponent **A**mplitude **A**nalysis, un metodo per considerare dati passivi multi-componente e ricavare informazioni sulla distribuzione delle V<sub>S</sub> lungo il profilo considerato (identificando anche possibili variazioni laterali 2D).

Nel caso si acquisiscano e poi carichino dati multi-componenti per analisi PS-MuCAA, ricorda di utilizzare sempre la stessa **unità di misura** (e.g. mm/s, m/s, cm/s o counts) per tutte le componenti.

#### Molti esempi e dettagli teorici e pratici sono illustrati nel libro del 2023 "Lezioni di Sismica" (Dario Flaccovio Editore).

# Acquisizione dati

**Tempo di registrazione:** tipicamente 10-20 minuti sono sufficienti, a seconda delle caratteristiche del sito e degli obiettivi specifici dell'indagine.

I dati devono essere registrati in modo classico: i dati passivi multi-componente vengono registrati lungo un array lineare.

Consideriamo un *array* di 21 o 24 canali per l'acquisizione di dati passivi per tutte e tre le componenti o, in mancanza di tempo, solo per le componenti Z e T.

Come registrare dati passivi multi-componente?

# Alcune possibili (comuni) opzioni:

#### opzione#1

Se si utilizza un sistema di acquisizione "classico" (sismografo e cavi sismici), è possibile registrare le componenti Z e T (ed eventualmente R) in successive acquisizioni:

1) si piantano sia i geofoni Z che quelli H (inizialmente in assetto T);



3) si collegano prima i geofoni verticali e si registrano *n* minuti di dati passivi (la lunghezza dipende dal sito e dagli obiettivi);

 si scollegano i geofoni Z e si collegano i geofoni orizzontali per registrare la componente T. È importante far passare il minimo tempo possibile tra le registrazioni delle varie componenti (per questo è bene piantare subito entrambi i geofoni – vedi foto qui presentate in successione);

[puoi infine ruotare i geofoni e registrare anche la componente R, che tuttavia è in genere la più problematica quindi la meno rilevante])



Acquisizione della componente Z considerando un sistema classico (sismografo + cavi sismici): quando pianti i tuoi geofoni Z, dovresti verificare attentamente che il geofono sia realmente verticale (basta una semplice ed economica bolla).



Array lineare per l'analisi della dispersione e dell'ampiezza al fine di identificare possibili variazioni laterali (tecniche **PS-MuCAA** e **2D-SuPPSALA**): possiamo vedere un cavo sismico (sistema di acquisizione classico) e geofoni orizzontali e verticali disposti in modo da acquisire dati multi-componente. Collegare prima i geofoni Z (e registrare i dati passivi) e poi i geofoni orizzontali (per l'acquisizione della componente T – puoi quindi registrare anche la componente R semplicemente ruotando i geofoni orizzontali di 180°).

#### opzione#2

In caso abbiamo a disposizione due sismografi (uguali) da 24 canali cadauno, possiamo stendere i due sistemi parallelamente e, **in contemporanea**, registrare (con gli stessi identici parametri) le componenti Z e T (e poi in caso anche R). Naturalmente dovremo fare di tutto per fare partire nello stesso istante le registrazioni ma qualche eventuale secondo (sino a circa un paio) di "sfasamento" tra l'inizio delle registrazioni non sarà un vero problema e potremo considerare di fatto i dati come sincroni.

#### opzione#3 [sistemi privi di cavo]

Se si utilizza un sistema senza cavo costituito di sensori a 3 componenti è possibile registrare contemporaneamente tutte e tre le componenti necessarie ad effettuare l'analisi multi-componente finalizzata all'analisi della dispersione e dell'ampiezza.



Acquisizione di dati a 3 componenti utilizzando un sistema wireless composto da più (in questo caso 12) geofoni a 3 componenti (ogni *case* è un geofono a 3 componenti). Primo piano della foto precedente: a destra un geofono verticale (Z) e, a sinistra, un geofono orizzontale ruotato in modo da acquisire la componente T (trasversale). Ruotando il geofono orizzontale di 90° si acquisisce poi la componente radiale (R).

Oltre che di *sistemi di acquisizione* "classici" (con cavo), ELIOSOFT è distributore anche del sistema *SmartSolo* e, dalle *release* 2023, i nostri software massimizzano tutto quello che è possibile ricavare in modo semplice ed efficace grazie ad una perfetta sinergia tra *hardware* e *software* 





Acquisizione HS con due sole terne *SmartSolo*. In un colpo solo si ottengono i dati della dispersione su tutte le componenti e due HVSR. Con la stessa strumentazione è poi possibile svolgere efficacemente analisi vibrazionali di vario tipo (ad esempio anche su ponti) e valutazioni della reale amplificazione dei microtremori (tecniche SSR/SSRn) [vedi software *HoliSurface*].

# Acquisizione dati: alcune note

#### Lunghezza della registrazione

Seguire i soliti ragionamenti inerenti alla raccolta di dati per l'analisi *della dispersione* da dati passivi (dipende dagli obiettivi dell'indagine e dalle caratteristiche del sito). Per le comuni applicazioni 20 minuti sono in genere sufficienti mentre nel caso si stiano investigando stendimenti molto lunghi in siti rumorosi i tempi di registrazione possono essere notevolmente maggiori (per tentare di minimizzare possibili disturbi industriali si scelga con cura il giorno e gli orari).

#### Geometria (valore del dx)

Nel caso si sospetti (o si sappia) che lungo il profilo sono presenti diverse tipologie di terreno, *dx* può essere variabile. A causa dell'*aliasing spaziale*, deve essere relativamente più piccolo sui sedimenti più soffici (lenti) e relativamente maggiore sui materiali più rigidi (veloci).

**PS-MuCAA & 2D-SuPPSALA: esempio di acquisizione a** *dx* variabile. Per rappresentare la struttura 2D di questa piccola valle si sono considerati 2 *array* [in giallo e verde] in modo da gestire correttamente i diversi terreni (la parte centrale dell'area è dominata da torbe). Ogni punto rappresenta un sensore a 3 componenti.



Courtesy of *roXplore.ch* 

# Profili estesi

Nel caso in cui il profilo da indagare sia più lungo del nostro array, una volta registrati i dati considerando il primo array, possiamo spostare l'intero array nella posizione successiva (vedi *array* #1, #2 e #3 nelle prossime due figure).

**Esempio:** vogliamo investigare un profilo di 248 m con un sistema di acquisizione a 21 canali.

In questo caso possiamo considerare tre (3) array successivi (21 canali ciascuno) con dx (spaziatura dei geofoni) pari a 4 m (si vedano le due figure seguenti).





Ci ritroveremo quindi con tre serie di dati da utilizzare correttamente per le analisi. Deve essere chiaro che l'<u>analisi della dispersione</u> e l'<u>analisi delle ampiezze</u> è totalmente diversa.

# Analisi PS-MuCAA

# step#1 – analisi dell'ampiezza (finalizzata principalmente alla verifica di possibili variazioni laterali)

**Fatto fondamentale** nel caso si considerino i dati registrati con array diversi (vedi figure nella pagina precedente): se registriamo i dati nelle stesse ore (senza variazione delle condizioni meteorologiche) e consideriamo delle serie temporali sufficientemente lunghe e puliamo i dati in modo da mantenere solo il campo del microtremore di fondo (rimozione di transienti di grande ampiezza), è possibile confrontare l'ampiezza dei diversi array che stiamo considerando. Ciò significa che tutti i possibili rapporti spettrali sono significativi anche se consideriamo i dati raccolti lungo gli array# 1, # 2 e # 3. Naturalmente, nel caso in cui registriamo i dati dell'array# 1 al mattino presto durante una giornata di sole senza vento e dell'array# 3 nel tardo pomeriggio quando il cielo è ora nuvoloso e il vento soffia, rischiamo di non farlo essere in grado di confrontare le ampiezze (e probabilmente i rapporti spettrali) dei due *array*.

**Nota importante** nel caso si considerino i dati registrati con diversi *array* (vedi schema riportato nelle figure della precedente pagina): se registriamo i dati durante le stesse ore (senza cambiamenti delle condizioni meteorologiche e senza che intervengano ad esempio lavori di carattere agricolo/industriale) e consideriamo serie temporali sufficientemente lunghe e puliamo i dati in modo da mantenere solo i microtremori di fondo (rimozione degli eventi transitori di grande ampiezza), l'ampiezza dei diversi *array* che stiamo considerando potrà essere "confrontata". Ciò significa che tutti i possibili rapporti spettrali computati per l'array#1, #2 e #3 saranno significativi e quindi utilizzabili per l'intera lunghezza parti all'insieme dei tre *array*.

Naturalmente, nel caso in cui registriamo i dati dell'array#1 al mattino presto durante una giornata di sole senza vento e l'array#3 nel tardo pomeriggio quando il cielo è ormai nuvoloso e c'è vento, rischiamo di non poter confrontare le ampiezze (e probabilmente i rapporti spettrali) dei due array. Lo stesso si verifica se durante le acquisizioni partono (ad esempio) dei lavori agricoli/industriali che vanno a modificare l'ampiezza dei campo dei microtremori.

È dunque importante svolgere le acquisizioni in modo accurato e veloce. Un modo per evitare inutili perdite di tempo tra un'acquisizione e l'altra nel caso stiamo utilizzano un "normale" sistema di acquisizione con *n* (esempio 24) geofoni a componente singola è di **piantare assieme i geofoni verticali e quelli orizzontali** (si consiglia di acquisire innanzitutto al componente T) collegando al cavo sismico innanzitutto gli orizzontali. Una volta acquisito il primo *dataset* (ad esempio per la componente T) si collegheranno i verticali (Z) [precedentemente già piantati]. In questo modo il lasso di tempo tra la prima è la seconda acquisizione sarà ridotto al minimo.

#### Frequenza/e di Gauss

Se, ad esempio, si desiderano analizzare le ampiezze delle tracce anche a specifiche frequenze (e non solamente sull'intero spettro), è possibile inserire tali valori e il software mostrerà (e salverà) i grafici delle ampiezze (in funzione del canale) per entrambe le frequenze. È possibile inserire più di un valore (ottenendo i rispettivi risultati per ciascuna delle frequenze indicate.

**Cleaning threshold:** valore moltiplicato per le deviazioni standard delle tracce in modo da fissare l'ampiezza massima consentita (i dati di ampiezza maggiore vengono rimossi).

Moving mean: manuale in progress

H/Z sensitivity ratio: in progress

Vs media: in progress

Analisi della dispersione per tutte le componenti: in progress

#### step#2 - analisi della dispersione (volta a definire i profili $V_S$ dove le condizioni del sottosuolo sono omogenee - vedi step#1)

#### Nota fondamentale

Nel caso in cui consideriamo i dati (passivi) registrati da diversi *array* in successione (vedi figure nelle pagine precedenti) non è chiaramente possibile analizzare la dispersione su tracce provenienti da diverse acquisizioni. L'analisi della dispersione richiede infatti di considerare dati sincroni, Possiamo analizzare la dispersione lungo i tre *array* separatamente.

<u>D'altra parte</u>, se non sono intervenute significative variazioni nel campo dei microtremori le ampiezze (medie) e i vari *spectral ratios* potranno essere analizzati tutti assieme (non è richiesta la sincronicità dei dati).



**Esempio di pseudo sezione 2D ottenuta utilizzando la procedura sopra descritta:** l'area blu riguarda un canale di torba (Vs di circa 50 m/s) mentre sulla destra, in rosso, sussiste una paleo duna sabbiosa (Vs di circa 250 m/s che costituisce anche la base sulla quale poggia il canale torboso). Vedi anche l'Appendice "elaborazione batch di dati HVSR multipli" (il secondo esempio riportato). Outputs (work-in-progress):

1) Nel caso abbiate caricato solo la componente Z come principale ("main component") ...

...

2) Nel caso abbiate caricato le componenti Z e H1 otterrete i dati H1VSR in termini di immagini e le curve H1VSR.hv (H1VSR1.hv, H1VSR2.hv, H1VSR2.hv etc.)

• • •

3) Nel caso abbiate caricato tutte le tre componenti (Z, H1 e H2) otterrete i dati H1VSR in termini di immagini e le curve H1VSR.hv (H1VSR1.hv, H1VSR2.hv, H1VSR2.hv ecc.)

•••

# Sezioni 2D delle Vs: lo strumento 2D-SuPPSALA

# Vi sono almeno tre possibili approcci per il 2D:

1) tomografia sismica in onde di corpo (P e/o SH)

2) onde di superficie: tecnica SuPPSALA

3) tecniche *HoliSurface* o *MASW* unitamente al *tool* di creazione sezioni 2D [n pratica si fan tanti HS o "MASW" (e desiderando scendere in profondità anche HV) in successione, ogni punto viene risolto indipendentemente e con il tool disponibile in *HS* e *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* si mettono assieme i vari modelli Vs identificati punto per punto.

Nei primi due casi 12 canali non consentono un lavoro serio e si raccomanda di lavorare con 24 canali (o anche oltre).

**Con la tomografia in onde di corpo** si può lavorare sia con le SH che con le P (ma attenzione all'acqua e al fatto che la profondità investigata è limitata), **mentre con le onde di superficie** si van a definire unicamente le V<sub>S</sub> (senza problemi di acqua e con profondità investigate decisamente maggiori nel momento in cui si lavora anche con l'HVSR).

Chiaramente non esiste *il* miglior metodo in assoluto e tutto dipende dalle caratteristiche del sito e dagli obiettivi.

# L'acronimo **2D-SuPPSALA** sta per **2D Su**bsurface **P**rofiling via **P**assive **Su**face wave data Analysis from Linear Array.

Questo significa che l'obiettivo è quello di definire una sezione 2D delle Vs a partire da dati passive raccolti lungo un *array* lineare. In qualche modo, dunque, si tratta di una tecnica che mira a sostituire o affiancare la rifrazione in onde SH.

# Acquisizione dati: alcune raccomandazioni

1) La qualità dei dati è un fatto cruciale: i **geofoni** usati devono essere **adeguatamente testati per verificare che le curve di risposta e la polarità** siano uguali per tutti.

2) **Massima cura nel piantare i geofoni**: verificare l'accoppiamento e la corretta verticalità/orizzontalità (utilizzando una banale bolla).

3) Durante l'acquisizione dei dati, si consiglia di utilizzare il **software HS-QC** per verificare la qualità del dato (vedi pertinente sezione del manuale *winMASW*<sup>®</sup>/HoliSurface<sup>®</sup>).

4) Utilizzare, in generale, la stessa **spaziatura tra i geofoni** (*dx*), ma nel caso in cui si sospetti già che in una certa area/punto si verifichi una brusca variazione laterale, in tale area è possibile utilizzare un *dx* più piccolo.

5) In generale, si consiglia vivamente di considerare la **componente T** (ossia le onde di Love). Nel caso in cui si vogliano sfruttare tutti i vantaggi della procedura **PS-MuCAA** (cioè, tra l'altro, il calcolo delle curve HVSR per ogni punto dell'array), è possibile registrare anche la componente Z (verticale), ma in generale si raccomanda vivamente di registrare sempre (anche) la componente T.

6) Analogamente a quanto si dovrebbe fare per la rifrazione, anche qui, se l'obiettivo è lavorare per la ricostruzione di una sezione 2D delle V<sub>S</sub>, **12 canali non sono adeguati e si dovrebbe lavorare con 24 (e oltre)**.

7) si dispongano i canali lungo un *array lineare* secondo la stessa semplice regola della scrittura/lettura della lingua italiana: primo canale a sinistra e via via lungo le x (muovendoci verso destra).



8) si evitino dati "ibridi" (dataset passivi con mazzate qua e là): si lavori con dati puramente passivi considerando giornate e orari utili ad evitare componenti umane/industriali che possano apportare problemi alle analisi.

9) registrare dati sufficientemente lunghi in proporzione ad obiettivi, lunghezze dello stendimento e caratteristiche del sito) [evitare cioè di acquisire pochi minuti di dati].

# Elaborazioni

Sono svariate le possibili strade percorribili e qui di seguito ne mostreremo solo alcune (aggiornando il proprio bagaglio teorico l'utente potrà poi sbizzarrirsi in base alle infinte specifiche esigenze dettate dal lavoro da svolgere). Seguire corsi approfonditi e specifici in materia è chiaramente "raccomandato" (eufemismo).

#### ESEMPIO#1: ANALISI DI UNA SOLA COMPONENTE

Ricordate che è sempre <u>fortemente</u> raccomandato l'utilizzo della componente T (onde di Love). Analizzando unicamente la dispersione (di una componente), il tipo di risultati ottenibili (sezione 2D delle V<sub>s</sub>) è per molti versi paragonabile a quello che si otterrebbero con una tomografia a rifrazione in onde SH.

Per l'esempio riportato qui di seguito (che ha meri fini "educativi" sono utilizzati unicamente 12 canali ma per seri lavori professionali mirati al 2D si raccomanda sempre di lavorare con 24 (o oltre). Lo stesso vale per la sismica a rifrazione.

#### Step#1 - procedura per la determinazione delle proprietà dispersive

Per farlo, una volta caricati i dati (avendo precedentemente rimosso tutte le tracce che per qualsiasi motivo non vanno considerate), si devono identificare i parametri più appropriati per il tipo di siti e di dati che abbiamo a disposizione. Trattandosi di un'operazione che richiede di mettere assieme e combinare molti aspetti, non è possibile sintetizzare qui il tutto. È chiaro che la frequenza minima non potrà essere quella che si utilizza nell'analisi dell'intero array in quando la procedura **SuPPSALA** consiste nel considerare subset di array (chiaramente dalla lunghezza molto minore – in genere si prendono subset di 6-8 canali a seconda del sito e degli obiettivi).

Lanciando la procedura con il pulsante 2D-SuPPSALA, ci verranno chieste alcune cose (leggere con cura e fare le scelte opportune) di cui quella più importante è certamente il numero di canali da utilizzare per i subset di dati/array.

Una volta forniti i pochi parametri richiesti, la procedura continuerà in automatico fornendoci alla fine una serie di *outputs* tra qui, quelli finali, sono qui di seguito riportati (si leggano con cura i grafici). Tale procedura non richiede un particolare sforzo di calcolo.

Chiaramente, i valori della dispersione ai bordi non sono determinabili e sono dunque "copiati" dalle curve più prossime (si consideri con cura i valori delle posizioni *in-line* nelle due figure di seguito riportate).



Quello che si può realmente fare (la quantità di curve è interpolata al fine di rendere più leggibile il trend generale).



Estensione della dispersione ai bordi per coprire l'intero stendimento: sono queste le vere curve che si vanno ad invertire.

#### Step#2 - Inversione delle curve di dispersione precedentemente determinate

Qui il carico computazione è certamente superiore (vedi sezione dedicata ai *requisiti di sistema*) ma la procedura estremamente semplice.

Dal pannello "**single-observable inversion [dispersion data; also 2D-SuPPSALA]**" si carica il file *2DSuPPSALA\_dispersion\_curves.mat* salvato nella sotto-cartella "array\_dispersion\_curves" durante l'analisi SuPPSALA. A questo punto si fissano i parametri di inversione più appropriati (necessario partire da un modello di massima precedentemente identificato attraverso una modellazione diretta) e si lancia l'inversione al termine della quale si otterranno una serie di immagini tra le quali le due seguenti:



I quadratini magenta nella sezione finale 2D delle Vs indicano il range all'interno del quale la soluzione è "reale" (mancando di fatto dati, al di fuori di tali limiti la soluzione è solo per così dire interpolata).



Valori delle V<sub>s</sub> equivalente computate sino alla profondità di 9 m: si noti l'incremento delle Vs medie legato all'innalzamento del contatto tra i sedimenti di carattere torboso superficiali e i "normali" sedimenti presenti più in profondità. Si nota la generale congruenza tra spettri di velocità di fase precedentemente mostrati (e invertiti) e risultato finale qui mostrato.

In aggiunta alle varie immagini prodotte ed automaticamente salvate nella cartella di output SuPPSALA, è anche prodotto un file *Excel* che riporta la matrice dei valori di Vs interpolati verticalmente con una distanza *dz* indicata dal valore riportato nel nome stesso del file: *smoothresampledVSsection\_dz0.3m.xls* significa sezione 2D delle Vs con valori interpolati verticalmente ogni 0.3 m.

#### ESEMPIO#2: ANALISI A COMPONENTE SINGOLA (T COMPONENT - ONDE DI LOVE)

Per questo sito (studiato dal Dott. *Enrico Bordini* - Spoleto) si sono acquisiti i dati passivi con un array lineare (spaziatura 3 m) per le component T e Z (24 canali, 15 minuti per la T e altrettanto per la Z).

Vediamo qui l'elaborazione più semplice possibile, utile ad investigare la parte più superficiale: analisi SuPPSALA delle sole onde di Love.

#### Step#1 - determinazione delle proprietà dispersive (delle onde di Love)

Una volta compresi quali sono i limiti ragionevoli/validi per le velocità e le frequenze in gioco (cioè per le caratteristiche del sito), si clicca sul **pulsante 2D-SuPPSALA**. Tra i pochi parametri da scegliere/fissare, quello più importante è il numero di canali per le sotto-sezioni (in questo caso abbiamo scelto 8 canali, quindi un sub-array di 21 m). I dati della dispersione lungo il profilo risultano i seguenti (durante l'elaborazione è passibile veriere apple dei solori o frequenze e velocità de ripertere pel grafice e teli velori.

possibile variare scala dei colori e frequenze e velocità da riportare nel grafico – tali valori devono essere scelti sulla base dell'aliasing spaziale [linee verdi] e del limite inferiore di validità delle curve di dispersione [linee magenta]):







È chiarissima la presenza di una struttura sepolta "simmetrica" che l'inversione 2D (**STEP#2**) permetterà di caratterizzare appieno.

# Step#2 - Inversione delle curve di dispersione precedentemente determinate

Dal pannello centrale di winMASW Academy, apriamo il pannello di inversione automatica nel caso di dati a singola componente (**"single-observable inversion [dispersion data;** also 2D-SuPPSALA]").

Ora andiamo a caricare il file "2DSuPPSALA\_dispersion\_curves.mat" (o simile nome) creato e salvato automaticamente nella sotto-cartella "2DSuPPSALA\_dispersion\_H2component/array\_dispersion\_curves" all'interno della cartella di lavoro utilizzata durante lo step#1.

In tale file sono presenti tutte le curve di dispersione computate (e mostrate durante lo step#1).

Ora si imposteranno i parametri di inversione (seguendo i soliti criteri).

Il modello di partenza deve essere stato identificato preliminarmente attraverso l'usuale modellazione. Se si notano forti variazioni laterali è bene utilizzare dei limiti (Vs e spessori massimi e minimi) piuttosto ampi.

Si lancerà l'inversione attendendo la fine delle operazioni. Poiché lo sforzo di calcolo è notevole (per quanto non estremo) grazie ad una finestra di dialogo che appare al lancio dell'inversione (pulsante **RUN**) è anche possibile indicare al computer di andare in *ibernazione* alla fine dell'operazione. Alla fine otterremo una serie di grafici tra cui (si leggano con cura le legende e i valori riportati lungo gli assi):



Assieme ad una serie di immagini, nella cartella di output sono anche salvati alcuni files tra cui "smoothresampledVSsection\_dz0.3m.xls" (la matrice delle V<sub>s</sub> in funzione della profondità [*dz* rappresenta il campionamento lungo la profondità – in questo caso 0.3 m]

e lungo lo stendimento in formato *excel*). Nella sottocartella "mods" sono salvati i files .mod relativi ad ogni singolo punto dell'array.

Nelle ultimissime fasi dell'inversione SuPPSALA (segnalate anche da alcuni messaggi audio), sarà possibile chiedere al software di variare alcuni parametri delle rappresentazioni grafiche utilizzate come la scala dei colori, la massima profondità da visualizzare, e molto altro ancora. L'obiettivo è quello di porre in evidenza specifici aspetti su cui ci si intende focalizzare.

Il caso qui riportato pone in luce la presenza di un vecchio canale sepolto. Nel prossimo esempio, prenderemo in considerazione anche i dati Z e vedremo come effettuare l'analisi congiunta 2D della dispersione delle onde di Love e delle curve HVSR (o, più precisamente, TVSR) ottenuto per ciascun punto.



#### ESEMPIO#3: ANALISI DATI MULTI-COMPONENTE

Come precedentemente segnalato, il nuovo pannello ESAC consente di analizzare dati passivi multi-componente. Vi sono infinite strategie di acquisizione (e dunque analisi). La più banale per chi possiede un sistema di acquisizione "classico" con 2 cavi da 12 canali è disporre i due cavi parallelamente tra loro e collegare i geofoni Z lungo un cavo e gli orizzontali (in assetto T!) sull'altro. Si otterranno così dati utili ad analizzare la dispersione delle onde di Rayleigh (componente Z) e di Love, nonché l'HVSR.

Altra possibile strategia (che richiede qualche accorgimento in più) è stendere i cavi lungo un unico stendimento e acquisire prima la componete Z e poi quella T (questo è quello che si può fare possedendo anche un unico cavo).

Per l'esempio riportato di seguito i dati sono stati raccolti con una serie di geofoni 3C tra loro sincronizzati e posti linearmente lungo uno stendimento di oltre 2 km.

#### Step#1 - determinazione delle proprietà dispersive e computo HVSR

Come precedentemente indicato, mentre le proprietà dispersive 2D vengono definite cliccando il pulsante **2D-SuPPSALA** (avendo cura di definire in modo sensato i vari parametri), per l'HVSR ci si affida alla procedura **PS-MuCAA**. In questo caso sono caricati dati multi-componente (almeno 2 componenti, di cui una è la verticale e la seconda si raccomanda essere la T). In questo caso, l'acquisizione (eseguita con una serie di geofoni triassiali sincronizzati) consente di lavorare con tutte le tre componenti. L'HVSR sarà computato considerandole tutte, mentre per la dispersione ci si affiderà (come quasi sempre) alla componente T (onde di Love) [la scelta della componente da considerare viene fatta scegliendo la componente dalla finestra pop-down in alto a sinistra, all'interno del riquadro **compute**].

#### Step#2 - Inversione congiunta dispersione della componete T + curve HVSR

Nel pannello "**Joint Inversion of Rayliegh/Love + HV [single or 2D-SuPPSALA]**" si carica il file *2DSuPPSALA\_dispersion\_curves.mat* salvato nella sotto-cartella "array\_dispersion\_curves" durante l'analisi SuPPSALA e le curve HVSR prodotte utilizzando lo **strumento PS-MuCAA** (sono i comuni *files* .hv). Si fissano dunque i parametri di inversione/elaborazione (e per farlo dobbiamo comprendere molto bene cosa stiamo facendo e come funzionano le onde di superfice) e si lancia dunque l'inversione congiunta. Anche qui si raccomanda *fortemente* di lavorare con la componente T.



Quanto si otterrà alla fine è sintetizzato nella seguente immagine: sono riportati i dati di campagna, quelli dei modelli sintetici identificati e la sezione 2D delle Vs.



#### Brevissima introduzione allo strumento per l'interferometria

(dalla prossima *release*)

In progress

L'interferometria può essere proficuamente utilizzata solo quando si considerano arrays di grandi e grandissime dimensioni (e lunghi tempi di registrazione) che assicurano un modello di dispersione chiaro.

#### Principali vantaggi:

- a) Lavorare con arrays lineari
- b) Spettri delle velocità di fase chiari con, in alcuni casi, la possibilità di separare i diversi modi (se presenti)
- c) Per *datasets* pesanti (diverse decine di canali e diverse decine di minuti di dati) il carico computazionale può essere inferiore rispetto all'elaborazione ESAC

Limiti di validità: la più bassa frequenza affidabile può essere definita in modo simile alla tecnica ESAC, attraverso le "linee verdi" riportate negli spettri di velocità (Ohori et al. 2002).

# Parametri di acquisizione tipici

**Durata dell'acquisizione**: 20-30 minuti. In realtà molto variabile: dipende dalla frequenza minima che intendiamo analizzare (nel caso in cui intendiamo considerare frequenze molto basse, sono necessarie una lunghezza di acquisizione maggiore e arrays molto grandi); **frequenza di campionamento**: 250-500 Hz [2-4 ms].

# Analisi MFA (Multiple Filter Analysis): velocità di gruppo di dati attivi

Tramite la tecnica *MFA* (vedi e.g. Dal Moro et al., 2019) è possibile determinare le curve di dispersione relative alle velocità di gruppo (le tecniche *MASW*, *ReMi* ed ESAC lavorano invece con le velocità di fase).

**Per fare questo è possibile teoricamente utilizzare anche una sola traccia**, tuttavia gli spettri risultanti dall'analisi di più tracce risulta sicuramente più *robusto*, meglio definito. Il numero di tracce utili ad una buona definizione dello spettro di velocità dipende dalla quantità di rumore nel *dataset* (in taluni casi 1 traccia risulta in effetti sufficiente, in altri – pur senza poter e voler dare un numero "magico" – sono consigliabili almeno 3-6 tracce).

Non è il manuale di un software la sede opportuna per una trattazione dei limiti e delle problematiche di questa tecnica né delle differenze tra velocità di fase e di gruppo. Ci si limita quindi a sottolineare 2 aspetti:

- il legame tra V<sub>SupPH</sub> (velocità dell'onda di superficie di fase) e V<sub>SupGR</sub> (velocità dell'onda di superficie di gruppo) e V<sub>S</sub> (velocità onde di taglio in profondità) è differente (in altre parole la relazione tra frequenza – V<sub>S</sub> e V<sub>SupPH</sub> è diversa da quella che lega frequenza – V<sub>S</sub> e V<sub>SupGR</sub>);
- 2. Le V<sub>SupGR</sub> paiono essere più sensibili delle V<sub>SupPH</sub> a variazioni di V<sub>S</sub> in profondità.

Per questo motivo si consiglia l'analisi congiunta MASW + MFA (+ eventualmente HVSR) - a questa sezione si accede dalla schermata principale tramite il pulsante/pannello "**Joint Analysis of Phase & Group Velocities**" (dal pannello principale di winMASW<sup>®</sup>).

Avere a disposizione più di una traccia infatti, consente di fare anche analisi MASW (impossibili da svolgere avendo una sola traccia a disposizione).

#### Parametri Alpha0 & Alpha1

La forma dei filtri gaussiani impiegati nell'analisi *MFA* dipende da 2 parametri (Alpha0 e Alpha1): non esistono dei valori buoni in assoluto per tali analisi, il tutto dipende dal tipo di dati (quindi dai caratteri dispersivi) dello specifico *dataset* ma grazie una serie di implementazioni disponibili dalla versione 4.7 suggerisce valori fissi di rispettivamente 120 e 0.01. È anche consigliato un ri-campionamento dei dati 1 msec (svolto di *default* - vedi schermata qui sotto).

velocity spectrum: define limits		
velocity (m/s)		
20 600 minimum maximum	Spectral analysis: number of samples	16384 🔻
	Traces to consider	4.4.94
frequency (Hz)	First trace : Increment : Last Trace	1:1:24
1 60		
	Alpha0 (see manual)	120
minimum maximum		
	Alpha1 (see manual)	0.01
verbose 📝 resample to 1msec		ок

Si noti che le analisi *MFA* (cioè delle velocità di gruppo) non possono essere eseguite su acquisizioni di tipo passivo (in quanto in quel caso non è nota la sorgente, quindi la sua distanza dal/dai ricevitore/i) ma solo in caso di acquisizioni in attiva per le quali sono cioè noti il tempo zero e la distanza sorgente-geofoni. In sismologia le analisi MFA vengono svolte in quanto posizione e tempo del terremoto (*origin time*) sono note (la distanza sorgente-ricevitore è quindi nota).

#### Attivando l'opzione verbose si otterranno le 2 schermate qui riportate.

La prima mostra i ritardi in funzione dell'offset

mentre la seconda riporta sulla sinistra l'ultima traccia considerata relazionando i ritardi alle velocità di gruppo (spettro sulla destra).





Il *modelling* congiunto viene poi svolto secondo il consueto modo (vedi schermata qui sotto). Gli stessi dati /tracce) sono usate per determinare lo spettro di velocità di fase (sopra - tecnica MASW) e quella di gruppo (sotto - tecnica MFA). I due spettri sono differenti e il modello da identificare deve tornare rispetto entrambe le cose. È chiaramente possibile aggiungere anche il dato HVSR in modo da effettuare una modellazione tripla: velocità di fase, di gruppo e HVSR:



# Analisi spettrale

Nella versione *Professional* e *Academy* è disponile un *tool* per l'analisi spettrale dei dati (calcolo dello spettro di ampiezza e fase di un *dataset*): **pulsante "spectrum"** nel pannello di analisi a componente singola.

A seconda di quale componente si starà considerando (sole onde di superficie, sole onde rifratte, onda d'aria ecc) si potranno svolgere le pertinenti considerazioni. Analizzando ad esempio le sole onde superficiali si potrà notare l'"erosione" delle alte frequenze legata a meccanismi viscosi. In altri termini, si noterà come le tracce lontane saranno proporzionalmente via via più povere di alte frequenze rispetto le tracce vicine.

Il terreno (specie se costituito da materiali in consolidati e dalle scadenti proprietà meccaniche) agisce infatti come un *filtro passa-basso* attenuando le alte frequenze (vedasi il capitolo dedicato all'analisi dell'attenuazione delle onde di Rayleigh per la versione *Professional* di *winMASW*).

Qui di seguito gli spettri relativi alla prima ed ultima traccia relative al dataset *testattenuation2.sgy*. Si notino in particolare che:

- 1. a causa dei fenomeni di attenuazione viscosa l'ampiezza delle 2 tracce sia notevolmente differente (il picco del primo spettro d'ampiezza è di oltre 600, mentre scende sotto i 100 all'ultima traccia)
- 2. rispetto alle basse frequenze, le alte risultano decisamente più attenuate
- 3. la dispersione è manifesta in particolare dal diverso spettro di fase (incremento del *ritardo* delle componenti ad alta frequenza)





Qui sotto gli spettri di ampiezza e fase di un'onda d'aria: si noti l'alta frequenza che caratterizza il segnale (picco attorno ai 145 Hz).



Si consideri la potenziale utilità di questo strumento in fase di selezione di una certa porzioni di dati: se in tale porzione si evidenziano frequenze non compatibili con la componente che intendiamo isolare ciò può risultare utile per ridefinire il poligono di selezione.

# **Spettrogramma**

Nella sezione "utilities" il pulsante "*spectrogram*" dà la possibilità di calcolare gli spettrogrammi dei dati caricati (chiaramente traccia per traccia). Questo consente all'utente di valutare le variazioni spazio-temporali nel contenuto in frequenza causate dalla propagazione (ed attenuazione) del segnale sismico.



# Ampiezza locale (pulsante "local amplitude"): un strumento per computare gli spettri di ampiezza di specifiche porzioni di dati

In winMASW<sup>®</sup> Academy è disponibile uno strumento (*local amplitude*) grazie al quale possiamo ottenere gli spettri di ampiezza di specifiche porzioni di dati. Vediamo qui un esempio.

Si deve innanzitutto selezionare la porzione di dati di interesse tramite il poligono attivabile grazie al **pulsante** "activate" (nel gruppo "data selection").



Modificato il poligono in modo da considerare i dati di interesse, si dovrà poi semplicemente cliccare il **pulsante** "local amplitude" andando ad ottenere quanto mostrato ad esempio nella seguente figura (i dati qui considerati si riferiscono alla componente Z e la porzione considerata riguarda evidentemente la rifrazione dell'onda P che, in questo caso, è dovuta alla falda superficiale).





lized traces and selected data





Possiamo poi modificare il poligono e focalizzarci sulle onde di superficie (qui la componente Z dell'onda di Rayleigh) ottenendo quanto mostrato nella seguente figura.



Lasciamo all'utente le riflessioni sul significato e le conseguenze tecniche dell'esempio sopra mostrato.



La convenzione per definire il filtro è la seguente:

Per definire un filtro passa-basso: f1=0, f2=X (passano tutte le frequenze da X in giù) Per definire un filtro *passa-alto*: f1=X, f2=0 (passano tutte le frequenze da X in su) Per definire un filtro passa-banda: f1=X1, f2=X2 (con X2>X1) (passano le frequenze comprese tra X1 e X2).

# Picking della curva di dispersione

Per procedere con il *picking* della curva di dispersione (cioè la selezione dei punti che, nell'interpretazione dell'utente, appartengono ad un certo *modo* di propagazione dell'onda superficiale) è necessario:

- 1. scegliere il *modo* dal menu a tendina
- 2. cliccare (pulsante sinistro del mouse) i punti lungo una certa coerenza che l'utente identifica/interpreta come un certo *modo* (vedi esempio in figura 2)
- 3. salvare il picking

Se nel nostro *dataset* sono presenti più *modi*, per passare al successivo è sufficiente (una volta terminato e salvato il *picking* di un modo) scegliere il nuovo modo dal menu a tendina (modi diversi saranno contraddistinti da diversi colori).

I nuovi dati, pertinenti al secondo *modo*, saranno salvati nel file precedentemente indicato. L'inversione considererà poi la totalità dei dati.

Il file di *picking* è un file ASCII a tre colonne (estensione .*cdp* – curva di dispersione): lungo la prima sono riportate le frequenze, lungo la seconda le velocità e lungo la terza il modo (così come interpretato dall'utente nel menu a tendina). Si suggerisce di salvare la curva di dispersione nella directory di *default* "curve\_di\_dispersione".



Figura 2. Picking della curva di dispersione.

# Visualizzare varie curve (di *picking* o di output) È possibile visualizzare e confrontare diverse curve di dispersione precedentemente piccate (*files*.cdp) e/o curve di dispersione di output (*files*.cdo), tramite li pulsante "*input curve*" in alto a destra Esse verranno visualizzate sovrapposte allo spettro di velocità attualmente in uso.



L'identificazione e il *picking* della curva di dispersione è chiaramente un'operazione d'importanza cruciale per il risultato finale. L'utente dovrebbe avere già sviluppato una buona esperienza per poter effettuare con sicurezza tale operazione. Un'erronea interpretazione (profilo della curva e/o attribuzione del *modo*) possono portare a risultati assolutamente inconsistenti. Ad illustrazione di possibili pericoli si suggerisce la lettura dell'articolo *Velocity Spectra and Seismic Signal Identification for Surface Wave Analysis* (Dal Moro et al., 2006) e *Possibile Effects of Misidentified Mode Number on Rayleigh Wave Inversion* (Zhang & Chan, 2003).



"Piccare" una curva di dispersione troppo fitta non porta ad un miglioramento del risultato dell'inversione ma solo ad un aumento dei tempi di calcolo. Per le situazioni più comuni suggeriamo un numero di punti (coppie frequenza-velocità) non superiore a 10.

Struttura di un file di <i>picking</i> (.cdp)							
FREQUENCY (Hz) 15.9956 19.1886 17.9342 20.557 22.0395 25.1184 26.4868 28.3114	VELOCITY (m/s) 1135.77 815.43 929.45 761.134 733.986 685.12 668.832 641.684	MODE 0 0 0 0 0 0 0 0					
01.0400	552.010	0					

# Salva schermata (snapshot)

Utilizzando l'icona rappresentante una piccola macchina fotografica (lungo la barra degli strumenti) è possibile salvare la schermata corrente.

Sono 4 i possibili formati: jpg, png, tiff e bmp.

Quelli che assicurano la migliore definizione dell'immagine sono il png e il tiff.

# Pulsante MOVIE

È possibile visualizzare i tuoi dati sismici in animazione (pulsante *movie*).



Due animazioni sono mostrate e automaticamente salvate nella cartella di lavoro:

**1)** l'animazione delle <u>tracce normalizzate</u> (file "*winMASW\_Seismic\_Movie\_normalized amplitudes.mp4*")



**2)** l'animazione dei dati con le <u>reali ampiezze registrate (</u>salvato come "*winMASW\_Seismic\_Movie\_actual amplitudes.mp4*").



#### Modellazione curve di dispersione

Sotto lo spettro di velocità è presente la sezione di "*modellazione*" grazie alla quale è possibile calcolare le curve di dispersione di un modello fino a sette strati i cui parametri sono fissati dall'utente. Le curve calcolate vengono mostrate a schermo (e anche salvate su file ASCII (Frequenza –  $V_R$ ) nel file *modelladiretta.txt* nella cartella *winMASW/output*).

Lo scopo è ottenere una valutazione di un possibile modello rispetto allo spettro osservato. Nel caso di situazioni geologiche particolari o complesse (cioè dati sismici di ardua interpretazione) questo è un modo di procedere utilissimo e spesso il risultato interpretativo è sufficiente (non essendo poi necessario effettuare l'inversione). A questo proposito consigliamo la lettura dell'articolo (scaricabile da internet) *"Tre divagazioni: il mito dell'inversione, MASW in Friuli, esempi di applicazione congiunta MASW-rifrazione"* (Dal Moro, 2008) (vedi bibliografia). Provando vari modelli le curve si sovrapporranno e allo scopo di rimuoverle è sufficiente cliccare il pulsante *"refresh"*.

È possibile fissare diversi valori del <u>rapporto di Poisson</u> (in modo da modificare il rapporto  $V_P/V_S$ ). Si noterà che i valori della  $V_P$  (una volta fissato il valore di  $V_S$  variare il rapporto di Poisson significa modificare la  $V_P$ ) hanno scarso peso rispetto alla  $V_S$  e questo è il motivo per cui dall'analisi delle onde di superficie NON si possono avere solide informazioni sui valori delle  $V_P$  e delle densità.



Figura 3. Modellazione diretta: calcolo curva di dispersione (sovrapposta allo spettro di velocità osservato) di un modello fornito dall'utente.

È possibile inserire un modello arbitrario a partire o caricare un modello (file con estensione .mod) ottenuto da un'inversione o precedentemente determinato (e salvato) da una modellazione (pulsante "carica modello").

In ogni caso si può chiaramente modificare il numero di modi che si desiderano visualizzare (valore di default 3).

Nella versione *Professional* è possibile indicare se di un dato modello si desidera calcolare e plottare le curve di dispersione delle onde di Rayleigh o di Love.

Si noti (vedi figura sopra) che nel caso di inserisca un modello *ex novo* attraverso la schermata che si va ad aprire con il pulsante "parametri", è possibile inserire un modello con meno di 7 strati lasciando a zero i valori degli strati più profondi. Nell'esempio illustrato si sono inseriti solamente 5 strati (l'ultimo strato è considerato *semi-infinito* e quindi non si deve inserire alcun valore di spessore).
È possibile (<u>anzi assolutamente fortemente consigliato</u>!) utilizzare un modello testato le cui curve di dispersione risultano nella nostra interpretazione in ragionevole (ma non ancora ottimale) accordo con lo spettro di velocità osservato come punto/modello di partenza per l'inversione.

Per farlo basta salvare il modello identificato durante la sessione di modellazione diretta (file con estensione .mod) e utilizzarlo come punto di partenza/riferimento durante l'inversione automatica della curva di dispersione (lo scopo è chiaramente quello di perfezionare tale modello).

Se si adotta tale approccio per l'inversione (opzione#2 di inversione) tale modello è preso infatti come punto di partenza per l'ottimizzazione e vengono cercate soluzioni in un intervallo di  $V_s$  e spessori (modificabile dall'utente!) attorno a tale modello.

Chiaramente se l'accoro tra il modello identificato in fase di modellazione diretta e lo spettro è già ottimale (nella nostra interpretazione) NON servirà fare alcuna inversione e ci fermeremo al modello identificato (cliccare il pulsante "report" per ottenere la sintesi del modello e le immagini utili alla relazione finale).

In dipendenza dal tipo di dati che si stanno considerando ("tradizionali", cioè sorgente ad impatto verticale e geofoni a componente verticali o per "acquisizioni SH", cioè con sorgente di taglio e geofoni orizzontali con componente perpendicolare all'array) si andranno ad analizzare diversi tipo di onde: Rayleigh nel primo caso, Love nel secondo.

Gli utenti di *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* sono invitati a preferire l'approccio FVS (infinitamente più completo rispetto l'interpretazione modale).

# La modellazione diretta (forward modelling)

Quando, dopo aver caricato i dati (con eventuale elaborazione – ad esempio filtraggio delle tracce e selezione della porzione di interesse) e calcolato lo spettro di velocità, si desidera procedere con una sessione di *modelling* si deve innanzitutto:

- 1. caricare l'eventuale curva H/V del sito (questo chiaramente se desiderate analizzare congiuntamente la dispersione e l'H/V e possedete quindi la versione *Pro o Academy*)
- 2. fissare il piano rispetto al quale si desidera calcolare la Vs30 (ad esempio un piano di fondazione a 2m di profondità vedi immagine sopra).

\_ 8 × ASW - Vs profile for estimation of eigen fre - 🗆 🗡 🛎 🖬 🖀 | k | Q Q 🖑 🕲 🐙 🔲 📰 💷 🗆 #2: velocity calculate spectrum C Tau - v upload ReMi spectrum input curve ? Vsv profile & eigen period (reference depth: 0m) velocity spectrum Period: 0.42 s 700 equency: 2.4 Hz explore spectrum sy (m/s): 94 145 110 180 200 1100: Vs30: 243: Vs30 at 2m: 27 คกก 3.5 3.0 5.0 ss (m): 0.7 Ē n: 0.42 0.37 Depth 10 ): 253 319 269 375 374 1796 500 m/s) ? 15 relocity : 400 bedrock 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 ਵੈ 300 the considere mode click the right butt Vs (m/s) 200 save picking ? body waves nhear /ord 100 cancel picking 25 3i frequency (Hz) Vs (m/s) Poisson thickness (m) about Poisson ? 0.42 0.7 94 calculate 3.5 145 0.37 save model Ravleigh -0.4 110 3 refresh 180 0.35 5 5 Number of mode: 200 0.3 F (Hz) Reference depth R HAV 0 1100 0.2 0.35 report exit inversion upload model 0 half-space WINMASW Attenuation analysis

Ecco qui sotto una tipica schermata di una sessione di modelling:

Si noti che il modello in questione è costituito da 6 strati, sulla sinistra la curva H/V osservata e calcolata e sullo sfondo lo spettro di velocità osservato con in sovrapposizione le curve di dispersione dei primi 5 modi (si noti l'accordo rispetto anche i modi superiori).

Si noti come se immettiamo una certa profondità di riferimento ("ref. depth") diversa da zero vengano visualizzate 2 Vs30: una riferita al piano campagna, l'altra rispetto la profondità di riferimento indicata.

### **Modellazione HVSR**

È possibile decidere se mostrare l'HV modellato dalle solo onde di corpo o dalla sola ellitticità delle onde di superficie (o entrambe).

Per avere l'HV dalle sole onde di corpo basta sputare il solo "H/V (body waves)". Se vogliamo aggiungere anche l'HV dall'ellitticità delle onde di superficie si deve indicare il numero di modi da considerare nel box "H/V modes (SW ellipticity)".

general setting
Rayleigh 🔻 3 phase vel 💌
0 Reference depth 🔲 Refraction
H/V (body waves)
0 H/V modes (SW ellipticity)
i

# Il formato della curva HVSR (file con estensione .hv)

Semplice file ASCII con 6/7 righe di *header* (con informazioni varie) Successivamente i dati sono organizzati in 4 colonne secondo il seguente schema: Frequenza, HVSR medio, minimo HVSR, massimo HVSR

riga#1 riga#2

#### ... riga#6

0.512821 1.89984 1.57332 2.22637 0.549451 1.8455 1.54819 2.14281 0.586081 1.77888 1.50797 2.04979 0.622711 1.721 1.47203 1.96997 0.659341 1.66842 1.43547 1.90136

### Versioni 3C, Professional & Academy: analisi congiunta di Rayleigh e Love

È possibile analizzare congiuntamente *dataset* relativi alle onde di Rayleigh e Love. Per questa ragione sulla schermata principale di *winMASW* vi è un "gruppo" dedicato all'analisi congiunta Rayleigh & Love. Cliccando il pulsante "Velocity Spectra, Modeling & Picking" si accede alla finestra di caricamento, *picking* e modellazione dei due dataset (uno relativo alle onde di Rayleigh e un di Love) contemporaneamente.



Col pulsante "Rayleigh & Love joint inversion" si accede invece alla sezione dedicata all'inversione congiunta delle curve di dispersione di Rayleigh e Love:



#### **SI CONSIDERI CHE:**

con winMASW<sup>®</sup> Pro e 3C si può svolgere l'analisi congiunta Rayleigh e Love tramite interpretazione delle *curve modali* mentre con winMASW<sup>®</sup> Academy è possibile scegliere due componenti qualsiasi (ad esempio la Z e la R) e lavorare con la *curva effettiva* o l'approccio FVS. Inoltre, con l'Academy è possibile analizzare le *velocità di gruppo*.

Il salto tra *Pro* e *Academy* è dunque estremamente rilevante da molti punti di vista pratici (quindi teorici).

# VERSIONI 3C, PRO & ACADEMY

### Modellazione congiunta Rayleigh & Love: l'anisotropia V<sub>SH</sub>-V<sub>SV</sub>

Tra i parametri del modello (sulla destra della schermata) è possibile notare una colonna dedicata all'anisotropia V<sub>S</sub>. Questo è un parametro (da fornire in termini percentuali) che determina di quanto più grande è la V<sub>SH</sub> (che regola la dispersione delle onde di Love) rispetto la V<sub>SV</sub> (che determina la dispersione delle onde di Rayleigh).



Esempio di possibile anisotropia *positiva* (V<sub>SH</sub> > V<sub>SV</sub>).

# Alcune considerazioni sul rapporto H/V

Sulla natura del rapporto H/V (sui fenomeni che cioè determinano il valore osservato in natura) il dibattito accademico è piuttosto serrato (non sempre e non solo sulla base di considerazioni tecnico-scientifiche ma anche in relazione ad interessi di parte).

Riportiamo qui alcuni concetti generali che trovano in generale largo consenso:

- Il valore del rapporto H/V osservato dipende da una complessa interazioni di onde di superficie (non solo di Rayleigh ma anche di Love) e in parte di corpo. Il peso relativo delle diverse componenti dipende dalle caratteristiche del sito (vedi ad esempio Bonnefoy-Claudet et al., 2008; Dal Moro, 2009).
- Qualsiasi modellazione si adotti non andrebbe trascurato il ruolo dei fattori di qualità Q (nel nostro caso si assume che il Q<sub>S</sub> sia pari al valore della V<sub>S</sub> diviso 10, e Q<sub>P</sub>=2Q<sub>S</sub>)
- Adottando diversi tipi di modellazione (ad esempio basata solo sulle onde di Rayleigh, sulle onde di Rayleigh e Love, onde di corpo, somma di tutte) il rapporto spettrale certamente varia ma il picco principale (che determinata il periodo proprio del sito) si verifica essenzialmente alla stessa frequenza.
- Non è possibile mettere in diretta correlazione la curva HVSR e l'amplificazione di sito (men che meno quello che taluni chiamano *fattore di amplificazione* (vedi ad esempio Perron et al. 2018).

Per quanto detto, allorché si disponga di una misura H/V sperimentale e si desideri trovare un modello che renda conto tanto della dispersione delle onde di superficie che della curva H/V osservata, si suggerisce di focalizzare l'attenzione sul fatto di riuscire ad identificare correttamente la frequenza di picco senza impuntarsi troppi nel tentativo di ottenere un perfetto accordo anche sull'ampiezza (il valore H/V).

# Modellazione rifrazione (Professional e Academy) e riflessione (Academy)

Grazie agli strumenti presenti nella sezione "rifrazione" è possibile modellare i tempi di arrivo di eventi rifratti secondo modalità analoghe a quanto possibile nella sezione di modellazione delle curve di dispersione.

Vanno considerati alcuni punti caratterizzanti:

- lo strumento di calcolo adottato consente l'inserimento di canali con inversione di velocità che la rifrazione "classica" (utilizzata da sola) non permette di valutare (il noto problema del *canale a bassa velocità*). Nel nostro caso, sfruttando a pieno le informazioni suggerite dalle curve di dispersione e dalla rifrazione possiamo delineare la presenza di inversioni di velocità anche rispetto la V<sub>P</sub> (si ricordi che dalla dispersione delle onde di superficie non è possibile ricavare solide informazioni riguardo la V<sub>P</sub>).
- si consideri che affinché si manifesti un evento rifratto di ampiezza significativa, il salto di impedenza acustica (il prodotto della V<sub>P</sub> per la densità) deve essere significativo
- una diminuzione di VP con la profondità non genera alcun evento rifratto
- il file di modello salvato o caricato ha il medesimo formato di quello usato per la modellazione delle curve di dispersione. Se si è preliminarmente effettuata una modellazione della dispersione (e sono quindi definite le vostre V<sub>S</sub>), nella scrittura del modello della rifrazione (pulsante "*save*") saranno considerate tali V<sub>S</sub> quali V<sub>SV</sub> e V<sub>SH</sub>.

Come esempio qui sotto si riporta un esempio di "modellazione congiunta". Lo stesso modello è considerato rispetto le curve di dispersione e i tempi dei primi arrivi.



Dispersione dei primi tre modi delle onde di Rayleigh per il modello riportato in alto a sinistra.



È possibile modificare il valore dell'*Automatic Gain Control* (AGC) (di default fissato pari a 100) per migliorare la visibilità di vari segnali (naturalmente in questo caso siamo essenzialmente interessati ad evidenziare i primi arrivi).

Si sottolinea che l'AGC è utile a porre in evidenza eventi di limitata ampiezza. Il corretto valore dipende dai dati e dalla loro qualità (e naturalmente dalle specifiche esigenze dell'utente).

#### Nota alla visualizzazione della rifrazione

Quando è attiva l'opzione "Refraction", alle tracce viene applicato un AGC (*Automatic Gain Control*) il cui valore può essere chiaramente modificato (si tratta del valore numerico nel box a fianco del pulsante "reflr./refl.").

Attualmente tale valore rappresenta la finestra (in secondi) all'interno della quale l'energia viene mantenuta costante modificando l'ampiezza in modo tale da rendere più evidenti segnali di limitata ampiezza.

Qui di seguito due *snapshot* ottenuti utilizzando 2 diversi valori di AGC (è chiaro come nel secondo caso i tempi di arrivo dell'onda rifratta risultino molti più chiari):



# 4.2 Inversione curve di dispersione piccate (quindi *interpretate*)

Il secondo (ed ultimo) passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della  $V_S$  è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata". Si ricordi comunque che l'approccio consigliato è quello della modellazione diretta! (vedi Dal Moro, 2008).

L'inversione viene effettuata grazie all'utilizzo di una solida tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) che richiede un notevole impegno delle risorse di calcolo del computer.

La contropartita è una soluzione più affidabile e una stima dell'attendibilità del modello ricavato (deviazioni standard).

In Figura 4 è riportata la schermata principale della sezione "Inversione" (alla quale si accede sia dal menu principale che dalla sezione "Determinazione Spettro di Velocità").

La prima operazione consiste nella selezione della curva di dispersione (precedentemente determinata) che si intende invertire.

Questo viene effettuato cliccando sul pulsante (vedi Figura 4). Tuttavia, se si accede a questa sezione direttamente dalla sezione "Determinazione Spettro di Velocità" dopo aver *piccato* una curva di dispersione, il programma caricherà automaticamente la curva appena *piccata* (senza la necessità di caricare il file sul quale si è precedentemente salvata la curva *piccata*).

Una volta caricati i dati, la curva di dispersione apparirà nella finestra in alto a destra.

# La curva di dispersione da invertire NON deve trovarsi nella cartella di output che si sceglierà.



Il secondo passo da compiere è mirato ad ottimizzare l'operazione di inversione. Infatti le assunzioni che vengono fatte nella definizione automatica dello "spazio di ricerca" (valori di V<sub>s</sub> e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione ottimale) sono diverse nei casi in cui il *bedrock* si trovi a una profondità raggiungibile o meno dalle onde superficiali.

Nel caso il gradiente di velocità non subisca variazioni drammatiche (ad esempio in piane alluvionali dove il substrato roccioso è molto profondo o quando lo stendimento viene eseguito direttamente su roccia) è valida la cosiddetta assunzione  $\lambda/2$  (o, come studi recenti mostrano,  $\lambda/2.5$  – vedi pertinente box), mentre nel caso vi sia una grossa variazione del gradiente (ad esempio per la presenza del *bedrock* a scarsa profondità, indicativamente 5-30 m) questa non è più valida e per la definizione dello "spazio di ricerca" si adotta una diversa strategia.

Nel caso di un gradiente di velocità grossomodo costante ci si può basare sull'approssimazione  $\lambda/2.5$  che, come sopra accennato, suggerisce che ad una profondità pari a  $\lambda/2.5$  si verifica una V<sub>s</sub>

pari ad approssimativamente  $1.1 V_{R}^{\lambda}$  (essendo  $V_{R}^{\lambda}$  la velocità dell'onda di Rayleigh a lunghezza d'onda  $\lambda$  (lambda) - si ricordi che  $\lambda = v / f$ ) (in realtà esiste un fattore di correzione che dipende dalla profondità considerata).

La curva blu (Figura 5) rappresenta tale approssimazione mentre le due curve rosse (tratteggiate) sono valori suggeriti come limite minimo e massimo. Questi valori sono poi discretizzati in base al numero di strati scelto dall'utente per definire lo "spazio di ricerca" (rappresentato in verde – Figura 6).

Va da sé che, sulla base delle conoscenze geologiche del sito, <u>l'utente è invitato a modificare i</u> valori assegnati automaticamente in modo tale da rendere la ricerca del modello migliore, più mirata quindi rapida ed efficace.

Più ampio è lo spazio dei parametri infatti, maggiore dovrà essere il *numero di individui* e di *generazioni* da impostare nel "menù genetico", mentre se siamo in grado di limitare lo spazio di ricerca questi possono essere tenuti bassi (riducendo così i tempi di calcolo).

Successivamente l'utente deve scegliere il numero di strati da utilizzare tramite il relativo menu a tendina. Una volta scelto il numero di strati appare una finestra "parametri" (Figura 5) nella quale l'utente deve indicare il "*search space*" (spazio di ricerca). Per ogni strato si deve indicare spessore e  $V_s$  minimi e massimi che si ritengono possibili per ciascun strato.

Come si può notare in Figura 5, alcuni valori sono automaticamente proposti dal software.

Le assunzioni che vengono fatte nella definizione automatica dello "spazio di ricerca" (valori di V<sub>s</sub> e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione) sono diverse a seconda che si sia in presenza di un gradiente di velocità grossomodo costante o nel caso di drammatiche variazioni di velocità. Una volta fissati i limiti del *search space* ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") verranno impostati i parametri del "menù genetico" (Tabella 1). Per non sovraccaricare l'utente con dettagli poco rilevanti è stato scelto di fissare alcuni parametri genetici (tassi di *crossover* e di *mutazione*) su valori standard.

Dispersion curve	Analysis	Dispersion curve & search space
input file	Rayleigh 👻	
Depth of the bedrock ———		www.eliosoft.it
Shallow O deeper	2	and the second
Number of layers & constrains	s	
option#1 opti	on#2	
2 v of layers fro	m reference model	
force search space	?	
Inversion (genetic) menu 30 individuals/models (mi 30 generations (min 10 -  Vp & density optimizat	n 6 - max 7000) 2 max 400) 2 ion	R. A.
Dutputting output folder ? RUN	close	
	weliosoft.it	

Figura 4. Finestra iniziale della sezione "inversione".



**Figura 5.** Definizione dello "spazio di ricerca": l'utente è invitato a modificare lo spazio di ricerca sulla base delle conoscenze geologiche del sito note a priori (vedi Tabella A2 per tipici valori delle V<sub>s</sub> per alcuni materiali).

# Il rapporto di Poisson

*winMASW* fornisce valori stimati (di necessità approssimati) di V<sub>P</sub> e densità. Come noto, la dispersione delle onde di superficie dipende in massima parte dalle V<sub>S</sub> e dagli spessori degli strati. Poiché densità e V<sub>P</sub> giocano un ruolo secondario (si sperimentino diversi valori del modulo di Poisson nella "modellazione diretta") è possibile avere solo delle indicazioni di massima riguardo questi valori.

In linea di massima si deve ricordare che una roccia massiccia può avere un rapporto di Poisson da circa 0.15 sino a 0.30 (valori tipici attorno a 0.25), mentre materiali inconsolidati (*silt* e argille) hanno tipicamente valori tra 0.35 e 0.4.

Le sabbie presentano valori molto variabili (da 0.3 sino quasi al valore massimo teorico di 0.5): l'idea di massima è che tanto più sciolto ed "inconsistente" è un materiale tanto più alto è il valore del modulo di Poisson (sino appunto al massimo teorico di 0.5 – valore valido per i fluidi). Per l'asfalto si può adottare un valore di 0.2.

In generale, se non si hanno informazioni di dettaglio è buona norma scegliere un valore di 0.2 per una roccia sana e di 0.35 per sedimenti in consolidati (0.45 in caso di sabbie sciolte superficiali).

A questo punto si è pronti per lanciare l'inversione.

I tempi di calcolo sono naturalmente funzione dei parametri di inversione (Tabella 1) ma, a titolo indicativo, su comuni computer di recente costruzione i tempi di calcolo per un'inversione sono di grossomodo 1 minuto. Si veda il successivo paragrafo (*Raccomandazioni*) per un approfondimento riguardo questi aspetti.

parametro	significato	valori consigliati
Number of layers (numero di strati)	Numero di strati utilizzati per la ricostruzione del profilo verticale	5-6 Normalmente 5-6 strati, ma di più nel caso si sospetti la presenza di uno strato con inversione di velocità e nel caso stiamo investigando notevoli profondità. Nel caso stiamo effettuando analisi congiunte FVS, il numero di strati utili/necessari potrebbe essere molto maggiore (analogamente a quando effettuiamo analisi congiunte con l'HVSR).
Search space (spazio di ricerca)	Limiti dei valori che ciascuna variabile (spessore e V <sub>S</sub> di ciascun strato) possono assumere	Una volta fissato il numero di strati, <i>winMASW</i> propone dei valori (i valori suggeriti sono piuttosto ampi) che l'utente può modificare (tipicamente restringendoli) sulla base alle conoscenze geologiche dell'area.
Number of individuals/models (Numero di individui/modelli)	Numero di modelli che costituiscono la popolazione che evolverà verso soluzioni migliori. Maggiore è il numero di strati, maggiore il numero di modelli da considerare.	60
Number of generations (Numero di generazioni)	Numero di generazioni al passare delle quali vengono esplorati modelli via via migliori	90

**Tabella 1.** Principali parametri di inversione.

#### Max allowed V<sub>s</sub> anisotropy (in caso di inversione congiunta Rayleigh + Love) (massima anisotropia V<sub>s</sub> consentita)

In caso di inversione congiunta di Rayleigh e Love è possibile lasciare libero l'algoritmo di considerare  $V_{SH}$  (da Love) diverse da  $V_{SV}$  (da Rayleigh) (il numero qui considerato è la possibile differenza tra questi 2 parametri n termini percentuali). Questo può consentire appunto di evidenziare anisotropie (vedi ad esempio Safani et al. 2005) e melte niò compute (an utenti mene consetti) nuè consentite

et al., 2005) o, molto più semplicemente (per utenti meno esperti), può esser visto come una sorta di "tolleranza" nell'ottimizzazione/inversione.

Eventuali anisotropie hanno valore solo in relazione all'esperienza dell'utente. Se non siete totalmente consapevoli di quanto in atto si consiglia di non dare peso ad eventuali anisotropie evidenziate.

#### Expand search space (forza/espandi lo spazio di ricerca fissato dall'utente)

Attivando questa opzione al *software* sarà consentito cercare soluzioni al di fuori dallo spazio di ricerca ( $V_s$  e spessori massimi e minimi) indicato dall'utente. Questo allo scopo di consentire un miglior *fitting* nel caso l'utente non abbia correttamente parametrizzato lo spazio di ricerca.

Se non siete utenti troppo esperti si suggerisce di attivare questa opzione.

#### V<sub>P</sub> and density optimisation (ottimizzazione per V<sub>P</sub> e densità)

Attivando questa opzione il *software*, dopo aver cercato le migliori  $V_s$  e spessori, procederà a modificare i rapporti di Poisson (rispetto quelli indicati dall'utente) allo scopo di migliorare il *fitting*. In generale è buona norma consentire che ciò avvenga.

Una volta lanciata l'inversione apparirà una "barra di stato" con indicato il tempo trascorso e quello rimanente:



La procedura di inversione deve ritenersi conclusa allorché comparirà la finestra:

🛃 FINE PROCEDURA INVERSIONE 💶 🗙					
Risultati salvati nella cartella "C:\winMASW\output\"					
ок					

Si raccomanda di NON effettuare alcuna operazione sulle finestre che *winMASW* apre finché tale messaggio non appare.

# 4.3 Il pannello di analisi congiunta velocità di fase+gruppo+HVSR+rifrazione

Dal pannello principale di *winMASW*<sup>®</sup> [*Academy*] si può accedere al pannello **Joint Analysis of Phase & Group velocities [+HV & refraction]**. Qui possiamo caricare un dataset attivo e la curva HVSR (che dovrebbe essere sempre la media di due misure HVSR prese in due diversi punti dello stendimento).

Cliccando il pulsante **compute P & G velocity spectra**, andremo a determinare gli spettri di velocità di fase (considerando tutte le tracce) e di gruppo (considerando anche una sola delle tracce!) del dato attivo.

Qui di seguito un esempio di schermata in cui sono mostrate (dall'angolo in alto a sinistra in senso orario) quattro "oggetti": **tracce sismiche** attive ottenute considerando 5 geofoni [componente ZVF], **velocità di fase** (il segnale ad alta frequenza e alta velocità è legato ad *aliasing spaziale* ma, poiché la cosa non lascia dubbi, non dà alcun problema/fastidio), **velocità di gruppo** (riferita alla traccia più lontana – vedi quadratino rosso sull'ultima traccia sismica), **curva HVSR** caricata.



Con un po' di *modelling* (giostrandoci ad esempio tra curve modali e FVS) possiamo alla fine giungere al modello mostrato qui di seguito (la congruità tra dato di campagna e modello è evidente). Come sempre possiamo decidere se ottenere il rapportino finale facendo riferimento alle curve modali [pulsante **report DC** in basso a destra] o alla soluzione FVS [di gran lunga preferibile] [pulsante **report FVS** in basso a destra].

#### winMASW<sup>®</sup>



Riguardo la **modellazione della rifrazione** (si attiva con l'opzione in alto a destra del pannello), se stiamo analizzando le componenti Z o R, la modellazione si riferirà (chiaramente e necessariamente) alle onde P, mentre se stiamo analizzando la componente T, la rifrazione si riferirà alle onde S. Qui di seguito un esempio di modellazione congiunta considerando dati attivi in componente THF (quindi modellazione congiunta delle velocità di fase e gruppo delle onde di Love + rifrazione onde SH + HVSR).



# Capitolo 5 - Alcune raccomandazioni generali



La dispersione delle onde superficiali è un potente strumento di indagine grazie al quale è possibile ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V<sub>s</sub>).

Il metodo, non essendone i fondamenti troppi noti fuori dall'ambito specialistico e nascondendo alcune insidie, è però soggetto alle cattive interpretazioni da parte dell'utente.

Prima di utilizzare questo (o qualsiasi altro) software è importante conoscere bene la materia ed essere consapevoli di tutti i passaggi e delle implicazioni dei parametri utilizzati sia in fase di *picking* della curva di dispersione che di inversione.

È quindi consigliabile la lettura di materiale a riguardo e/o la partecipazione a seminari/workshop sull'argomento.

Un'ulteriore raccomandazione: prima di interpretare lo spettro di velocità è sempre bene dare una spietata occhiata ai dati che stiamo analizzato (cioè alle tracce) ricordando il noto acronimo americano GIGO (*Garbage In Garbage Out*): se entra spazzatura esce spazzatura!



Si noti, oltre ad una certa quantità di *rumore*, il brusco cambio di carattere (pendenza e frequenze) dall'offset 20 m in poi.

Tali tracce vanno rimosse prima di procedere ad analisi che, in questo caso, darebbero informazioni solamente riguardo (indicativamente) i primi 10 m di profondità.

Qui di seguito un ulteriore esempio di dataset completamente inutilizzabili rispetto qualsiasi tipo di possibile analisi. Due note in merito:

- 1) l'acquisizione dei dati non è un mero fatto di mera forza bruta e richiede ottime conoscenze in fatto di cosa stiamo facendo e del tipo di dato utile a poter effettuare le successive analisi;
- la perfezione (ottimo rapporto S/N) di un (unico) dataset non significa che da tale dataset possa essere ricavato il corretto profilo V<sub>S</sub>: solo l'analisi congiunta (possibilmente in FVS) di diversi observables lo consente (vedi sezione introduttiva "Introduzione all'approccio olistico di winMASW<sup>®</sup>").



L'analisi delle onde di superficie non è un gioco di prestigio in grado di rivelare una soluzione anche nel caso la qualità dei dati sia bassa e/o le conoscenze dell'utente incerte e semplicistiche. I diversi modi possono interlacciarsi in modo anche piuttosto complicato e fuorviante (vedi nostri riferimenti bibliografici o, quantomeno, studiare con cura i contenuti della sezione introduttiva di questo manuale "*Introduzione all'approccio olistico di winMASW*<sup>®</sup>").

**Esempio di modellazione congiunta Rayleigh & Love considerando le curve di dispersione modale** (considerate comunque che l'approccio che consigliamo è quello FVS e *non* l'analisi/interpretazione delle curve modali).



Per una serie di esempi illustrate vedi l'appendice dedicata ad alcuni esempi di cosa puoi fare con **winMASW**<sup>®</sup>

# Parametri di inversione

La procedura di inversione utilizzata da *winMASW*<sup>®</sup> si rifà ai cosiddetti algoritmi genetici. Tale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai comuni metodi di inversione basati sulla matrice *Jacobiana* ed impone tempi di calcolo leggermente più lunghi.

Tali tempi sono evidentemente proporzionali al numero di individui (cioè modelli) e di generazioni scelti dall'utente nel "menù genetico" (vedi Tabella 1 e Figura 4).

I tempi di calcolo sono anche proporzionali al numero di strati utilizzati e alla quantità di dati (punti frequenza-velocità) nel file di *picking* (dove è salvata la curva di dispersione interpretata dall'utente). Aumentare la quantità di punti della curva di dispersione oltre ad un numero pari ad indicativamente 10 non porta ad un miglioramento del risultato.

Riguardo al *<u>numero di strati</u>* questo andrebbe fissato sulla base di considerazioni di carattere geologico note a priori.

In condizioni normali 4-5 strati sono sufficienti, mentre se ne suggeriscono 5-6 nel caso si sospetti la presenza di uno strato con inversione di velocità.

# NOTA

**Attenzione**: quando invertire una curva piccata, non state invertendo dei <u>dati</u> ma la *vostra* <u>interpretazione dei dati</u> (che può chiaramente essere errata se non si conosce in modo approfondito la fenomenologia delle onde di superficie).

### Suggerimento#1: numero di modelli e generazioni

Il numero di individui/modelli e generazioni da adottare deve essere proporzionale allo sforzo richiesto all'algoritmo per identificare una buona soluzione. Tali parametri devono quindi andare di pari passo col numero di strati adottato (più strati = maggior grado di libertà del sistema e maggiore sforzo computazionale) e all'ampiezza dello "spazio dei parametri".

Nei casi più comuni 4-5 strati sono usualmente sufficienti (generalmente è sconsigliabile scendere al di sotto di tale valore - vedi box "numero di strati da utilizzare") mentre nel caso ci siano evidenze di inversioni di velocità (indicate da "cunette" o appiattimento della curva di dispersione), si suggerisce di adottare 5/6 strati.

Lo spazio di ricerca da adottare va fissato dall'utente sulla base delle informazioni geologiche e stratigrafiche note a priori e conoscendo quali sono le V<sub>s</sub> per le più comuni tipologie litologiche (vedi Tabella A2 nella pertinente appendice).

Nel caso sia nota la stratigrafia di un sito (e quindi gli spessori degli strati non siano ignoti), si possono fissare dei valori dello spessore vicini a quelli che sappiamo essere presenti nell'area e lasciare più ampi limiti per la V<sub>s</sub>. In questo modo si riduce il grado di libertà del sistema e si può ridurre il numero di individui e generazioni da adottare.

In un caso tipico (5 strati con spazio di ricerca analogo a quello proposto in automatico dal software) per tali parametri si suggerisce la coppietta 30-30.

### Suggerimento#2: spazio di ricerca

Lo spazio di ricerca va fissato sulla base delle conoscenze geologiche note a priori. Se queste sono limitate è necessario fissare uno spazio di ricerca piuttosto ampio ma in questo caso il numero di individui e di generazioni dovrà essere aumentato.

Attivando l'opzione "expand search space" si consente al programma di forzare la ricerca del modello al di fuori dei limiti indicati dall'utente (scelta consigliata in caso di utenti non esperti).

#### <u>Suggerimento#3</u>: prendere confidenza col metodo, le sue potenzialità e i suoi limiti

Caricate un *dataset* e calcolatene lo spettro di velocità. Tentate quindi di riprodurre il dato osservato introducendo dei modelli nella sezione "modellazione diretta". Provate a modificare un parametro alla volta e notate come cambiano le curve di dispersione calcolate. Che succede se si aumenta la profondità di uno strato veloce? Che accade inserendo un'inversione di velocità in profondità? Qual è il rapporto tra V<sub>S</sub> dello strato, la sua profondità e la velocità di fase dell'onda osservata in superficie?

Esercizi (vedi la "modellazione diretta") e riflessioni di questo tipo sono determinanti per acquisire familiarità col metodo.

#### Suggerimento#4: numero di strati da utilizzare

Il numero di strati che suggeriamo di usare è 4-5. Si possono utilizzare più strati (in genere è sconsigliabile/inutile superare il numero di 7) in caso di situazioni stratigrafiche particolarmente complesse con presenza di canali a bassa velocità (inversioni di velocità).

È assolutamente proibito scendere sotto il valore minimo di 4. Infatti anche in presenza di una situazione stratigrafica apparentemente molto semplice quale ad esempio una copertura detritica/alluvionale sovrastante roccia sana vanno sempre tenuti in conto 2 fatti:

- 1. la roccia (per quanto sana) presenta tipicamente una parte superficiale alterata con proprietà geomeccaniche più scadenti rispetto quelle della massa rocciosa sottostante
- 2. in tale situazione una anche modesta stratificazione della parte sovrastante detritica (anche solo per compattazione se non per variazioni composizionali/tessiturali) diventa un fattore non trascurabile nella dispersione delle onde di superficie.

Per concludere questo inciso, corre l'obbligo di menzionare il fatto che in tali situazioni (limitata copertura di materiale sciolto sovrastante un materiale dalla  $V_S$  fortemente maggiore) si formano spesso delle onde guidate di notevole ampiezza che, dato il carattere tipicamente dispersivo, rischiano di essere scambiate per onde di superficie.

Si raccomanda di guardare con sospetto a velocità di propagazione curiosamente elevate (di valore grossomodo doppio rispetto ai valori ragionevolmente da attendersi per le V<sub>S</sub>) che sono da mettere in relazione ad onde guidate la cui propagazione dipende dalla V<sub>P</sub> e non dalla V<sub>S</sub> (vedi Robertsson et al., 1995; Roth & Holliger, 1999).

Per situazioni comuni si sconsiglia di usare meno di (indicativamente) sei strati se stiamo analizzando solo la dispersione e una decina se stiamo considerando anche l'HVSR sino a frequenze inferiori a 1 Hz.

<u>È possibile (anzi raccomandato) utilizzare un modello precedentemente testato</u> (le cui curve di dispersione risultano nella nostra interpretazione in accordo con lo spettro di velocità osservato) e salvato (file con estensione .mod) <u>come modello di partenza per l'inversione della curva di dispersione</u>.

Se si adotta tale approccio per l'inversione delle curve di dispersione (opzione#2 di inversione) tale modello viene preso come punto di partenza per l'ottimizzazione e vengono cercate soluzioni in un intervallo di V<sub>s</sub> e spessori (modificabile dall'utente) attorno a tale modello.

Questo può risultare particolarmente utile nel caso in cui siamo in presenza di stratigrafia con forti contrasti di impedenza acustica, per le quali l'approssimazione  $\lambda/2$  fornirebbe un cattivo modello di partenza (sul quale è basato lo spazio di ricerca proposto automaticamente).

# Capitolo 6 - Risultati inversione curve di dispersione



l risultati sono forniti sia graficamente che come file di testo (formato .txt e .*html*, vedi Tabella 2) e sono salvati automaticamente nella cartella "output" (o in qualsiasi altra cartella indicata dall'utente).

Ad ogni lancio del programma tutti i *file* presenti nella cartella "output" vengono cancellati. Di conseguenza, se si è scelta la cartella *output* come cartella di uscita dei risultati, una volta ottenuta un'inversione che si vuole conservare, si consiglia di salvarne i *file* in un'altra cartella diversa (nominata sulla base delle esigenze dell'utente).

Si noterà che sono due i modelli presentati come soluzione: il modello "migliore" (in termini di minor *misfit*, cioè discrepanza tra curva osservata e calcolata) e un modello medio calcolato secondo un'operazione statistica nota come MPPD (*Marginal Posterior Probability Density*, vedi l'articolo "Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation" – Dal Moro et al., 2006).

Si consiglia di prendere come risultato finale quest'ultimo (ad ogni modo i due modelli solitamente non differiscono in modo significativo). La schermata finale (Figura 7) riporta diverse informazioni. In alto a sinistra sono presentati i dati osservati, la curva del modello "migliore" e quella del modello medio – molto spesso le due curve sono sovrapposte e quindi indistinguibili. Poco più in basso è presentato il "grafico *misfit*-generazione", il quale dà evidenza del miglioramento del modello al procedere delle generazioni. Sulla destra, è presentato il profilo verticale della V<sub>S</sub> in funzione della profondità.

#### Qualità dell'inversione

È importante sottolineare che la buona o cattiva qualità dipende essenzialmente da 2 aspetti:

- 1. avere piccato una curva di dispersione sensata
- 2. aver impostato correttamente il processo di inversione (numero di strati, *range* di variabilità di V<sub>S</sub> e spessori e numero di modelli e generazioni)

La cattiva qualità di un'inversione può quindi dipendere da diversi fattori e solo l'esperienza può condurre ad una completa padronanza del metodo.

#### Massima profondità di penetrazione

Tale valore è determinato dalla relazione tra velocità e frequenze rappresentate nella curva di dispersione. Strati via via più profondi influenzano infatti frequenze via via inferiori (lunghezze d'onda maggiori) e di conseguenza sarà la frequenza più bassa a determinare la massima profondità di penetrazione. Questo valore è determinato attraverso l'approssimazione  $\lambda/2.5$  (o  $\lambda/2$ ) ed è quindi solo indicativo.

Esempio:

Se per la vostra curva di dispersione il valore di velocità di fase (V<sub>R</sub>) corrispondente alla frequenza più bassa piccata è 500 m/s e la frequenza è di 6 Hz, ne consegue che la massima lunghezza d'onda  $\lambda$  è circa 83 m e, conseguentemente la massima profondità di penetrazione risulta <u>grossomodo</u> di 35-40 m.



**Figura 7.** Schermata finale (automaticamente salvata nella cartella di output). Se si entra nella sezione "Inversione delle Curve di Dispersione" dopo aver analizzato il *dataset* nella sezione "Determinazione Spettro di velocità" si otterrà un'immagine analoga a quella riportata in alto (caso a). In questo caso è infatti possibile associare una curva di dispersione al rispettivo spettro. Se invece si entra nella sezione "Inversione delle Curve di Dispersione" direttamente dalla schermata principale di *winMASW*<sup>®</sup> caricando una curva di dispersione precedentemente piccata, non sarà possibile associare uno spettro alla curva e si otterrà un'immagine analoga a quella riportata in basso (caso b) (non vi è lo spettro di velocità sullo sfondo della curva di dispersione).

È di gran lunga preferibile (per non dire "obbligatoria") la situazione riportata in alto (a).

# Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

**A** - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

**B** - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

**C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

**D** - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

**E** - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.



**Figura 8.** Esempio di risultato finale: modello medio e "migliore" (in verde lo spazio di ricerca)

A titolo di esempio, in Figura 9 sono riportati due esempi di inversioni ottenuti su un modello sintetico a 6 strati. A sinistra il risultato dell'inversione utilizzando 6 strati, a destra il risultato ottenuto utilizzandone 10.

File testo	Results_winMASW.html	Il file (nel comune formato <i>html</i> per leggere il quale è possibile utilizzare un qualsiasi internet browser) riporta le informazioni rilevanti utili alla valutazione dei risultati e alla classificazione del terreno secondo la normativa italiana.
	winMASW_report.txt	Il rapporto completo su tutte le operazioni e i risultati: sono riportate informazioni di dettaglio (di scarso interesse per l'utente finale).
	curva_modo_fondamentale.cdo (e/o eventuali modi superiori)	Curva di dispersione del modello (medio) individuato dall'inversione. La prima riga riporta il nome del file di <i>picking</i> utilizzato per l'inversione.
	model.mod	File con il modello medio risultante (può essere usato per visualizzarne le curve di dispersione in sovrapposizione allo spettro di velocità osservato nella sezione "modellazione diretta" della parte dedicata al calcolo dello spettro di velocità).

**Tabella 2**. *File* di output automaticamente salvati nella cartella di uscita (di *default* è la "...\winMASW\output"). Nella cartella di uscita è anche copiato il file di *picking* considerato.

# V<sub>P</sub>, densità e moduli elastici

Poiché la dispersione delle onde di Rayleigh dipende essenzialmente dalla  $V_S$  e degli spessori degli strati (cioè dalla geometria), i valori di densità e  $V_P$  (e i conseguenti moduli elastici) determinabili tramite analisi delle onde di superficie devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative.

Tuttavia, non dipendendo dalla  $V_P$  ma solamente dalla  $V_S$  e densità, il valore del *modulo di taglio* (vedi Appendice C) rappresenta certamente una buona stima. Si noti come nel caso si stiano analizzando onde di Love si ottenga solamente tale modulo (dipendendo gli altri anche dalla  $V_P$ , che non rientra in nessun modo nella dispersione delle onde di Love).



**Figura 9.** Esempio di risultati per un modello sintetico. Per l'inversione di sinistra si sono utilizzati 6 strati, mentre per quello di destra 10 (in grigio chiaro il "*search space*" considerato).

Capitolo 7 - Onde di Love



Le onde di Love sono generate da una sorgente "di taglio" (la classica martellata data trasversalmente rispetto allo stendimento dei geofoni) e, dato il tipo di moto (trasversale) per essere registrate necessitano dell'impiego di geofoni orizzontali (per onde SH) posti con l'asse trasversale rispetto allo stendimento.

Diversamente dalle onde di Rayleigh, le onde di Love risultano sensibili unicamente a V<sub>S</sub>, spessori e densità del mezzo (oltre che ai fattori di qualità Q<sub>S</sub>): la V<sub>P</sub>, che già conta relativamente poco nel momento in cui consideriamo le curve modali delle onde di Rayleigh (ma ha un peso certamente maggiore quanto andiamo a computare le curve effettive), qui scompare del tutto.

Per dare alcuni esempi del carattere dispersivo delle onde di Love rispetto quelle di Rayleigh si presentano qui di seguito una serie di modelli (anche con inversioni di velocità) con le curve di dispersione modale per i primi 3 modi di propagazione.

È chiaro che avere l'opportunità di elaborare congiuntamente entrambe le componenti (onde di Rayleigh e di Love) consente una mutua verifica della nostra comprensione dei due spettri di velocità (e quindi del modello).

# Perché analizzare le onde di Love: motivo#1

Ci si può chiedere l'utilità di analizzare le onde di Love rispetto le analisi MASW con onde di Rayleigh. Vi è una duplice motivazione per farlo. Come evidenziato ad esempio da Safani et al. (2005) e in tutto il libro "*Onde di Superficie in Geofisica Applicata*" (Dal Moro, 2012), i modi superiori sono spesso meno complessi e gli spettri di velocità sono spesso meglio definiti rispetto quelli che si ottengono da analisi delle onde di Rayleigh, essenzialmente in relazione al fatto che il campo d'onda relativo alle prime è meno soggetto a fenomeni di *scattering*.

Inoltre le onde di Love dipendono unicamente dalle  $V_S$  (e non più anche dalla  $V_P$  come per le onde di Rayleigh).

Si noti che la dispersione delle onde di Love (come anche la rifrazione) dipende dalla componente orizzontale della V<sub>S</sub> (la V<sub>SH</sub>) mentre la V<sub>S</sub> delle onde di Rayleigh dipende dalla componente verticale (la V<sub>SV</sub>).

Se quindi si riescono ad effettuare delle (buone) analisi congiunte delle onde di Rayleigh e Love, si è in grado di valutare eventuali fenomeni di anisotropia dovuti ad esempio a stratificazioni litologiche e/o fratturazioni (vedi ancora Safani et al., 2005 e Gaherty, 2004). Si noti infine come le onde di Love sono più facilmente analizzate considerando dati attivi (MASW per velocitò di fase e MFA/FTAN per quelle di gruppo) ma, avendo un buon bagaglio teorico/pratico, anche da dati passivi (vedi pannello ESAC – approccio PS-MuCAA).

# Perché analizzare le onde di Love: motivo#2

Le onde di Love sono estremamente utili anche nel caso sia presente uno strato superficiale rigido poiché, in quel caso, le velocità delle onde di taglio degli strati più profondi sono immediatamente evidenti già alle alte frequenze e la peculiare modalità di eccitazione rivela immediatamente la presenza di tale inversione superficiale.

Qui un articolo (open access) che raccomandiamo in merito a queste peculiarità:

Dal Moro, G., 2020. The magnifying effect of a thin shallow stiff layer on Love waves as revealed by multi-component analysis of surface waves.

Scientific Reports **10**, 9071, <u>https://www.nature.com/articles/s41598-020-66070-1</u> (also available the presented datasets)



Generazione onde di Love in modo semplice ed efficace. È a volte utile inclinare un po' il geofono trigger di modo che possa raccogliere senza problemi la vibrazione sul piano orizzontale senza problemi.

È molto utile utilizzare una superficie di impatto inclinata (cioè non necessariamente verticale) che assicura una maggiore ergonomicità e consente dunque di immettere una maggiore quantità di energia di taglio (vedi foto qui sopra).

Un'efficace alternativa è mostrata qui sotto: piastra di battuta inserita in una piccola buchetta.



#### Modello



#### <u>Modello</u>





#### Il modello (file model.mod) in caso di analisi onde di Love

Nel caso si analizzi la dispersione delle onde di Love non è possibile avere alcuna informazione sulle onde compressionali ( $V_P$ ) (la loro dispersione dipende unicamente dalle  $V_S$ , dagli spessori e dalla densità).

In questo caso il modello finale (*file* model.mod) riporta una  $V_P$  assolutamente arbitraria che deriva dall'assunzione  $V_P=2V_S$  (corrispondente ad un modulo di Poisson di circa 0.33 – un valore medio tipico di sedimenti sciolti).

Per alcuni esempi di analisi congiunte Rayleigh + Love si rimanda all'Appendice "Alcuni esempi di alcune delle cose che puoi fare con *winMASW*<sup>®</sup>".

# "Obbligatoria" l'attenta lettura del seguente articolo:

MASW? A critical perspective on problems and opportunities in surface-wave analysis from active and passive data (with few legal considerations) Dal Moro G., *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2023, 103369, ISSN 1474-7065, https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103369

# Capitolo 8 - Analisi congiunta onde di Rayleigh e Love



Si tratta in effetti della schermata principe del software. Da qui possiamo caricare e analizzare congiuntamente sino a 4 oggetti (trascurando in effetti il fatto che possiamo anche valutare anche i tempi di arrivi delle onde P e SH rifratte): dispersione delle onde di Rayleigh e Love, HVSR e superficie RPM (qui di seguito un esempio di *snapshot*).





Computiamo la superficie RPM (che mette in evidenza un modo dell'onda di Rayleigh decisamente *progrado*) e carichiamo anche l'HVSR [che nel caso specifico tra i 6 e i 15Hz risulta pesantemente contaminato da segnali di carattere industriale - vedi in particolare i picchi a 6.7 e 14Hz] (in questo modo avremo 4 oggetti di analisi).

Con un po' di modelling potremo ottenere quanto segue:





Il modello potrà essere migliorato utilizzando poi gli strumenti di ottimizzazione/inversione automatica.

Se presso un sito sono state acquisite dataset congiunti [multi-componente] (utilizzando quindi i geofoni verticali o quelli orizzontali con asse *radiale* rispetto lo stendimento [e comune sorgente ad impatto verticale] per ottenere dati riguardanti le onde di Rayleigh e i geofoni orizzontali con sorgente "di taglio" per ottenere dati pertinenti alle onde di Love) è ora possibile invertirili *congiuntamente* (cioè assieme, in contemporanea) allo scopo di ottenere un modello più solido e, attraverso alcune valutazioni riguardanti il rapporto tra i *misfit* delle due componenti, evidenziare eventuali errori interpretativi.

Il modulo è richiamabile dalla schermata principale (**Joint Inversion of Dispersion Data**). In tale modulo, assolutamente analogamente a quanto visto per l'inversione di singole curve di dispersione, si devono caricare le curve di dispersione precedentemente piccate (sia relativamente alle onde di Love che di Rayleigh) e procedere poi come di consueto.

Assieme agli output coi quali ci siamo già familiarizzati considerando il comune caso di un'unica curva di dispersione (indifferentemente riferita alle onde di Love o Rayleigh) tra gli output più rilevanti vi sarà (nel caso si attivi l'opzione *"bi-objective space"*) anche un grafico relativo ai valori dei 2 *misfit* considerati (quello relativo alle onde di Love e Rayleigh).

Se il *picking* è stato fatto correttamente e l'inversione è stata correttamente impostata e portata a compimento, la *nuvola* dei modelli dovrebbe avere un andamento piuttosto lineare evidenziandosi una chiara convergenza verso il punto [0, 0].

Se una delle due curve (o entrambe) è stata invece malamente interpretata (quindi piccata) o se il numero di strati e/o lo spazio di ricerca (spessori e V<sub>s</sub> minimi e massime) risultano inadeguati, l'andamento della nuvola risulta invece tanto più fortemente irregolare quando più pesante è l'errore commesso.

Naturalmente questo è anche (ed innanzitutto) evidente dal fatto che non si riesce ad identificare un modello che abbia delle curve di dispersione in grado di *fittare* sufficientemente bene sia la componente di Love che di Rayleigh.

L'anisotropia delle onde V<sub>S</sub> è definita (in termini percentuali) come segue:

$$\eta = \frac{\left(V_{SH} - V_{SV}\right)}{V_{SH}} \cdot 100$$

Si noti che la percentuale di anisotropia può anche essere vista ed utilizzata anche "semplicemente" come tolleranza rispetto ad imprecisioni nel *picking* delle curve di dispersione. Ciò significa che piccoli problemi legati ad esempio ad un *picking* non perfetto o all'inevitabile incertezza che in una certa misura caratterizza qualsiasi dato, possono essere tenuti sotto controllo e appunto "tollerati" introducendo la possibilità di una differenza tra le  $V_{SV}$  (relativi alla dispersione delle onde di Rayleigh) e le  $V_{SH}$  (relativi alla dispersione delle onde di Love).

Va da sé che la valutazione di eventuali anisotropie richiede una significativa preparazione da parte dell'utente (si sconsiglia di procedere in ardite ricostruzioni delle anisotropie se non si è in possesso di un notevole bagaglio teorico e una vasta pratica di campagna).



Distribuzione dei modelli in presenza di significative anisotropie o incorretta parametrizzazione dell'inversione: si noti l'asimmetria del fronte di Pareto: i valori del *misfit* dell'obj#2 (Love) sono sensibilmente più alti rispetto quelli dell'obj#1 (Rayleigh). Inoltre non vi è una convergenza dei modelli verso il punto [0, 0].


Al termine di un'inversione congiunta (e.g. Rayleigh + Love o Onde di superficie + HVSR) viene anche calcolato un indice di simmetria (SI) che da un'idea quantitativa della simmetria del fronte di Pareto rispetto il resto dei modelli valutati (la simmetria è proporzionale al valore di SI con 1 valore massimo teorico).

Naturalmente una "banale" valutazione visiva è più che sufficiente ma si consideri che l'indice di simmetria non è l'unico criterio per valutare la congruità del processo di inversione (si considerino ad esempio anche le curve di dispersione dei modelli del fronte di Pareto rispetto le curve piccate).

Per chi vuole utilizzare tali analisi si partecipi a workshop *ad hoc* e si leggano i seguenti articoli:

Dal Moro G. e Ferigo F., 2011, Joint Inversion of Rayleigh and Love Wave Dispersion Curves for Near-Surface Studies: Criteria and Improvements, J. Appl. Geophysics, 75, 573-589

Dal Moro G., 2011. Some Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA (Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata), invited paper, 52, 241-259 (visita il sito www.winMASW.com – sezione dedicate alle pubblicazioni)

Dal Moro G., 2010. Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140

Dal Moro G., 2008, V<sub>S</sub> and V<sub>P</sub> Vertical Profiling via Joint Inversion of Rayleigh Waves and Refraction Travel Times by means of Bi-Objective Evolutionary Algorithm, *J. Appl. Geophysics*, 66, 15-24

Dal Moro G. & Pipan M., 2007, *Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curves and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms*, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81

## Capitolo 9 - Analisi attenuazione onde di Rayleigh



Senza entrare in dettagli teorici e ricordando che il modo più indicato per acquisire certe nozioni è la partecipazione a *workshop* dedicati, è utile qui ricordare che le onde sismiche diminuiscono d'ampiezza man mano che si propagano in un mezzo per 2 ragioni:

- 1. per una distribuzione dell'energia su un fronte via via maggiore (e tale fenomeno induce una riduzione per così dire della "densità di energia" e quindi dell'ampiezza)
- 2. per complessi fenomeni di assorbimento/conversione dell'energia il cui peso dipende dal tipo di terreni attraversati

Il primo aspetto passa sotto il nome di "componente geometrica" mentre per la seconda si fa ricorso ai cosiddetti fattori di qualità Q che descrivono le caratteristiche viscose di un dato mezzo (valori alti di Q denotano un mezzo dalle buone caratteristiche elastiche che non assorbe in modo eccessivo l'energia sismica).

Il metodo classico per analizzare l'attenuazione sismica si sviluppa in 3 fasi:

a. determinazione del modello elastico del terreno (cioè V<sub>S</sub>, V<sub>P</sub>, densità e spessori)

b. determinazione della curva di attenuazione (coefficiente di attenuazione in funzione della frequenza)

- c. inversione o modellazione della curva di attenuazione osservata avendo fissato (vedi punto
- *a*) la parte elastica (cioè il modello del terreno: V<sub>S</sub>, V<sub>P</sub>, densità e spessori).

Dal punto di vista pratico è quindi prima di tutto necessario procedere con l'analisi delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh (cioè la procedura usata per la determinazione del modello verticale della V<sub>S</sub> per la stima della VS30). Il risultato di questa operazione fornirà il modello (i *file* con estensione **.mod**) da cui partire per poi modellare/invertire la curva di attenuazione.

Si ricordi che l'analisi delle onde di Rayleigh fornisce una buona stima di V<sub>S</sub>, spessori e in parte densità ma i valori di V<sub>P</sub> possono essere stimati solo in modo molto approssimato (sulla base dei valori di Poisson scelti dall'utente e in una qualche misura modificati dall'algoritmo di ottimizzazione).

Nel caso si abbiano più precise indicazioni sulla  $V_P$  (ad esempio da studi a rifrazione o dati di pozzo) è possibile modificare i valori del modello semplicemente editando il file .mod (che è un comune file testuale ASCII).

Alla sezione dedicata all'analisi dell'attenuazione è possibile accedere sia dalla schermata principale di *winMASW*<sup>®</sup> che dalla sezione "Determinazione dello Spettro".

Qui, dopo aver caricato il *dataset* che si intende analizzare (ed eventualmente visualizzato lo spettro di velocità per tenere sott'occhio i modi presenti), si calcoleranno innanzitutto (pulsante "calculate curve") le curve di attenuazione nell'appropriato intervallo di frequenza (vale a dire l'intervallo di frequenza lungo il quale è presente il solo modo fondamentale - vedi oltre per dettagli su questo importante punto).

Successivamente caricheremo il modello del terreno precedentemente determinato che, per così dire, rappresenta la parte elastica (files con estensione **.mod**). A questo punto potremo modellare (o invertire) la curva di attenuazione osservata (espressione della parte viscosa).

Poiché anche nel caso dell'attenuazione valgono considerazioni per alcuni versi analoghe a quanto sottolineato per le curve di dispersione si consiglia sempre una modellazione diretta piuttosto di un'inversione "alla cieca".

Una volta identificato un modello la cui curva di attenuazione approssima sufficientemente quella osservata avremo terminato le analisi e saremo in grado di fornire il modello dei fattori di qualità Q (vedi oltre su come e dove vengono salvati i risultati).

Alcune importanti considerazioni in ordine sparso:

 durante la modellazione o l'inversione le uniche variabili sono i valori dei Q e non gli spessori degli strati. Questi sono infatti fissati dal modello *.mod* che abbiamo caricato (avendolo precedentemente determinato dall'analisi delle curve di dispersione). Questo rende la modellazione della curva di attenuazione una faccenda per alcuni versi più semplice rispetto all'analisi delle curve di dispersione (per le quali dobbiamo giocare tanto con le V<sub>S</sub> che con gli spessori).

- è importante sottolineare che per essere sufficientemente accurate, le curve di attenuazione si devono riferire ad un unico modo di propagazione delle onde di Rayleigh. Se il vostro *dataset* presenta (alle stesse frequenze) modi diversi con notevoli ampiezze si dovrebbe evitare di effettuare l'analisi dell'attenuazione (vedi anche box dedicato all'opzione "verbose").
- lettura delle curve di attenuazione: di base vale la stessa regola vista per le curve di dispersione: le alte frequenze si riferiscono alla parte più superficiale mentre le basse riguardano la parte più profonda.

## Correzioni geometriche (geometric corrections)

Quando tale opzione è selezionata, prima di analizzare l'attenuazione vengono effettuate le correzioni geometriche.

Per chi analizza dati di campagna è sempre necessario mantenere selezionata tale opzione (se ne è resa possibile l'esclusione per eventuali elaborazioni di *dataset* precedentemente trattati nell'ambito di studi di dettaglio nel settore della ricerca accademica).

### Spectral Ratio (SR) e Matching

Il *software* propone due curve di attenuazione: uno determinato col metodo dello *Spectral Ratio* (SR) (viene mostrato il valore mediano determinato considerando diverse coppie di tracce), l'altro secondo il metodo del *Matching* (ampiezza contro offset – vedi finestra con 6 plots generata dall'opzione "verbose") (vedi Tonn, 1991) (i valori ottenuti sono tipicamente comunque analoghi).

Nel caso si proceda con l'inversione della curva di attenuazione come riferimento viene presa la curva determinata col metodo del *Matching*.





### Pulsante "Test amplitude"

Il **pulsante** "**test amplitude**" apre una finestra con riportati i dati sismici e il grafico del logaritmo dell'ampiezza rispetto all'*offset* per le due frequenze indicate nei campi "Min & max frequencies" del pannello "Step#2: calculate attenuation curve".

A seconda che l'opzione sulle correzioni geometriche sia attivata o meno s'avranno due differenti tipi di finestra.

#### Correzioni geometriche attivate (geometric corrections):

a partire dall'angolo in alto a sinistra e muovendosi in senso orario sono riportate: tracce sismiche nella loro originale ampiezza di registrazione, tracce sismiche corrette per la componente geometrica (quindi sulla base degli *offset* indicati al caricamento del dato), grafico del logaritmo dell'ampiezza rispetto all'*offset* (in questo caso i grafici si riferiscono al dato corretto per la componente geometrica).



Esempio di *dataset* acquisito senza "guadagni differenziali" tra traccia e traccia (l'ampiezza decade con l'*offset*) quindi teoricamente utile per l'analisi dell'attenuazione. Si notano tuttavia degli "sbalzi" di ampiezza (confronta ad esempio ampiezza delle tracce ad offset 26 e 30) che possono essere dovuti a diversi problemi (ad esempio un cattivo accoppiamento geofono-terreno, l'utilizzo di geofoni dalle caratteristiche diverse ecc.).



Esempio di *dataset* acquisito con guadagni diversi per ciascun canale (traccia) e quindi inutilizzabile ai fini dell'analisi dell'attenuazione del dato sismico (si noti come l'ampiezza non decada con l'*offset*).

Correzioni geometriche disattivate (no geometric corrections):

Nel caso l'opzione sulle correzioni geometriche sia stata disattivata ("no geometric corrections") apparirà una finestra con 3 soli grafici: il grafico ampiezza-*offset* si riferisce al dato non corretto per la componente geometrica.



Esempio di *dataset* acquisito con guadagni diversi per ciascun canale (traccia) e quindi inutilizzabile ai fini dell'analisi dell'attenuazione del dato sismico (si noti come l'ampiezza non decada con l'*offset*).

Per il significato e l'uso di questi grafici si rimanda al *box* dedicato all'acquisizione di dati per l'analisi dell'attenuazione in *Appendice A*.

### Pulsante "verbose"

Se si calcolano le curve di attenuazione (pulsante "*calculate curve*") avendo attivato il pulsante "verbose" si ottengono tre finestre:

La prima finestra riporta il *dataset* con evidenziate la prima e l'ultima traccia considerate per il calcolo della curva di attenuazione. La ragione di questa opzione (tali tracce vanno definite nella finestra principale nei campi "*Reference trace*" e "*Maximum considered trace*") è che per talune acquisizioni si possono verificare degli effetti legati alla vicinanza della sorgente (presenza di onde dirette ecc.) che non essendo da mettere in relazione alla propagazione delle onde di superficie porterebbero ad un decadimento della qualità delle analisi.

Questo può accadere se la distanza tra sorgente e primo geofono è troppo piccola e si verifica una serie di fenomeni legati al cosiddetto *near field*. Del tutto indicativamente sono quindi sconsigliati *offset* minimi inferiori ai 10m.

Quando quindi le ampiezze delle prime tracce risultano di molto superiori all'andamento generale per presenza di onde dirette è bene non considerare tali tracce nelle analisi.

Vengono quindi mostrati: *dataset* totale, *dataset* selezionato, spettro d'ampiezza delle tracce e spettro di velocità nella porzione di frequenze considerata.



La successiva figura riporta 6 *plots* per sei diverse frequenze (a partire dalla minima fino alla frequenza massima considerata). Tali grafici rappresentano il variare del logaritmo dell'ampiezza in funzione dell'*offset* per un dato valore di frequenza.

Tali andamenti sono di aiuto per capire in quale intervallo di frequenze possiamo avere dati di buona qualità e quali frequenze sono invece da evitare (perché ad esempio a tali frequenze si manifestano più modi o modi diversi o assenza di segnale utile).

È chiaro che quanto si deve verificare è un decadimento dell'ampiezza in funzione dell'offset. Se si nota un andamento diverso ciò deve mettere in allarme. I grafici riportati qui di seguito mostrano andamenti piuttosto coerenti. Tuttavia il fatto che da circa 18Hz in su il segnale sia in prevalenza legato al primo modo superiore imporrebbe di considerare solo la parte della curva di attenuazione da quella frequenza in su'.



Si ricordi che il *dataset* in questione (test-attenuation-50Hz.sgy fornito a corredo) per frequenze superiori a circa 18 Hz presenta il solo modo fondamentale mentre per frequenze inferiori si verifica la compresenza del modo fondamentale e del primo superiore (e come si è precedentemente evidenziato nel caso si verifichino contemporaneamente più modi i risultati ottenibili in quell'intervallo di frequenze sono da scartare). Sopra i 50Hz si nota assenza di segnale relativo alle onde di superficie.



La parte da considerare nell'analisi di questi dati è perciò quella tra 18 e 50 Hz.

Chiaramente, tracce/dati quali quelli qui di seguito riportati non sono adatti ad analisi dell'attenuazione.



### Valori tipici dei fattori di qualità Q

Per terreni di bassa qualità (molto poco coesi e dalle scarse proprietà meccaniche) i valori di Q si aggirano tra 3 e 15; terreni sciolti con un grado di coesione via via maggiore possono giungere sino a grossomodo 60.

Materiali rocciosi possono presentare, a seconda del grado di compattezza, valori sino a grossomodo 100-200.

Si consideri che l'errore nella determinazione dei valori di Q è proporzionale al valore stesso: valori di Q molti alti sono quindi determinati in modo più impreciso rispetto valori più bassi tanto che per Q>100 l'errore può avere valore paragonabile allo stesso Q (vedi White, 1992).

Incidentalmente, per quantificare la componente viscosa di un terreno si trova spesso citato in luogo del fattore di qualità Q il *damping factor* (fattore di smorzamento).

La relazione che lega le due entità è:

$$D = \frac{1}{2Q}$$

### Riassumendo (con occhio pratico):

Una volta caricato il *dataset* (in alto a sinistra), visualizzato lo spettro di velocità (in basso a sinistra) e calcolate le curve di attenuazione (box centrale), si deve procedere con il caricamento del modello di terreno precedentemente determinato dall'analisi delle curve di dispersione (il *file* .mod ottenuto). Per fare questo si ciccherà sul pulsante "Input V<sub>S</sub> model" e si cercherà l'appropriato file .mod nella cartella di output dell'analisi delle curve di dispersione.

A questo punto sulla finestra dedicata sarà visualizzato il profilo  $V_{S}$ .

Siamo a questo punto pronti per modellare o invertire le curve di attenuazione.

### a) Modellazione

Se optiamo per la modellazione diretta (sempre consigliata!) basterà cliccare il pulsante "Q model". Quando avremo identificato un modello che ci soddisfa (perché in accordo con le curve osservate) basterà ciccare sul pulsante "summary plot" per visualizzare una schermata riassuntiva del modello (vedi box poco oltre). Tale schermata è automaticamente salvata in formato .png nella cartella "...\winMASW\outputattn\" ma può essere salvata in qualsiasi altro luogo e secondo diversi formati nel consueto modo (File  $\rightarrow$  Save As...).





Esempio di schermata/figura ottenuta cliccando il pulsante "*summary plot*" dopo aver identificato (cioè modellato) il modello di Q che meglio approssimava le nostre curve di attenuazione.

Il numero di curve (modi) di dispersione da visualizzare in sovrapposizione allo spettro di velocità (in basso a sinistra) è fissato dal parametro "Modes to visualize" nel pannello "Inverting Q"

### b) Inversione

I parametri "Number of models" e "Number of generations" hanno esattamente lo stesso significato di quelli incontrati nell'inversione delle curve di dispersione e quindi non ci soffermeremo.

Date le modalità di modellazione i numeri suggeriti sono rispettivamente di 100 e 300 (tempi di calcolo di pochi secondi).

Prima di lanciare l'inversione è necessario fissare lo "spazio di ricerca" (che suggeriamo di fissare dopo aver proceduto con qualche modellazione diretta e tenendo conto dei tipici valori di Q dei diversi materiali – da un minimo di 3 per terreni altamente attenuanti superficiali sino a ben oltre 100 per rocce sane).

Per giudicare se un'inversione ha prodotto valori soddisfacenti è possibile comparare il valore del *misfit* finale rispetto il valore medio della curva di attenuazione: un valore di circa il 10% (o minore) rispetto il valore medio della curva di attenuazione generalmente indica un buon risultato.

Esempio: se il valore del *misfit* finale è di 0.004 mentre il valore medio della curva di attenuazione si aggira su 0.06, il *misfit* finale rappresenta un valore di circa il 7% del valore medio, segno di un modello accettabile.

### Schermata finale risultante dall'inversione della curva di attenuazione

(automaticamente salvata come file .png nella cartella .../outputattn/ ma salvabile nel consueto modo in qualsiasi altro luogo e secondo altri formati grafici)



Il numero di curve (modi) di dispersione da visualizzare in sovrapposizione allo spettro di velocità (in basso a sinistra) è fissato dal parametro "Modes to visualize" nel pannello "Inverting Q"

### $Q_S = Q_P \circ Q_P = 2Q_S?$

Nella procedura di modellazione o inversione si è invitati a scegliere se adottare un modello per cui  $Q_S=Q_P$  o  $Q_P=2Q_S$ .

 $Q_S$  è il fattore di qualità per le onde di taglio (S) mentre  $Q_P$  per le onde compressionali (P). Diversi autori danno indicazioni leggermente discordanti rispetto il rapporto tra  $Q_S$  e  $Q_P$  (cioè il fattore di qualità per le onde di taglio e per le onde compressionali).

La questione è di natura squisitamente accademica ed una risposta univoca ed assoluta non è proponibile.

Quello che preme qui sottolineare è che (tranne casi particolarissimi) nell'attenuazione delle onde di Rayleigh il fattore dominante è comunque  $Q_S$  (mentre  $Q_P$  gioca un ruolo assolutamente minore) e per rendersene conto è sufficiente giocare un po' con la modellazione diretta provando questa o quella opzione.

Questo significa anche che quello che si può fornire con una sufficiente precisione dall'analisi delle onde di superficie è la  $Q_s$  mentre la  $Q_P$  può esser solo stimata (e in termini del tutto generali il valore si aggira da  $Q_s$  a  $2Q_s$ ).

### Capitolo 10 - Computo, analisi e modellazione HVSR



L'HVSR (il rapporto spettrale tra la componente orizzontale e quella verticale dei microtremori) è in uso in sismologia indicativamente dalla fine degli anni '60 (vedi ad esempio Mark and Sutton, 1975). Negli anni ottanta, in Giappone, sono stati poi svolti diversi studi sul suo utilizzo in relazione alla valutazione del rischio sismico (vedi studi riportati in bibliografia). Di fatto non è mai stata *dimostrata* la relazione tra amplificazione e curva HVSR. Considerazioni teoriche e osservazioni sperimentali non supportano infatti l'idea (purtroppo molto popolare) che la curva HVSR rappresenti, *sic et simpliciter*, la curva di amplificazione.

Diversi studi (vedi ad esempio Perron et al., 2018 e riferimenti bibliografici in esso contenuti) hanno infatti dimostrato che l'amplificazione registrata durante un terremoto si discosta anche di *molto* rispetto la curva HVSR (vedi ad esempio dati riportati nella seguente Figura).



Confronto tra curva HVSR e curva di amplificazione reale (da analisi SSR – *Standard Spectral Ratio*) in caso di evento sismico (da Perron et al., 2018). Si noti la profonda differenza tra curva HVSR ed amplificazione effettivamente misurata.

Se quindi, unicamente a dati riguardanti la velocità di propagazione delle onde di superficie, l'HVSR rappresenta un valido sussidio a stimare le V<sub>S</sub> delle parti più profonde (e.g. Arai & Tokimastu, 2005; Dal Moro, 2015), essa non deve essere intesa come stima dell'amplificazione di sito.

### Analisi: determinazione della curva HVSR

I pochi parametri da settare sono di chiara lettura (vedi anche SESAME, 2005): se non siete sicuri del valore e peso dei parametri coinvolti è bene frequentare qualche workshop, suggerimento che naturalmente vale per qualsiasi metodologia si decida di utilizzare.

Il formato di base utilizzato è quello ufficiale del progetto SESAME (SAF = *SESAME* ASCII data Format).

### Formato dei dati SAF

Il formato SAF (*SESAME* ASCII data Format) è un normalissimo file ASCII apribile con qualsiasi *word editor*.

Il software *winMASW* assume che le 3 colonne rappresentino rispettivamente:

*prima colonna*: componente verticale *seconda colonna*: componente NS *terza colonna*: componente EW

Inoltre:

Sono 2 i parametri letti dall'header:

- 1) la frequenza di campionamento ("SAMP\_FREQ =")
- 2) la data ("START\_TIME = ")

Se ottenete errori di lettura nel file SAF fornito dal vostro strumento di campagna si raccomanda di correggere le *header lines* e le colonne in modo che esse ottemperino al formato qui sopra ricordato.

Come intuibile è *assolutamente necessario* avere la frequenza di campionamento ("SAMP\_FREQ =").

D'altra parte la data ("START\_TIME = ") non è un parametro necessario e in caso di sua assenza verrà visualizzato un semplice "*warning*" che consentirà di procedere comunque con le analisi.

### <u>Data Re-sampling</u>

### Tool per il ri-campionamento e il salvataggio di dati H/V

Dalla schermata principale di winMASW è disponibile uno strumento ("*Data Resampling*"). Con questo *tool* è possibile caricare, decimare e salvare un file (vedi box "campionamenti e ri-campionamenti" per comprenderne il peso).

Si noti comunque che è possibile ri-campionare un dataset (ma senza salvare il dato ricampionato) anche direttamente all'interno dello strumento di analisi H/V (*"compute H/V"*).

### Importante

Il *software* assume che le eventuali correzioni per la compensazione delle ampiezze siano state effettuate a monte e che il SAF letto sia quindi esente da "effetti strumentali" che possono alterare la riposta in frequenza.

Contattare il produttore dello strumento utilizzato per sincerarvene.

Per chi sta utilizzando uno dei nostri geofoni HOLI3C è invece sufficiente attivare l'opzione "HOLI3C".

Hel Surface * & winMASW * - Herizontal-to-Vertical SSS 3 (%) 1/0 (%) 1/0 (%) 1/0 (%)	jentru (huio (M55) Ø Φ Φ (Ω) Ø Π □ ■ ►   ¶	- 🗆 X
ahow data reset	2017-11-11 12-45-cascate-AlmostNOwater-inizia con 4 elizotteriaeo2 (samolino: 250Hz, lenoth: 19.9999min)	
step#1 (optional) - decimate		open working folder
64 Hz v New Trequency resample	▲ select file ×	show location
remove events   teh Rat & v   clean axes	(c →) < ↑ → This PC → data (t) → BUCSOFT → Dati → Correnze, HW_Tomente, Tome → Tome, River, ascque → site1 v (b)	
23 window length (s) 5 tapering (%) Min. freq.: 0.5Hz	Organise + New folder	
15 amplitude threshold test removal	Anne     Date     Date     Date	
15% v spectral smoothing (triangular window)		
2 detrending order     Detrending order     HOLIDC	22 Desphere of	
tul ouput compute	Cocuments #	your comments
continuity	E Polans d	
20 motion show 30 motion	asimininan mininan 7.3	
	terra, analysis	default axes 🔍
trequencies to highlight 1.0 5.0 10.0 HZ comparies	Dreptere available.	
- save. option#1: save HVSR as it is	ComDition	
save NV from 0.5 to 60 Hz	This PC	
save IV curve (as it is)	deta (t)	
save - option#2: picking IIV curve	My Pempert (k)	
pick HV curve save picked HV	Kensent     Konsense	
quick analysis (f-Va-Ht)	•	
200 (from surface to bedrack)		
20 depth of the bedrock	C 3	
cean commute	He name (2017-11-11,12-45-caecata-AlmostNDwate-inicia, con,4, elicotteri seg) V SAF/seg2 formats (Assumed fo V Open Carvel	
highlight a frequency		
drawhighlight 10 Hz		
directivity over time directivity in time time time 70 4		
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	
■ Informer® SwintWOR® - Information-Station 日本はSSS 山 回 大 同 公 へ へ 合 の	Apri/seleziona il file (formato seg2)	×
国 Helfarders <sup>®</sup> 8 and XCR <sup>®</sup> - Hannedd-In-Sectord 日本 (日本)	Apri/seleziona il file (formato seg2)	x
Internet® Southing       Internet® Southing       Internet®	Apri/seleziona il file (formato seg2)	- II X
Intervent Business - Homodalandes       Intervent Business	Apri/seleziona il file (formato seg2) Pero de 200 m ■ → ■	X
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	- I X
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	X
Interface         Note	Apri/seleziona il file (formato seg2)	- 17 X upan waking labbr mini waking Mali nata
Instructure & automatical automatical automatical     Statistical automatical automatical automatical     Statistical automatical     The second automatical     The second automatical     Statistical     Statistical	Apri/seleziona il file (formato seg2)	- D X gen websy bible show to show Bible balan
Intervent & anticide - thereads a served     Server a server	Apri/seleziona il file (formato seg2)	- 7 X Marana Marana Marana
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	X X
Construction of automatic disconcertain of	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your comments
Intervent & antical - thereads a second a s	Apri/seleziona il file (formato seg2)	X we make the first of th
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your commants
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	X war working Mater 
Contractive in contractive - Lineared as service     Contractive in the contractive - Lineared as service     Contractive in the contractive - Contract	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your commants
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your connents
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	X X
Intervent & antitude - Howevertain control     State of the Control of the Intervention control     State of the Control of the Intervention     State of the Control of the Intervention     State of the Interven	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your contracts
Construction of a second	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your commans
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your comments
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	year entropy black. Units transfer Dear of a contract of the peak of a contract of the peak of a contract of the Addenity access
Interventional de la construction de la construcción de la constr	Apri/seleziona il file (formato seg2)	yeer contants
Control of the second sec	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your comants
Intervent & subscript, - However, and an extent of the subscript, - However, and an extent of the subscript, - However, - Howev	Apri/seleziona il file (formato seg2)	year an angle Marine and Marine Part a same are part a same are
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	yeer coments
	Apri/seleziona il file (formato seg2)	your comments

Iol Surface® & winMASW® - Honzoetal-to-Vertical S	- 🗆
ş szs 🚽 🛞 🏌 🐺 🖏 🔍 🧐 🥏 🚸	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •
nhow data reset	appa and philosophilic and phi
Alter and a second	La de consecuencia de la
defineding order     defineding order     Post de notion, all IVORs and Video     hull ouput     compute     compute	jour comm
20 motion sever relate show 30 motion	Solid for unit of researces (of part solid year double or denote to solid a)
Brocketly analysis frequencies to highlight: 1.0 5.0 10.0 Par comparie	detault axes  detault axes  detault axes
Anne applicants: anyo IIVSE as it is anyo 74V from 0.5 m 640 Hz. Nore MV come (as it in)	
Pare - optoracy proving RV curve	
anick analysis (f-Visial) 246 37430 (f-Visial) (formsurface to bedrock) 20 depth of the bedrock 1000 Visial the bedrock	
carpute carpute	

Definisci l'unità di misura del dato (nel caso tu stia utilizzando in nostro sistema di acquisizione HoliSurface seguendo correttamente le procedure di acquisizione, selezione l'opzione evidenziata nello *snapshot* sopra riportato e otterrai i dati in mm/s).



Dati dopo l'elaborazione base (media zero e rimozione derive strumentali)



### Pulsante "show location"

Chi possiede una terna dotata di GPS può ora visualizzare l'ubicazione della misura su *Google Earth* (che deve chiaramente essere stato preliminarmente installato) con un semplice click.

I dati geografici sono quelli indicati nel file SAF (secondo appunto il formato SAF) nei campi EVT\_X (longitudine), EVT\_Y (latitudine) e EVT\_Z (altitudine)

Esempio di dati geografici nel file SAF:

 $EVT_X = 10.2$  $EVT_Y = 50.1$  $EVT_Z = 0$ 

Nel caso tali dati siano presenti viene attivato il pulsante "show location" ed è possibile quindi ottenere in modo rapido ed automatico una schermata come quella qui sotto riportata



Per sapere se la propria terna (e il relativo software di acquisizione) sia dotata di questa possibilità si consulti il produttore della stessa.

### Campionamenti e ri-campionamenti

Quali sono le frequenze di maggior interesse dal punto di vista geologico-ingegneristico? Grossomodo andiamo dagli 0.5 ai 20Hz.

Poiché per individuare una certa frequenza è necessario campionare ad almeno il doppio di tale frequenza, andrebbe da sé che campionando un segnale ad almeno 40Hz dovremmo riuscire a portarci a casa un dato sufficientemente definito per i principali scopi di carattere geologico.

Una serie di altre considerazioni che non si possono qui svolgere per esteso suggeriscono comunque di acquisire ad almeno 128Hz.

Secondo taluni è addirittura consigliabile acquisire un dato a frequenze ancora maggiori (256 o 512Hz) e poi ri-campionarli (*decimarli*) ad una frequenza inferiore.

L'importante, allo scopo di non aumentare inutilmente i tempi di calcolo, è analizzare dei dati ad una frequenza non superiore ai 128Hz.

<u>In sintesi</u>, quello che si potrebbe suggerire è: utilizzare in campagna un campionamento di 256Hz e procedere poi ad un ri-campionamento a 64 o 128Hz in fase di analisi ("*step#1 – optional*"). E ad ogni modo risulta completamente inutile (dati gli scopi delle più comuni indagini geologiche/geofisiche) analizzare dati ad una frequenza di campionamento superiore ai 128Hz (anzi consigliamo di ri-campionare 64Hz - che consente comunque di vedere sino a 32Hz).

### Movimento del suolo

Se viene selezionata l'opzione "*show particle motion (of the original data)*" si otterranno i movimenti del suolo lungo le tre sezioni *verticale-NS, verticale-EW* ed *orizzontale* (NS-EW) (chiaramente dei dati originali).



# Rimozione di specifici eventi (transienti) prima di passare al calcolo del rapporto spettrale H/V



Cliccando il pulsante "remove events" dalla schermata principale, comparirà la seguente schermata:

L'utente può a questo punto selezionare specifici eventi (segnali) da rimuovere. Per farlo si deve cliccare il pulsante "start selection" ed usare il pulsante sinistro del mouse per definire ciascun punto (si consideri che ogni eventi è definite da un punto di inizio ed uno di fine). Per selezionare l'ultimo punto si userà il tasto destro. Ad esempio nell'esempio sotto riportato vi sono 3 eventi selezionati (per essere rimossi). Tali eventi sono chiaramente definite da 6 punti. I primi 5 devono essere identificati usando il pulsante sinistro, l'ultimo (in questo caso quasi alla fine del dataset) con il pulsante destro.

Se la selezione ci soddisferà cliccheremo a questo punto il pulsante "accept" per tornare alla schermata principale, altrimenti potremmo rieffettuare la selezione resettando la selezione (pulsante "reset").



## Rimozione automatica di eventi con ampiezza superiore ad una soglia (*amplitude threshold*) fissata dall'utente e delle curve HVSR outlier

Tra i parametri da settare per l'elaborazione dell'HVSR, vi è anche la soglia di ampiezza (*amplitude threshold*) utilizzata per rimuovere automaticamente tutte quelle finestre all'interno delle quali vi sono eventi con ampiezza.

In sintesi viene calcolata l'ampiezza *root mean square* delle tracce e viene poi moltiplicata per la *amplitude threshold* fissata dall'utente.

Se una finestra contiene un evento di ampiezza maggiore, tale finestra viene eliminata dalle analisi.

Chiaramente, minore sarà quel valore più dati/finestre saranno rimosse. Il valore di default è molto alto in modo da mantenere praticamente tutti i dati. Il valore suggerito (in termini generali) è attorno a 4.



Con il pulsante "*test removal*" si andrà a verificare come agisce tale pulizia automatica del dato e potremo aumentare o diminuire la pulizia automatica delle tracce prima di procedere con il computo finale (fatto spuntando l'opzione "*full output*").

Qui sotto un esempio di dati prima e dopo la rimozione delle finestre in cui l'ampiezza supera la soglia fissata (vedi linea blue).



www.winMASW.com - geophysical software & services

L'opzione "**HVSR threshold**" consente di controllare la rimozione automatica di curve HVSR troppo lontane dalla curva media (*outliers*): più alta è la tolleranza, meno *outliers* saranno rimossi, viceversa minore sarà la tolleranza più curve HVSR "sballate" saranno rimosse. Il valore di default è molto alto (cioè si fan passare tutte le curve). Valore suggerito attorno a 240.

Nello snapshot qui sotto riportato sono mostrati (da sinistra a destra):

- 1) totalità delle curve HVSR
- 2) curve HVSR mantenute
- 3) curve HVSR rimosse

La curva HVSR media alla fine mostrata sarà computata senza considerare tali *outliers*).





Protezione del geofono triassiale dal vento

### Schermata principale

La schermata è di semplice lettura. Come primo passo si caricherà il *dataset* che si intende analizzare (classica icona in alto a sinistra nella barra degli strumenti).

Si setteranno poi i vari parametri secondo i propri desiderata e si lanceranno le analisi col pulsante "*compute*". Una volta terminate la analisi lo schermo mostrerà gli spettri delle tre componenti e il rapporto H/V:



Se la terna utilizzata includeva anche un GPS e il file SAF ottenuto contiene le indicazioni geografiche del sito (campi "EVT\_X", "EVT\_Y" e "EVT\_Z") sarà possibile (pulsante "sho location") ottenere l'automatica visualizzazione del sito su *Google Earth* (che deve chiaramente essere stato precedentemente installato).

Quando, al variare dei parametri di elaborazione, si sarà ottenuta una buona curva HVSR, a quel punto si potrà effettuare il computo "completo" di tutto quello che è computabile. Per farlo basterà attivare l'opzione "full output". Come risultato nella cartella di lavoro saranno salvati una serie di output (immagini e testo). Il principale è un file HTML (un normalissimo file in formato web gestibile con qualsiasi browser): cliccandolo si aprirà il report delle analisi. I puntini rossi (vedi schermata sopra riportata) indicano valori HVSR inferiori all'unità (*possibile* indice di inversioni di velocità). Tra i vari output anche la "continuità" dell'HVSR durante il l'acquisizione (in questo caso di poco meno di 18min), cioè il valore dell'HVSR su ciascuna finestra considerata:



La continuità viene presentata sia nella classica visualizzazione bidimensionale (sulla sinistra) che tridimensionale (sulla destra).

Una serie di strumenti è come sempre presente nella barra. È ad esempio possibile visualizzare la scala dei colori (che in questo caso rappresenta proprio i valori del rapporto spettrale H/V - vedi immagine qui sotto).



Nel caso si attivi l'opzione "*Particle motion, all HVSRs and video*", viene anche generato un video del grafico 3D della continuità (automaticamente salvato nella cartella di lavoro come "persistenceHVSRmovie.mp4").



### Spettri di ampiezza delle singole componenti al vin funzione del tempo.

### Frequenza minima della curva HVSR: cosa fare se voglio visualizzare frequenze inferiori a 0.5 Hz?

In ossequio alle direttive SESAME, la frequenza minima visualizzabile dipende dal valore della finestra di analisi. Essendo richiesti almeno 10 cicli, la frequenza minima determinabile in modo robusto è pari quindi a  $f=10 / I_w$  (10 diviso la lunghezza della finestra in secondi).

Se si desidera scendere ad esempio sino a 0.1 Hz, è necessario fissare la finestra di analisi a 100 secondi e scrivere 0.1 nel campo relativo alla frequenza minima nel gruppo **"save - option#1: save HVSR as it is**"

### **HVSR Report e criteri SESAME**

Al termine del computo della curva HVSR viene anche fornito un *report* (file .html) che riassume tutti i parametri utilizzati e le risultanze dell'analisi (il file è automaticamente salvato nella cartella di lavoro).

Vengono anche valutati i criteri SESAME inerenti l'affidabilità della curva H/V e del suo picco. Le analisi rispetto i criteri SESAME sono svolte considerando i dati nell'intervallo 0.5-15Hz (ambito di interesse ingegneristico) ma tale range può essere modificato tramite il pulsante  $f_c$  situato nella barra degli strumenti in alto. La complessità di questo genere di valutazioni è tale da rendere necessario uno sguardo "critico" da parte dell'utente che deve aver bene presente l'argomento. È quindi necessario che l'utente abbia ben assimilato tutti i concetti inerenti i criteri SESAME.

Tra le altre cose l'output riferisce i seguenti parametri:

In the following the results considering the data in the 0.5-15Hz frequency range Peak frequency (Hz):  $3.2 (\pm 0.3)$ Peak HVSR value:  $5.5 (\pm 0.5)$ 

### 

#1. [f0 > 10/Lw]: 3.2 > 0.25 (OK) #2. [nc > 200]: 6314 > 200 (OK) #3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

### 

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 2.0Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 4.2Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 5.4 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f)  $\pm$  sigmaA(f)] = f0  $\pm$  5%]: (OK)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 0.313 > 0.157 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.642 < 1.581 (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

### Alcune raccomandazioni:

- non scambiare i criteri SESAME per la Bibbia

- cambiare i parametri di elaborazione (lunghezza finestra di analisi, rimozione transienti, ecc.) necessariamente porta a modifiche che possono riflettersi anche nei criteri SESAME.

- il criterio#5 (tra quelli "*Criteria for a clear H/V peak*") è spesso tra i più restrittivi. Al di là della sua rigorosa formulazione, si valuti quindi il dato con buon senso (sempre necessario per qualsiasi metodo).

- di *default* i criteri sono calcolati nell'intervallo 0.5-15Hz (solitamente quello di maggior interesse ingegneristico), ma tale intervallo può essere modificato con il pulsante *fc* presente nella *barra degli strumenti*.

- attenzione che possibili picchi antropici/industriali (2005; Dal Moro, 2012; 2014; 2023) non possono essere riconosciuti automaticamente ma non devono essere considerati a fini geologici.

- attenzione che, nonostante le leggende metropolitane, la curva HVSR ha ben poco a che fare con l'amplificazione di sito



Si consideri che mentre in un caso (a sinistra) la scala delle frequenze è di tipo logaritmico, nell'altro (a destra) è di tipo lineare. La figura è salvata automaticamente nella cartella di lavoro/output precedentemente indicata ("working folder") ma può essere anche salvata manualmente dall'utente in un qualsiasi dei numerosi formati possibili.

### Identificazione dei picchi e criteri SESAME: le frequenze fc

### Le due fasi delle analisi HVSR

In una **prima fase** (cliccando su "compute" senza avere attivato alcuna particolare opzione) si fa il calcolo della sola curva HVSR in modo tale comprendere quali possano essere i parametri (*smoothing*, lunghezza della finestra ecc.) più indicati per il *dataset* di volta in volta considerato.

In questa fase vengono anche evidenziate due barre rosse verticali che indicano la frequenza minima e massima all'interno del quale sono calcolati i criteri SESAME:



È cura dell'utente modificare tali limiti (pulsante "*fc*" sulla barra degli strumenti) in modo da includere il picco che si intende valutare rispetto ai criteri SESAME.

Nella <u>seconda fase</u>, una volta modificati i limiti e attivato l'opzione "full output" (in modo da effettuare tutte le possibili analisi di direttività, continuità ecc.), otterremo un grafico come il seguente (in cui ora i limiti sono indicati in modo più "discreto" e non vengono evidenziati i valori inferiori all'unità):



Infatti se in una curva esistono più picchi, questi andranno valutati (rispetto i criteri SESAME) singolarmente/separatamente (vedi il "pacchetto" *winMASW-HVSR-SESAME.rar* presente nella cartella "Documents" all'interno della cartella di installazione di *winMASW*<sup>®</sup> e di *HoliSurface*<sup>®</sup> e quanto indicato durante i nostri *workshops* e nel libro in uscita per la Flaccovio ad ottobre 2018 – titolo provvisorio "Acquisizione e analisi di dati sismici: onde di superficie e dati vibrazionali" – autore Dal Moro G.).

Quindi (in caso di più picchi) i criteri SESAME vanno considerati rispetto ad ogni picco (dovendo lanciare il computo per ogni singolo picco - dopo avere chiaramente modificato i limiti *fc* in modo da includere il picco che si desidera di volta in volta considerare).

### **SESAME o non SESAME?**

Di *default*, il software calcola i criteri SESAME nel range di frequenze indicato (vedi precedenti pagine e l'articolo Dal Moro & Panza (2022). Si ottiene dunque una schermata analoga alla seguente:



Nel caso non desideri che venga riportato il computo dei criteri SESAME e l'indicazione del "picco", è possibile disabilitare il computo dei criteri SESAME semplicemente "annullando" (inserire valori nulli) i due valori *fc*. In questo caso otterrai dunque una schermata come quella riportata qui di seguito.



### Inserisci i tuoi commenti

È anche possibile inserire dei commenti ai dati e alle analisi (vedi il box grigio "your comments" alla destra degli spettri di ampiezza).

I commenti saranno automaticamente riportati in calce al rapportino finale che si ottiene computando l'HVSR dopo aver attivato l'opzione "full output".



### Salvare la curva H/V

La curva HVSR è salvata automaticamente (nella cartella di lavoro) al termine delle analisi ma è anche possibile salvarla manualmente.

Per tale operazione vi sono 2 opzioni:

"option#1 - save HVSR as it is" "option#2 – picking H/V curve"

Nel primo caso si salverà la curva H/V calcolata (visibile nella parte inferiore della schermata) nell'intervallo di frequenze indicato.

Nel secondo caso si potrà fare un *picking* della curva H/V avendo quindi la possibilità di eliminare eventuali picchi dovuti ad "artefatti" di natura industriale non legati a segnali di natura litologica.

Inoltre, se attuiamo lo strumento di gestione/attenuazione/rimozione automatica dei segnali industriali (vedi la sezione "Rimozione automatica di segnali industriali" nelle successive pagine), alla fine dell'operazione viene salvata la curva mondata dai segnali industriali (sulla base dei parametri indicati dall'utente!).

### Ascolta (e salva) i tuoi microtremori



Dal modulo HVSR (pulsante ► sulla barra degli strumenti) è anche possibile ascoltare i propri microtremori. Cliccando tale pulsante è possibile scegliere se ascoltare i microtremori in forma di file audio [opzione "simple"] o mostrare (vedi successiva sezione) le animazioni *time lapse* 

degli spettrogrammi [opzione "visualization [longer]"].

Sia per questioni di tempi di riproduzione che di frequenze a cui l'orecchio umano è sensibile, i dati sono riprodotti ad una velocità (frequenza) circa 10 volte superiore rispetto quella reale (ciò significa che un *dataset* di 10 minuti viene riprodotto in 1 minuto).



Solo una curiosità? Non solo... (vieni ad uno dei nostri incontri per scoprire anche quest'aspetto)



L'audio è anche automaticamente salvato (come **file .flac**) nella cartella di lavoro e potrà essere suonato con qualsiasi lettore di files audio.

Per apprezzare appieno il "fenomeno" (in un certo senso la voce di *Madre Terra*), si suggerisce l'ascolto con un buon impianto audio o, meglio ancora, in cuffia.

La stessa cosa è possibile nel pannello ESAC (pulsante "play & save audio data").

### Time Lapse dei dati nel dominio delle frequenze (spettrogrammi time lapse)

Dal modulo HVSR (pulsante ► sulla barra degli strumenti) è anche possibile visualizzare un'animazione *time lapse* degli spettrogrammi delle tre componenti e dell'HVSR.

🛃 HoliSurface® & winMASW® - Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR)					
🗀 🚔 S2S 🛃 🔞	$ f_c  \downarrow$	🖑 🔍 🤜 📰 🤣 🧶 🧶 🍳 🕦 🖉 🕨 🚚 🕨			
show current data	reset	multiple HVSR batch processing			

Cliccando tale pulsante è possibile scegliere se ascoltare i microtremori in forma di file audio (vedi precedente sezione - opzione "**simple**") o mostrare appunto le animazioni *time lapse* degli spettrogrammi [opzione "**visualization [longer]**"] (utile, ad esempio, se vogliamo verificare meglio la persistenza o l'apparizione/scomparsa di segnali che riteniamo essere di carattere industriale).

Il valore minimo e massimo del *range* di frequenze visualizzato sono i valori specificati come frequenza minima e massima dell'HVSR computato (gruppo "**save – option#1**").

Nel caso sia anche selezionata l'opzione "time-lapse animation" (nel gruppo "step#2"), il video sarà salvato nella cartella di lavoro corrente come **file mp4**.

Un esempio di video nel caso di dati caratterizzati da un segnale di natura industriale (che appare e scompare) è riportato al seguente *link*: <u>https://www.youtube.com/watch?v=NW1e q09g-c</u>

Tale esempio è tratto dai dall'articolo "On the identification of industrial components in the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) from microtremors" (Dal Moro, 2020).



### 10.1 Identificazione componenti industriali

Sono anche mostrati gli spettri di ampiezza delle tre componenti con scale delle frequenze lineari (scala di ampiezza sia log che lineare) e le coerenze tra le varie coppie di sensori (EW versus NS, EW versus UD e NS versus UD).

In questo modo è possibile porre meglio in evidenza possibili componenti industriali.

I dettagli di come vadano utilizzati questi strumenti sono riportati nel libro pubblicato per la Flaccovio nel 2019 e nell'articolo "*On the identification of industrial components in the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) from microtremors*" (Dal Moro, 2020 – *Pure and Applied Geophysics*).

Nell'esempio qui sotto riportato è chiara la presenza di una serie di picchi di natura "artificiale" (industriale) a 6.6, 13.2, 19.8 e 26.4 Hz (si noti come - in questo particolarissimo caso - si abbia la frequenza fondamentale [6.6Hz] con una serie di sue armoniche superiori).



### Si noti l'ampiezza dei picchi e i relativi alti valori delle coerenze


Due esempi di funzioni di coerenza visualizzate in modalità 3D con la scala dei colori a rappresentare la relativa frequenza: sulla destra un caso in cui non sono evidenti significative componenti industriali, sulla sinistra un caso con una chiara componente industriale e circa 26.5 Hz.

Riguardo ai dati di cui al plot di sinistra vedi anche le due immagini di seguito riportate e relative a:

**1)** funzioni di coerenza in funzione della frequenza (per tutte le tre combinazioni NS-EW, EW-UD, NS-UD) e spettri di ampiezza in scala lineare e logaritmica (smussati solamente del 3%);

2) funzioni di coerenza e spettrogrammi (in funzione del tempo).



### Gestire (manualmente) componenti industriali chiaramente separabili

Vi sono due modi per tentare di attenuare/ridurre/eliminare segnali industriali:

**1)** smussare in maniera massiccia gli spettri (50% e oltre [vedi parametro *spectral smoothing*]);

**2)** effettuare il *picking* manuale della curva HVSR o, se la situazione è complessa, degli spettri di ampiezza delle componenti UD, NS e EW.

Il primo approccio non richiede molti chiarimenti e non viene quindi qui approfondito.

Vediamo qualche dettagli sugli altri due approcci, fermo restando che per poterli porre in atto in modo serio si devono seguire i nostri corsi formativi.

Da sottolineare che la bontà di questo genere di operazioni dipende *in toto* dall'adeguatezza delle conoscenze teoriche di chi le effettua.

## a) picking della curva HVSR

In questo caso si va a piccare direttamente la curva HVSR potenzialmente "contaminata" da segnali di carattere industriale.

picking HV or amplitude spectra		
HVSR	$\sim$	pick data
save picked HV		compute
	picking I HVSR save pick	picking HV or amp HVSR ~ save picked HV

1) Dal menu a tendina si seleziona l'opzione "HVSR";

2) si clicca il pulsante "pick data";

3) si comincia a piccare la curva desiderata (per chiudere il picking si usa il pulsante destro del mouse);

4) si salva la curva piccata cliccando sul pulsante "save picked HV".

b) *picking* degli spettri di ampiezza delle tre componenti e successivo ricalcolo della curva HVSR:



1) computo dell'HVSR con *smoothing* limitato (indicativamente 2-3%)

**2)** Dal menù a caduta si seleziona la componente da piccare (in sequenza si devono piccare tutte e tre le componenti);

3) una volta selezionata la componente si clicca il pulsante "pick data";

**4)** si comincia a piccare lo spettro di ampiezza selezionato (si consiglia di seguire sempre lo stesso ordine: UD, NS e EW; per chiudere il *picking* si usa il pulsante destro del mouse);

Si ripetono i punti 2, 3 e 4 in modo tale da piccare tutti i tre spettri di ampiezza (delle tre componenti UD, NS e EW).

picking HV or amplitude spectra			
EW amplitude ~	pick data		
save picked HV	compute		
	picking HV or amp EW amplitude ~ save picked HV		

**5)** Finita di piccare l'ultima componente, si deve (ri)calcolare il rapporto H/V sulla base degli spettri delle tre componenti appena piccate. Per farlo si prema il pulsante "compute". A questo punto uscirà una schermata riepilogativa del tutto e la curva HV ri-computata sarà automaticamente salvata nella cartella di lavoro come file avente lo stesso nome del file di campagna con in aggiunta il suffisso "\_reconstructed.hv".

# Un esempio speditivo

**1)** computo con il 3% di *smoothing* (incidentalmente, in questo modo i criteri SESAME sono del tutto sballati). Evidente la nota componente industriale a 1.5 Hz (comune in tutto il Friuli e non solo).



#### Durante questa prima fase si otterranno, tra gli altri, anche i due seguenti grafici:



**In alto**: grafico delle funzioni di coerenza delle tre possibili combinazioni in funzione del tempo; **in basso**: spettri di ampiezza in funzione del tempo (spettrogrammi). Evidente il segnale industriale a 1.5 Hz.



Funzioni di coerenza: evidente il segnale industriale a 1.5 Hz.



2) picking della componente UD

3) picking della componente NS







**5)** computo dell'HVSR dagli spettri di ampiezza piccati ad ottenere il seguente grafico e il relativo file .hv



Considerate e ricordate che, per motivi statistici, la media delle curve HVSR non è identica all'HVSR calcolato dalla media degli spettri di ampiezza. Ciò significa che alle basse frequenze (più "instabili") le due curve possono differire leggermente. Se tutte le operazioni coinvolte nelle analisi sono state svolte correttamente, le due curve rientrano nei margini di incertezza stessa (vedi curve relative alle deviazioni standard). Ricordate inoltre che per queste operazioni di *picking* stiamo e dobbiamo lavorare con dati smussati molto poco (2-3% circa) e quindi con curve non ideali.

## Criteri SESAME della curva HVSR ricostruita

Chiaramente, con questo tipo di elaborazione/ricostruzione, si lavora con le curve medie finali (degli spettri di ampiezza e dell'HV).

Poiché i primi 3 criteri SESAME (per la curva nella sua interezza) e i criteri 4, 5 e 6 per la valutazione di un "picco" lavorano invece (secondo criteri "statistici") considerando **tutte** le curve HVSR di ciascuna finestra, non è di fatto possibile calcolare tutti i criteri SESAME della curva ricostruita (avendo noi qui a disposizione solo le curve medie finali).

Si possono "calcolare" (a *vista*) i soli primi 3 criteri per un "*reliable peak*" (picco affidabile).

I primi due richiedono che nel *range* di frequenza f<sub>0</sub>/4 - 4\*f<sub>0</sub> (essendo f<sub>0</sub> la frequenza del picco considerato), il valore della curva scenda almeno alla metà del valore del picco.

Il terzo è ancora più banale (il valore del picco deve superare il valore di 2).

Se prendiamo in esame il seguente esempio (il segnale a 5 Hz è chiaramente di natura industriale), possiamo notare come (anche considerate le deviazioni standard) tutti i primi tre criteri per un *"reliable peak"* e relativi alla curva ricostruita (curva verde nel riquadro in basso a destra) sono certamente rispettati [f0 pari a circa 7Hz e range di frequenze da considerare pari dunque a 1.75-28 Hz].



## Equalizzazione "HOLI3C" (equalizzazione dei nostri geofoni da 2 e 4.5 Hz)

Se hai acquisito i dati utilizzando uno dei nostri geofoni a tre componenti (da 2Hz) [geofono HOLI3C], attivando l'opzione HOLI3C, si otterrà l'equalizzazione delle tracce con conseguente recupero alla loro reale ampiezza) delle bassissime frequenze.



Analisi HVSR senza equalizzazione delle tracce (opzione HOLI3C non attivata)



attivazione dell'opzione HOLI3C (dalla *release* 2018 è possibile scegliere tra 2 opzioni a seconda del triassiale HOL3C che stiamo utilizzando)



Analisi HVSR con equalizzazione delle tracce (opzione HOLI3C-2Hz attivata): si noti il recupero delle vere ampiezze

# Inserisci i tuoi commenti

Ora è anche possibile inserire dei commenti ai dati e alle analisi (vedi il *box* grigio "your comments" alla destra degli spettri di ampiezza).

I commenti saranno automaticamente riportati in calce al rapportino finale che si ottiene computando l'HVSR dopo aver attivato l'opzione "full output".



# Rimozione semi-automatica di segnali industriali

Nell'angolo in alto a destra del pannello HVSR vi è il gruppo "INDUSTRIAL". Impostando i parametri appropriati è possibile utilizzare il pulsante "**processing industrial signals**" per eliminare (o attenuare) semi-automaticamente eventuali componenti industriali che alterano la curva HVSR.

Cosa sono i due campi/parametri in cui inserire i due (unici) parametri necessari per svolgere questa operazione? Come per tutti i pulsanti e parametri, alcuni informazioni (*tips*) di base sono fornite semplicemente passandoci sopra il mouse.

Il **primo parametro (sulla sinistra)** è il valore di soglia per le funzioni di coerenza mentre il **secondo parametro (sulla destra)** è il valore di soglia per le derivate degli spettri di ampiezza.

Considerate e ricordate sempre che i parametri "giusti" dipendono dal sito e dai dati ed è impossibile definire dei valori universali.

La procedura si svolge fondamentalmente in tre *steps*: a) identificazione dei segnali industriali; b) rimozione dai dati; c) interpolazione dai dati rimossi.

Ci sono quattro "parametri" da impostare:

1) il valore di soglia per la funzione di coerenza (valori superiori al valore specificato sono considerati espressione di un segnale artificiale/industriale);

2) il valore di soglia per la derivata degli spettri di ampiezza (valori superiori al valore specificato sono considerati espressione di un segnale artificiale/industriale);

3) le componenti (Z, NS e/o EW) da utilizzare per calcolare le derivate degli spettri di ampiezza sopra menzionati;

4) il tipo di interpolazione da utilizzare per interpolare tra i punti rimossi in quanto attribuiti a una componente industriale.

Ecco un esempio che dovrebbe chiarire come funziona (approfondimenti nelle nostre pubblicazioni e nei nostri webinars/workshops):

- C
  C

  <
- a) caricare i dati del microtremore e (opzionale) foto (geo-referenziata)

### b) computo dell'HVSR



In questo caso la presenza di due componenti industriali a circa 1.5 e 4.6 Hz è piuttosto chiara soprattutto negli spettri di ampiezza (smussati dello 0.5%) mentre le funzioni di coerenza sono, in questo caso, piuttosto complesse e possono solo confermare il segnale a 1.5 Hz (usualmente sono altrimenti estremamente chiare - questo è in realtà un dataset piuttosto insolito).

È importante comprendere come i valori di *default* vadano modificati sulla base delle caratteristiche dei dati di volta in volta analizzati. Si deve fare in modo che tali valori di soglia vadano a selezionare i segnali industriali che vogliamo rimuovere.

Per cercare di rimuovere l'influenza di questi segnali sull'HVSR:

1) impostiamo un valore molto alto per la soglia delle funzioni di coerenza (dato che, in questo caso, non vogliamo usare le funzioni di coerenza per identificare le componenti industriali) e un valore basso per la derivata degli spettri di ampiezza; dato che la componente industriale a 4.6 Hz è evidente soprattutto lungo le componenti NS ed EW (vedi spettri di ampiezza riportati nella figura precedente) scegliamo di considerare la derivata media di entrambe le componenti orizzontali;



Possiamo ora cliccare il pulsante "**processing industrial signals**" e ottenere il seguente risultato (il significato di ciascun grafico è chiaro dal titolo e dalle quantità riportate in ordinata e ascissa):



#### Due note:

a) poiché abbiamo deciso di fissare una soglia molto grande (0.9) per le funzioni di coerenza, la selezione dei segnali industriali non è basata sulle funzioni di coerenza;

b) poiché abbiamo fissato un valore di soglia molto piccolo per la derivata degli spettri di ampiezza, i due segnali industriali sono stati correttamente identificati per mezzo di esse (vedi il grafico "mean amplitude derivative for the horizontal components [NS&EW]").



Nel grafico qui sopra riportato, la curva verde rappresenta la curva HVSR "pulita", libera dalle componenti industriali identificate attraverso i parametri sopra descritti (quella blue è invece l'HVSR originario contente il forte segnale industriale a 1.5 Hz e un minore segnale a circa 4.6 Hz). Ancora una volta dobbiamo sottolineare che i parametri corretti dipendono dai dati e devono essere impostati con molta cura dall'utente (che deve aver dunque capito come funziona la procedura).

Qui di seguito tre ulteriori esempi di rimozione di componenti industriali per tre diversi *datasets* (come vedi i parametri cambiano a seconda delle caratteristiche del dato):







אאיאיאיאיאיאיא





# Capitolo 11 - Modellazione rapporto spettrale H/V



Chiaramente, se si renderà attivo la modellazione HV da onde di corpo e non quella da onde di superficie si otterrò solamente l'HV da onde di corpo.

Si raccomanda di leggere i seguenti lavori (e chiaramente conoscere anche i lavori colà menzionati):

Dal Moro G., 2014, Surface Wave Analysis for Near Surface Applications, Elsevier, 252pp

Dal Moro G., 2012, Onde di Superficie in Geofisica Applicata, Flaccovio Editore, 199pp.

- Dal Moro G., 2011. Some Aspect about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA (Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata), invited paper, 52, 241-259 (visita il sito www.winmasw.com per una bozza)
- Albarello D. and Lunedei E., 2010. Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modeling. Bulletin of Earthquake Engineering 8, 519–534.
- Dal Moro G., 2010. Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140
- Lunedei E. and Albarello D., 2009, On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014

Solamente in questo modo si potrà comprendere quando (in quali situazioni e per quali frequenze) è possibile prendere come valido l'HV derivante dalle onde di corpo (essenzialmente questo è valido solamente per il periodo fondamentale del sito) e quando invece si devono considerare le onde di superficie.

# Strato veloce profondo

Sia durante la modellazione diretta che nell'inversione automatica è buona norma (diremmo assolutamente raccomandato) inserire sempre uno strato molto profondo e molto veloce che serve a stabilizzare la matematica che sta dietro il computo dell'HVSR. In pratica questo significa che si deve riprodurre la situazione reale nel modo più corretto. Se nella vostra zona ci sono ad esempio (semplifichiamo le cose) 10 metri di argilla e poi vari metri di ghiaie, per simulare correttamente il picco legato a tale contatto è anche necessario introdurre un contatto profondo tra le ghiaie e quello che ci deve essere sotto anche se tale contatto profondo non vi interessa e non è di fatto "visibile/identificabile" coi vostri dati.

**Quindi**, un modello che per voi è: 10 m di limi (Vs: 140 m/s) semi-spazio di ghiaie (Vs: 550 m/s - per svariate decine o centinaia di metri)

deve essere considerato/modellato come: 10 m di limi (Vs: 140 m/s) 1000 m di ghiaie (Vs: 550 m/s) semi-spazio roccioso (Vs: 1200 m/s)



Aggiungendo uno strato profondo veloce (di fatto invisibile) otteniamo:

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	140	10	10
2	550	1000	1010
3	1200	0	0



Come si può vedere ora il picco relativo al contatto limi-ghiaie è minore (da circa 6, il picco è sceso a circa 4.4) e di forma leggermente diversa.

Va sottolineato che questo è legato alla matematica dell'HVSR (nel report finale non si deve poi per forza includere tale livello profondo se nei dati non ve ne è evidenza - l'evidenza dovrebbe risultare a frequenze molto basse).

Si ricordi anche il ruolo del fattore alfa ( $\alpha$ ) [valori via via minori fanno abbassare la curva HVSR).

# Il rapporto spettrale H/V e le onde di Love: il fattore α



La curva HVSR misurata in campagna è il risultato dell'azione congiunta delle onde di Rayleigh e di Love essenzialmente secondo la seguente formulazione:

$$\sqrt{rac{lpha \mathsf{H}_{\mathsf{L}}(f) + \mathsf{H}_{\mathsf{R}}(f)}{\mathsf{V}_{\mathsf{R}}(f)}}$$

essendo H<sub>R</sub> e V<sub>R</sub> il contributo delle onde di Rayleigh (in termini di *power spectra* - vedi Arai and Tokimatsu, 2004) sulla componente orizzontale (H) e verticale (V), e H<sub>L</sub> il contributo legato alle onde di Love (il parametro  $\alpha$  può quindi essere considerato come il contributo delle onde di Love sull'HVSR misurato in campagna).

Per modellare in modo completo il rapporto HVSR di campagna si deve quindi considerare in modo appropriato il valore del parametro  $\alpha$ , cioè la quantità relativa di onde di Love che, incidentalmente, è verosimilmente funzione delle specifiche condizioni meteo/stagionali

La modellazione presentata in Figure A mostra l'effetto delle onde di Love: lo stesso profilo VS è utilizzato per calcolare l'HVSR considerando due diversi (estremi,  $\alpha$  = 0.2 e  $\alpha$  = 0.9) valori del parametro  $\alpha$ .

Due elementari conseguenze:

**1.** L'ammontare relativo di onde di Love (espresso dal fattore  $\alpha$ ) andrebbe considerato come una delle variabili nell'inversione/modellazione della curva HVSR (l'esperienza insegna che tale valore in genere assume un valore tra 0.3 e 0.5).

**2.** La curva HVSR da sola è del tutto insufficiente a vincolare la definizione di un profilo  $V_S$  anche quando sono disponibili informazioni stratigrafiche/geologiche e l'unica soluzione è fornita dall'analisi congiunta con altri dati geofisici (quali ad esempio la dispersione delle onde di superficie).



**Figura A** Effetto delle onde di Love sulla curva HVSR: (a) profilo V<sub>S</sub> considerato; (b) curve HVSR ottenute considerando una diversa quantità di onde di Love (fattore  $\alpha$ ).

Ulteriori dettagli in <u>Surface Wave Analysis for Near Surface Applications</u> (Dal Moro G., 2014 - Elsevier, 252pp).

In *winMASW Academy* (nei pannelli di analisi del dato "**Velocity Spectrum, Modelling & Picking**" a singola e doppia componente) il fattore  $\alpha$  è modificabile dal pulsante "R" presente nella *toolbar* in alto a destra (in cui è possibile settare anche la *precisione nella soluzione* e la *reference frequency* - fattori di scarsa importanza nella modellazione e che è possibile illustrare solamente durante workshop di approfondimento).

1	some parameters –	
	reference frequency	15.96 Hz
	alfa parameter (Arai & Tokimatsu, 2004)	0.3
	precision factor	0.34
		done
	U VALL	

#### Problemi con il computo dell'HV dall'ellitticità delle onde di superficie eseguibile microtremor.exe in winMASW 3C e Pro

#### (in winMASW<sup>®</sup> Academy il problema non si pone)

Il calcolo dell'HVSR dall'ellitticità delle onde di superfice presenta dal punto di vista del computo matematico molte difficoltà (lo sanno ben tutti coloro che ci si dedicano). Per taluni modelli è possibile che *microtremor.exe* vada per così dire "in stallo".

Se dopo alcuni secondi che la finestra con l'HV non dà segni di vita (immagini qui sotto)



è necessario "sbloccare" la situazione interrompendo il processo "mictrotremor.exe" nella finestra di "Gestione Attività Windows" (pulsanti Ctrl+Alt+Canc)

📱 Gestione attività Windows						
File Opzioni Visualizza ?						
Applicazioni Proce	ssi Servizi	Prestazioni	Rete Utenti			
Nome immagine	Nome ut	CPU M	femoria Descrizione 🔺			
microtrem.ex	A A	Apri percorso file				
WINWORD.E ePowerTray.exv Apoint.exe csrss.exe winMASW.ex firefox.exe *32 hpswp_dpbo Capture.exe		Termina processo Termina albero processi Debug Virtualizzazione controllo dell'account uto Crea file di dettagli				
Cap.exe *32 AdobeARM.e	Imposta priorita Imposta affinità		nta nità			
plugin-contain G hpqgpc01.ex G		Proprietà Vai ai servizi				
Mostra i processi di tutti gli utenti Termina processo						
Processi: 101	Utilizzo CPU	: 52%	Memoria fisica: 63%			

Quindi pulsante destro e "Termina Processo".

Per procedure si deve ora chiaramente modificare (anche solo leggermente) il modello in quanto quello precedente creava problemi che hanno originato lo stallo del sistema.

#### Nota al Modelling del rapporto spettrale HVSR Onde di Superficie (*surface waves*) o Onde di Corpo (*body waves*)?

La "forma" di una curva H/V da cosa dipende? Sicuramente dalla struttura subsuperficiale (ma anche e certamente dal tipo di sorgenti - passive - in quel momento "in azione" in quella zona).

Qual è il grosso problema (oltre ad una pesantissima non univocità del fenomeno – vedi *FAQ* in coda al manuale)? Che non è possibile definire facilmente univocamente ed universalmente il *modelling* di una curva H/V.

L'approccio tradizionale di *Nakamura* fa riferimento alle sole onde di corpo (V<sub>S</sub> e V<sub>P</sub>) mentre studi più recenti hanno chiarito che anche le onde di superficie (di Rayleigh e Love) hanno un loro notevole peso.

Purtroppo, tra i vari problemi, ve ne sono alcuni particolarmente pesanti rispetto questo punto:

- 1. in che percentuale relativa pesano le onde di Rayleigh e quelle di Love?
- quanti modi devo usare (per la componente di Rayleigh e quella di Love)? (la risposta dipende sicuramente dal sito ed in generale si nota che quando ho forti salti di impedenza il numero di modi "appropriati" aumenta, mentre se il gradiente di V<sub>s</sub> è grossomodo costante tipicamente 1 modo solo è sufficiente)
- i fattori di qualità Q possono pesare significativamente sulle curve H/V (e molto poco invece/fortunatamente su quelle di dispersione) – vedi Lunedei & Albarello (2009)

Si raccomanda la lettura di:

"Effects of Love Waves on Microtremor H/V Ratio" (Bonnefoy-Claudet et al., 2008), "A theoretical investigation of average H/V ratios" (Fah et al., 2001), "Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modeling" (Albarello D. and Lunedei E., 2010) e, infine, Dal Moro (2010; 2011).

In pratica quindi: la curva H/V dipende dai valori della  $V_s$  e spessori, dai valori dei fattori di qualità (Q), dalle onde di Rayleigh e Love, dal numero di modi da utilizzare, da una certa componente legata alle onde di corpo ecc.

Modellare un H/V può rivelarsi allora una cosa piuttosto complessa. Quello che si può dire in generale è che mentre per le alte frequenze quello che è determinante è l'ellitticità delle onde di superficie, per il periodo fondamentale l'H/V dato dalle onde di corpo è del tutto analogo quando non preferibile (si consideri che l'H/V da onde di corpo è di ben più semplice implementazione e non soffre delle molte instabilità numeriche che affliggono la modellazione dell'H/V con l'ellitticità delle onde di superficie).

Si noti (vedi esempi qui sotto) che tipicamente i picchi delle curve H/V modellate in un modo (onde di corpo) o in un altro (onde di superficie) coincidono in frequenza (ma non necessariamente in ampiezza).

Per tutti questi motivi ricavare le  $V_s$  avendo a disposizione solamente una curva HVSR è piuttosto arduo (pochi vincoli) ma risulta altresì estremamente utile sfruttare la sensibilità delle curve H/V rispetto la profondità di taluni orizzonti quando le  $V_s$  della parte più superficiale sono note da misure *MASW*.

L'approccio quindi suggerito è di analisi congiunta curve di dispersione derivanti da misure MASW (meglio in Rayleigh e Love) + curve H/V, avendo cura di far coincidere il più fedelmente possibile le curve di dispersione del modello con i segnali dello spettro di velocità e fare contestualmente coincidere la frequenza (trattando con non troppa testardaggine e rigore l'ampiezza) del principale picco della curva H/V (quello

che tipicamente è legato al più profondo contatto litologico "significativo") – gli utenti registrati ricevono alcuni esempi di corretta procedura per l'analisi congiunta.

Qui di seguito esempi di modellazione del rapporto spettrale H/V a partire da un modello di  $V_S$  (sulla sinistra) secondo la formulazione basata sulle onde di corpo (in blu) e delle onde di superficie (Magenta – considerate tanto le onde di Rayleigh che di Love con gli indicati numeri di modi).





Si noti come i picchi (in particolare del periodo fondamentale) avvengano alla stessa frequenza e sia solo il valore del picco a differire. Inoltre si noti come i picchi che la modellazione basata sulle onde di corpo genera ad alte frequenze non debbano essere presi con troppo rigore ma solo nel loro andamento generale (alle alte frequenze è certamente preferibile considerare l'HV relativo all'ellitticità delle onde di superficie).

Ad ogni modo su suggerisce di effettuare la modellazione prendendo in considerazione essenzialmente l'ellitticità delle onde di superficie (con un numero di modi non inferiori a 3-4).

Vi è un <u>ulteriore ragione</u> (di tutt'altro ordine) per prendere sempre con le pinze il peso dell'ampiezza.

Le curve H/V che si analizzano sono un valore *medio* (la serie temporale registrata viene suddivisa in tante finestre di lunghezza "*window length*", vengono calcolati gli spettri all'interno di ciascuna e se ne ricava poi un valore medio) e tipicamente *smussato*.

Per rendere evidente questo, si riportano qui di seguito le curve H/V derivanti dall'analisi di una serie temporale di 20 minuti (la serie – una volta tolti gli eventi di eccessiva ampiezza - è divisa in n finestre da 20sec, in parziale sovrapposizione):

Possiamo facilmente comprendere quanto "media" ed indicativa sia una curva H/V derivante dalla media di tutte queste curve.

Si noti che l'ampiezza è altamente variabile mentre la/le frequenza/e dei picchi resti/no (chiaramente) sempre le stesse.

. . .



#### Morale

Il "suggerimento" di utilizzare le curve di dispersione derivanti da misure *MASW* piuttosto che *ReMi* è dovuto al fatto che i dati *ReMi* sono necessariamente molto vaghi (quello che si potrebbe definire "geofisica cromatica") e quindi poco stringenti (inoltre nei dati *ReMi* i modi superiori – utilissimi per meglio vincolare il modello – sono quasi sempre assolutamente poco chiari o assenti).

Le curve di dispersione derivanti da dati *MASW* (meglio sia in onde di Rayleigh che Love) sono invece ben più chiare e la presenza di modi superiori aiuta a meglio definire il modello anche in "profondità".

I dati ReMi sono troppo poco stringenti per definire le V<sub>S</sub> mentre i dati MASW tipicamente sono molto ben definiti per la parte più superficiale e servono quindi come quel necessario vincolo utile a poter correttamente utilizzare le curve H/V (che da sole non consentirebbero di determinare un profilo V<sub>S</sub> affidabile – vedi FAQ in coda al manuale).

Parlando ancora di tecniche passive (per affrontare le quali un "normale professionista" può utilizzare solo i geofoni verticali e studiare quindi le sole onde di Rayleigh - nella loro componente verticale), la tecnica ESAC fornisce (rispetto quella ReMi) risultati decisamente migliori.

# Per ulteriori informazioni vedi i nostri libri pubblicati per la Flaccovio (2012, 2019, 2023), Elsevier (2014) e Springer (2020).

"Experience has shown us and various papers confirm it that <u>HV curves are the result of</u> many uncontrolled factors (source location, Love/Rayleigh partition, excitation of surface higher modes, body wave contributions,...)."

"Extracting ellipticity curve from a single station measurements is still not a fully validated technique. Contrary to a dispersion curve, if the amplitude is slightly biased you may get very different velocity profiles. Inverting ellipticity curves can be only viewed as an add-on to array measurements or when Vs is already known by other methods.

Keep in mind that H/V amplitudes depend strongly on the measurement conditions. The amplitudes can vary along with time at the same site (hence for the same structure). Inverting this curve is simply NOT reliable unless you perfectly know the wavefield contents at the time of the experiment (rather impossible nowadays)."

Marc Wathelet (progetto SESAME)

### Modellazione della sola curve HVSR in winMASW®

Nel caso si desideri modellare (cioè invertire) la sola curva HVSR è possibile farlo dal pannello di analisi a singola componente ("**Velocity Spectrum, Modelling & Picking**"). Si carica la curva HVSR tramite il pulsante posto lungo la barra degli strumenti (icona HV con la cartellina gialla sullo sfondo) e si procede con la modellazione (variazione di V<sub>s</sub> e spessori degli strati).



Attenzione che l'HVSR soffre in modo importatene della **non-univocità della soluzione** (diversi modelli hanno la medesima curva HVSR) [ecco perché è sempre preferibile modellarla congiuntamente a dati di dispersione].

Lo *screenshot* riportato qui di seguito mostra una modellazione in corso d'opera. Si consideri e ricordi che, dalla finestra attivabile cliccando il pulsante "R" presente lungo la *barra degli strumenti*, è possibile modificare alcuni parametri pertinenti alla modellazione dell'HVSR e in particolare il fattore  $\alpha$  (quantità di onde di Love nel campo dei microtremori modellato) e lo smussamento (espresso in percentuale) della curva sintetica (*synthetic HVSR smoothing*).



# Frequenza di risonanza?

Nonostante l'infinta serie di semplificazioni che vengono troppo spesso proposte, l'argomento è in effetti piuttosto complesso (non complicato ma complesso ed articolato si) e non è pensabile affrontarlo in poche righe.

Tuttavia è importante fissare alcuni punti.

Il periodo proprio di sito (si ricordi che la frequenza è l'inverso del periodo) è indicato dalla seguente e nota formula:

$$T_o = \frac{4\mathrm{H}}{\mathrm{V_S}}$$

dove:

 $V_s = V_s$  media sino all'orizzonte (contatto stratigrafico) responsabile del picco considerato (non si tratta necessariamente del famigerato *bedrock*);

H = spessore dei sedimenti sovrastanti il contatto stratigrafico considerato (responsabile del picco di volta in volta oggetto di analisi)

Quindi se ad esempio ci troviamo il *bedrock* a 37 metri di profondità la  $V_s$  è in pratica una *Vs*37.

<u>Attenzione</u>: il concetto di frequenza di risonanza è stato molto frainteso. L'HVSR <u>non</u> rappresenta la curva di amplificazione di sito e lo stesso concetto di risonanza non ha dunque molto valore poiché l'amplificazione avviene spesso anche a frequenze alle quali la curva HVSR vale 1 (vedi Perron et al. 2018, Dal Moro 2020 [il libro pubblicato per la Springer] e Dal Moro & Panza, 2022)

L'applicazione di quella formula con la corretta  $V_s$  deve dare un valore di picco ad una frequenza corrispondente al picco H/V osservato empiricamente (naturalmente si deve essere in grado di distinguere un picco litologico da un picco antropico).

Come sopra ampiamente detto è ben aleatorio ricavare le V<sub>S</sub> da sole misure H/V. L'utilità delle misure H/V risiede quindi nella possibilità di ricavare empiricamente la frequenza di sito e, a fianco di curve di dispersione date da misure *MASW*, a vincolare il modello V<sub>S</sub> specie in profondità.

#### Inoltre:

che considerazioni si possono fare in caso di curve HV complesse con presenze di vari "picchi"?

I picchi rappresentano veramente (sic et simpliciter) le frequenze di amplificazione? No!

Vieni ai nostri incontri formativi e approfondiremo tutti questi aspetti.

# Capitolo 12 - Inversione congiunta dispersione + HV



Letture consigliate preliminari a questo tipo di analisi (in automatico):

- Dal Moro G., 2011. Some Aspect about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA (Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata), *invited paper*, 52, 241-259, (visita il sito <u>www.winMASW.com</u> per una bozza)
- Dal Moro G., 2010. Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140
- Lunedei E., Albarello D., 2009, *On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth*, Geophys. J. Int., 177, 1001-1014



Schermata principale di upload dei dati:

La schermata è analoga a quelle simili riguardanti l'inversione congiunta onde di Rayleigh & Love e non necessita particolari spiegazioni.

Alcuni punti devono essere tenuti a mente molto bene:

1. Se utilizzate le onde di corpo dovete considerare il solo periodo fondamentale (rimuovete quindi dall'HVSR tutti i valori a frequenze maggiori - nell'esempio sopra riportato dovremmo rimuovere dall'HVSR tutti dati a frequenze superiori a circa 4Hz

2. Se si utilizzano le onde di superficie dovete considerate 2 punti essenziali:

a. I lunghi tempi di calcolo

b. possibili problemi che mandano in stallo l'inversione (vedi box "Problemi con il computo dell'HV dall'ellitticità delle onde di superficie - (eseguibile *microtremor.exe* utilizzato in *winMASW*<sup>®</sup> 3C e *Pro* ma non nella più avanzata versione *Academy*)")

Per questi motivi è come sempre preferibile effettuare una modellazione congiunta (MASW in Rayleigh + MASW in Love + HVSR) diretta dal pannello "Velocity Spectra, Modeling & Picking".

# Capitolo 13 - Sismogrammi sintetici e analisi FVS



Nella versione *Academy*, *winMASW*<sup>®</sup> consente anche la generazione di sismogrammi sintetici secondo il metodo della "*Modal Summation*" (Herrmann, 2003).

Inutile dire che tali funzioni richiedono una particolare familiarità con diversi aspetti della sismica e dell'analisi del segnale (motivo per cui questa possibilità è stata inserita solamente nella versione *Academy*).

#### Alcuni punti salienti

- La lunghezza della traccia del dato modellato dipende dalla lunghezza della traccia visualizzata (casella "*Time length to visualize*"): se maggiore di 1.024 secondi l'intervallo di campionamento del dato sintetico è fissato a 1 ms, altrimenti a 0.5 ms (il numero di campioni della traccia sintetica è comunque fissato in 2048).
- La minima e massima frequenza considerate nella generazione dei sintetici sono le stesse indicate nella finestra ove si fissano i limiti dello spettro di velocità (pulsante "phase velocity" nel gruppo "MASW: compute velocity spectrum"); di default i valori sono 1-60Hz.
- Il numero di modi utilizzati è lo stesso indicato nella casella all'interno del sotto-gruppo *"general setting"* nel gruppo *"modelling"* (di default si considerano 3 modi).
- Sorgente: nel caso si stiano analizzando le onde di Rayleigh (menu a discesa all'interno del sotto-gruppo "general setting" nel gruppo "modelling") si considererà una sorgente ad impatto verticale (Vertical Force - VF) o esplosiva (Explosive - EX) (è poi possibile scegliere se considerare la componente verticale Z o quella radiale R - vedi convenzione di Herrmann spiegata in dettaglio nel libro "Onde di Superficie in Geofisica Applicata"). Nel caso invece si stiano considerando le onde di Love, la sorgente sarà una sorgente di taglio (considerata perpendicolare allo stendimento – componente THF).

Il sintetico generato è automaticamente salvato come file sgy nella cartella di lavoro (il nome contiene informazioni sul fatto se il *dataset* si riferisce alle onde di Rayleigh o Love).



Un esempio elementare di analisi Rayleigh + Love

Onde di Rayleigh: sulla sinistra dati di campagna, sulla destra dati sintetici.



Onde di Love: sulla sinistra dati di campagna, sulla destra dati sintetici.

#### Modulo di Poisson e distribuzione di energia tra i modi

Se è certamente vero che i valori della V<sub>P</sub> incidono poco (ma *poco* non significa *nulla*) sull'andamento delle curve di dispersione, è anche vero che i valori della V<sub>P</sub> (cioè in altre parole del modulo di Poisson) incidono fortemente sulla distribuzione di energia tra I vari modi. Qui di seguito un esempio: sulla sinistra dati reali e, sulla sinistra e nel pannello centrale, tracce sintetiche con il medesimo modello V<sub>S</sub>-spessori ma diversi valori del rapporto di Poisson (quindi delle V<sub>P</sub>). Si noti la diversa distribuzione di energia tra i modi (spesso alti valori di Poisson determinano modi superiori particolarmente evidenti).



Nel computo dei sismogrammi sintetici, scegliendo l'opzione "*just overlap*" si ottiene la sovrapposizione delle *contour lines* dei sintetici sopra lo spettro di campagna (a colori). Qui sotto un esempio dal pannello di analisi congiunta velocità di fase (MASW) + velocità di gruppo (MFA) [la stessa cosa è possibile anche nel pannello ad analisi singola e congiunta]. Si noti come, a titolo di esempio, nel caso qui sotto riportato le *contour lines* si sovrappongo in maniera molto buona rispetto i segnali del dato di campagna (i colori sullo sfondo relativi alle tracce acquisite riportate in alto a sinistra) ad indicare che il modello identificato tramite la "modellazione diretta" è decisamente affidabile.



### ZVF, RVF, ZEX, REX o THF?

Riguardo il tipo di sorgente, nella convenzione dei codici del Prof. Herrmann VF sta per "Vertical Force" (la classica martellata verticale), EX invece indica una sorgente esplosiva (*Explosive*). Per quanto riguarda invece la componente analizzata questa potrà essere Z o R per, rispettivamente, quella "Vertical" o "Radial".

Per analizzare le onde di Love è invece opportuno considerare una sorgente di taglio (cioè orizzontale – HF=Horizontal Force) e geofoni posti perpendicolarmente allo stendimento (T=transversal).

Ecco sintetizzato il significato delle componenti che è possibile simulare tramite sismogrammi sintetici (si ricordi che <u>la prima lettera</u> si riferisce alla componente registrata – che chiaramente dipende dal tipo di geofono utilizzato e dalla sua orientazione –, mentre <u>le ultime due lettere</u> indicano il tipo di sorgente utilizzata):

**ZVF**: forza verticale (esempio martellata o caduta di un grave) e componente verticale

**RVF**: forza verticale e componente radiale

ZEX: esplosione (sub-superficiale) e componente verticale

**REX**: esplosione (sub-superficiale) e componente radiale

**THF**: forza orizzontale/trasversale (esempio martellata di taglio) e componente trasversale (parliamo quindi di onde di Love).

Qui di seguito gli stessi modelli riportati nel box "Modulo di Poisson e distribuzione di energia tra i modi" (diversi valori del modulo di Poisson) ma per la componente Radiale.

Si noti che la distribuzione di energia tra I modi è un po' diversa (e comunque in questo caso i dati di campagna erano stati acquisiti con geofoni verticali e quindi il confronto più appropriato è con la componente ZVF – vedi nel precedente box l'ottimo accordo tra dato osservato e primo modello sintetico caratterizzato da alti valori del modulo di Poisson).






Qui di seguito un paio di esempi di inversione FVS. Si noti la sovrapposizione tra spettro osservato (colori in sottofondo) e spettro del modello (*contour lines* in sovrapposizione).





### Esempio#1









# Analisi FVS: lunghezza registrazione e numero di campioni dei sismogrammi sintetici

Quando si procede ad analisi FVS (tanto in *modellazione diretta* che in *inversione automatica*), è importante ridurre al minimo la lunghezza della registrazione (e pulire il dato con gli strumenti di selezione e taglio del dato). Considerare solamente la porzione di dati in cui vi è segnale, consente infatti di meglio gestire la creazione dei sismogrammi sintetici (e quindi degli spettri di velocità da essi computati durante l'analisi FVS). Per ridurre i tempi della registrazione (che durante l'acquisizione potrebbero essere stati fissati ad un valore eccessivo) si utilizza il **pulsante "cut"**.

Vediamo un esempio illustrativo.

Qui di seguito un dataset acquisito con un tempo di registrazione (2 s) ed una frequenza di campionamento (0.125 ms) evidentemente inutilmente alti (si noti come il software segnali un campionamento inutilmente alto sia con un messaggio audio che con il cambio di colore a rosso del pulsante utilizzabile per dimezzare il campionamento – pulsante "accept" in basso a sinistra).



Qui di seguito la sua modellazione FVS considerando 512 campioni (valore di *default* della finestra popup nel gruppo FVS in basso a destra).

#### winMASW<sup>®</sup>

#1: data u	ploading & editing		#2: velocity spectrum, r	modelling & picking (M	ASW, MFA, ESAC & F	teMi analyses)	visus
PS1-60FVS met		next shot	active data: compute velocity spectrum			handling the spectra	input cu
g: 0.125 ms (8000 Hz) - 18000 samples		Deess parameters	phase velocity Area PK filtering limits	120 300 dra	w velocity		explore spectrum
m offset: 8.75 m			most Find	single-frequency	races	rava ribigag meribi	mode separation press
ne spacing: 2.5 m							Site
	malized traces						But
		4 4 4 1	2400	6			
11111111111	717772220						
0.2	1111111111	333	2200				2
			2000				150
0.4 -							
00			1800	0			aspe
0.0			Second Children Child				send mod
0.0			E 1000				po se
0.0			₹ 1400				const dist th
n 1			<u>s</u>				
			\$ 1200				save p
12			8				and the second se
			P 1000				600 C
14			800	NW N	1		Carr
			000				
1.6			600	STATES OF STREET, STRE			
			Sales and a second				
1.8			400				inv
			200				joint l
			10 15 20	25 30	35 40	45 5	55
				#0 00			
10 15 20 25 3	40 35 40 45 50	55 60		frequen	cy (Hz)		-
10 15 20 25 3	0 35 40 45 50 offset (m)	55 60		frequen	cy (Hz)		0 0.00 N
10 15 20 25 3	0 35 40 45 50 offset (m)	55 60	modelling	frequen	cy (Hz)		
10 15 20 25 3	30 35 40 45 50 offset (m)	55 60	modelling	vs os	Cy (Hz) Peisson thickness	how hereby	synthetics (FVS)
10 15 20 25 3	30 35 40 45 50 offset (m)	55 60	modelling 2 Bool Posson	Vs Qs	Poisson thickness	upload mod	synthetics (FVS)
10 15 20 25 3	30 35 40 45 50 offset (m)	55 60	modelling ? stout Prinson	Vs Qs 100 14	Cy (Hz)  Poisson  bickness	upload mod save model	synthetics (FVS) ZvF × 512 ×
10 15 20 25 3	30 35 40 45 50 offset (m)	55 60	modelling 7 stool Presser	Vs Os 100 100 100 100 100 100 100 100 100 10	Poisson         blickness           0.720         0.2           0.420         0.5           0.4191         1	upload mod save model show M.E. R	synthetics (FVB) 2VF = 512 = 10000 DC
10 15 20 25 3	30 35 40 45 50 offset (m)	55 60	modelling ? stead Pointan	Vs Os 04 05 07 04 05 07 04 05 07 04 05 05 04 05 05 05 05 05 05 05 05 05 05 05 05 05	Cy (Hz)  Peisson  0.720  0.420  0.420  0.5  0.4191  0.3333  2  0.479  1  0.3333  2  0.479  1  0.3333  2  0.479  1  0.47  1  0	upload mod save model show M B, P refresh	synthetics (FVS) 2VF = 512 = Strows DC Univer mass
10 15 20 25 3	20 35 40 45 50 offset (m) ering & selectra ering & selectra	refr. & refl. refr. M refl. 0.2	nodelling 7 sour Porson general setting	Vi Os frequen 30 500 44 700 61 700 700 61 700 700 61	Cy (Hz)  Poisson	uplicad mod save model show M & R refresh	nyrthitics (fVB) 21% in 512 in Inton to C inton mate
10 15 20 25 2	80 35 40 45 50 offset (m) errog & spectra er cancel NOTES	refr. & reft. refr. the reft. usions sow	r Bank Purson	Vi Os frequen 000 03 000 41 000 41 000 42 777 42 777 42	Cy (Hz) Pelsson bickness 0.3220 0.420 0.420 0.420 0.430 0.4552 0.25 0.455 0.25 0.455 0.25 0.455 0.25 0.455 0.25 0.455 0.25 0.	upload mod save model show M & R refresh-	synchristics (FV9) 2VF is 512 is blow Truck is the mask synchrostics (FV9)
10 15 20 25 3	00 35 40 45 50 offset (m)	retr. & rett. retr.mt 0.2 uzkost save filo polarity refresti	nodelling 2 Mont Preserve general setting Payway 2 00 Interver 2	Vi         Os           600         20           600         44           600         42           722         60           777         52           777         52           777         52           777         52           777         52	Poisson         Ibidinass           0.729         0.2           0.401         1           0.3030         2           0.4552         2.25           0.430         3.88           0.432         3.88           0.432         3.88	uplinad mod stave model stave M & R rativativ	synthetics (IVI3) 24 3 512 3 above DC above road gestereding synthetics (IVI3)
10 15 20 25 2	10         35         40         45         50           offset (m)         mm         Morres         Morres         Morres           mm         const         Morres         Morres         Morres	refr. & reft. refr. & reft. refr. htt uclosd teve ftip poletty refrest.	r sour Pressor general setting Reyver W Do Pressor 0 Indexes seth   Indexes set	Vs         Os           600         33           700         44           700         40           700         60           772         60           777         52           600         90           600         90	Petrson         thickness           0320         02           0440         05           0439         2           0430         2           0430         2           0430         2           0430         2           0430         38           0430         38           0430         38           0430         38           0430         38           0430         38           0430         38           0430         38	upload mod save model show M.E.R netrosh compute	yyehnika (PVB) Zet → 12 → Uhuno Ca Dutora rasa yyehnika (PVB)
10 15 20 25 3	0 35 40 45 50 offset (m) errog & saerie e cance nottes sem endy datas	refet: & refit. refer half. updantel: refo polantel: refo polantel: reformation:	T Ket Press general setting Rever to press (Press ) Rever to press (Press )	Vi         Or           00         33           00         44           00         62           727         42           728         49           40         42           42         43           44         44           45         44           46         44           47         44      48         44      49	Cy (Hz)  Poisson Distances  0.372 0.22 0.420 0.5 0.449 1 0.465 2.22 0.435 3.8 0.462 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.452 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45 0.45	upload mod state model show M.S.R refresh compute defective (passive) stormatic Q values	synthesiss (7V3) 24 0 29 0 brown BC brown BC BC BC BC BC BC BC BC BC BC BC BC BC B
10 15 20 25 3	10 25 40 45 50 offset (m) ering & tasetre e	refr. & ref. refr. & ref. upposet one No polenty mhresh	sour Pressor     general setting     general setting     general setting     prover w prover w     o herearcs seth     ref (boly reace)	Yo         Os           100         33           100         44           100         44           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         42           100         43           100         43           100         43           100         43           100         43           100         43           100         43           100         43           100         43           100         43           100         43           100         44           100         44           100         44           100         44           100         44           100         44      <	Peisson         thickness           0.720         0.2           0.420         0.5           0.430         0.5           0.430         2.28           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.89           0.430         0.97           0.206         0.9           0.206         0.8	usfoad mod saree model streew M.E.R rafresh compute effective (passive) effective (passive) eporting	apetholes (PVS) Col 0 12 0 Deve cols apetholes (PVS) Deve cols apetholes (PVS) Deve cols apetholes (PVS)
10 15 20 25 5	10         35         40         45         50           offset (m)         and	55 60	Total Parameter           Total Parameter           Improve target           Improve target           Improve target           Improve target	Vi         Os           00         33           00         44           00         02           00         42           00         02           01         02           02         09           08         02           09         09           09         09           09         07           00         07           00         07           000         07	Petssen         Dickesss           0229         02           0400         02           0400         02           0400         02           0400         02           0400         02           0400         02           0400         02           0400         02           0400         02           0400         02           0400         02           059         0394           0166         02           015         40	uplinad mod State model state M.B. R Rafess effecting (passive) effecting (passive) eutomatic Q values reparting 2 mm	ayddatac (FVS) 24 Star Star Star Boux DC Synt annan Synt annan

Si può notare il "problema" attorno ai 32 Hz.

#### Ora vi sono due possibilità (una "illogica", l'altra sensata).

**La prima (illogica)**: aumentiamo a 1024 il numero di campioni dei sismogrammi sintetici. In questo caso otteniamo (con un maggior carico computazionale) quanto segue.



Ora il problemino sopra evidenziato è sparito (ma a prezzo di un carico computazionale maggiore).

**Seconda opzione (l'unica sensata)**: riduciamo a 0.33 secondi il tempo dei dati [**pulsante** "**cut**" in basso a sinistra] e approfittiamone per pulire un po' il dato con gli strumenti di "data selection". Otteniamo quanto segue.



Riportiamo ora a 512 il numero di campioni e ricomputiamo lo spettro di velocità di fase del modello (pulsante FVS in basso a destra). Otterremo quanto segue:



È evidente che il modo corretto (logico) di fare le cose sia questo secondo.

Queste stesse considerazioni valgono anche nel caso di inversione automatico FVS: il dataset va ridotto alla minima lunghezza necessaria (in questo caso circa 0.33 s) e solo a quel punto si deve computare lo spettro di velocità da salvare ed invertire (automaticamente).

Quando ha senso aumentare (in modellazione diretta o in inversione automatica) il numero di campioni? Quando abbiamo a che fare con offset notevoli e/o velocità molto basse e/o frequenze molto alte (attenzioni che per i comuni lavori geologici frequenze superiori a circa 50 Hz hanno raramente senso). In quei casi il tempo di registrazione può dover essere molto alto e il numero di campioni necessari superiore al valore di default di 512.

Tali considerazioni valgono tanto nel caso si analizzino le *velocità di fase* che di *gruppo*. Nel caso in cui si abbia a che fare con serie temporali molto lunghe e/o campionamenti estremamente alti motivati dalla *reale* necessità di analizzare frequenze altissime (si studi con cura il significato e le conseguenze pratiche del *teorema di Shannon-Nyquist*), è consigliabile aumentare il **numero di punti/campioni utilizzati per computare i sismogrammi sintetici** (finestra con i valori di 512, 1024, 2048 e 4096). Chiaramente, maggiore sarà il numero di campioni utilizzati, maggiori saranno i tempi di calcolo (motivo per cui è bene comprendere quali siano le reali necessità).

## Capitolo 14 - Inversione automatica FVS



In talune parti del manuale e in molti documenti relativi a questo tipo di approccio, il metodo di analisi è indicato con l'acronimo *FVS* (inversione *Full Velocity Spectrum*).

Tramite questo approccio vengono invertiti gli *spettri di velocità* e non, come nell'approccio classico, le curve di dispersione identificate e piccate dall'utente (vedi ad esempio O'Neill et al., 2003). Questo significa che, adottando questo approccio, <u>non è necessario fare il *picking* dei dati</u>.

Per seguire questo metodo, nel pannello "*Dispersion Curve or Velocity Spectrum inversion*", è necessario caricare (pulsante "input file") uno spettro di velocità precedentemente salvato (formato .mat):



Successivamente (analogamente al metodo tradizionale di inversione delle curve di dispersione piccate) si deve fissare lo spazio di ricerca sulla base delle conoscenze geologiche del sito.

#### Alcuni punti fondamentali (vedi anche capitolo sui sismogrammi sintetici):

1. Il metodo si basa sulla generazione di sismogrammi sintetici generati tramite *modal* summation

2. I tempi di calcolo sono pesanti (consigliato quindi un PC ad alte prestazioni - raccomandate *workstations* da 6 (o più) *cores*), di conseguenza si consiglia di partire da un modello già significativo (*option#2*) considerando un modello (file *.mod*) precedentemente identificato e salvato attraverso la modellazione diretta) e di ridurre il numero di modelli ("individuals/models" nel gruppo "number of layers & constrains") a circa 40-40.

3. Il fatto che non sia necessario effettuare il *picking* non significa che il metodo rappresenti una "scorciatoia" che non richiede la comprensione di quanto si sta facendo. Ad esempio in caso di *dataset* fortemente dominati dai modi superiori con assenza del modo fondamentale (o comunque con un modo fondamentale molto evanescente) il risultato finale "rischia" di non essere corretto.

4. Poiché la distribuzione di energia tra i modi è fortemente influenzata dal valore del modulo di Poisson (vedi sopra box "*Modulo di Poisson e distribuzione di energia tra i modi*"), si raccomanda (al momento di fissare lo spazio di ricerca – *search space*) di fissare dei moduli di Poisson verosimili (chiaramente consentendo anche la "Vp and density optimization" capace di modificare i Poisson imposti dall'utente).

5. È **fondamentale** utilizzare uno *spettro di velocità* che contenga solamente informazioni/segnali riferibili alle onde di superficie.

<u>Di conseguenza</u>: effettuate una buona pulizia dei dati (esempio rimuovendo eventuali segnali rifratti) prima di calcolare e salvare lo spettro. Fissate una frequenza massima che non vada oltre la massima frequenza alla quale il segnale è riferibile alle onde di superficie. In altre parole, usate una frequenza <u>minima</u> e <u>massima</u> che comprenda il *range* di frequenze delle onde di superficie (che dipendono dal sito). Su terreni alluvionali queste sono tipicamente tra 4 e 30-40 Hz, mentre su terreni più veloci (e meno attenuanti) possono salire sino anche a 60 Hz e oltre (tipicamente la frequenza minima sale rispetto la frequenza minima su terreni alluvionali).

Non considerate frequenze minori rispetto quella a cui il segnale sia attribuibile alle onde di superficie. La corretta determinazione dello spettro di velocità (di fase o di gruppo) è chiaramente essenziale per la buona riuscita dell'inversione.

Inoltre, allo scopo di ottimizzare le *performance*, lunghezza delle tracce e intervallo di campionamento dei dati di campagna devono essere tali da ottenere delle tracce con circa 512 campioni (nei pannelli di elaborazione, il numero di campioni è indicato a fianco dell'intervallo di campionamento - si veda a questo proposito la sezione "Analisi FVS: lunghezza registrazione e numero di campioni dei sismogrammi sintetici").

Ricordiamo come nel nostro canale **youtube** sono disponibili alcuni brevi *tutorials* (anche sull'analisi FVS).

#### Esempio:



6. Ricordarsi di partire da un modello di partenza (*starting model*) con dei ragionevoli fattori di qualità Q<sub>S</sub> (il metodo tiene infatti in considerazione anche l'attenuazione e non solamente la dispersione).

Del tutto indicativamente i  $Q_S$  di un materiale geologico non sono troppo distanti dal valore della  $V_S$  divisa per un "fattore *k*" pari a circa 10 per un materiale sciolto sino a salire sino anche a (lo ripetiamo: *del tutto indicativamente*) 50 per un materiale roccioso fratturato.



Esempio di discordanza tra lo spettro derivante da sismogrammi sintetici calcolati considerando anche l'attenuazione del segnale e le curve di dispersione teoriche determinate considerando il puro caso elastico.



Si noti come – specie nell'intervallo 12-22 Hz circa - la curva di dispersione (calcolata considerando il caso elastico) sia leggermente più "lenta" del segnale dato dai sismogrammi sintetici che invece contemplano anche l'attenuazione.

Si noti anche come parte del segnale tra gli 8 e i 10 Hz sia legata al primo modo superiore.



Cliccando il pulsante "RUN" (come al solito dopo aver eventualmente fissato una cartella di output di nostro gradimento) si lancerà l'inversione dello spettro di velocità caricato.

Poiché tale approccio si basa sul calcolo dei sismogrammi sintetici i tempi di calcolo sono piuttosto elevati (se ne consiglia quindi l'uso su computer particolarmente potenti – vedi anche i punti riportati ad inizio paragrafo).



Come insegna la teoria (e la pratica non può che seguire), ecco un esempio in cui la presenza di uno "*stiff layer*" superficiale (quindi di un'inversione di V<sub>s</sub>) va ad eccitare i modi superiori delle onde di Love. <u>Ricorda</u>: se, utilizzando le onde di Love, noti che i modi superiori sono molto evidenti, certamente vi è una significativa inversione di V<sub>s</sub>.

## Inversione congiunta FVS (ZVF+RVF o ZVF+THF o RVF+THF)

Va da sé che lo sforzo di calcolo diventa particolarmente impegnativo. Per poterla eseguire in tempi ragionevoli è quindi necessario un processore veloce (necessario <u>come</u> <u>minimo</u> un processore *i*9 da almeno 8 cores fisici).

Proprio allo scopo di ridurre i comunque notevoli tempi di calcolo si consigliano alcune cose:

1. utilizzate *datasets* (di Rayleigh e Love) con le medesime caratteristiche (numero di canali, distanze inter-geofoniche ed offset minimi)

2. rimuovere tutte le tracce possibili (icona con la forbice nera orizzontale o, nel pannello per l'analisi congiunta Rayleigh+Love, il pulsante "cut") in modo da mantenere solamente un numero di tracce minime che continuano comunque a produrre un buon spettro d velocità. Se cioè invece di 24 tracce, si utilizzano esempio 12 tracce, i tempi di calcolo si ridurranno.

3. stesso discorso per la lunghezza delle tracce: inutile tenere dati che non contengono segnale. Se il segnale all'ultima traccia termina a 0.8 sec rimuovete dal dataset tutto quanto c'è oltre.

4. durante un'inversione degli spettri di velocità (a volte un po' impropriamente detta *full-waveform inversion*) non inserite anisotropie  $V_{SV}$ - $V_{SH}$ .

## Risultati

Al termine dell'elaborazione si otterranno (tra gli altri) i seguenti output (riferiti al modello migliore):



Miglior modello identificato (Velocità e fattori di qualità Q)

#### Tracce e spettri: sulla sinistra i dati osservati, sulla destra quelli del miglior modello identificato



Figura riassuntiva: in alto a sinistra lo spettro osservato, a sinistra il modello medio e quello migliore (e, in verde il *search space* fissato dall'utente), in basso a sinistra l'evoluzione del *misfit* al passare delle generazioni.



Se non hai familiarità con queste tecniche puoi organizzare un workshop nella tua zona (eventualmente con il supporto del tuo Ordine Regionale).

Il pesante carico computazionale necessario in relazione alle procedure di inversione *FVS* impone l'utilizzo di un PC dalle ottime prestazioni: una CPU da 8 *core* fisici e almeno 16 Gb di RAM risultano quindi requisiti minimi consigliati.

## Capitolo 15 - Separazione di modi



Dai pannelli principali di analisi ("*Velocity spectrum/a, modelling & picking*") si può accedere allo strumento per la separazione (quindi anche evidenziazione) di specifici modi che possono essere anche "nascosti". Lo strumento è indicato dal pulsante "mode separation" (nel gruppo di strumenti che consente la gestione degli spettri).

Dopo aver caricato il *dataset* di campagna e calcolato lo spettro è possibile accedere a tale strumento di analisi e filtraggio. Cliccando sul pulsante "mode separation" comparirà il seguente pannello:



Sulla parte sinistra sono riportati i dati "originali" (precedentemente caricati): in basso i dati nel dominio x-t, sopra il relativo spettro di velocità (dominio f-v).

Qui (cioè nello spettro di velocità), modificando la posizione dei punti del poligono rosso sarà possibile "filtrare" i dati **mantenendo solamente la porzione di segnale all'interno di tale poligono**.

Un esempio chiarirà l'azione. Qui di seguito si riporta un esempio di filtraggio: il poligono (visibile sullo spettro di velocità riferito ai dati originali posti sulla sinistra del pannello stesso) è stato modificato in modo tale da mantenere solamente la porzione di segnale ove, sulla base dello spettro di velocità, possiamo supporre si "nasconda" il modo fondamentale (possiamo infatti supporre che la porzione di spettro sopra i 13 Hz sia riferibile a modi superiori). Se desideriamo accertarcene e porre in evidenza il modo fondamentale (che starebbe certamente *sotto*) modifichiamo il poligono come mostrato in figura. Una volta terminato di dare la forma desiderata al poligono/filtro clicchiamo il **pulsante "select"** e in una manciata di secondi otterremo il *dataset* riferito solamente alla porzione di segnale selezionata col nostro poligono/filtro (vedi dati riportati sulla destra).

Si noti come i dati filtrati (parte destra del pannello) mostrino (sia nel dominio x-t che in quello v-f) la componente più lenta riferibile al modo fondamentale.



Se invece selezionassimo la parte riferibile ai modi superiori otterremo quanto segue:



Il valore della "rampa" (campo "ramp") rappresenta il valore della rampa del filtro (cioè quanto rapidamente si passa da 0 a 1 nella maschera/filtro): valori eccessivamente bassi possono dare origine ad oscillazioni nei dati filtrati, valori eccessivamente alti rischiano di mantenere porzioni di dati che si desiderano eliminare.

Sono possibili alcune operazioni quali:

- Salvare e richiamare un filtro utilizzato (pulsanti "save filter" e "upload filter")
- Salvare uno spettro filtrato (pulsante "save spectrum")
- Salvare un dataset filtrato (pulsante "save dataset")

Se il filtraggio ci aggrada e vogliamo considerare i dati filtrati si deve cliccare il pulsante "accept" (accetta) e nelle successive analisi saranno caricati i dati filtrati. Se invece non desideriamo lavorare con i dati filtrati e vogliamo continuare a lavorare con i dati originali basterà cliccare su "cancel".

Ulteriori esempi sono inviati agli utenti *winMASW* registrati (naturalmente il modo migliore per comprendere tutte le varie implicazioni e i diversi usi possibili di tali operazioni sono possibili solamente partecipando a workshop *ad hoc*).

Il filtraggio è effettuato nel dominio *f-k*. Gli utenti interessati ad approfondire queste tematiche possono anche leggere fare riferimento al testo "*Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica*" (Flaccovio 2019).

Si noti che questo strumento può essere utilizzato per una miriade di applicazioni anche completamente diverse dall'obiettivo "principale" sopra descritto. Qui di seguito, possiamo vedere un esempio di come il filtraggio *fk* possa essere utilmente applicato anche nel caso si desideri rimuovere dalle tracce sismiche delle componenti, in questo caso ad altissima frequenza, che (vedi tracce nel pannello in basso a sinistra), affliggono le di campagna: si noti la differenza tra le tracce di campagna (in basso a sinistra) e quelle filtrate (in basso a destra).



## Capitolo 16 - Analisi RPM e RVSR



### Analisi RPM

Le curve RPM (*Rayleigh-wave Particle Motion*) sono descritte nell'articolo "*Analysis of Rayleigh-Wave Particle Motion from Active Seismics*" (Dal Moro et al., 2017). La *superficie frequency-offset RPM* ne è la naturale estensione al caso multi-offset. Si tratta di un ulteriore "oggetto" di analisi con svariati utilizzi (vedi articolo citato e nostri incontri formativi senza i quali è del tutto impossibile comprenderne il significato).

Nel modulo per l'analisi congiunta accessibile dal pannello principale vanno caricate le due componenti ZVF e RVF (o ZEX e REX) (sono infatti utilizzate la componente verticale e radiale dell'onda di Rayleigh).

A questo punto con il tasto "*RPM offset-freq*" si andrà a calcolare la superficie RPM *frequency-offset*.

Vediamo un esempio (data la novità di queste metodologie i necessari approfondimenti sono offerti unicamente durante i nostri incontri formativi e negli articoli pubblicati).



I due *dataset* acquisiti (componenti Z e R):



In altre parole l'acquisizione delle due componenti non deve essere necessariamente simultanea.

Dando per scontato che le polarità dei geofoni siano quelle corrette (vedi *Nota: la polarità dei geofoni*), con il click del tasto "RPM offset-freq" si otterrà le curve RPM per ciascun offset e, conseguentemente, la superficie *RPM offset-freq*.



Tale superficie costituisce un oggetto che è possibile analizzare congiuntamente ai due spettri di velocità di fase.

Utilizzando l'approccio FVS in modalità "modellazione diretta" sarà infatti possibile verificare la congruenza tra il modello inserito dall'utente e i dati rappresentati dagli spettri di velocità Z e R oltre che alla superficie RPM.

Se (vedi sezione "synthetics (FVS)" viene attivata l'opzione "RPM offset-freq.", si otterranno i dati sintetici relativi al modello che van confrontati con quelli di campagna. Se quanto si ottiene è analogo a quanto qui di seguito mostrato si potrà essere sicuri che il modello identificato è quello buono:





Si noti infatti l'ottima congruenza tra dato sintetico e di campagna.

Dovrebbe essere altresì evidente come la seguente situazione ponga in luce una pessima congruenza tra dati di campagna e modello sintetico:





#### Nota: la polarità dei geofoni

Inutile dire che per poter acquisire e analizzare correttamente i dati utili a queste analisi <u>è fondamentale conoscere le polarità dei propri geofoni verticali e</u> <u>orizzontali</u> e sapere come orientarli di conseguenza [vedi immagine qui sotto – la sorgente si trova a sinistra dell'immagine].

Dettagli nel libro "Acquisizione e analisi di dati sismici vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica" (la convenzione da noi adottata è fondamentalmente quella di Herrmann).

Non è chiaramente possibile fornire assistenza gratuita per risolvere problemi e ambiguità legati a geofoni non forniti da noi e privi di chiare indicazioni inerenti le polarità.



### 16.1 Inversione congiunta (automatica): ZVF + RVF (FVS) + superficie RPM

Dal pannello principale (ma in effetti anche dal pannello di "analisi congiunta" è possibile accedere al modulo per l'inversione automatica dei due spettri di velocità ZVF e RVF congiuntamente alla superficie frequenza-offset RPM.

Si ricordi che per utilizzare questi strumenti di analisi avanzata (approccio FVS ecc) si raccomanda l'utilizzo di un PC con [come minimo] 8 cores fisici. Se questo rappresenta un requisito minimo, il nostro suggerimento è comunque quello di utilizzare almeno un computer (o, meglio, una workstation) costruita sulla base dei suggerimenti riportati nella **sezione** *Requisiti di sistema* (all'inizio di questo manuale).

Quasi pletorico ricordare che per effettuare correttamente questo genere di analisi è necessario un adeguato *training* teorico e pratico.



Prima di tutto caricheremo i tre *files* pertinenti a questo tipo di inversione.

Poi fisseremo lo spazio di ricerca sulla base di un modello di partenza precedentemente valutato e, una volta settati i parametri di inversione (numero di modelli e di generazioni) e la profondità sino a cui vogliamo che sia mostrato il modello (per default fissato a circa 2/3 della lunghezza dell'*array*), lanceremo l'inversione (tasto RUN).



Quello che otterremo alla fine è riassumibile nei seguenti *snapshots* (e con il relativo file di *report*).



#### Immagine con i dati di input:







#### I tre modelli più importanti (minimum global, minimum distance, mean model):



Analisi statistica del parametro Vs30 (analogo grafico è dato anche rispetto la VsE) per i modelli relativi al fronte di Pareto:



Riassunto dei modelli (profili Vs) [se i modelli sono sufficientemente simili tra loro, questo è indice di una generale significatività dell'inversione]:



### Analisi RVSR

Assieme alle curve RPM, sono anche computate le curve RVSR (*Radial-to-Vertical Spectral Ratio* - vedi ad esempio l'articolo "*Shear-wave velocity profiling according to three alternative approaches: a comparative case study*") per tutti gli offset.

Dalle prossime release sarà anche possibile la sua modellazione (al momento della *release* 7.3 se ne visualizza solo l'andamento).

Un paio di raccomandazioni riguardo l'acquisizione di dati utili ad analisi RVSR:

1) utilizzate geofoni verticali e orizzontali con la medesima curva di risposta;

**2)** l'ideale è acquisire i dati delle due componenti (Z e R) in contemporanea (vedi schema precedentemente riportato), ma se desiderate acquisire prima la componente Z e poi quella R, abbiate cura di utilizzare un numero di battute (*stack*) alto (non meno di 8) e sforzatevi di utilizzare la stessa forza per tutte le battute



#### Esempio#1









V component











5

offset (m)





### Esempio#2

## Capitolo 17 - Risposta Sismica Locale [Site Response]



## Breve e informale premessa

I reali e principali problemi della RSL così come si è andata a configurare in Italia è presto detto.

1. molti profili Vs utilizzati sono del tutto falsi o errati;

**2.** l'approccio probabilistico (PSHA) utilizzato per selezionare i sismi di riferimento è fortemente criticato da buona parte della comunità scientifica.

Date questi problemi di fondo è del tutto inutile inseguire sofismi su, ad esempio, le curve G/Go e ritorna il detto biblico: "filtrare il moscerino e ingoiare il cammello".

Due ulteriori motivi di non indugiare in aspetti secondari o malamente definibili:

**1.** gli spettri di risposta sono definiti per un modello di oscillatore lineare SDOF (*Single Degree Of Freedom*) che è una prima approssimazione valida unicamente per edifici dalla riposta semplice;

**2.** il fattore di *damping* della struttura (monoliticamente fissato al 5%) è un ulteriore punto di domanda (cioè variabile). Provando a variare il *damping* della struttura (non il *damping* degli strati del modello geologico - a loro volta parametro da fissare) da, per esempio, 3 a 8% ci si può rendere conto di come anche esso ha un peso nella determinazione degli spettri di risposta finali. Per rendersi conto di quanto il damping di una struttura può variare in relazione all'ampiezza dell'input si veda ad esempio Naito & Ishibashi (1996).

Si raccomanda quindi di svolgere al meglio tutto quello che si può e deve fare senza indugiare in risibili sottolineature inerenti specifici e spesso secondari aspetti.

Tra le moltissime cose spesso malamente intese vi è ad esempio l'idea che l'HVSR rappresenti la cosiddetta amplificazione di sito, cosa pesantemente inesatta tanto da semplici considerazioni teoriche quando da dati sperimentali (vedi ad esempio articolo di Perron et al. (2018) da cui è tratta la figura qui si seguito riportata in cui vi è il confronto tra la reale amplificazione sperimentale [curva SSR] e l'HVSR [come si può notare la differenza è enorme]).





## Come funziona una RSL (in estrema sintesi)

La RSL richiede vengano svolte con estrema cura le seguenti tre operazioni:

1) accurata determinazione del profilo Vs

2) determinazione di una serie di "sismi di riferimento" al *bedrock* per il sito indagato

3) simulazione dell'effetto di scuotimento (al suolo e sull'edificio)

Errori in una sola di queste fase (da tenere concettualmente ben separate) conduce inevitabilmente alla definizione di spettri di risposta privi di significato o validità.

Riguardo il **primo e il terzo punto** si rimanda alle considerazioni svolte in premessa di questa sezione del manuale.

Rispetto il **punto#2** consigliamo di partecipare agli incontri da noi segnalati e di leggere ad esempio il libro di carattere introduttivo *Difendersi dal terremoto si può* (Panza e Peresan, 2016) senza dare mai nulla per scontato ed evitando quindi di pensare "si fa così punto e basta".

Gli strumenti disponibili in *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* si riferiscono alle operazioni di cui al punto#3 (oltre che naturalmente al punto#1).

Volendo semplificare, è come se *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* svolgesse le operazioni di software quali *Strata* o *Deepsoil* con il vantaggio di non dover "traslocare" da winMASW<sup>®</sup> a quei software e poter fare tutti in pochi semplici e immediati click.

Riguardo la selezione dei sismi il discorso è piuttosto articolato (vedi dibattito sulla correttezza dell'approccio probabilistico (PSHA - *Probabilistic Seismic Hazard Assessment*) rispetto l'approccio fisico (NDSHA - *NeoDeterministic Seismic Hazard Assessment*).

Molti selezionano i sismici di riferimento utilizzando REXEL (approccio PSHA), ma tale procedura è sottoposta a serie e motivate critiche.

In questa sede non ci possiamo chiaramente occupare di questi aspetti ed è responsabilità del professionista determinare nel modo più accurato e puntuale i sismi di riferimento da caricare per la determinazione dello spettro di risposta finale (vedi https://en.wikipedia.org/wiki/Response\_spectrum).

Vediamo qui di seguito come procedere e che parametri settare.
#### Parametri da settare

Una volta determinato il profilo  $V_s$  corretto (in accordo con tutti i dati considerati) dal pannello di analisi a componente singola o doppia si clicca il pulsante **Site Response**:



#### Comparirà la seguente finestra:



Cliccando su **"input subsurface model**" è possibile caricare un modello (.mod) precedentemente salvato (di default viene caricato il modello attivo al momento in cui si accede al pannello cliccando **Site Response**).

Qui di seguito la spiegazione dei parametri da settare per ottenere lo spettro di risposta finale:

#### reference depth (m)

Profondità alla quale sarà posta la fondazione (in metri).

#### sezione "input quake(s)"

Va specificata l'<u>unità di misura</u> delle serie temporali da caricare (i "sismi di riferimento" determinati ad esempio con REXEL).

Lo *smoothing* da applicare in fase di elaborazione e il numero di *header lines* nei files che si caricano (ad ogni modo si assume che i *files* siano costituiti da 2 colonne: la prima con il tempo in secondi, la seconda con le accelerazioni).

Esempio di sisma ottenuto via REXEL (nese resta "0":	suna header, quindi <i>header lines</i>
$0.000000e+000_0.00000e$	0000e+000
5 0000000e-003 -3 2749	8000e-004
1 0000000e-002 -6 6074	1000e-004
1.5000000e-002 -6.693	000e-004
2 000000e-002 -6 778	000e-004
2.5000000e-002 -6.863	2000e-004
3 000000e-002 -6.8032	3000e-004
3 5000000e-002 -7 037	2000e-004
4 000000e-002 -7.0372	5000e-004
4.0000000e-002 -7.127	5000 <b>c</b> -004
-5.0000000 - 002 - 7.221	5000 = 004
5.0000000-002 -7.513.	000 <b>C-</b> 004
	na di agampia) il nama dal aita a l
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind	care due (2) <i>header lines</i> .
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind Berlin	care due (2) <i>header lines</i> .
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind Berlin 52°31′00″N 13°23′	care due (2) <i>header lines</i> .
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind Berlin 52°31′00″N 13°23′ 0.0000000e+000 0.0000	care due (2) <i>header lines</i> .
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind Berlin 52°31′00″N 13°23′ 0.0000000e+000 0.0000 5.0000000e-003 -3.2748	20"E 0000e+000 3000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind Berlin 52°31′00″N 13°23′ 0.000000e+000 0.0000 5.000000e-003 -3.2748 1.0000000e-002 -6.6074	20"E 0000e+000 3000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind Berlin 52°31′00″N 13°23′ 0.0000000e+000 0.0000 5.0000000e-003 -3.2748 1.0000000e-002 -6.6074 1.5000000e-002 -6.6930	20"E 0000e+000 3000e-004 0000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind 52°31′00″N 13°23′ 0.0000000e+000 0.0000 5.0000000e-003 -3.2748 1.0000000e-002 -6.6074 1.5000000e-002 -6.6930 2.0000000e-002 -6.7780	20"E 0000e+000 3000e-004 0000e-004 0000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind 52°31′00″N 13°23′ 0.0000000e+000 0.0000 5.000000e-003 -3.2748 1.000000e-002 -6.6074 1.5000000e-002 -6.6930 2.0000000e-002 -6.7780 2.5000000e-002 -6.8632	20"E 0000e+000 3000e-004 0000e-004 0000e-004 0000e-004 2000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind 52°31′00″N 13°23′ 0.000000e+000 0.0000 5.000000e-003 -3.2748 1.000000e-002 -6.6074 1.5000000e-002 -6.6930 2.000000e-002 -6.7780 2.5000000e-002 -6.8632 3.0000000e-002 -6.9493	20"E 20"E 2000e+000 3000e-004 4000e-004 0000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind 52°31′00″N 13°23′ 0.0000000e+000 0.0000 5.000000e-003 -3.2748 1.000000e-002 -6.6930 2.000000e-002 -6.6930 2.5000000e-002 -6.8632 3.000000e-002 -6.9492 3.5000000e-002 -7.0372	20"E 0000e+000 3000e-004 0000e-004 0000e-004 0000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind 52°31′00″N 13°23′ 0.0000000e+000 0.0000 5.000000e-003 -3.2748 1.000000e-002 -6.6074 1.5000000e-002 -6.6930 2.000000e-002 -6.7780 2.5000000e-002 -6.9492 3.5000000e-002 -7.0372 4.000000e-002 -7.1270	20"E 0000e+000 3000e-004 1000e-004 0000e-004 0000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind 52°31′00″N 13°23′ 0.0000000e+000 0.0000 5.000000e-003 -3.2748 1.000000e-002 -6.6074 1.5000000e-002 -6.6930 2.0000000e-002 -6.7780 2.5000000e-002 -6.9493 3.5000000e-002 -7.0372 4.0000000e-002 -7.1270 4.5000000e-002 -7.2213	20"E 0000e+000 3000e-004 1000e-004 1000e-004 1000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004
Se invece la prima riga contesse (a mero sco la seconda le sue coordinate, dovremmo ind 52°31′00″N 13°23′ 0.000000e+000 0.0000 5.000000e-003 -3.2748 1.000000e-002 -6.6030 2.000000e-002 -6.6930 2.500000e-002 -6.7780 2.500000e-002 -6.8632 3.000000e-002 -6.9492 3.5000000e-002 -7.0372 4.000000e-002 -7.1270 4.5000000e-002 -7.2212 5.000000e-002 -7.3193	20"E 20"E 2000e+000 3000e-004 4000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004 2000e-004

È ance possibile cambiare l'**unità di misure dei sismi in** *input* (di *default* m/s<sup>2</sup>) in cm/s<sup>2</sup>. Se lo si fa (se cioè, per qualsiasi motivo, utilizziamo serie temporali (dei sismici) in cm/s<sup>2</sup> e non in m/s<sup>2</sup>, il valore di **ag** non dovrà essere modificato.

#### pulsante "peak acceleration"

Allo scopo di determinare i valori di **ag** per la normalizzazione dei sismi in input (stiamo chiaramente riferendoci all'approccio PSHA) cliccando su questo pulsante si aprirà la pagina INGV relativa alle mappe interattive di pericolosità sismica (<u>http://esse1-gis.mi.ingv.it</u>).

#### ag (g)

Nell'approccio PSHA i sismi ottenuti ad esempio tramite REXEL devono essere normalizzati ad un valore massimo di accelerazione fissato appunto da tale parametro (sulla base delle mappe di pericolosità sismica - vedi sito INGV).

Nel caso **<u>non</u>** si desideri normalizzare i sismi di input ad un valore massimo di accelerazione (la normalizzazione è un'operazione svolta nell'approccio PSHA che è in effetti purtroppo privo di senso fisico), basta inserire un valore pari a zero.

Ciò significa che nel caso si mantenga ag=0, durante l'elaborazione i sismi (cioè le cosiddette *time histories*) saranno tenuti così come caricati, senza alterarne i valori di accelerazione. Questo è possibile se i sismi che si caricano sono (già) riferiti al locale *bedrock* e sono stati definiti con procedure *ad hoc* (che non sono quelle della PSHA) in grado di definire l'accelerazione al locale *bedrock* andando a simulare una serie di sismi caratteristici dell'area (vedi approccio DSHA e NDSHA).

Se invece si desidera modificare i valori dei sismi caricati facendo in modo che il picco dell'accelerazione sia pari ad un certo valore (definibile ad esempio dalle mappe INGV), si deve inserire tale valore nel campo **ag** (in unità di g, cioè di accelerazione di gravità).

Se ad esempio si inserisce un valore di **ag** pari a 0.4, i sismi in input saranno scalati in modo tale che l'accelerazione di picco diventi 0.4 g per tutti i sismi caricati.

#### building damping (%)

È il *damping* dell'edificio rispetto a cui si intende calcolare lo spettro di risposta. Tale valore è spesso fissato al 5% ma i valori reali possono discostarsi in relazione al tipo di costruzione e alle frequenze (vedi letteratura ingegneristica specializzata).

### Fattori di qualità e damping

Ricorda sempre di settare valori dei fattori di qualità che abbiano un senso (la regola empirica spesso seguita è che, grossomodo, i fattori Qs sono pari a circa il valore della Vs diviso per un fattore che può variare circa da 10 a 15 (nel software tale fattore viene indicato come *K factor*). Inoltre ricorda che:

#### D = 1 / 2Q

Il *damping* (D) è usualmente indicato in percentuale (quindi tale valore va moltiplicato per 100).

## Esempio di elaborazione

Si noti come molte funzioni/curve sono riportate in doppio formato: in funzione della frequenza e del periodo.

Come sempre le immagini sono automaticamente salvate nella cartella di lavoro.



Sismi caricati (ampiezze originali):



Modello Vs (con indicata la profondità di riferimento), HVSR simulato (da onde di corpo e onde di superficie) e funzione di amplificazione [*SH-wave transfer function*], spettro alla profondità di riferimento (in funzione della frequenza):



Sismi normalizzati al valore di ag inserito, FFT di sismi in input, in funzione di frequenza e periodo, spettro alla profondità di riferimento (in funzione del periodo):





Spettri di risposta alla profondità di riferimento (in questo caso 1m dalla superficie) in funzione della frequenza (scale lineari e logaritmiche).



Spettri di risposta alla profondità di riferimento (in questo caso 1m dalla superficie) in funzione del periodo (scale lineari e logaritmiche).



Acceleration Response Spectrum [linear scales - depth: 3m] Acceleration Response Spectrum [log scales - depth: 3m]

Gli spettri di risposta vengono salvati anche in una serie di files ASCII il cui nome è chiaramente indicativo del contenuto:

- "All\_Response\_Spectra\_Frequency.txt" "All Response Spectra Period.txt"
- "Mean Response Spectrum Frequency.txt"
- "Mean Response Spectrum Period.txt"

Il seguente *snapshot* riporta un esempio della figura finale che riassume i fatti principali (l'esempio è riportato da un diverso sito/dataset). Ogni grafico riporta chiaramente nel titolo e nella legenda il significato/contenuto delle curve/funzioni mostrate.



Sono riportati:

1) i valori di Vs e Qs del modello caricato;

2) le curve HVSR caricate e modellate [grafico in alto a destra];

3) in basso a destra: la *funzione di trasferimento* delle onde SH [linea rossa] insieme alle curve HVSR caricate e modellate [secondo le onde di superficie e le onde SH];
4) gli *spettri di risposta* per tutti i terremoti di riferimento caricati assieme alla curva

media e a quella regolarizzata (vedi box "regolarizzazione degli spettri" nelle pagine successive) [grafico in alto al centro].

#### Site Response nelle recenti release di winMASW<sup>®</sup> Academy e HoliSurface<sup>®</sup>

Una volta ottenuto il profilo Vs corretto (un modello può essere considerato corretto solo se è in accordo con dati multi-componente – vedi tutti gli esempi riportati in questo manuale), cliccare il pulsante "Site Response" e accedere dunque al tool *Site Response*.

Se si clicca il pulsante "Site Response" dai pannelli delle analisi, il modello del sottosuolo e la curva HVSR vengono caricati automaticamente, ma è comunque possibile (ri)caricarli entrambi dal pannello *Site Response* (pulsanti "**upload subsurface model**" e "**upload HVSR curve**").

Ricorda che posizionando il *mouse* sopra un qualsiasi pulsante, appare una breve descrizione/aiuto riguardo al tipo di operazione che tale pulsante esegue.

#### Sequenza delle operazioni (per lavori sul territorio nazionale italiano):

1) Opzionale ma consigliato: caricare la foto geo-referenziata del sito [pulsante **"georeferenced photo [recommended]"** in alto a sinistra]: il *software* estrarrà automaticamente la *latitudine* e la *longitudine*. In alternativa, se non avete una foto georeferenziata, inserite manualmente i valori di *lat* e *long*;



2) impostare il valore del **tempo di ritorno** (che dipende dal tipo di intervento oggetto di analisi);

3) cliccare sul pulsante **"compute spectral parameters"** (in alto a sinistra), grazie al quale otterremo i parametri (**ag**, **Tc** e **F0**) utilizzati per le successive operazioni;

Nel caso in cui si lavori in un paese diverso dall'Italia, i valori di **ag**, **Tc** e **F0** sulla base delle locali norme edilizie.

#### winMASW®



Parametri spettrali determinati in base al tempo di ritorno (inserito dall'utente) e alla *latitudine* e *longitudine* del sito ricavate direttamente dalla foto geo-referenziata.

4) Ora, dopo aver controllato la correttezza dei parametri **ag**, **Tc** e **F0**, puoi caricare i terremoti di riferimento (riferiti al locale *bedrock*) [usa il pulsante "input quakes" nel gruppo "1. Input quake(s)"];

Ora siamo pronti per il computo: clicca il pulsante **"compute site response"** nel gruppo "2. *Site effect and Response Spectra*" del pannello.



#### Un esempio di ciò che si ottiene al termine:

Spettri di risposta e calcolo della *funzione di trasferimento* dell'onda SH (curva rossa nel grafico in basso a destra – questa curva è solitamente considerata impropriamente come la *curva di amplificazione*). In questo caso la profondità di fondazione (*reference depth*) è pari a 1 m.

Si noti come lo/gli spettro/i di risposta sia/siano fornito/i anche *regolarizzati* (vedi box nelle pagine seguenti).



Alcune 'linee guida' richiedono che tali simulazioni siano effettuate per un certo numero di cosiddetti *stati limite* che dipendono dalla struttura che stiamo considerando. Lo specifico *stato limite* di volta in volta considerato può essere indicato nel campo 'note' in modo che appaia nella legenda dei grafici ottenuti.

#### Alcune importanti note

Nel caso in cui non venga caricato alcun terremoto, lo strumento fornirà solo i risultati mostrati nel seguente *snapshot*, cioè le curve HVSR (caricata e modellata) e la *funzione di trasferimento delle onde SH*. Confronta il seguente *snapshot* con quello mostrato nella pagina precedente (ottenuto avendo caricato una serie di terremoti).



Di fatto, la *funzione di trasferimento delle onde SH* non rappresenta ciò che accade durante un terremoto reale, in quanto i fenomeni reali sono molto più complessi e dipendono dalla tipologia della faglia, dal suo azimut rispetto al sito e molto altro. La distorsione dello scuotimento indotto dagli effetti locali è poi diversa per le onde di volume e quelle di superficie e, chiaramente, la *funzione di trasferimento delle onde SH* non può considerare le onde di superficie (vedi ad esempio Bowden & Tsai, 2017);

Ricorda che **l'accuratezza degli spettri di risposta ottenuti** dipende innanzitutto dall'accuratezza di due "parametri" chiave:

- 1) il modello del sottosuolo (valori Vs e Qs questi ultimi determinano l'attenuazione)
- 2) l'accuratezza dei terremoti caricati [cioè le scosse al bedrock locale].

Si deve anche sempre considerare nei dovuti termini che le variabili che di fatto sfuggono al nostro controllo sono innumerevoli ed è quindi piuttosto ingenuo (per usare un termine molto gentile) porre eccesiva enfasi su specifici aspetti. Assicurati che il tuo modello Vs (e Qs) sia ben vincolato e ragionevole e investi un po' del tuo tempo per studiare tutti i problemi e le ambiguità dell'approccio PSHA (cioè sul modo in cui vengono scegli/creati/selezionati i "terremoti di riferimento"). Per farlo sono necessari approfonditi corsi di sismologia (tecnica), non lezioncine su come la normativa suggerisce di fare (le leggi dello Stato non han nulla a che fare con le leggi di Natura).

Se frequenti un corso/lezione/workshop sugli effetti di sito e sul computo degli spettri di risposta, fai attenzione e cerca di capire se è un corso (serio) sulla *fisica dei fenomeni* o se si tratta di un incontro sulle normative nazionali in materia. Questo è un punto cruciale: si tratta di imparare come le onde si generano e propagano (attenuano ecc.) o si tratta di spiattellare delle procedure da eseguire in ossequio a "linee guida" senza comprendere il *perché* e il *come* da un punto di vista scientifico?

Si deve sempre considerare che le "variabili sconosciute" sono innumerevoli ed è quindi piuttosto ingenuo porre troppa enfasi su aspetti singolari/specifici. Quindi assicurati che il tuo modello Vs (e Qs) sia ben vincolato e investi un po' del tuo tempo per studiare tutti i problemi e le ambiguità dell'approccio PSHA (cioè sul modo in cui scegli i terremoti di riferimento).



Lo spettro di risposta finale è anche "regolarizzato" al fine di ottenere i parametri dell'approocio semplificato: F0, Td, Tc, Tb e a<sub>max</sub>. Questa operazione è svolta secondo gli schemi riportati in:

Newmark N.M. and Hall W.J., 1982. Earthquake spectra and design. EERI Research Report, 82-71183, 103 pp.

Liberatore D. and Pagliaroli A., 2014. Verifica della sicurezza sismica dei Musei Statali. Applicazione O.P.C.M. 3274/2003 s.m.i. e della Direttiva P.C.M. 12.10.2007. Convenzione Arcus – DG PaBAAC Rep n. 113/2011 del 30/09/2011

Decreto n. 55 (24 Aprile 2018) e NTC 2018

Capitolo 2.5.4.3.1 degli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" volume of the *Dipartimento di Protezione Sismica (Editori* Bramerini, Di Pasquale, Naso, Severino).

Si consideri che l'operazione di regolarizzazione è di per sé discutibile in quanto altera gli spettri di risposta calcolati considerando il profilo  $V_S$  e i terremoti di riferimento. Viene (purtroppo) richiesta e fatta per facilitare il lavoro degli ingegneri che, utilizzando software di analisi non particolarmente sofisticati, non sono in grado di considerare la forma reale dello spettro di risposta calcolato, ma la sua essenza è alquanto discutibile (si altera la natura per sottometterla a inadeguatezze del pensiero/fare umano).

Si noti che quando la forma dello spettro di risposta calcolato è particolarmente complessa e irregolare, lo spettro regolarizzato può differire significativamente dallo spettro originale.



Esempio di regolarizzazione in cui lo spettro computato (cura rossa tratteggiata) è significativamente distante da quello regolarizzato (curva rossa continua). Tratto da Pagliaroli et al. (2019).



Un ulteriore esempio di regolarizzazione in cui lo spettro di partenza (cura rossa) è significativamente distante da quello regolarizzato (curva verde).

Qui sotto invece un esempio di spettro regolarizzato (curva verde) non troppo distante dal computato (curva rossa): questo accade in quanto lo spettro originale (computato) ha una forma "semplice" non lontana da quella assunta dagli schemi utilizzati per la regolarizzazione.



Vedi anche Appendice "Regolarizzazione spettro di risposta (utilities)".

# Capitolo 18 - Analisi Back Scattering



#### *Tool* disponibile nella versione *Academy*

Tanto nel pannello di analisi a componente singola che in quello a componente doppia, è disponibile (pulsante *Back-scattering*) l'operazione di analisi del *backscattering* svolta tramite filtro fk e analisi spettrale dei dati originale e filtrati (i dettagli vengono illustrati duranti i nostri incontri formativi).

Tramite questa operazione è possibile analizzare il segnale sismico alla ricerca di possibile energia *back-scattered* a causa di inomogeneità (ad esempio cavità o inclusioni) presenti negli strati più superficiali.

Nel caso tali inomogeneità abbiano dimensioni adeguate e non siano a eccessiva profondità è possibile vengano generate onde "riflesse" che l'operazione di analisi del segnale filtrato può mettere in evidenza.

Quanto profonda e grande deve essere una cavità per essere identificata?

Impossibile rispondere in modo universale e assoluto. Del tutto indicativamente possiamo pensare di avere qualche *chance* di identificare cavità (o, più in generale, inomogeneità) presenti sino a circa 3-4 m di profondità (di dimensioni – raggio - non inferiori a circa un paio di metri).

È certamente uno di quei campi in cui è assolutamente vietata qualsiasi generalizzazione o semplificazione.

Importante sottolineare come, a differenza dell'analisi della dispersione a fini di determinazione del profilo Vs, per questo genere di analisi è importantissimo utilizzare *dataset* con un alto numero di tracce: 24 è il minimo ma 48 è certamente più indicato – si ricordi che per avere *dataset* da 48 tracce non è certamente necessario avere strumentazione da 48 canali [vedi appendice "unire 2 *dataset* attivi"].

Una volta caricato il dato ed effettuato eventuali operazioni di generale pulizia, per analizzare l'energia back-scattered si preme il pulsante *Back Scattering*.

Qui di seguito un esempio relativo ad un dataset sintetico (cavità posta a 2 m di profondità) considerando la componente ZVF (avendo a disposizione dati multi-componente l'analisi di *backscattering* si effettuerà per entrambe le componenti caricate dal pannello per l'analisi congiunta "Joint Analysis of Surface Waves – Velocity Spectra, modelling etc.").



I grafici della parte alta della figura si riferiscono ai dati caricati e riportano (da sinistra a destra):

- a) le tracce sismiche caricate (visualizzate secondo il classico metodo wiggle);
- b) le tracce sismiche caricate visualizzate secondo scala di colori;
- c) l'analisi spettrale traccia per traccia.

Sulla parte bassa sono riportati lo stesso tipo di dati ma dopo il filtraggio *fk* che tende a porre in evidenza l'energia *back-scattered* (cioè con pendenza opposta a quella "regolare).

Si nota (evidenziata dal quadrato rosso) la posizione dell'inomogeneità (in questo caso una cavità) che produce una "riflessione" (termine che dal punto di vista tecnico è errato ma che può aiutare a comprendere il fenomeno del *back-scattering* al neofita).

In caso di analisi di dati multi-componente, lo stesso genere di figura è generato per entrambe le componenti caricate.

#### Un articolo relativo a questo genere di problematiche:

Rahnema, H., Mirassi, S. & Dal Moro, G., 2021. Cavity effect on Rayleigh wave dispersion and P-wave refraction. *Earthq. Eng. Eng. Vib.* **20**, 79–88. <u>https://doi.org/10.1007/s11803-021-2006-y</u>

# Capitolo 19 - Sintetici multi-componente attivi e passivi: *tool* educativo e di pianificazione



Il pulsante "**SYNTHETICS**" (presente nel pannello principale) dà accesso al pannello da utilizzare per generare *datasets* sintetici (generati tramite *modal summation*).

▲ winMASW® - Surface Waves & Beyond		- 🗆 X
2 2 3 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5		2
parallel computing EXX: 54 50 Peratel Computing On (Cli workers) 68 apply parallel open working folder	winMASW <sup>®</sup> Academy surface waves & beyond	<ul> <li>Internet sites - </li> <li>facebook</li> <li>guidelines &amp; docs</li> <li>utilities</li> <li>synthetics</li> </ul>

#### Tale strumento risulta estremamente utile per almeno due motivi:

**1) finalità didattiche:** è possibile cioè lavorare con diversi modelli e rendersi conto di come i modi possono eccitarsi (a seconda dei parametri del modello e della lunghezza dell'*array*) per le diverse componenti possibili (verticale, radiale e trasversale);

2) simulare condizioni specifiche e peculiari in modo da definire i migliori parametri di acquisizione per una futura indagine secondo diversi scenari.

Assieme agli spettri delle velocità di fase dei dati attivi sintetici, questo strumento calcola anche le curve/superfici RPM e RVSR. Inoltre, sono mostrate anche le curve di dispersione effettive in caso di sismica passiva (ReMi/ESAC/SPAC/MAAM) ed i relativi limiti di validità (per l'array considerato).

offsets (m): 6:2:56	modal summation
record time (s): 1	number of modes: 6
<b>model</b> Vs (m/s) Poisson thickness (m)	the k factor (see manual):
90         0.4         0.8           260         0.4         1	the L factor (see manual): 2
500     0.35     3       650     0.35     6       900     0.35     40	show dispersion curves: 🔽 (elastic case)
1300     0.3     50       1900     0.3     500       2200     0.2	
upload model save model	
phase-velocity spectrum min. freq. 2 max freq. 56	
min. vel. 90 max vel. 2200	SNR 21 compute synthetics

#### Di seguito la lista dei parametri da definire:

**<u>Geometria</u>**: l'espressione "6:1:66" significa che stiamo simulando un'acquisizione con offset minimo pari a 6 m, spaziatura geofoni 1 m e ultimo geofono a 66 m. L'espressione

5:2:55 indica un array con il primo canale a 5 m dalla sorgente (offset minimo), spaziatura geofoni 2 m e ultimo geofono a 55 m. Ciò significa la seguente seguenza di canali: 5 55.

Tempo di registrazione: lunghezza dei dati (in secondi) - nell'esempio è pari a 1.5 s.

**Numero di modi**: numero di modi da utilizzare per la generazione delle tracce sintetiche (via *modal summation*).

Fattore k: parametro utilizzato per definire i valori Qs dai valori Vs: Qs=Vs/k

**<u>SNR</u>**: Signal-to-Noise Ratio: se maggiore di zero si aggiunge del rumore gaussiano ai dati (un valore di 20-22 aggiunge un po' di realismo ai dati)

**<u>Fattore</u>** α: quantità di onde di Love nel campo dei microtremori durante il computo della curva HVSR (valori tra 0 e 1) [vedi la sezione sull'HVSR e il libro Springer 2020]



## Esempio#1

Modello V<sub>S</sub> e V<sub>P</sub> model con la profondità in scala lineare e logaritmica (questa seconda modalità è utile per evidenziare meglio gli strati superficiali).



Tracce sintetiche e spettri delle velocità di fase per le tre componenti: ZVF e RVF (onde di Rayleigh) e THF (onde di Love). Sono inoltre mostrate le **curve di dispersione** 

www.winMASW.com - geophysical software & services

effettive ed i limiti di validità in caso di acquisizione di dati passivi (con la geometra indicata). In prima battuta, mentre le curve di dispersione effettive (riferite alla sismica passiva) dipendono dal modello, i limiti di validità dipendono dalla lunghezza dell'array (prova a modificare i valori per capire come funziona). Per quanto l'argomento necessiti di molti approfondimento per essere *realmente* compreso, in prima battuta possiamo dire che durante l'analisi dei dati passivi è possibile fare affidamento solo sui dati tra le due linee verdi (limiti di validità).



Superficie frequency-offset RPM e superficie RVSR (per tutti gli offsets)



#### HVSR calcolato per il modello di velocità considerato (con il 30% di onde di Love)

Tutte le figure sono (come sempre) automaticamente salvate nella *cartella di lavoro* assieme al modello che si è considerato (file "current\_model.mod")

Se viene attivata l'opzione **"show dispersion curves"**, nella seconda immagine che si ottiene (in cui sono indicati i dettagli sul significato delle varie curve), sovrapposte agli spettri di velocità vengono mostrate anche le curve di dispersione modale (caso elastico). <u>Attenzione</u>: si trattano appunto le curve modali del caso elastico mentre gli spettri di velocità ottenuti dai dati sintetici sono computate dalle tracce sintetiche che contengono l'attenuazione (parametri Q). È dunque utile notare il "disallineamento" (vedi corsi introduttivi relativi alla propagazione delle onde di superficie).



Si noti che, in accordo con la teoria, la "differenza" tra i segnali sugli spettri di velocità e le curve di dispersione elastica aumenta proporzionalmente all'aumento dell'attenuazione (cioè diminuendo i fattori di qualità): più bassi sono i valori Q, maggiore è la "deviazione" dal caso elastico. L'effetto è chiaramente più evidente alle alte frequenze.

Ad ogni modo la cosa più importate che questo esempio consente di comprendere è che, di fatto, in alcuni casi il modo fondamentale può essere quasi del tutto assente nelle onde di Rayleigh (specie nella componente Z – si noti come lungo la componente R il modo fondamentale fa una chiara comparsata tra circa 25 e 42 Hz) e che quindi l'analisi multi-componente (possibilmente in modalità FVS) è l'unico modo per non prendere cantonate che vanno inevitabilmente a sovrastimare le Vs. Le onde di Love si dimostrano come quasi sempre di chiarissima lettura guidandoci sempre sulla retta via.

Infine, nell'immagine qui sotto si mostrano le curve HVSR calcolate per uno stesso modello (diverso dal precedente) prendendo in considerazione due differenti quantità di onde di Love nel campo dei microtremori: in un caso  $\alpha$  è pari al 20%, nell'altro al 50%.



www.winMASW.com - geophysical software & services

#### Aggiungere del rumore alle tracce sintetiche

Allo scopo di rendere più realistici i dati sintetici, è anche possibile aggiungere del *rumore*. Per farlo si deve impostare un certo valore del rapporto SNR (*Signal-to-Noise Ratio* - espresso in dB) e in questo modo sarà aggiunto del rumore Gaussiano bianco. I due *snapshots* riportati qui di seguito rappresentano il "caso ideale" (assenza di rumore) e il caso con un certo rumore aggiunto.



שםכיאפפתחוא:אאא

### Esempio#2

Per questo secondo esempio, creiamo un set di **dati** *non* **spaziati** che, come sempre, consentono di comprendere diversi importanti aspetti relativi all'effettiva propagazione delle onde di superficie (lasciamo lo studio e la comprensione dei dati come esercizio).

offsets (m):		7 9 12	18 27 36 39 45 51 57 66 100	C I
record time (s):	2.3335		number of mode	
Vs (m/s)	Poisson	thickness (m)		Ŭ
90	0.4	0.3	the k factor (see manual)	: 12
100	0.4	1		ស្ត
120	0.496	3	show dispersion curves:	
450	0.44	5	[modal: elastic case; effective: visco-elastic]	
350	0.44	5		3
500	0.3	6	samples per trace 4	<sup>096</sup> ~
560	0.3	9	HVSR: alfa valu	. 0.3
700	0.2	12		>
1000	0.2	100		
1800	0.15			
			min. freq. 1 max freq. 50 SNR 0	modal summa $\checkmark$
save mod	el	upload model	min. vel. 90 max vel. 1200 comp	ute synthetics

Uno *snapshot* del pannello principale è salvato automaticamente nella cartella di lavoro in modo da avere traccia dei parametri utilizzati.



www.winMASW.com - geophysical software & services







www.winmasw.com

# Capitolo 20 - Demo e dati a corredo



#### Versione Demo?

Consideriamo il nostro lavoro (vedi i casi studio disponibili sul nostro sito, gli svariati articoli sulle riviste internazionali di geofisica e sismologia e i libri, "Onde di Superficie in Geofisica Applicata" e "Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica" pubblicati per la Flaccovio, "Surface Wave Analysis for Near Surface Applications" (Elsevier 2014) e "Efficient Joint Analysis of Surface Waves and Introduction to Vibration Analysis: Beyond the Clichés" (Springer 2020) come la migliore demo dei nostri software.

Alcuni dei metodi da noi utilizzati sono significativamente avanzati rispetto i vecchi approcci basati sulle curve modali (velocità di fase delle onde di Rayleigh) ma, considerata la non ampia conoscenza al di fuori di taluni ambienti accademici e professionali di alto profilo, preferiamo ad essere direttamente *noi*, durante i nostri incontri formativi, ad illustrare le potenzialità dei nostri *software* piuttosto che darli in pasto a chi rischia di fraintendere il *perché* e il *come* o rimanerne intimidito.

Potete auto-valutare il vostro *background* tecnico rispondendo (ad esempio) alle seguenti domande:

1) perché l'analisi multi-componente è l'unico modo per ottenere profili Vs affidabili?

2) perché usando (solamente) geofoni verticali in generale non posso ottenere un profilo corretto delle Vs?

3) comprendo pienamente il significato degli acronimi RPM, FVS, ZVF, THF, RVF, RVSR, SPAC ed ESAC?

4) sono consapevole che l'HVSR ha poco a che fare con gli effetti reali del sito?

- 5) conosco la differenza tra le curve modali e quella effettiva?
- 6) conosco la differenza tra velocità di gruppo e velocità di fase?
- 7) quando è particolarmente importante l'analisi FVS?
- 8) perché la rifrazione delle onde P è inutile in caso di sedimenti saturi?

Le spiegazioni sono illustrate nei libri pubblicati per la Flaccovio nel 2012 e nel 2019 (come anche in quello pianificato per la fine del 2023) e in tutti gli articoli che puoi trovare nel nostro sito web.

In caso di serio interesse, siamo disponibili ad analizzare un vostro *dataset* (R+L+HVSR – per la nomenclatura da adottare vedi ad esempio la sezione "*Servizio elaborazioni dati*" in coda a questo manuale) come anche, previo accordo, ad una sessione *in remoto* (*AnyDesk*) per i nostri clienti che optassero per il *nostro sistema di acquisizione HS* e i nostri *software* di più alto profilo (*winMASW*<sup>®</sup> *Academy* e *HoliSurface*<sup>®</sup>).

È importante ricordare come, in questo genere di incontri, possiamo illustrare i nostri software a chi già possiede le necessarie competenze teoriche in merito. Per renderci conto se possediamo o meno adeguate e solide conoscenze di base è possibile ad esempio dare un occhio alla lista delle principali abbreviazioni riportata ad inizio di questo manuale: conosciamo veramente il significato e la pratica di ciascuna di esse?

Per incontri in cui si richieda anche un'introduzione teorica alle onde di superficie e ai 1000 modi per acquisirle ed analizzarle correttamente, è sempre bene che i professionisti si attivino presso i propri Ordini regionali per l'organizzazione di corsi sufficientemente strutturati, offrendo noi piena disponibilità per la parte formativa.

È da ricordare come, di tanto in tanto, dal nostro **profilo** *youtube* vengano messi a disposizione nuovi *video tutorial*s che, per gli approcci più comuni, sono - unitamente ai nostri libri e articoli - più che sufficienti.

#### Dati a corredo (per il proprio training)

Assieme al *software*, nella chiavetta USB sono anche forniti alcuni *dataset* che, presentati in vari articoli e libri (indicati all'interno delle cartelle che contengono i dati), possono essere utilmente analizzati per il proprio *training*, al fine di prendere confidenza con i diversi approcci multi-componente implementati nei nostri *software*.

Nome ^	Ultima modifica	Тіро	Dimensione
🐸 An_Archaeological_Multi_Component_Active_and_Passive_dataset_Purgessimo	25/10/2021 07:34	Cartella di file	
Automatic_Batch_2D_HVSR_section_data_and_projectfile	24/05/2021 20:16	Cartella di file	
😃 Dissemination_HS_Eliosoft_SummerLab	20/12/2021 18:03	Cartella di file	
Eliosoft_SummerLab_dissemination_MASW_Z_R_RPM	21/12/2021 11:12	Cartella di file	
🐸 Elsevier_Book_2014	24/05/2021 20:16	Cartella di file	
🐺 HVSR_with_industrial_AUTOREMOVAL	23/06/2021 13:42	Cartella di file	
HVSR_with_LARGE_industrial	24/05/2021 20:16	Cartella di file	
Lamporecchio_ZVF_THF_PassiveLinearZ	20/12/2021 18:09	Cartella di file	
🐸 Muscat_Project	20/12/2021 17:25	Cartella di file	
📅 Springer_Book_2020	24/05/2021 20:16	Cartella di file	
🐸 winMASW_Synthetics_Example	24/05/2021 20:16	Cartella di file	
ReadMe.txt	20/12/2021 18:04	Documento di tes	1 KB

# Dati passivi per *ReMi/ESAC* (componente Z con array lineare) e attivi per analisi congiunta Rayleigh (componente Z) + Love

In una delle cartelle in cui riportiamo alcuni dati utili all'autoapprendimento (vedi DVD/USB di winMASW) è presente ad esempio una cartella [*Lamporecchio*] con 3 vecchi *datasets* acquisiti durante un workshop svolto in terra Toscana (i nomi sono auto-esplicativi).

Da notare che in quel caso (in quel lontano passato) i dati relativi alle onde di Love siano stati acquisiti con geofoni da 10 Hz e risultino quindi relativamente più poveri in basse frequenze. Sui geofoni da acquistare vedi la breve FAQ presente in questo stesso manuale come anche argomentazioni e dati illustrati nel libro "*Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica*" della Flaccovio.

Lasciamo l'analisi dei dati come esercizio per l'utente indicando che una prima grossolana soluzione possa essere costituita da un modello grossomodo come il seguente:

spessore (m)	Vsv (m/s)	V <sub>SH</sub> (m/s)	V <sub>P</sub> (m/s)
2.2	110	100	247
3.0	130	112	343
8.7	170	210	355
-	580	580	1100



Per esercizio si carichi il *dataset* relativo all'acquisizione MASW in onde di Rayleigh (componente Z) e si effettui il *picking*.

Si effettuino poi le analisi ReMi (o ESAC) ottenendo (e salvando) il relativo spettro di velocità da caricare nel pannello di analisi a componente singola ("handling the spectra" -> "upload"). Si sovrapponga (caricandola) la curva precedentemente piccata e salvata (file .cdp) dai dati attivi. Si noterà come la curva sfiori il bordo inferiore dello spettro da analisi *ReMi* (e si noti come sia possibile aggiungere un dato a frequenza più bassa, scendendo a circa 4 Hz – 350 m/s).



# Bibliografia





- AA.VV. (2005), Procedure Manual (Measurements Protocol & Crew Manual) Part A v.1, NATO SfP project 980857- Assessment of Seismic Site Amplification and Seismic Building Vulnerability in the Former Yugoslav Republic of Macedonia, Croatia and Slovenia
- AA.VV. (2005), SESAME Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation. 62 pp.
- Arai, H., Tokimatsu, K., 2004. *S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum*. Bull. Seism. Soc. Am 94, 53–63.
- Albarello D. e Lunedei E., 2010. Alternative interpretations of horizontal to vertical spectral ratios of ambient vibrations: new insights from theoretical modeling. Bulletin of Earthquake Engineering 8, 519–534.
- 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
- Choudhury, P.B. and Sitharam, T.G., 2009. *Ground characterization using shear wave velocity for assessment of rippability*. Journal of Mines, Metals & Fuels, 57. pp. 317-320. ISSN 0022-2755
- Dal Moro G., 2023. *MASW? A critical perspective on problems and opportunities in surface-wave analysis from active and passive data (with few legal considerations)*. Physics and Chemistry of the Earth, <u>https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147470652300013X</u>

### Dal Moro G., 2023. Lezioni di sismica. Onde di volume, di superficie, sezioni 2D e amplificazioni. Dario Flaccovio Editore.

#### Giancarlo Dal Moro LEZIONI DI SISMICA Onde di volume, di superficie, sezioni 2D e amplificazioni

L'analisi di dati sismici richiede competenze puntuali e familiarità con una moltitudine di concetti della fisica e della matematica che sono tra loro inesorabilmente intrecciati. In fase di insegnamento, è possibile assumere un approccio lineare solo ad un livello elementare superato il quale si può, e forse si deve, stimolare l'apprendista sismologo in termini apparentemente più "caotici", offrendo una folta serie di elementi che deve essere poi il discente a organizzare e sistemare nella propria mente e, di conseguenza, nella quotidiana pratica di acquisizione e analisi.

Dopo i volumi del 2012 e del 2019, si presentano qui una serie di ulteriori stimoli ed evidenze mirate ad abbandonare semplificazioni e convinzioni che sono tanto più popolari quanto meno aderiscono alla complessa realtà delle cose. Come valutare i famigerati "effetti di sito? A cosa serve un HVSR? Come identificare

Come valutare i famigerati "effetti di sitor"? A cosa serve un HVSR? Come identificare e gestire segnali industriali che rischiano di passare inosservati e portare a bizzarre ricostruzioni? Che valore hanno le mappe delle f<sub>0</sub>? Come acquisire e analizzare le onde di superficie in siti complessi? Come andare oltre la soggettività delle tecniche di analisi più popolari che, al giorno d'oggi, risultano di fatto obsolete? Quali sono i limiti e i problemi della rifrazione? Si possono determinare sezioni 2D delle V<sub>s</sub> utilizzando le onde di superficie in modo efficace?

In questo volume proviamo a ragionarci su.

Giancarlo Dal More, da oltre venticinque anni si occupa di metodologie geofisiche per la caratterizzazione di sito. Ha svolto attività di ricerca in istituzioni italiane ed estere ed è attualmente senior rescarcher presso l'institute of Rock Structure and Mechanics of the Academy of Sciences of the Crech Ropublic (Praga). E autore di libiti per importanti case editrici scientifiche e di numerosi articoli per le principali riviste internazionati di geolisica. Titolare di heveetto per l'analisi olistica delle onde di superficie ttecnica Holfscrutace<sup>1</sup> e idoattore di nporcci e strumetti i analisi anza tati alla base di sisture per l'elaborazione congiuna di dati sismici e vibrazionali. Musica, letteratura ed erbe spontanee sono tre ulteriori passioni.

) Geofisica





- Generalità: onde di Rayleigh e Love, P e S, velocità di fase e gruppo
  - Sezioni 2D oltre la rifrazione: 2D-SuPPSALA (e non solo)
  - HVSR: identificazione e rimozione di segnali industriali 🗸 Amplificazioni: HVSR versus SSR e SSRn 🗸
- Esempi di analisi HoliSurface®, ESAC multi-componente con array lineari, MAAM e DownHole

- Dal Moro G. & Stemberk J., 2022. Tools for the efficient analysis of surface waves from active and passive seismic data: exploring a NE-Italy perilagoon area with significant lateral variations. Earth, Planets and Space 74, 140. https://doi.org/10.1186/s40623-022-01698-z
- Dal Moro G., 2022. MASW? Oltre la soggettività nell'analisi delle onde di superficie: velocità di fase e gruppo nella ri-elaborazione FVS di un vecchio e complesso dataset multi-componente. Atti del convegno GNGTS 2022 (Trieste, 27-29 giugno 2022). Link: <u>http://download.winmasw.com/documents/GNGTS2022 Dal Moro FVS Velocita Fase e Gr</u> <u>uppo.pdf</u>
- Dal Moro G., 2022. Determination of the V<sub>S</sub> profile in a noisy industrial site: further evidences about the importance of Love waves and the opportunities of the group velocity analysis. Atti del convegno GNGTS 2022 (Trieste, 27-29 giugno 2022). Link: <u>http://download.winmasw.com/documents/GNGTS2022 Dal Moro seismic exploration noisy industrial site.pdf</u>
- Dal Moro G. & Panza G.F., 2022. *Multiple-peak HVSR curves: management and statistical assessment*. Engineering Geology, 297, 106500, <u>https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106500</u>
- Dal Moro G., 2020. On the identification of industrial components in the Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR) from microtremors. Pure and Applied Geophysics, https://doi.org/10.1007/s00024-020-02424-0
- Dal Moro G., 2020. *Efficient Joint analysis of Surface Waves and Introduction to Vibration Analysis: Beyond the Clichés.* Springer [book], ISBN 978-3-030-46303-8, 266 pages, over 200 illustrations in colour



🖄 Springer

- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2019. On the efficient acquisition and holistic analysis of<br/>Rayleigh waves: technical aspects and two comparative case studies. Soil Dynamics and<br/>Earthquake Engineering. Open access:<br/><a href="https://authors.elsevier.com/sd/article/S0267726118310613">https://authors.elsevier.com/sd/article/S0267726118310613</a>
- Dal Moro G., 2019. Surface wave analysis: improving the accuracy of the shear-wave velocity profile through the efficient joint acquisition and Full Velocity Spectrum (FVS) analysis of Rayleigh and Love waves. Exploration Geophysics, 50, 408-419 (https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08123985.2019.1606202?journalCode=texg2)
- Dal Moro G., 2019. Effective Active and Passive Seismics for the Characterization of Urban and Remote Areas: Four Channels for Seven Objective Functions. Pure and Applied Geophysics, <u>https://rdcu.be/bbT04</u>
- Dal Moro, 2018. <u>Problemi e soluzioni per la corretta definizione del profilo V<sub>S</sub> (velocità delle onde di taglio) in studi di geotecnica e microzonazione sismica</u>. Geologia Tecnica & Ambientale, Rivista dell'Ordine Nazionale dei Geologi, ISSN 1722-0025, numero 1/2018, 43-60



Dal Moro G., Weber T., Keller L., 2018. <u>Gaussian-filtered Horizontal Motion (GHM) plots of non-</u> synchronous ambient microtremors for the identification of flexural and torsional modes of a building, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 112, 243–255



Dal Moro G., 2018. Surface wave analysis: improving the accuracy of the shear-wave velocity profile through the efficient joint acquisition and Full Velocity Spectrum (FVS) analysis of Rayleigh and Love waves. Exploration Geophysics, DOI: 10.1080/08123985.2019.1606202

- Dal Moro G., Al-Arifi N., Moustafa S.R., 2018. 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. On-line version available from <u>https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00024-017-1694-8.pdf</u>
- Dal Moro G. and 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), 2017. On-line version available: https://www.irsm.cas.cz/materialy/acta content/2017 doi/DalMoro AGG 2017 0024.pdf
- 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 (BSSA), 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., 2016. Four Geophones for seven possible objective functions: active and passive seismics for tricky areas. Invited presentation and Extended Abstract for the Urban Geophysics workshop of the 22nd EAGE Near Surface Geoscience conference (4-8 September 2016 Barcelona, Spain)
- Dal Moro G., Al-Arifi, N., Moustafa S.R., 2016. <u>Assessing ground compaction via time lapse</u> <u>surface-wave analysis, Acta Geodyn. Geomater, 13, No 3 (183), 249-256, DOI:</u> <u>10.13168/AGG.2016.0006</u>
- 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., Marques Moura R.M., Moustafa S., 2015, *Multi-component Joint Analysis of Surface Waves. J. Appl. Geophysics*, 119, 128-138
- Dal Moro G., 2015. Joint Inversion of Rayleigh-Wave Dispersion and HVSR of Lunar Seismic Data from the Apollo 14 and 16 sites. ICARUS, 254, 338-349
- Dal Moro G., Keller L., 2015. *Optimizing the exploration of vast areas via multi-component surface-wave analysis* (Extended Abstract EAGE June 1-4, 2015 (Madrid Spain)
- 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

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


- Dal Moro G. and Keller L., 2013. Unambiguous determination of the V<sub>S</sub> profile via joint analysis of multi-component active and passive seismic data, Proceedings 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, EAGE Near Surface 2013, Bochum, Germany, 9-11 September 2013 [having received a very high score from the reviewers (during its presentation), the work was invited to be published as full paper]
- Dal Moro G., Coviello V., Del Carlo G., 2013. Shear-Wave Velocity Reconstruction via Unconventional Joint Analysis of Seismic Data: Two Case Studies in the light of Some Theoretical Aspects. Extended Abstract for the IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment) XII CONGRESS - Turin, September 15-19, 2014. In "Engineering Geology for Society and Territory - Volume 5" - Springer International Publishing, 1177-1182
- Dal Moro G., 2013. *Joint Analysis of Lunar Surface Waves: the Apollo 16 dataset,* Proceedings 19th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, EAGE Near Surface 2013, Bochum, Germany, 9-11 September 2013 [having received a very high score from the reviewers (during its presentation), the work was invited to be published as full paper]
- Dal Moro G., Pipan M., 2012, Alcune problematicità nell'analisi delle onde di superficie e del rapporto spettrale H/V, Rivista Italiana di Geotecnica, Anno XLVI, n.2, 68-81
- Dal Moro G., Ferigo F., 2011, Joint Inversion of Rayleigh and Love Wave Dispersion Curves for Near-Surface Studies: Criteria and Improvements, J. Appl. Geophysics, 75, 573-589
- Dal Moro G., 2011, Some Aspects about Surface Wave and HVSR Analyses: a Short Overview and a Case Study, BGTA (Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata), invited paper, 52, 241-259
- Dal Moro G., 2010, Insights on Surface Wave Dispersion and HVSR: Joint Analysis via Pareto Optimality, J. Appl. Geophysics, 72, 29-140
- Dal Moro G., 2012, Onde di superficie in Geofisica applicata Acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR, Dario Flaccovio Editore, 192 pagine



- Dal Moro G., 2008, Tre divagazioni: il mito dell'inversione, MASW in Friuli, esempi di applicazione congiunta MASW-rifrazione. Presentazione ad invito per la Giornata di studio "Monitoraggio Dinamico per la Valutazione della Sicurezza Sismica dei Ponti", Centro Internazionale di Scienze Meccaniche (CISM), Udine, 18 aprile 2007.
- Dal Moro G., 2008, V<sub>S</sub> and V<sub>P</sub> Vertical Profiling via Joint Inversion of Rayleigh Waves and Refraction Travel Times by means of Bi-Objective Evolutionary Algorithm, J. Appl. Geophysics, 66, 15-24
- Dal Moro G. & Pipan M., 2007, *Joint Inversion of Surface Wave Dispersion Curves and Reflection Travel Times via Multi-Objective Evolutionary Algorithms*, *J. Appl. Geophysics*, 61, 56-81
- Dal Moro G., Pipan M., Forte E., Gabrielli P., Sugan M., Forlin E. & Finetti I., 2005, *Shear-Wave Profiling via SH Reflection Analysis and Rayleigh Wave Inversion*, Riassunto Esteso per il convegno SEG (Society of Exploration Geophysicists) 2005, 75<sup>th</sup> Annual Meeting, Huston, Texas, November 2005
- Dal Moro G., Pipan M. & Gabrielli P., 2007, *Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation*, *J. Appl. Geophysics*, 61, 39-55
- Dal Moro G., Forte E., Pipan M. & Sugan M., 2006, Velocity Spectra and Seismic Signal Identification for Surface Wave Analysis, Near-Surface Geophysics, 4, 243-251
- Dal Moro G., Pipan M., Forte E. & Finetti I., 2003, *Determination of Rayleigh wave dispersion curves for near surface applications in unconsolidated sediments*, atti del convegno *SEG* (Society of Exploration Geophysicists), 73<sup>st</sup> Annual Int. Mtg. (Dallas, Texas, ottobre 2003)
- Di Giulio G., Cornou C., Ohrnberger M., Wathelet M., Rovelli A., 2006, *Deriving Wavefield Characteristics and Shear-Velocity Profiles from Two-Dimensional Small-Aperture Arrays Analysis of Ambient Vibrations in a Small-Size Alluvial Basin, Colficito, Italy*, Bulletin of the Seismological Society of America, 96, pp. 1915–1933
- Ewusi A., Miezah-Adams M., Klu A.K., Ansah E., Seidu J.; 2023, *Application of Holisurface Technique in MASW and HVSR Surveys for Site Characterisation at Ewoyaa, Ghana*, 7, 2616-1486, <u>http://www2.umat.edu.gh/gjt/index.php/gjt/article/view/416</u>
- Fasan, M., Magrin, A., Amadio, C., Romanelli, F., Vaccari F., and G.F. Panza, 2016. A seismological and engineering perspective on the 2016 Central Italy earthquakes. Int. J. of Earthquake and Impact Engineering, 1, 395–420.
- Fah D., Kind F., Giardini D.; 2001, *A theoretical investigation of average H/V ratios*. Geophys. J. Int., 145, 535-549.
- Feng S., Sugiyama T. & Yamanaka H., 2005, *Effectiveness of multi-mode surface wave inversion in shallow engineering site investigations*, Exploration Geophysics, 36, 26–33
- Gabriels, P., Snieder, R., and Nolet, G., 1987. *In situ measurements of shear-wave velocity in sediments with higher-mode Rayleigh waves*. Geophysical Prospecting, 35, 187-196
- Gaherty, J.B., 2004, A surface wave analysis of seismic anisotropy beneath eastern North America, Geophys. J. Int., 158, 1053-1066
- Gerstoft P. & Mecklenbrauker C.F., 1998, Ocean acoustic inversion with estimation of a posteriori probability distributions, J. Acoust. Soc. Am., 104, 808-819

- Goldberg D. E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 412 pp.
- Herak M., 2008, ModelHVSR A *Matlab* tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise, Computers & Geosciences, 34, 1514–1526
- Herrmann R.B. 2019, Computer Programs in Seismology. Open files.
- Lunedei E., Albarello D., 2009, On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered *Earth*, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014
- Luo Y, Xia J., Miller R.D., Xu Y, Liu J., Liu, Q., 2009, *Rayleigh-wave mode separation by highresolution linear Radon transform.* Geophysical Journal International, 179, 254-264.
- Luo Y., Xia J., Xu Y. & Zeng C., 2011, *Analysis of group-velocity dispersion of high-frequency Rayleigh waves for near-surface applications*. Journal of Applied Geophysics, 74, 157-165.
- Luo Y., Xia J., Liu J., Liu Q., Xu S., 2007. *Joint inversion of high-frequency surface waves with fundamental and higher modes*. J. Appl. Geophys. 62, 375–384
- Mark N., Sutton G.H., 1975. Lunar shear velocity structure at Apollo sites 12, 14, and 15. J. Geophys. Res. 80, 4932-4938.
- Naito Y. and Ishibashi T. *Identification of Structural Systems from Microtremors and Accuracy Factors* (1996). Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico, Paper No. 770
- Moura R.M., Noronha F., Almeida F. & Dal Moro G., 2012. V<sub>S</sub> measurements through dispersive wave methods in the urban environment of Porto (North Portugal), 15th World Conference on Earthquake Engineering, 24-28 September 2012, Lisbon (Portugal)
- Ohori M., Nobata A., Wakamatsu K., 2002, A Comparison of ESAC and FK Methods of Estimating Phase Velocity Using Arbitrarily Shaped Microtremor Arrays, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, No. 6, pp. 2323–2332, August 2002
- O'Neill A., Dentith M., List R., 2003, Full-waveform P-SV reflectivity inversion of surface waves for shallow engineering applications, Exploration Geophysics, 34, 158–173
- Park C. B., Miller R. D., & Xia J., 1999, *Multichannel analysis of surface waves*, *Geophysics*, 64, 3; 800–808
- Park C.B., 2002, *Multichannel analysis of surface waves* (MASW). MASW Workshop Notes, open file (http://www.terrajp.co.jp/MASW\_Workshop\_Tokyo.pdf)
- Park D. & Hashash Y.M.A., 2004, *Soil Damping Formulation in non-linear Time Domain Site Response Analysis.* Journal of Earthquake Engineering, 8, 249-274
- Perron V., Gélis C., Froment B., Hollender F., Bard P.-Y., Cultrera G., Cushing E.C., 2018. Can broad-band earthquake site responses be predicted by the ambient noise spectral ratio? Insight from observations at two sedimentary basins. Geophysical Journal International, 215, 1442– 1454.
- Rahnema, H., Mirassi, S. & Dal Moro, G., 2021. Cavity effect on Rayleigh wave dispersion and Pwave refraction. *Earthq. Eng. Eng. Vib.* 20, 79–88. <u>https://doi.org/10.1007/s11803-021-2006-y</u>
- Rix G.J., Lai C.G., Spang A.W. Jr., 2000, *In Situ Measurement of Damping Ratio Using Surface Waves*, Journal of Geothecnical and Geoenvironemanteal Engineering, 126, 472-480

- Robertsson, J.O.A., Pugin, A., Holliger, K., Green, A.G., 1995. *Effects of near-surface waveguides* on shallow seismic data. 65th SEG, Meeting, Houston, USA, Expanded Abstracts, 1329–1332.
- Rosa-Cintas S., Galiana-Merino J.J., Molina-Palacios S., Rosa-Herranz J., García-Fernández M., Jiménez M.J., 2011, Soil characterization in urban areas of the Bajo Segura Basin (Southeast Spain) using H/V, F–K and ESAC methods, Journal of Applied Geophysics, 75, 2011, 543–557
- Roth, M., Holliger, K., 1999. *Inversion of source-generated noise in high-resolution seismic data*. The Leading Edge 18, 1402–1406.
- Ryden, N., Park, C.B., Ulriksen, P., and Miller R.D. (2003). Lamb wave analysis for nondestructive testing of concrete plate structures. Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP 2003), San Antonio, TX, April 6-10, INF03.
- Safani J., O'Neill A., Matsuoka T., Sanada Y., 2005, *Applications of Love Wave Dispersion for Improved Shear-wave Velocity Imaging*, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 10, 135–150
- Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B., 1972. SHAKE A computer program for earthquake analysis of horizontally layered sites. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. EERC 72-12.
- Stesky, R.M., 1978. Experimental compressional wave velocity measurements in compacting powders under high vacuum - Applications to lunar crustal sounding, Proc. Lunar Sci. Conf. 9th, 3637-3649.
- Tokimatsu, K., Tamura, S., Kojima, H., 1992. *Effects of Multiple Modes on Rayleigh Wave Dispersion Characteristics*. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 118, 10, 1529-1543.
- Tokimatsu K., 1995, *Geotechnical Site Characterization Using Surface Waves*, Proc., First Int. Conf. on Earthquake Geotechnical Eng., pp. 1333-1368.
- Tonn R., 1991, The Determination of the Seismic Quality Factor Q from VSP Data: a Comparison of Different Computational Methods, Geophysical Prospecting, 39, 1-27
- Xia J., Miller R.D., Park C.B., Tian G., 2002, *Determining Q of near-surface materials from Rayleigh waves*. J. Appl. Geophysics, 51, 121-129
- Xia. J., Miller R.D., & Park C.B., 1999, *Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves*, Geophysics, 64, 691-700
- Kohler A., Ohrnberger M., Scherbaum F., Wathelet M., Cornou C., 2007, Assessing the reliability of the modified three-component spatial autocorrelation technique, *Geophys. J. Int.* (2007) 168, 779–796
- White R.E., 1992. The accuracy of estimating Q from seismic data. Geophysics, 57, 1508-1511.
- Zhang S.X. & Chan L.S., 2003, *Possibile Effects of Misidentified Mode Number on Rayleigh Wave Inversion, J. Appl. Geophysics*, 53, 17-29

# **Breve FAQ (Frequently Asked Questions)**



# 1. Geofoni per MASW e geofoni per rifrazione/riflessione? Note tecniche e leggende commerciali.

A volte vi viene proposto l'acquisto di due set di geofoni: i cosiddetti geofoni per MASW da 4.5 Hz e i geofoni da 10 Hz o 14 Hz per la rifrazione e la riflessione.

Naturalmente, se si conoscono i fondamenti della sismica, è facile comprendere come tutto ciò sia privo di senso e rappresenti un enorme spreco di denaro, in quanto è **sufficiente un solo set di geofoni da 4.5 Hz**.

### Perché?

Per almeno due ragioni molto ovvie:

**1.** Con i geofoni da 4.5 Hz si riesce a vedere tutto sopra una certa frequenza (diciamo sopra i 2Hz più o meno - sotto tale frequenza l'ampiezza è normalmente troppo bassa).

Le basse frequenze sono necessarie per analizzare la propagazione delle onde di superficie (MASW/ReMi/ESAC, etc) ma si dice che per gli studi di rifrazione sia necessario "concentrarsi" solo sulle alte frequenze (diciamo tra 10 e 200 Hz - sopra questa frequenza ogni informazione è del tutto irrilevante dal punto di vista sismico/geologico).

Ebbene, se si acquisisce un *dataset* con i geofoni da 4.5 Hz, è possibile rimuovere facilmente le basse frequenze applicando il filtro passa-alto di *winMASW*. In questo modo è possibile utilizzare lo stesso *dataset* sia per la MASW, utilizzando le basse frequenze, che per gli studi di rifrazione/riflessione, rimuovendo in tal caso le basse frequenze con l'utilizzo del filtro passa-alto (passa alto = taglia basso) presente nel software *winMASW*.

# 2. Ma è proprio necessario rimuovere le basse frequenze per analizzare gli eventi rifratti?!

In realtà se ci si sofferma con attenzione sui principi base degli studi di rifrazione, è facile comprendere che questo non è necessario.

Basta considerare la componente verticale (quindi le onde di Rayleigh e la rifrazione delle onde P): le onde di Rayleigh sono molto più lente rispetto alla rifrazione delle onde P (non a caso quello che si considera in uno studio di rifrazione sono i cosiddetti *primi arrivi*).

Ciò significa che le onde di Rayleigh arrivano molto più tardi (cioè dopo) rispetto ai primi arrivi relativi alla rifrazione delle onde P.

Quindi, se si analizza con attenzione un *dataset* acquisito con i geofoni da 4.5 Hz, si vedrà <u>prima</u> la rifrazione delle onde P e poi (molto più tardi) l'arrivo delle onde di Rayleigh. Non c'è dunque alcuna "interferenza" o problema di sorta nell'avere (nello stesso *dataset*) sia i dati della rifrazione P che le onde di Rayleigh (nel caso, invece, si vogliano analizzare gli **eventi riflessi** si potrà semplicemente **applicare il filtro passa-alto presente in** *winMASW*<sup>®</sup>).

In conclusione, spendi bene il tuo denaro e risparmialo per acquistare un *set* di geofoni orizzontali da 4.5Hz per l'acquisizione delle onde di Love e la componente radiale delle onde di Rayleigh (e, naturalmente, per gli studi di rifrazione/riflessione delle onde SH)! E ricordati di chiedere sempre la verifica della polarità dei geofoni perché per alcune tecniche è necessario conoscerla.

In *winMASW*<sup>®</sup> Academy, è incluso uno strumento per il caricamento contemporaneo di dataset multipli e il loro contestuale filtraggio.

### 2. Cosa sono i modi di vibrazione e che valenza hanno?

La questione dei modi è tra quelle oggetto della maggior disinformazione. Cosa sono? In estrema sintesi potremmo dire che una qualsiasi struttura vibra secondo modi diversi che dipendono dalle dimensioni e dalle caratteristiche del materiale. Alcuni video su **youtube** mettono bene in evidenza questa cosa: <u>http://www.youtube.com/watch?v=1iXY2BE1S8Q&feature=related</u> <u>http://www.youtube.com/watch?v=MperC7ySjSU</u> http://www.youtube.com/watch?v=aa5NIN9T-Tg&feature=related

Nel nostro caso ricordiamo come la velocità di propagazione dei diversi modi incrementa all'incremento del modo (il modo fondamentale è il più lento e i superiori via via più veloci), e che la dominanza di un modo rispetto ad un altro dipende dalle caratteristiche del terreno.

Nel passato le metodologie di analisi si basavano su alcune assunzioni tra le quali la più restrittiva era che il modo fondamentale è il dominante.

Questo non è vero (e le nuove metodologie non richiedono più tale semplificazione) ma la presenza di modi superiori (unitamente alla loro corretta identificazione) offre l'opportunità di vincolare meglio il modello del terreno. Si noti in particolare come i modi superiori siano particolarmente sensibili agli strati più profondi del terreno.

Esistono diversi articoli che pongono in evidenza come i modi superiori risultino utili in questo senso (e aiutino a meglio identificare la Vs in particolare degli strati più profondi) [consulta la bibliografia del presente manuale].

### 3. A cosa serve sapere la Vs?

La questione delle V<sub>S</sub> è venuta alla ribalta in relazione alle novità normative in materia antisismica. La conoscenza del valore della V<sub>S</sub> nella parte più superficiale è infatti utile a stimare l'effetto di sito (l'amplificazione litologica).

In realtà la V<sub>S</sub> ha notevole valore anche dal punto di vista dell'ingegneria civile (ricordiamo ad esempio che il *modulo di taglio* è dato dal prodotto della densità per il quadrato della V<sub>S</sub>).

In generale la conoscenza di V<sub>S</sub> e V<sub>P</sub> fornisce un valore aggiunto notevole in quanto consente una serie di considerazioni (geo-meccaniche ambientali e litologiche) impossibili da svolgere avendo a disposizione solo l'una o l'altra (durante i nostri workshop siamo usi presentare alcuni esempi di questo).

Si ricordi, giusto per dare un motivo di riflessione, come la V<sub>P</sub> sia fortemente influenzata dalla presenza di acqua (le rifrazioni in V<sub>P</sub> fatte in pianura alluvionale forniscono V<sub>P</sub> attorno a 1500 m/s a pochissimi metri di profondità proprio a causa della "tavola d'acqua") mentre la V<sub>s</sub> ne sia solo modestamente influenzata.

# 4. Posso ricavare le V<sub>P</sub>, le densità e i vari moduli di rigidità, Young (eccetera) dall'analisi delle onde di superficie?

Quello che ci dobbiamo chiedere è se le onde di superficie sono significativamente sensibili rispetto a variazioni delle densità e delle Vp.

La riposta è *no* e, di conseguenza, tutti quei moduli/parametri che dipendono anche dalle densità e dalle V<sub>P</sub> non possono essere determinati in modo rigoroso.

Certamente taluni (utenti o clienti) la forniscono (o chiedono) ma questo è dovuto alla scarsa conoscenza dei fatti di base in fatto di sismica (il **libro del 2023 "Lezioni di Sismica**" affronta in modo completo le pertinenti questioni tecniche).

Se le densità si possono stimare o assumere con una qualche speranza di non allontanarci troppo dai valori reali, per le V<sub>P</sub> invece il discorso è molto più complicato in quanto possono variare di moltissimo a seconda della tessitura e del contenuto d'acqua.

# Risoluzione problemi e assistenza



Qualsiasi *software* ha inevitabilmente problemi tipicamente legati ad un uso diverso rispetto le modalità operative pensate dai programmatori.

Qui di seguito possibili problemi che, già noti, sono facilmente risolti dall'utente stesso.

Si ricorda che l'assistenza è fornita solo a chi è in regolare possesso della *release* corrente (<u>https://www.winmasw.com/\_it/aggiornamenti\_software</u>). In altri termini, se sei in possesso di una vecchia *release*, acquistata molti anni fa e non hai mai aggiornato il tuo software, non è possibile fornire assistenza gratuita e si dovrà affrontare l'eventuale problema seguendo le indicazioni riportate nelle seguenti pagine (che trattano tutti i più comuni possibili problemi).

Riportate qualsiasi altro problema a winmasw@winmasw.com indicando:

- User ID (UID) e Serial Number (SN) della chiavetta in vostro possesso, la versione e release in vostro possesso (esempio winMASW-3C release 2019)
- sistema operativo utilizzato
- è <u>necessario</u> che siano chiaramente descritti sia l'errore che la situazione nella quale tale errore si verifica. Inviateci sempre lo <u>snapshot della finestra</u> <u>DOS</u> al momento dell'errore

### Alcune importanti note generali:

**1.** Molti problemi sono legati al sistema operativo (si ricorda che *winMASW*<sup>®</sup> e *HoliSurface*<sup>®</sup> funzionano solo su sistemi operativi a 64bit - <u>consigliamo fortemente</u> <u>l'adozione di *win10* e sconsigliamo *win7* [che male gestisce taluni privilegi di sistema]).</u>

**2.** Aggiornate spesso il vostro PC con un "*windows update*" di <u>tutte</u> le componenti (anche quelle dichiarate non "importanti" dal sistema di rilevamento automatico di *windows*).

**3.** Taluni anti-virus (al momento è accaduto con **AVAST, AVIRA, PANDA, Trend Micro Internet Security e Eset Nod32 – che sconsigliamo fortemente**) possono non essere in grado di comprendere che il sistema di protezione hardware adottato per *winMASW*<sup>®</sup> e *HoliSurface*<sup>®</sup> non è un virus. L'installatore dovrebbe essere in grado di ordinare all'antivirus di ignorare quanto contenuto di una determinata cartella di installazione. Se non in grado di effettuare tale operazione si consigliano anti-virus più "smart" (e.g. **AVG**)

**4.** Tenete sempre in ordine il vostro PC con frequenti operazioni di pulitura e ottimizzazione possibili con diversi software (ad esempio *Glary Utilities*). Un computer è una macchina altamente complessa di cui ci si deve prendere cura (*Desktops* con decine di files e cartelle sono in genere la prima evidenza di pericolose carenze in questo senso).

### Alcuni errori possono essere legati all'azione troppo invasiva del tuo Antivirus.

Prima di allarmarti, prova a disabilitare il tuo antivirus (o di aggiungere HS tra i software di cui l'antivirus si deve fidare e con cui non deve interagire).

**Considera la possibilità di** installare l'anti-virus AVG (gratuito e più discreto e affidabile di molti altri).

### Primo possibile problema

Se al lancio del software ottenete una finestra di errore con un messaggio analogo a quello mostrato nella seguente finestra (il numero della versione del *MATLAB Runtime* cambia nel corso degli anni) il problema risiede nel non corretto svolgimento delle operazioni di installazione del software; in particolare non sono state (correttamente) installate le librerie Matlab.

Si raccomanda di leggere con attenzione il file "LEGGIMI.PDF" all'interno del DVD/USB del software, seguendo con scrupolo le semplici istruzioni e verificando che l'installazione si svolga per intero e correttamente.



# Errore "**Undefined function or variable 'matlabrc'**" (visibile al lancio del programma sulla finestra DOS)

#### Soluzione

**1)** attiva la visualizzazione delle cartelle e dei files nascosti (la procedura è facilmente rintracciabile in internet);

2) cancella manualmente la cartella "temporanea" del Matlab Runtime Compiler.

Vai cioè alla cartella C:\Users\[username]\AppData\Local\Temp\[username]\mcrCache[version] e cancellala.

**3)** re-installa il file *MCRinstaller.exe* presente nella cartella "*prewinMASW*" del CD di installazione *winMASW* (cioè semplicemente lancia l'eseguibile *MCRinstaller.exe*).

A questo punto tutto dovrebbe essere sistemato e puoi provare a lanciare winMASW<sup>®</sup>.



#### Soluzione

Cerca (*search*) la sotto-cartella "MathWorks" all'interno della cartella "users" (o "C:/utenti") e cancellala. Attenzione, non è una cartella "C:/utenti/MathWorks", è una cartella all'interno di una delle cartelle "C:/utenti", quindi effettua una ricerca di "MathWorks".

Fai la stessa cosa per la cartella *mcrCache* (sempre all'interno di una delle cartelle presenti in C:/utenti). In alcuni casi/sistemi, a seconda della propria release del software, la cartella potrebbe chiamarsi anche (ad esempio) *mcrCache9.2*.

In alcuni casi tale cartella è più facilmente identificabile con una ricerca da C:/ (e non dalla sottocartella *C:/utenti*). Si troverà ad esempio la cartella "C:\Utenti\Mario\AppData\Local\Temp\Mario\mcrCache9.2", che dovrà essere cancellata.

Una volta cancellata tale cartella si potrà rilanciare winMASW/HoliSurface.

Se non dovesse funzionare, re-installa il file *MCRinstaller.exe* presente nella cartella "*prewinMASW*" del DVD di installazione *winMASW/HoliSUrface/ELIOVSP* (cioè semplicemente lancia l'eseguibile *MCRinstaller.exe*).

Quando sia necessario un nostro intervento diretto, la soluzione migliore è rappresentata da una *sessione in remoto* tramite *AnyDesk* (<u>https://anydesk.com</u>). In questo caso scaricate e installate tale *software* fornendoci poi il vostro ID (numero identificativo del vostro PC) richiedendo un appuntamento per effettuare tale sessione di lavoro in remoto [si raccomanda rigore e puntualità].



# MESSY DESK $\rightarrow$ NO ASSISTANCE

Se il vostro *desk* somiglia a quello dell'immagine qui sotto, **non possiamo fornirvi alcuna assistenza**. Un computer è uno strumento sofisticato che richiede cura e serietà. Siamo tutti professionisti e gli strumenti *hardware* e *software* che utilizziamo per il nostro lavoro quotidiano devono essere gestiti e mantenuti correttamente.



# Appendici

# Appendice A: acquisizione dati per MASW multi-componente, ReMi, ESAC e HV

Acquisire dati per indagini *MASW* non è troppo diverso rispetto un'acquisizione per studi a rifrazione (o riflessione). È sufficiente effettuare uno stendimento di geofoni (i normali geofoni a componente verticale se desideriamo analizzare le onde di Rayleigh o quelli a componente orizzontale per le onde di Love) allineati con la sorgente (vedi Figura A1) ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale (martello) per generare onde di Rayleigh o una "di taglio" per quelle di Love (vedi Tabella A1 per i parametri di massima da adottare).



**Figura A1.** Stendimento sismico. Nel caso si utilizzi una sorgente ad impatto verticale (la classica martellata) e geofoni a componente verticale, si acquisiranno dati utili all'analisi delle onde di Rayleigh. Nel caso si utilizzino invece geofoni a componente orizzontale (con asse perpendicolare allo stendimento) e sorgente "di taglio", si otterrà un *dataset* utile all'analisi delle onde di Love (vedi Figura A2).

Distanza tra geofoni (m)	Sfruttare al massimo lo spazio disponibile (la distanza tra		
5 ( )	geofoni ne consegue). Il concetto di "risoluzione" non si applica		
	all'analisi delle onde di superficie.		
Distanza sorgente-primo	4-20		
geofono (m)	(bene acquisire almeno un paio di <i>dataset</i> con 2 diversi valori)		
	I geofoni a componente verticale consentono di analizzare		
	solamente le onde di Rayleigh		
Geofoni	(fortemente raccomandati quelli a componente orizzontale che		
(orizzontali per Love)	consentono di acquisire tanto le onde di Love che quelle di		
(per le Rayleign e possibile utilizzaro i vorticali o gli orizzontali	Rayleigh- vedi libro "Onde di Superficie in Geofisica Applicata",		
– orientati radialmente)	workshops e documenti "Linee guida" nella sotto-cartella		
	documents all'interno della cartella di installazione di		
		WINMASW)	
	4.5 Hz	Utilizzabili anche queili da 10 Hz ma	
Tempo di registrazione (s)	2	1 (chiaramente ok anche 2)	
Numoro di canali/goofoni	12-24 (tinicomente 12 hostone, vedi libre "Onde di Surgeficie in		
Numero di canali/georoni	(upicamente 12 bastano - vedi libro Onde di Superiicie in Geofisica Applicata" libri Elaccovio e workshops)		
dt (intervallo di	0.001 s (1 ms. 1 millisecondo)		
campionamento)			
	Nessun AGC (Automatic Gain Control), nessun filtro		
	Utilizzare, se possibile, lo stesso valore di guadagno per tutti i		
note	canali (evitando che le tracce vicine vadano in saturazione e.		
	contemporaneamente, non perdendo segnale a quelle lontane).		
	Non applicare nessun tempo di pre-trigger: il tempo zero deve		
	corrispondere alla martellata (nessun tempo di pre-trigger).		





**Figura A2.** Acquisizione di dati congiunti Rayleigh e Love utilizzando unicamente geofoni orizzontali: a) stendimento per acquisizione dati utili ad analizzare la rifrazione delle onde SH e la dispersione delle onde di Love; b) stendimento per acquisizione dati utili ad analizzare la dispersione delle onde di Rayleigh (componente radiale) e, in una certa misura, la rifrazione delle onde P.



**Figura A3.** Esempio di *Common Shot Gather*: L'allargamento del segnale iniziale dovuto alla dispersione delle onde superficiali (in questo caso di Rayleigh) risulta evidente.

In fase di acquisizione è importante accertarsi che il *trend* delle onde di superficie non venga tagliato da un ridotto tempo di acquisizione. In questo caso un tempo di acquisizione inferiore a circa 0.40 secondi avrebbe determinato la perdita di segnale utile alle analisi.

Nel caso riportato in Figura A3 un tempo di acquisizione di mezzo secondo potrebbe essere stato sufficiente. D'altra parte si dovrebbero evitare i problemi legati al "troncamento del dato" (vedi sopra relativo box "Effetto del Troncamento Dati") evitando comunque di acquisire dati in eccesso. Nel presente caso (ed in verità nella maggior parte) 1 secondo sarebbe più che sufficiente: aumentare eccessivamente il tempo di registrazione porterebbe ad un incremento del peso del dato senza un miglioramento della qualità del *dataset*.

Materiale	V <sub>s</sub> (m/s)
Torbe e suoli scadenti	40 – 130
Suoli compatti	140 – 350
Suoli molti compatti e ghiaie	350-600
Roccia tenera od alterata	600-1000
Roccia integra	> 1000

Tabella A2. Valori indicativi della Vs per alcuni materiali.

### Acquisizioni per sismica passiva ReMi

In un'acquisizione *ReMi* siamo interessati a registrare la dispersione delle onde di superficie generate da microtremori (cioè eventi di qualsiasi natura – anche antropica – provenienti da sorgenti ignote ma tipicamente "lontane" e auspicabilmente contenenti frequenze più basse rispetto quelle generate da acquisizioni in sismica attiva).

Riguardo a queste "basse frequenze" vi sono alcune puntualizzazioni che andrebbero svolte. Per registrare con sufficiente qualità le coerenze del segnale a basse frequenze vi sono almeno due aspetti da considerare:

- necessità di stendimenti lunghi (che consentono di definire con maggior precisione le coerenze legate alla dispersione del segnale alle basse frequenze). Può risultare molto utile (se la logistica lo consente) effettuare le acquisizioni considerando prima uno stendimento in una direzione e poi un secondo stendimento a questo perpendicolare (in modo tale da tener conto di eventuali direttività del segnale).
- 2. utilizzo di geofoni particolarmente sensibili alle basse frequenze (da escludere l'utilizzo di geofoni da 10 Hz; verificare di essere in possesso di geofoni da 4.5 o meno di ottima qualità)

Un'ultima precisazione sulla <u>lunghezza del dataset utile ad analisi *ReMi*.</u> Lo scopo delle analisi ReMi è la registrazione di eventi di cui, oltre a non conoscere l'ubicazione, non si conosce il momento in cui si verificheranno. Per questo si "accende" il sismografo e si registra tutto quello che accada nella speranza che giunga del segnale utile.

### Nota alle misure ReMi

La ragione per cui vengono talora richieste misure *ReMi* in luogo (o a corredo) di quelle *MASW* è che, nell'ottica di taluni committenti, con le *ReMi* si sarebbe in grado di cogliere frequenze minori e quindi aumentare la profondità di investigazione.

Questo, in ordine di principio non è scorretto. Taluni "problemi" intrinseci all'analisi della dispersione delle onde di superficie rendono tutto ciò tuttavia un po' velleitario (al lato pratico). In modo molto telegrafico è bene infatti rimarcare per avere dei buoni dati alle basse frequenze sarebbe necessario avere stendimenti molto lunghi e geofoni sensibili alle frequenze che vogliamo mettere in luce. Problemi logistici (lunghezza degli stendimenti) e di costo dei geofoni necessari per lavorare bene con le bassissime frequenze rendono il tutto poco praticabile.

Inoltre, ed è questo il punto più dolente che va a limitare il senso di questo tipo di misure, il problema della non-univocità delle soluzioni (vedi *Introduzione*, in particolare la seconda figura) rende poco utile quel guadagno alle basse frequenze. In parole povere: se anche riusciamo ad ottenere un punto a 4 Hz (mentre dalle misure *MASW* ci eravamo fermati ad esempio a 5), tale punto non ci consentirà di definire la V<sub>s</sub> in profondità in modo preciso rispetto la semplice estrapolazione della curva di dispersione ottenibile da dati *MASW* (che a differenza dei dati *ReMi* hanno il pregio di definire molto bene le V<sub>s</sub> degli strati più superficiali).

Alla tecnica ReMi va comunque preferito l'approccio ESAC in quanto gli spettri di velocità ESAC risultano molto meglio definiti (e con le recenti release di *winMASW Academy* possiamo fare analisi multi-componente e definire sezioni 2D delle V<sub>s</sub>).

### Acquisizioni di sismica passiva per analisi *H/V* (Rapporto Spettrale H/V)

Data la semplicità delle acquisizioni si sottolineano schematicamente solamente alcuni punti da non trascurare (vedasi anche la FAQ in coda a questo manuale):

1. La frequenza più bassa da considerare va scelta sulla base delle caratteristiche dello strumento utilizzato, dei geofoni e della calibrazione dell'ampiezza (consultare il fornitore dello strumento)

2. frequenza di campionamento del dato in campagna: molti pensano che più dati ho meglio è. Non è assolutamente così e l'intervallo di campionamento dipende dallo scopo dell'indagine. Per scopi geologici tipicamente 64-128 Hz bastano (e avanzano).

Se si volesse fare i sofisticati si potrebbe anche campionare ad una frequenza maggiore e poi, prima di eseguire le analisi, ri-campionare (*resampling*) ad una frequenza minore (suggeriamo 128Hz): se analizzassimo dati campionati a frequenza troppo alta i tempi di calcolo aumenterebbero di parecchio.

3. attenzione ai segnali di natura antropica

4. attenzione che l'HVSR non rappresenta l'amplificazione di sito (vedi pertinente Capitolo di questo manuale)

# Raccomandazioni per acquisizioni finalizzate ad analisi dell'attenuazione (dati *MASW*)

Nel caso si desideri analizzare l'attenuazione del segnale sismico per la stima dei fattori di qualità Q in fase di acquisizione del dato in campagna si devono osservare alcune cautele.

Il principio base, che dovrebbe peraltro essere sempre seguito per qualsiasi tipo di acquisizione, è che il dato acquisito in campagna deve essere il più fedele possibile. In altri termini, come per qualsiasi esperimento scientifico, il senso di un dato è quello di rappresentare le effettive condizioni sperimentali.

L'introduzione di filtri, guadagni ecc. altera di necessità il carattere del dato originale. È bene sottolineare che è in fase di analisi del dato (quindi comodamente a casa o in ufficio) che è possibile eventualmente operare una serie di elaborazioni (filtraggi, guadagni, deconvoluzioni, applicazione di correzioni ecc.) atte a rendere più evidenti alcune caratteristiche e rimuovere talune fonti di disturbo.

In relazione a studi di attenuazione sismica vi sono alcune raccomandazioni che risultano cruciali:

- 1. il valore del guadagno deve essere il medesimo per tutti i canali
- 2. per nessuna traccia si deve verificare saturazione del segnale
- 3. si deve aver cura nell'ottenere un buon accoppiamento geofono-terreno

Il motivo di fondo a giustificare tale cautele (che comunque, lo ribadiamo, dovrebbero essere seguite per qualsiasi tipo di acquisizione) risiede nel fatto che le analisi dell'attenuazione sismica mirano a quantificare il decadimento d'ampiezza del segnale sismico con la distanza (e per le diverse frequenze che costituiscono il segnale stesso). Dovrebbe risultare quindi chiaro che alterare il segnale con guadagni diversi per le diverse tracce (canali) o con filtraggi risulterebbe dannoso ai fini dell'analisi dell'attenuazione del segnale.

Poiché l'attenuazione varia per ciascuna frequenza (analogamente a quanto avviene per la dispersione le frequenze più basse sono sensibili alle caratteristiche dei terreni più profondi) è parallelamente chiaro che sono da evitare anche operazioni di filtraggio (a meno di non essere perfettamente consapevoli delle più tecniche e profonde conseguenze che imporrebbero limitazioni nelle successive fasi di elaborazione del dato).

Infine, poiché geofoni mal accoppiati (in parole povere potremmo dire "mal piantati") portano ad uno scadimento della qualità del dato che si manifesta in ampiezze alterate, è bene fare particolare attenzione che i geofoni risultino stabilmente accoppiati col terreno.

Cosa si intende per "saturazione" del segnale? L'immagine di seguito riportata chiarisce il problema. Come si nota alcune porzioni delle tracce risultano troncate in quanto, a causa di un eccessivo guadagno fissato in fase di acquisizione, il segnale è andato oltre il *range* dinamico dello strumento di registrazione.



Tale problema va evitato in qualsiasi tipo di studio che coinvolga l'analisi nel dominio delle frequenze (sia per analisi delle curve di dispersione che dell'attenuazione).

È altresì ovvio che il valore del guadagno deve essere non eccessivo (per evitare saturazione) e di eguale valore per tutte le tracce (volendo noi verificare il decadimento d'ampiezza con l'offset).

In *winMASW* 4.0 *Pro* (e successive versioni) è possibile verificare l'ampiezza reale delle tracce con pulsante "test amplitude" nella sezione dedicata all'attenuazione.

Una volta caricato il *dataset* che si intende analizzare, cliccando il pulsante "test amplitude" la finestra che si apre (vedi qui sotto) mostra il dato originale e quello corretto per la divergenza geometrica.



Come si nota la correzione geometrica (funzione dell'offset) incrementa leggermente le ampiezze. Infatti le successive analisi mirano a misurare il valore di decadimento dell'ampiezza legato al solo contributo viscoso e non dovuto al fattore geometrico legato alla distribuzione dell'energia su un fronte via via maggiore – tale componente è detta "geometrica".

Nella parte inferiore della finestra è riportato il decadimento d'ampiezza per le due frequenze limite specificate nella finestra principale (campi "Min & Max frequencies").

Si nota il decadimento d'ampiezza indice (in termini generali) di una corretta acquisizione dei dati. In realtà, quello che viene plottato in funzione dell'*offset* è il logaritmo dell'ampiezza. In questo modo la relazione che lega ampiezza ed *offset*, di per sé di carattere esponenziale, diviene lineare.

In maggiore *scattering* dei dati tipicamente osservato per le basse frequenze può essere dovuto a diverse cause: problemi legati ad effetti di *near field* (che è chiaramente di maggiori dimensioni per le frequenze più basse) o a componenti legate alle onde di corpo, rumorosità del dati, comparsa di diversi modi dell'onda di superficie ecc.

Si consultino anche le *linee guida per una corretta acquisizione* (vedi cartella "documents" all'interno della cartella di installazione di *winMASW*<sup>®</sup>).

### Appendice B: unire 2 dataset attivi

Nel caso abbiate un sismografo da solamente (ad esempio) 12 canali è possibile fare una doppia acquisizione e sommare successivamente i due *dataset* (da 12 tracce) per ottenere un unico *dataset* che "simula" un'acquisizione a 24 tracce.

Esistono 3 possibili procedure per effettuare questa operazione (che, sottolineiamolo, è possibile solamente per dati di sismica attiva, cioè *MASW* – non per dati di sismica passiva, cioè *ReMi*). Lo schema qui sotto riportato ne esemplifica la procedura.

Brevemente:

- secondo il <u>primo metodo</u> (Fig B1a) la sorgente è spostata (allontanata) di una lunghezza pari a metà della distanza intergeofonica (ed i geofoni restano immobili).

- secondo il <u>secondo metodo</u> (Fig B1b) la sorgente rimane fissa e si sposta l'intero stendimento di geofoni in modo tale che il primo geofono del secondo stendimento si trova, rispetto all'ultimo geofono del primo stendimento, ad una distanza pari alla distanza intergeofonica.

- il <u>terzo metodo</u> (Fig B1c) non implica lo spostamento di geofoni: per il secondo scoppio la sorgente è posta ad una distanza dal primo geofono pari alla somma della distanza del primo scoppio (A) + la distanza intergeofonica (B) moltiplicata per il numero di canali (n).

# Dorrebbe essere evidente che il metodo più semplice e logico è il primo (metodo *alternato*)

Con *winMASW*<sup>®</sup> è possibile poi sommare i *dataset* ottenute in uno qualsiasi di questi modi.



Figura B1. Metodi per la somma di più datasets.

#### Nota al processo di somma di diversi datasets

Un *dataset* ottenuto dalla somma di 2 (o più) *datasets* chiaramente si riferisce a diverse energizzazioni. È nella pratica assolutamente "improbabile" (impossibile) che l'energia impiegata per le diverse energizzazioni sia esattamente la stessa. Ne consegue che le ampiezze saranno "diverse" per le 2 (o più) energizzazioni e questo implica che non è possibile effettuare seri studi inerenti l'attenuazione del segnale sismico (per altro al momento ben poco richiesti dal mercato).

### Come precedere in *winMASW*<sup>®</sup>

Tra le *utilities* vi è lo strumento per la somma di 2 *dataset* ("combine 2 datasets"). Il caso tipico è quello rappresentato da due *dataset* da 12 canali (molti utenti non dispongono di sismografi a 24 canali). Lo scopo è evidentemente quello di ottenere un unico *dataset* a 24 tracce (sull'utilità si veda il libro "*Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica*" – paragrafo *1.5. Vangeli, leggende e drammi: un bestiario*).

Per fare questo è necessario avere eseguito le due acquisizioni in modo corretto (vedi sopra). Nella figura qui sotto è riportato il caso di 2 acquisizioni eseguite secondo lo schema di Fig. B1b (quindi si tratta di "modo sequenziale" e *non* alternato – si selezioni l'opportuna opzione nel gruppo "sequence mode"):

dataset#1: spaziatura tra geofoni 1.5 m, offset minimo: 1.5 m dataset#2: spaziatura tra geofoni 1.5 m, offset minimo: 19.5 m

È evidente che la spaziatura tra geofoni deve essere la stessa e l'*offset* minimo del secondo *dataset* deve essere pari all'ultimo offset del dataset#1 più un valore pari alla distanza intergeofonica adottata (questo perché si è proceduto con la modalità sequenziale di Figura B1b).



Per illustrare l'effetto dell'utilizzo di *dataset* a 24 canali si riportano di seguito le schermate relative agli spettri di velocità ottenuti considerando separatamente i due *dataset* iniziali (a 12 tracce) e, infine, quella relativa al dataset totale a 24 tracce ottenuto sommando i 2 *dataset* a 12 tracce secondo il metodo "sequenziale".

### Spettro di velocità ottenuto considerando solamente il dataset#1 (offset vicini)



Spettro di velocità di fase ottenuta considerando 12 tracce "vicine".





Spettro di velocità di fase ottenuta considerando 12 tracce "lontane".

Avendo ora considerato gli *offset* distanti le basse frequenze risultano più in evidenza ma il valore di velocità più appropriato da piccare risulta necessariamente (data la limitata lunghezza dei 2 stendimenti considerati – solo 16.5 m) relativamente mal definito: che velocità piccare a 10 Hz?

### Spettro di velocità ottenuto considerando il dataset totale (ottenuto unendo i 2 datasets – metodo sequenziale)



Lo spettro di velocità di fase ottenuto considerando l'intero *dataset* risulta ora meglio definito (si confronti l'ampiezza della banda rossa di coerenza rispetto quelle precedentemente ottenute).

Ma qual è il fatto che rende possibile tale migliore definizione dello spettro? Non il fatto di avere più tracce ma unicamente il fatto che, ora, lo stendimento non è più di 16.5 m ma di 34.5 m.

Se avessimo acquisito un unico *dataset* con 12 geofoni spaziati di 3 m (lunghezza totale dello stendimento pari a 33 m) avremo ottenuto uno spettro di velocità di fase del tutto simile a quello mostrato qui sopra.

Se poi li avessimo spaziati a 4 m (lunghezza totale dello stendimento pari a 44 m) avremmo ottenuto uno spettro ancora migliore.

Vedi dati ed esempi nel libro "Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica" (paragrafo 1.5. Vangeli, leggende e drammi: un bestiario).

#### Sommare 2 dataset SAC

I *dataset* SAC sono costituiti da 1 sola traccia (sono tipicamente utilizzati in ambito sismologico). È possibile sommare – secondo la modalità "sequenziale" (*sequence mode*) - dati SAC in modo da ottenere files con più tracce (utili per analisi MASW e MFA).

#### Appendice C: concatenare dati multicanale

Dalla schermata principale è possibile accedere alla sezione "concatenate data" (gruppo delle "utilities") ove è possibile concatenare 2 o più *datasets*. È possibile cioè mettere in successioni varie acquisizioni (ad esempio se acquisiamo 3 *datasets* da 30 secondi ciascuno è possibile ottenere un file unico (in formato ASCII o Matlab) di lunghezza parti alla somma dei 3 (cioè in questo caso 90 secondi).

#### Esempio esplicativo:

concateniamo i 2 datasets stendimento1.dat e stendimento2.dat

#### passo #1:

Carica i 2 datasets (usa il tasto "SHIFT" o quello "CTRL" per selezionare più files)

winMASW - concatenating seisr	nic datasets	_		×
	ทสรง	v.co	m	
input tapering: 2 %	show & save	e dataset ( re dataset	(ASCII) (.mat)	
Select multiple datasets by pressi Four conditions must be met: the number of channels/geophone the sampling interval and the file f all the datasets. Obtained dataset (see manual for further details). We HIGHLY recommend to use th Please remember that for ESAC o necessary to have a single file (y using the CTRL button).	ng "ctrl" or "shif es, the geophon ormat must be ti can be saved a e Matlab format. r ReMi analyses ou can upload n	t". he distance, he same for as ASCII file s is not nultiple data	sets	

#### passo #2:

Fissa un eventuale valore di tapering (di dafault pari al 2%)

#### passo #3:

scegli se salvare il file come dato ASCII o con il formato di *Matlab* (.mat). Nel primo caso, nella prima riga saranno scritti, uno di seguito all'altro: *dt* (in secondi), distanza intergeofonica e offset minimo (in metri).

Se si sceglie l'opzione .mat, il file ottenuto sarà poi leggibile da tutti i moduli di Matlab.

Al termine dell'operazione di salvataggio comparirà la finestra del *dataset* "totale" (qui di seguito un esempio ottenuto concatenando due dataset attivi di 1 secondo ciascuno):



Chiaramente è necessario che siano rispettate 4 condizioni:

- 1. stesso dt (intervallo di campionamento) per tutti i datasets
- 2. stesso dx (distanza intergeofonica) per tutti i datasets
- 3. stesso mo (offset minimo) per tutti i datasets
- 4. stesso numero di tracce per tutti i datasets

## **IMPORTANTE**

Concatenare *files* non è un'operazione necessaria. Sia il modulo ReMi che quello ESAC consentono infatti di caricare direttamente *n* files, semplicemente selezionando tutti i files con il comune utilizzo della selezione multipla, cioè mantenendo cliccato il tasto CTRL o SHIFT

## Appendice D: calcolo moduli elastici

Dalla schermata principale di *winMASW*<sup>®</sup> è disponibile una *utility* per il calcolo di una serie di moduli elastici a partire dai valori di V<sub>S</sub>, V<sub>P</sub> e densità. Le velocità devono essere espresse in m/s, la densità in gr/cm<sup>3</sup> mentre i moduli calcolati (modulo di Young, modulo di taglio, modulo di compressione e modulo di Lamé  $\lambda$ ) sono in MPa (Mega Pascal) (modulo di Poisson e rapporto V<sub>P</sub>/V<sub>S</sub> sono adimensionali).

Si ricordi che la V<sub>P</sub> stimata da analisi MASW <u>non è assolutamente da considerare</u> (e dipende in larga misura dal valore di Poisson che si imposta prima di lanciare l'inversione). L'unico modulo che possiamo considerare come una buona stima del valore reale è il *modulo di taglio* (che non dipende dalla V<sub>P</sub>).

L'utilità di questa *utility* sta nel fatto che considerando le V<sub>S</sub> ricavate dall'analisi delle onde di superficie e le  $V_P$  (ad esempio da studi a rifrazione/riflessione) possiamo stimare con una qualche approssimazione i vari moduli.

winMASW: calcolo modu	li elastici		
_ Input		ī	
VS (m/sec):	600		
VP (m/sec):	1000		
Densità (gr/cm3):	2.1		
		Calcola	Reset
Moduli elastici	0.04075		
Poisso	n: 0.21875		
Modulo di Young (MPa	a): 1843		
Modulo di taglio (MPa	a): 756		
Modulo di compressione (MP	a): 1092		
Modulo di Lamé (MPa	a): 588		
Rapporto VP∧	/S: 1.66667		Esci

Si ricordi che questi, provenendo da misure effettuate con metodi sismici, <u>sono moduli</u> <u>dinamici/statici e non statici</u> (gli ingegneri sono in genere interessati a questi ultimi). Mentre per materiali molto rigidi la differenza non è drammatica, su materiali "soffici" la differenza tra moduli statici e dinamici può raggiungere anche 1 ordine di grandezza.

### Le formule per esprimere i moduli in funzione di V<sub>S</sub>, V<sub>P</sub> e densità:

Modulo di Poisson (adimensionale)	$(V_P^2 - 2V_S^2)/[2(V_P^2 - V_S^2)]$
Modulo di Young (in Pa)	$\rho V_{S}^{2}(4-3k^{2})/(1-k^{2})$
Modulo di Taglio (in Pa)	$ ho V_s^2$
Modulo di Lamé $\lambda$ (in Pa)	$ ho V_S^2 \left(k^2 - 2\right)$
Modulo di Compressione (in Pa)	$\rho V_{S}^{2}(k^{2}-4/3)$

dove:

 $k = V_P/V_S$  (adimensionale)  $\rho$  = densità (Kg/m<sup>3</sup>)  $V_S$  e  $V_P$  = velocità onde di taglio e compressionali in m/s

Chiaramente per convertire valori espressi in Pascal (Pa) in valori in MegaPascal (MPa) è sufficiente dividere il numero per 10<sup>6</sup> (Mega = 1 milione)

## Appendice E: tool di confronto dati attivi ["compare 2 active datasets"]

Nella sezione "*managing active data*" del pannello delle *utilities* di winMASW<sup>®</sup> Academy, è disponibile lo strumento "*compare 2 active datasets*":



cliccandoci si potranno caricare due *dataset* di sismica attiva multi-offset <u>acquisiti con identici</u> <u>parametri di acquisizione</u> (intervallo di campionamento, tempo di registrazione e geometria). I due *dataset* possono ad esempio essere due diversi *shot* della stessa acquisizione, due acquisizioni svolte sullo stesso sito in periodi diversi o possono riferirsi ad un'acquisizione diretta e "reverse" (fatta spostando cioè la sorgente dalla parte opposta dello stendimento).

Tutto quanto prodotto da questo strumento di comparazione viene automaticamente salvato in una cartella creata (in automatico) all'interno della cartella di lavoro [cartella "comparing\_active\_traces"].

Primo esempio di quello che si ottiene:



Sulla sinistra sono mostrate le ampiezze vere, sulla destra le ampiezze sono invece normalizzate (traccia per traccia).



Spettri di velocità di fase dei due dataset (indicati nel titolo dei grafici stessi)

In questo caso si tratta di due dataset acquisiti prima e dopo la compattazione del terreno (vedi articolo Assessing ground compaction via time lapse surface-wave analysis - Dal Moro et al., 2016).

Secondo esempio: in questo caso i due dataset (derivanti da un'acquisizione "diretta" ed una "ribaltata") sono, come vedremo, pressoché identici.



Comparazione degli spettri di velocità di fase

Da notare come vengano anche automaticamente computati i *dataset* rappresentativi della somma (X1+X2) e della differenza (X2-X1) tra i due *dataset* caricati. Questi vengono visualizzati, ne viene computato lo spettro di velocità di fase e vengono salvati tanto in formato .mat che in formato .sgy.



Comparazione della somma e della differenza tra i due dataset (leggi con cura i titoli dei grafici)

Infine, poiché in alcuni casi i dati sono acquisiti con i canali "ribaltati" (la prima traccia è quella lontana dalla sorgente), lo strumento computa in automatico gli spettri di velocità di fase anche delle tracce "ribaltate". Poiché in questo caso le tracce erano "correte" (prima traccia vicina alla sorgente e le successiva via via più lontane – vedi precedenti immagini), gli spettri che si ottengono non hanno chiaramente alcun senso (vedi immagini qui di seguito).



### Appendice F: creazione di sezioni 2D

Nella versione *Academy* (e in *HoliSurface*), tra le varie utilities è anche disponibile uno strumento per la creazione di sezioni 2D a partire da diversi profili verticali.

Il suo utilizzo avviene grazie alla creazione di un semplice "project file" da salvare come semplice file ASCII (.txt) come quello mostrato ad esempio qui di seguito

承 winMASW® - Surface Waves & Beyond	- 🗆 X		
www.winmasw.com	utilities		
managing active data	managing passive data		
vertical stack	TCEMCD		
compare 2 datasets	concatenate data		
multiple-dataset filtering	concatenate HVSR		
combine 3C data			
combine 2 datasets ?			
	post-processing & miscellanea		
pre-processing	elastic moduli		
SEG to SAF conversion	Vs30 at foundation		
2D and 3D data	Stesky's equation		
2D GPS positioning	calculator [in HS]		
2D velocity contouring	area percentage		
3D project/visualization	image2segy		

Esempio di project file (scaricabile anche da internet - vedi oltre)

```
NAGRA16 - profile#1
2
404.8000 404.2000 404.4000 405.2000 405.4000 405.8000 405.9000 406.3000
406.7000 407.2000 406.9000 407.6000 409.2000 409.7000 410.4000 411.5000 412.4000
414.5000 417.7000 424.1000
0 50 93 145 194 242 293 348 397 445 492 538 597 647 693 740 785 821 888 933
model1.mod
model2.mod
model3.mod
model4.mod
model5.mod
model6.mod
model7.mod
model8.mod
model9.mod
model10.mod
model11.mod
model12.mod
model13.mod
model14.mod
model15rep.mod
model16.mod
model17.mod
model18.mod
model19.mod
model20.mod
```
- ✓ Sulla prima riga è riportato il nome del progetto o della sezione in questione
- ✓ La **<u>seconda riga</u>** non ha al momento alcun utilizzo (ma tale valore/riga non va comunque assolutamente rimosso/a).
- ✓ La <u>terza riga</u> riporta la topografia (l'altezza slm di ciascun punto considerato) [in caso non abbiate la topografia, inserite semplicemente il numero 0 (zero)]
- La <u>quarta riga</u> riporta la posizione (il punto) di ciascun modello (di seguito riportato)
   <u>Di seguito</u> vengono poi riportati tutti i nomi dei profili Vs (salvati nel files .mod)

Attenzione: i modelli (files .mod) devono avere tutti lo stesso numero di strati.

Nell'esempio sopra riportato, ad esempio, abbiamo a che fare con una sezione 2D costruita sulla base di 20 punti (il primo profilo Vs è relativo al punto 0, il secondo al punto 50 e così via).

Tutti questi files devono trovarsi nella stessa cartella del progetto stesso.

Il progetto e i dati di cui sopra (che si riferiscono alle immagini di seguito riportate) sono scaricabili dal seguente indirizzo: <u>http://download.winmasw.com/data/2Dsection.rar</u>

#### Il file progetto da aprire e il file "NAGRA16\_2Dprofile.txt"





Una volta caricato il file coi dati dei profili, all'interno del gruppo "depth" compare la profondità dell'interfaccia (orizzonte) più profonda. L'utente deve quindi selezionare la massima profondità da utilizzare nella visualizzazione del profilo 2D (di default è proposto un valore pari alla profondità della più profonda interfaccia + 2 metri) e la velocità massima rispetto a cui definire la scala dei colori.

#### Va inoltre definita la % di smoothing laterale.

Si suggerisce di giocare un po' con questi tre parametri e vedere l'effetto che si ottiene.

È poi possibile definire se visualizzare o meno le posizioni dei singoli profili (attiva o disattiva il *checkbox "show positions of the single profiles*" (vedi immagini qui sotto).

Si noti come nel file da dare in pasto è possibile in effetti specificare <u>qualsiasi</u> quantità da "contourare" in sezione. Potete quindi costruire sezioni 2D di qualsiasi dato (basta che sia organizzato secondo il formato indicato nel box "Formato del file").







Se si attiva l'opzione "*show also topography*" e nel file di progetto è indicata l'altezza per ciascun punto di misura (vedi terza e quarta riga del file progetto), verrà mostrata un'immagine come la seguente:



Durante i calcoli necessari apparirà una finestra che non va rimossa (attendete che i calcoli siano terminati):





Tutte le immagini mostrate sono automaticamente salvate (nella cartella di lavoro) ma è anche possibile salvare manualmente qualsiasi immagine secondo diversi formati grafici dalla toolbar: "File -> Save as".

Attivando l'opzione "log scale (3D plot)", le velocità saranno mostrate secondo una scala logaritmica. Questo consente di evidenziare talune variazioni laterali. Nell'esempio qui sotto si può notare come, al centro della sezione, vi sia una zona con V<sub>s</sub> significativamente basse (dominata da torbe con velocità particolarmente basse). I punti verdi sono le posizioni di misura (cioè le posizioni a cui si riferiscono i 20 files .mod dei 20 profili verticali) [in questo caso era attiva l'opzione "show positions of the single profiles"]. NAGRA16 - profile#1 /elocity (m/s) [log scale] position (m) depth (m) 

www.winMASW.com - geophysical software & services

## Appendice G: conversione dati da formato seg a SAF (SEG2SAF)

Il *tool* di conversione da formato seg a SAF (già presenti nelle precedenti *release*) è stato fortemente migliorato.



Ora è possibile inserire:

**1)** l'<u>unità di misura</u> (in merito consultare le note relative al proprio sismografo/sistema di acquisizione);

2) l'offset (per acquisizione attive di tipo HoliSurface);

**3)** <u>note</u> di campagna (utile sia per acquisizioni passive - tipo HVSR - che per qualsiasi altra tipologia di dati) [le note sono chiaramente inserite nel file SAF ottenuto e mostrate da winMASW/HoliSurface nel momento in cui il file SAF viene caricato - ad esempio nel modulo HVSR].

È anche possibile definire un <u>fattore moltiplicativo</u> (i dati vengono moltiplicati per tale numero e quindi salvati nel file SAF).

Attenzione: in *winMASW*<sup>®</sup> e *HoliSurface*<sup>®</sup>, il modulo HVSR consente di caricare i dati anche in formato seg2 e non è quindi necessario fare la conversione del formato da seg2 (il formato più comune della sismica) a SAF.

HS	承 winMASW® - HoliSurface® - cor	nverting seg/segy data to SAF – 🗆 🗙	
-	working folder	dataset: SSR30min.seg2	
6.0	input file	total time: 1799.992 s	
	✓ resample to about 62Hz [16 ms]	sampling: 8 ms	
	1 UD (vertical) channel	number of channels: 24	
	2 NS (horizontal) channel 3 EW (horizontal) channel	number of samples: 225000	
	Counts v 1 multiplicative factor	offset (m):	
	show selected traces	notes: good coupling, sunny, no wind save & exit	
Louis and		notes to add to the SAF file	

## Appendice H: il tool TCEMCD

Utilizzando il nostro geofono triassiale *HOLI3C* e *winMASW Academy* (tool TCEMCD) puoi acquisire in modo efficace i dati da elaborare per analisi ESAC e HVSR.

Nella figura seguente è riportato uno schema di acquisizione tipo: 21 geofoni verticali e il nostro geofono triassiale **HOLI3C da 2HZ** sono connessi ad un comune cavo sismico a 24 canali.

Utilizzando il *tool* **TCEMCD** (presente nella versione *Academy*) puoi estrarre i dati per le analisi ESAC e HVSR (per la loro successiva analisi congiunta): otterrai il file SAF per l'analisi HVSR e un file multicanale per le analisi ESAC.



In questo modo si va a sfruttare anche il geofono verticale della terna HOLI3C.

Nel seguente *snapshot* sono mostrati 920 secondi (circa 15 minuti) di dati. In questo caso i canali 13, 14 e 15 sono relativi ai dati raccolti utilizzando il nostro geofono triassiale *HOLI3C*: il canale#13 si riferisce al geofono verticale, il canale #14 al geofono NS e il canale #15 al geofono EW. Cliccando su "converti&ri-assembla" otterrai due distinti *files*: il file SAF per l'analisi HVSR e un file .mat da caricare nel pannello ESAC.



Dati/files ottenuti: sulla sinistra i dati del file SAF (per l'analisi HVSR); sulla destra le 22 tracce relative ai geofoni della componente verticale da utilizzare per le analisi ESAC.







#### Appendice I: tool "combine 3C data"

In *winMASW*<sup>®</sup> è anche disponibile in una versione (*winMASW*<sup>®</sup> 3C) nata appositamente per poter sfruttare acquisizioni multiple (attive) eseguite utilizzando un unico geofono (triassiale) fissato in un punto unico mentre la sorgente si muove.

In modo è possibile ottenere dati utili ad analisi MASW in onde di Rayleigh (componenti radiale e verticale) e Love.

Si tratta in pratica del "metodo" MOSR (Ryden et al., 2003) applicato non considerando un mero geofono a singola componente ma un geofono triassiale (vedi anche l'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* - Dal Moro et al., 2017).

Per ottenere tali dati (da acquisizioni in sequenza ottenute con un geofono triassiale *triggerabile* dotato di opportuno software di acquisizione), si deve innanzitutto contattare il produttore del proprio geofono triassiale (cioè a tre componenti - 3C) e ottenere informazioni sul geofono stesso (che deve essere *triggerabile* e fornire i dati in un formato compatibile con *winMASW*<sup>®</sup> 3*C*).

Lo stesso tool è presente anche in winMASW<sup>®</sup> Academy e Professional.

#### Modalità di funzionamento

Dando per scontato che l'acquisizione dei dati è avvenuta in maniera corretta (consultare il produttore del proprio geofono triassiale per avere indicazione se il geofono triassiale in uso è adatto a questo tipo di acquisizioni), tra le *utilities* di *winMASW*<sup>®</sup> (versioni 3C, Pro e Academy) è possibile "costruire" i dati multi-offset (multi-canale) utili ad analisi MASW.

La cosa è del tutto automatica e immediata.

Supponiamo che i dati acquisiti (e il file di progetto creato dal software di acquisizione della terna utilizzata) siano nella cartella "*ProgettoMuscat*" (sul *Desktop*).

All'interno di tale cartella saranno presenti i files dell'acquisizione con anche il *file di progetto* (file con estensione .pgw) ProgettoMuscat.pgw.

Come prima operazione (comune per altro a qualsiasi operazione/analisi che si intende sviluppare in *winMASW*<sup>®</sup>) andremo a settare/definire la *cartella di lavoro* (in cui sono presenti i files acquisiti).

A questo punto, tra le *utilities* accessibili dal pannello principale di *winMASW*<sup>®</sup>, cliccare il pulsante "combine 3C data".

Comparirà la seguente schermata:



Cliccando sull'unico pulsante disponibile andrete a caricare il "file di progetto" (file con estensione .*pgw* presente nella cartella di lavoro che avrete avuto cura di definire come prima operazione).

Caricando da esempio il file *ProgettoMuscat.pgw*, otterremo quando segue:



Nella cartella di lavoro si troveranno ora tre nuovi files (in formato segy e *Matlab*) (riferiti alle tre componenti del geofono triassiale): componente radiale (R), verticale (V) e trasversale (T).

Se la sorgente utilizzata era una forza verticale (VF) si avranno allora i seguenti dati: RVF (componente radiale delle onde di Rayleigh) ZVF (componente verticale delle onde di Rayleigh) TVF (qualcosa di non troppo lontano da un'onda di Love)

e così via in base al tipo di sorgente utilizzata (vedi anche "Onde di Superficie in Geofisica Applicata") [va da sé che l'onda di Love più limpida è data dalla componente THF].

#### Esempio di file di progetto .pgw (semplice file ASCII con estensione .pgw)

Project: Torviscosa source: VF sampling rate (s): 0.001 offsets: 72, 66, 60, 54, 48, 42, 36, 30, 24, 18, 12, 6 Torviscosa HF#1.SAF Torviscosa HF#2.SAF Torviscosa HF#3.SAF Torviscosa HF#4.SAF Torviscosa HF#5.SAF Torviscosa HF#6.SAF Torviscosa HF#7.SAF Torviscosa HF#8.SAF Torviscosa HF#9.SAF Torviscosa\_HF#10.SAF Torviscosa HF#11.SAF Torviscosa HF#12.SAF

## Importante nota per le analisi congiunte RVF + ZVF

Consideriamo le onde di Rayleigh. Poiché con un geofono triassiale avrete modo di acquisire senza sforzo alcuno sia la componente verticale che quella radiale, va da sé che (avendo utilizzato una sorgente a componente verticale - VF) avrete a disposizione tanto la componente ZVF che quella RVF.

Potrete quindi avere a che fare con entrambi i relativi spettri di velocità di fase. Qui di seguito la componente radiale e verticale per uno stesso sito.



Questi potranno essere salvati (pulsante "*save*" nel gruppo "*handling the spectra*" - vedi immagine qui sotto).

Se poi questi 2 spettri verranno caricati assieme, lo spettro che si otterrà sarà la media tra i due spettri caricati.

Per caricare gli spettri di velocità si clicchi il pulsante "upload" nel gruppo "*handling the spectra*" e, per selezionare 2 (o più) *files*, si utilizzi il pulsante *Ctrl* (la normale procedura di qualsiasi operazione atta a selezionare *files* multipli in *Windows*).



L'utilità di tale operazione risiede nel fatto che in taluni casi la componente radiale e quella verticale possono differire significativamente e confrontarli (e mediarli) può risultare di estrema utilità per capire i dati (cioè lo spettro di velocità).

## Appendice L: formula di Stesky

Tramite la formula considerata, che per semplicità chiameremo di Stesky in quanto riportata in una sua pubblicazione (Stesky, 1978) consente di determinare la velocità "efficace" (risultate) nel caso si abbia a che fare con un mezzo composto da 2 materiali (ad esempio ghiaie costituite da ciottoli immersi in una matrice sabbiosa).

La formula è semplicemente la seguente (ed è richiamabile dal modulo "Stesky's equation" presente nel pannello principale tra le *utilities*):

$$\frac{1}{V_{\rm m}} = \emptyset \frac{1}{V_{\rm A}} + (1 - \emptyset) \frac{1}{V_{\rm B}}$$

in cui V<sub>m</sub> è la velocità "efficace" reale del mezzo "misto", mentre V<sub>A</sub> e V<sub>B</sub> sono le velocità del materiale A e B, essendo  $\emptyset$  la frazione di volume del materiale A.



## Appendice M: filtraggio automatico di *n* dataset

Dal menu "utilities", è disponibile il tool "multiple-dataset filtering".

Da lì è possibile caricare *n* dataset (tutti presenti nella stessa cartella) e filtrarli con un filtro (a scelta) passa-alto, passa-basso, passa banda.

7) START2000 Webmail : 📓 winMASW - Software U 🗙 🕂			-	σ
$ ightarrow$ 0   winmasw.com/_uk/aggiornamenti_software.asp#			$\square \Rightarrow   = \mathbb{R}$	٩
ELIOSOFT geophysical software and services	€ winMASW® - Surface Waves & Beyond	× :	ENCLESH TALIAN SERVICES NEWS FAQ CONTACTS	
winMASW# - Surface Waves & Beyond	www.winmasw.com	utilities		
	managing active data vertical stack compare 2 datasets multiple-dataset filtering	managing passive data TCEMCD concatenate data concatenate HVSR	HoliSurface®	
(6 workers) WINMASW Acade	combine 3C data combine 2 datasets ?		> Hollsurface®	
set your working folder	pre-processing	post-processing & miscellanea – elastic moduli	winMASW®	
open working folder	act to say conversion	Vs30 at foundation Stesky's equation	> winMASW® Academy	
C:\ELIOSOFT\Dati\LORENZ\High_School_Lorenz_15_LEE\15-LEE-1-ADAM2D-long\ZVF	2D and 3D data 2D GPS positioning	calculator [in HS]	> winMASW® Professional	
single-component analysis (Rayleigh/Love) (+ HV)	2D velocity contouring	area percentage	> winMASW® 3C	
Velocity Spectrum, Modeling & Picking ?	30 projectivisualization		winMASW & HollSurface - X	
Dispersion Curve or Vel. Spectrum Inver. ?	HVSR tools		filtering multiple datasets	
Joint Analysis of Phase & Group Velocites ? Rayleigh-Wave Attenuation Analysis ?	convert SEG to SAF show multiple HVSR			
iolet waterie of Surface Wayne (a UD)	joint inversion of dispersion & HV SPIPPM		- user-defeed filer	
Velocity Spectra, Modeling & Picking	Joint Inversion of Rayleigh/Love + HV		Band-pass filter: f1, f2	
Joint Inversion of Surface Waves	Joint Inversion of Rayleigh Waves (Disp+RPM)		40         0         Low-pass filter: 0, f2           f1 (htz)         f2 (htz)         High-pass filter: H, 0	
Academy - release 7.1	check current release		process [filter and save]	
Please remember to register your purchase: winmasw@winmasw.com (rea	d carefully the license)	n 64-bit computers		
windows10: <i>HollSurface</i> * 6.0 ar	nd <i>winMASW</i> <sup>®</sup> 7.1 (and successive (64bit)	releases) work also with w	Into Consequences where the second seco	

#### Geofoni per MASW e geofoni per rifrazione/riflessione? Note tecniche e leggende commerciali

A volte vi viene proposto l'acquisto di due *set* di geofoni: i cosiddetti geofoni per MASW da 4.5 Hz e i geofoni da 10 o 14 Hz per la rifrazione e la riflessione.

Naturalmente, se si conoscono i fondamenti della sismica, è facile comprendere come tutto ciò sia privo di senso e rappresenti un enorme spreco di denaro, in quanto è **sufficiente un solo set di geofoni da 4.5 Hz**.

#### Perché? Per almeno due ragioni molto ovvie:

**1.** con i geofoni da 4.5 Hz si riesce a vedere tutto sopra una certa frequenza (diciamo sopra i 2 Hz più o meno - sotto tale frequenza l'ampiezza è normalmente troppo bassa).

Le basse frequenze sono necessarie per analizzare la propagazione delle onde di superficie (MASW/ReMi/ESAC, etc.) ma si dice che per gli studi di rifrazione sia necessario "concentrarsi" solo sulle alte frequenze (diciamo tra 10 e 200 Hz - sopra questa frequenza ogni informazione è del tutto irrilevante dal punto di vista sismico/geologico).

Ebbene, se si acquisisce un *dataset* con i geofoni da 4.5 Hz, è possibile rimuovere facilmente le basse frequenze applicando il filtro passa-alto di *winMASW*. In questo modo è possibile utilizzare lo stesso *dataset* sia per la MASW, utilizzando le basse frequenze, che per gli studi di rifrazione/riflessione, rimuovendo in tal caso le basse frequenze con l'utilizzo del filtro passa-alto (passa alto = taglia basso) presente nel software *winMASW*.

## 2. Ma è proprio necessario rimuovere le basse frequenze per analizzare gli eventi rifratti?!

In realtà se ci si sofferma con attenzione sui principi base degli studi di rifrazione, è facile comprendere che questo non è necessario.

Basta considerare la componente verticale (quindi le onde di Rayleigh e la rifrazione delle onde P): le onde di Rayleigh sono molto più lente rispetto alla rifrazione delle onde P (non a caso quello che si considera in uno studio di rifrazione sono i cosiddetti *primi arrivi*).

Ciò significa che le onde di Rayleigh arrivano molto più tardi (cioè dopo) rispetto ai primi arrivi relativi alla rifrazione delle onde P.

#### Quindi, se si analizza con attenzione un *dataset* acquisito con i geofoni da 4.5 Hz, si vedrà <u>prima</u> la rifrazione delle onde P e poi (molto più tardi) l'arrivo delle onde di Rayleigh.

Non c'è dunque alcuna "interferenza" o problema di sorta nell'avere (nello stesso *dataset*) sia i dati della rifrazione P che le onde di Rayleigh (nel caso, invece, si vogliano analizzare gli **eventi riflessi** si potrà semplicemente **applicare il filtro passa-alto presente in** *winMASW***<sup>®</sup>**).

In conclusione, spendi bene il tuo denaro e risparmialo per acquistare un *set* di geofoni orizzontali da 4.5 Hz per l'acquisizione delle onde di Love e la componente radiale delle onde di Rayleigh (e, naturalmente, per gli studi di rifrazione/riflessione delle onde SH) e ricordati di chiedere sempre la <u>verifica della polarità</u> dei geofoni perché per alcune tecniche è necessario conoscerla.

In *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* è disponibile uno strumento per il <u>caricamento</u> <u>contemporaneo</u> di *dataset* multipli e il loro contestuale filtraggio.

## Appendice N: editing di dati (zeroing, flipping & removal)

Con lo **strumento "zero/flip/removal"** è possibile azzerare, flippare (cioè ribaltare la polarità) o rimuovere singole tracce.

#### Azzerare [zeroing]

Nello *snapshot* qui sotto si vede come all'undicesimo canale fosse collegato un geofono non funzionante. Il suo segnale disturbato può infastidire e abbiamo quindi azzerato la traccia.



Si noti incidentalmente il colore rosso nella sotto-sezione "resampling": se il *dataset* caricato ha una frequenza di campionamento inutilmente alta (1 ms è già molto più che sufficiente - ricordati il teorema di Nyquist- Shannon!), il software ti segnala l'inutile quantità di dati suggerendosi di ri-campionare [clicca su "accept" e otterrai il *dataset* ri-campionato della quantità che avrai indicato nel pop up (di *default* è 0.5, quindi se hai un *dataset* da 0.5ms ti verrà ri-campionato alla metà, cioè a 1ms).



Vedete la traccia#16? è abbastanza chiaro che quel geofono ha polarità inversa/opposto rispetto gli altri (molto male!). Sulla **destra** il *dataset* corretto (la traccia#16 è "flippata"). Volendo si può anche azzerare la traccia#4 (geofono chiaramente non funzionante).

#### Removal [rimozione]

Vediamo un esempio lavorando nel pannello di analisi congiunta di due componenti. In questo caso si tratta di un dataset acquisito utilizzando unicamente geofoni orizzontali grazie ai quali abbiamo acquisito la componente radiale delle onde di Rayleigh (RVF) e le onde di Love (THF). Se guardiamo con attenzione le tracce sismiche sulla parte sinistra, ci accorgiamo di come la traccia#13 sia un po' problematica tanto sulla componente RVF che su quella THF (probabilmente il geofono aveva qualche piccolo problema).



Decidiamo dunque di rimuovere la traccia del canale#13 (per entrambe le componenti) e, una colta riportato il numero del canale (13), clicchiamo prima su "**removing: show**" (per verificare che in effetti sia quella la traccia che vogliamo eliminare) e poi (verificato che è proprio quella) su "**removing: accept**".

Si tornerà dunque al pannello principale e noteremo che quella traccia è stata eliminata. Si ricordi che con *winMASW*<sup>®</sup> Academy è possibile analizzare senza alcun problema dati non-equispaziati!



A questo punto possiamo ricomputare lo spettro di velocità ed in caso eseguire la stessa operazione per la seconda componente.



Ricomputo dello spettro di velocità di fase del dataset (ora non equi-spaziato) dopo la rimozione della traccia all'offset 20 m.

#### Appendice O: ottenere dati in mm/s con i nostri strumenti

Innanzitutto è necessario comprendere quando è o non è necessario che i dati acquisiti siano in unità fisica (mm/s è la soluzione migliore), sempre ribadendo che acquisire tutti i dati sempre e comunque in mm/s è una sana e buona abitudine.

HVSR: non necessario (ma sempre utile)

**Dati per l'analisi della dispersione** (MASW, ESAC, ReMi, MFA/FTAN, HS, MAAM): non necessario

Analisi vibrazionali su edifici: estremamente utile (consigliatissimo)

Analisi vibrazionali da cantiere (UNI/DIN): assolutamente necessario

Sono due i momenti in cui si deve essere attenti a effettuare le necessarie operazioni:

1) durante l'acquisizione

2) durante il caricamento dei dati nel software

Vediamo qui di seguito come svolgere correttamente le operazioni sia durante l'acquisizione che durante il caricamento dei dati.

#### 1. Acquisizione

Vedi documentazione fornita con il nostro sistema di acquisizione. Qui di seguito le caratteristiche dei nostri geofoni.

## Sensibilità dei <u>geofoni da noi forniti:</u>

- geofono triassiale da 2 Hz (rosso in metallo): 2 V/cm/s

- geofono triassiale *Geospace-Eliosoft* (blu in materiale plastico): **0.89 V/cm/s** [equalizzato sino a circa 0.2 Hz via software]





Geofoni a singola componente (vedi targhetta sul cavo stesso):

- modello C1: 0.82 V/cm/s

- modello C: 0.92 V/cm/s

- modello B1: 0.29 V/cm/s

- modello *Geospace-Eliosoft* (blue) [raccomandato per MAAM e molto utile anche per ESAC]: **0.89 V/cm/s** 





- modello HL-3: 0.6 V/cm/s

#### 2. Caricamento dei dati in HoliSurface® o winMASW®

Se avete acquisito i dati secondo le indicazioni di cui sopra, al momento di caricare il file seg2 una finestra di dialogo vi chiederà l'unità di misura dei dati.

terr vision	select He → + his PC → det (1) → BU050FT → Det) → C Solitation	vetNOwster-inizia_con_4_elicotteriseg2 (sampling: :ceneral,Nr_tonent_fant > Tom_Biver,asopa > stol 	290Hz, length: 19.9990min) × 6 Search steel 1 * 0	open working fo show heading toild notes
Angel (applicau)) - decimate         resumption           (d arg. (m)) - decimate         resumption	select He = + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	Secreta, M., Torotte, Torre, Torre, Biver, ascqua + stol Centra, M., Torotte, Torre, Torre, Biver, ascqua + stol Data + Data + water-insta, con, 4, effortteri.org2 11/11	× (b)   Search shell	open working to show location fluid notes
64 arg ware housery meangele https://www.energieles.comparison https://www.energieles.comparison 22 wardsow energieles.comparison 23 wardsow energieles.comparison 24 wardsow energieles.comparison 25 wardsow energieles.comparison 25 wardsow energieles.comparison 26 wardsow energieles.comparison 27 wardsow energieles.comparison 28 wardsow energieles.comparison 29 wardsow energieles.comparison 20 wards	sebect file →	Cerenca JW, Tomente, Tome, Tom	× ▼ (b)   Search alter	khow location
https://www.setup.org/action         dean axes           20         who is the 1.5		Connext, MI, Connert, Fanne - Young, Beerg, acques - stat A Dates autor-innia, con , 4, alcomes acq2 11/11	V (ð) Santh által (þ)	Teld rotes
22 works kryfi (s) 3 works (k) 3 wretuet breakd 2 wretuet breakd 2 wretuet westling (bleguet winksky) 3 with messel 3 works and westling (bleguet winksky) 3 works westling (bleguet winksky) 3 works westling (bleguet winksky) 3 works westling (bleguet winksky) 4 works westling (bleguet winksky) 3 works westling (bleguet winksky) 4 worksky (	hyprise = Newfolder # Galet access © Centry = # © Constast	A Data - Inste-inisis, con, 4, alconteriung2 11/11	11 • 🖬 🛛	
S toorny (%) S toorny (%) S thereads S methods breaked C methods breaked C methods breaked C methods breaked C methods C me	Cardek acces      Dentition /      desensition     menuek 7.3     sens.melyin	Date +     Date +     unter-insis_con_(Lefcontericag)     10/11		
2 m/30 hreshold liter remover 156 Jack Lass and	Destrap     D	water-inisis_con_4_elicotteri.org2 11/11		
sta i sectual sectitar (program unitaria) 2 detendo y or i local India ouput compatible deten vidos deten vidos deten vidos exectivity analysis receding analysis	Combas #     Forebas     Forebas     Forebas     Forebas     Forebas     Forebas     A Graditor     Forebas     A Graditor     Forebas     foreba			
Compating Section     And Section (Section	Corporti #     Concentrat #     Concentrat #     Concentrat #     Concentrat #     Concentration     Concentration     Concentration     Concentration     Concentration     Concentration     Concentration			
Aut oxput         Compute           continuity            dmotten         show 30 motion           rectify analysis         show 30 motion	▲ Orabitve ≠ ⇒ Debutes ≠ a disterministion mercusie 7.3 score, analyze			
continuity Direction Serve Video show 3D motion rectifyity analysis requestions to highlight 1.0.010.0 Hz comparies	diseministion mercule 73			your comm
show 30 motion rectivity analysis requesties to highlight [1.0 10 10 Hz] comparie	manuale 7.3			
rectivity analysis requestion to highlight 1.0 5.0 10.0 HZ compute	- companyor			
requencies to highlight 1.0 5.0 10.0 HZ compute	🤤 videos			default axes
	🐉 Dropbos		No preview available.	
save- option#1: save HVSR as it is	🜰 OneDrive			
save HV from 0.5 to 60 Hz	This PC			
nave HV corve (an it in)	data (l:)			
Save - option#2: picking #V curve	My Paisport (K)			
Dick HV curve save picked HV	🖝 Network			
	Momegroup			
200 average Vs (tvis) (fram system to badract)				
20 depth of the bedrock	۲.	>		
1000 Vs of the bedrock	File name: 2017-11-11_12-45-cascata-AlmostNOw	iater-inizia_con_4_elicotteri.seg2	✓ SAF/seg2 formats (Assumed fo	
clean compute			Open Cancel	
ighlight a frequency				
Irectivity over time				
directivity in time time ED 5	To model the HVSR (also ininity with MASW or	r ReMi/FSAC data), save the HV curve, on to the "Velo	city Spectrum/a. Modeling & Picking" panels and	unload the saved HV curve
HolSurface® & wintMASW® - Horizontal-to-Vertical Spectra	Sutio (HVSR)			- 0
4: 525 🖬 🛞   f_2   🧟 🗇 🔍 🍬   🖑 🥏 🚸   1	0 2 n <b>1</b> ► 31			
show data reset				open working fold
64 Hz v row houses resample				show location
step#2 - IIV computation				
a heat Back &				field notes
2) window length (a)				Reld notes
23 window length (s) 5 bearing (%) Min. freq.: 0.5Hz				Beld notex
23 window length 0     5 takeng (S)     15 unplade threshol     2 mVSR breakol				Reld notes
10000000         contracts         contracts           200000000         Wins. freq.: 0.5Hz           15         conplicate threating           200000000         Reading on the state of the state o				Bald notes
Description         Description <thdescription< th=""> <thdescription< th=""></thdescription<></thdescription<>				Pald rota
Littling vectors         Littling vectors         Littling vectors           5         endote littling         Min. freq. 2. GHz           5         littling vectors         freq. 2. GHz           2         endote littling vectors         freq. 2. GHz           2         endote littling vectors         freq. 2. GHz           2         endote littling vectors         gHz           3         endote littling vectors         gHz           4         endote littling vectors         gHz           5         endote littling vectors         gHz           5         endote littling vectors         gHz           6         endote littling vectors         gHz			_	Netic motion
Until even of the set			Г	Bald rotes
Interference         Interference         Interference           2         ensister law)         Min. Reg. 1: 04Hz           3         basen (%)         Min. Reg. 1: 04Hz           2         ensister law)         East rearrow           2         ensister law)         East rearrow           3         ensister law)         East rearrow           4         ensister law)         East rearrow           5         ensister law)         East rearrow			Г	Reid roke
Intervence         Intervence         Intervence           2         ensiste intervence         Intervence           3         ensiste intervence         Intervence           3         ensiste intervence         Intervence           2         ensiste intervence         Intervence	æ	лх	Γ	your comm
Intervence         Intervence         Intervence           2         andrafic Way ()         Win fing 2: 6Hz           5         testing (%)         Win fing 2: 6Hz           10         unglish thoshed         Keal section           2         andrafic Way ()         Win fing 2: 6Hz           15         unglish thoshed         Keal section           15         andrafic Way ()         Contraction           16         andrafic Way ()         Contraction           16         andrafic Way ()         Answe 20 moltion           directify and plage         To 510 E         Hz	Cites of the parts	IT N office (C), (B) is security (C)		theid notion your commo disfinit scan
Intervences         Intervences         Intervences           3         matches intervences         Intervences           3         matches intervences         Intervences           3         matches intervences         Intervences           3         matches intervences         Intervences           2         matches intervences         Intervences           4         matches intervences         Intervences           1         matches         intervences	Close 1 of the space by the spa	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	1	your comm default exec
Intervence         Intervence         Intervence           5         monitor intervence         Min. Intervence           5         monitor intervence         Min. Intervence           6         monitor intervence         Min. Intervence           7         monitor intervence         Min. Intervence           7         monitor intervence         Min. Intervence           7         monitor intervence         Min. Intervence           1         monitor         monitor         Min. Intervence           1         monitor         monitor         Min. Intervence           1         monitor         monitor         monitor	Cheese the three sharings and the state of the state of the state 1 2 2 2	of the LCD, MG W X X X X X X X X X X X X X X X X X X X	Γ	your comm dafaalt asse
Intervences         Intervences         Intervences           5         methods intervences         Intervences           5         methods intervences         Intervences           5         methods intervences         Intervences           2         methods intervences         Intervences           3         methods intervences         Intervences           4         methods intervences         Intervences           3         methods intervences         Intervences           3         methods intervences         Intervences           3         methods intervences         Intervences	Check the three channes addition conserved to an to 1 2 2 file	Image: The state of t	Γ	your comm default see
Intervence         Intervence         Intervence           5         metale intervence         Intervence           7         metale intervence         Intervence           7         metale intervence         Intervence           8         metale intervence         Intervence           9         metale intervence         Intervence           10         intervence         Intervence           10         intervence         Intervence         Intervence           10         intervence         Intervence         Intervence	Check to the tree training color or extended to the second control of the second control	IT X interaction is searce(c) ]	Γ	your comm definit ware
Intervence         Intervence         Intervence           5         market with a star with a sta	Circle To The Danies and Do respondents to T 1 2 3	0 X 01 fe (X) (5 10 sease(c) ]		your comm definit sees
Intervention         Intervention         Intervention           Image: Intervention         Image: Intervention         Image: Intervention<	Citede 74 7400 (Daties) and Diversion of the Citede of the	Г X (17) с (X, 16) то исанско)	Γ	your comm (default zon
Intervence         Intervence         Intervence           Image: Intervence         Image: Intervence         Image: Intervence           Image: Intervence         Image: Intervence		offee (0, H) 97 Freedow 1	Γ	your comm default exer
Intervention         Intervention         Intervention           Secondard         Main Area : 0.0142           Secondard         Intervention           Secondar	Chees the tree channes access do not not not not not not not not not no	IT N w test (0, 16 w test (0, 17) I	Γ	your comm
Interference         Interference         Interference           Image: Interference         Image: Interference         Image: Interference<	Crees to the results as a constraint of the constraints of the constra	X           of the UC, HS           W a searce(c)	Γ	your comm
Intervention         Intervention         Intervention           Interventintervention         Intervention	Clease the three classes and clease the optimized by the second second s	IT N IN STREET, NO ST		your comm
Image: Section of the sectio	Cites 10 for course and Diversion of the course 1 2 2 1 2 2 60	(T X ) (TP (C X) ) (S + CRAC(C))	Γ	your comm (default zon
Helfantere <sup>®</sup> fa unktWork <sup>®</sup> - Henrontol-An-Wetter Sperm 26 525 all W f. 2 W f. 2 W f. 2 W f. 2 W store store storet logical declarata de V no Insurato storet 2 Hy companion	Apri/seleziona www.parke @@ n	a il file (format	o seg2)	

Definisci la sequenza dei canali che contengono, nell'ordine, la componente UD (verticale), NS (o radiale) e EW (o trasversale)

HoliSurface® & winKASW® - Horizontal-to-Vertical Spectral R	atio (HVSR)	- D X
🚅 S2S 🔜   🛞   🕺 💝 🍪 🌯 🌯 🧶 🥔 🥔	0 0 n 🚺 🕨 💷	
show data reset		
a local family designed		open working folder
name of the second second		abow location
		field actes
step#2 - HV computation		The Policy of th
The second laboratory of the second second		
5 tspering (%) Min. frcq.: 0.5Hz		
15 amplitude threahold		
2 HVSR threshold		
10% 👻 spectral smoothing (triangular window)		
2 defineding order OKOLDC		
Particle motion, all HVGRs and video		
L ful ospat	(The second seco	your comments
continuity	A Select City - X	
30 motion	Select the unit of measurement of your	
suvervides show 30 motion		
	counta 😒	default axes 🗸 🗸
directivity analysis	1000 mmes	
requences to rightight (1.0 5.0 10.0 m2   compute	mm/s.	
save option#1: save IIVSR as it is	1072	-
assoc HVV from 0.5 to 60 Hz		
Contract and the second form of the h		
- save - option#2 picking RV curve		
pick HV curve Aske picked HV		
E		
guick analysis (f-Vsidii)		
200 average Vs (rvis)		
(nom surface to bedroot)		
1003 V8 arms bedrask		
citer. compute		
highlight a frequency		
drawhightight 10 Hz		

#### Definisci l'unità di misura del dato.

Nel caso tu stia utilizzando in nostro sistema di acquisizione seguendo correttamente le procedure di acquisizione (vedi sezione precedente), selezione l'opzione evidenziata nello *snapshot* sopra riportato e otterrai i dati in mm/s.

Con tale opzione in pratica il dato viene moltiplicato per 1000 ottenendo valori rappresentativi della velocità in mm/s.



## Appendice P: stack (verticale)

Tra le *utilities* di *winMASW*<sup>®</sup> (nel gruppo "*managing active data*") e nella *toolbar* dei pannelli "**Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking**" (pulsante **VS**) è disponibile uno strumento per lo *stack* verticale (*vertical stack* - vedi libro della Flaccovio del 2012).

Quando si clicca sul pulsante di "*vertical stack*" si ha la possibilità di selezionare tutto i *files* che si desiderano staccare (vedi lo *snapshot* cui sotto).



Una volta caricati i files (e fornita la geometria, cioè l'*offset* minimo e la distanza intergeofonica), si otterrà una figura come quella di seguito riportata: l'ultimo plot (in basso a destra) rappresenta il dataset risultante (è possibile notare con il rapporto segnale/rumore del dato sia ora migliore).

Il dato è salvato nella cartella di lavoro come file segy e *Matlab* (il nome viene scelgo dall'utente in una finestra di dialogo che compare durante l'operazione).

Nell'esempio riportato di seguito, il dato di campagna è stato chiaramente acquisito con i canali invertiti. All'atto di caricarli in *winMASW*<sup>®</sup>, sarà possibile ribaltare i dati grazie al pulsante "flip traces/data".



Vertical stack dei sette shots caricati

## Appendice Q: strumento "show multiple HVSR" (sezioni HVSR 2D)

Con questo strumento è possibile comparare/plottare una <u>serie di curve HV</u> <u>precedentemente salvate (con formato .hv) nella stessa cartella</u>. L'utilità è, per lo meno, duplice:

- 1) è possibile comparare gli HV presi attorno ad un punto (per verificare che siano tra loro congruenti verificando quindi l'omogeneità delle condizioni del sottosuolo);
- 2) costruire "sezioni HVSR 2D" che, in casi fortunati, possono dare un'idea dell'andamento di un certo contatto stratigrafico particolarmente importante (non necessariamente legato al *bedrock*).

In particolare rispetto quest'ultimo tipo di utilizzo, si noti che è possibile inserire le distanze (dal punto zero convenzionalmente fissato al punto del primo HVSR), in modo da poter così riprodurre in modo realistico il "profilo". Durante il caricamento dei dati vengono chieste una serie di informazioni (ad esempio è possibile fissare la frequenza minima e massima da mantenere e indicare le posizioni "inline" lungo la sezione).

Qui di seguito un esempio di quello che è possibile ottenere con questo tool.



#### Visualizzazione di tutte le curve caricate



curva media (mostrata e salvata)

#### Plottare le curve originali in modalità 2/3D



I quadrati magenta indicano la posizione delle 21 misure considerate per questo esempio.

Immagine riassuntiva in cui sono anche riportati i nomi dei *files* .hv caricati (in modo da avere il controllo totale sull'operazione svolta).



# Come ottenere le posizioni *inline* da inserire (se desiderato) per ottenere poi la sezione 2D con le corrette distanze?

Tre possibili modi (ma la creatività può suggerirne ulteriori):

 semplicemente tramite <u>misurazioni di campagna</u> (ad esempio, banalmente, con cordella metrica) delle distanze dal punto zero di partenza/riferimento;



- <u>Attraverso Google Earth</u>, sfruttando lo strumento grazie al quale si determina la distanza tra due punti [chiaramente essendo in grado di individuare il punto di ciascuna misura];
- 3) Sfruttando la <u>modalità di lavoro possibile con il tool di gestione di foto</u> <u>multiple geo-referenziate</u> – vedi relativa Appendice). Chiaramente la precisione dipenderà dalle condizioni di copertura satellitare del sito e da quella del *device/smartphone* utilizzato [in generale va benissimo per esplorazioni su ampia scala in cui non è richiesta grande precisione rispetto la precisa ubicazione di ciascun punto e si cerca di ricostruire l'andamento generale].





Plottare il logaritmo delle curve (di modo da evidenziare le ampiezze minori):



#### Plottare le curve normalizzate (per meglio seguire l'andamento):

#### Conversione delle frequenze in profondità.

Allo scopo di convertire le frequenze in profondità (cosa utile chiaramente solo nel caso in cui la struttura del sottosuolo sia particolarmente semplice e si possa ritenere che un certo "segnale" [picco o meno] sia legato ad uno specifico orizzonte stratigrafico), alla fine dell'elaborazione viene anche chiesta la velocità (Vs) media sino al segnale di cui vogliamo ricostruire un possibile andamento. Questo può accadere ad esempio nel caso di una valle in cui abbiamo una copertura grossomodo omogenea caratterizzata da una certa Vs che dipenda dalla natura dei sedimenti. Utilizzando la relazione *f*=Vs/4H è possibile ottenere quanto mostrato ad esempio in questo esempio in cui il substrato roccioso è coperto da una coltre di sedimenti piuttosto sottili e lenti (inserita una Vs media di 120 m/s).

Chiaramente il valore delle V<sub>s</sub> è auspicabile provenga da misure della dispersione (in questo caso da analisi *HoliSurface*) e non da mere supposizioni.



L'immagine è salvata nella cartella di lavoro indicando nel nome file stesso la velocità assunta per la conversione. Questo è utile ad esempio nel caso si abbiano due o più picchi e, al fine di ottenere l'andamento del pertinente contatto stratigrafico, si desiderano svolgere due conversioni, la prima con la V<sub>S</sub> media sopra il picco a più alta frequenza e la seconda con la V<sub>S</sub> media sopra il picco a più bassa profondità (nella cartella di lavoro avremo quindi due *files* relativi a due diverse velocità).

#### Appendice R: procedure di analisi in estrema sintesi

Riportiamo qui di seguito la sequenza di operazioni da effettuare per i diversi tipi di analisi che si possono eseguire. Per i dettagli e gli approfondimenti riguardanti ciascun punto ci si riferisca alla specifica sezione del manuale.

La prima operazione da effettuare (per qualsiasi tipo di analisi si intenda svolgere) è la definizione della "cartella di lavoro" (*working folder*) dalla schermata principale. In tale cartella saranno stati precedentemente posizionati i *files* di campagna e saranno automaticamente salvati tutti i files/dati risultanti dalle nostre elaborazioni.

## Analisi MASW (in onde di Rayleigh o Love)

- 1. dalla finestra principale aprire la sezione "Velocity spectrum, Modeling & Picking"
- 2. caricare il dato di campagna (primo pulsante in alto a sinistra) controllando la correttezza dei parametri di acquisizione
- 3. determinarne lo spettro di velocità tramite il pulsante "*calculate spectrum*" (nella sezione #2 sulla destra della finestra) (scegliere i limiti dello spettro sulla base delle caratteristiche del dato/sito)

A questo punto vi sono 2 possibilità (da sfruttare assieme in un processo che porti l'utente a definire una soluzione finale ragionata sulla base dei dati geologici noti a priori):

- a) procedere con una modellazione diretta delle curve di dispersione
- b) fare il picking della curva di dispersione (che è sempre una nostra interpretazione), salvare la curva e procedere nella sezione di inversione

È fortemente consigliato il primo approccio (modellazione diretta) in quanto consente (impone!) un controllo totale sul processo: l'utente sulla base delle conoscenze della stratigrafia locale interpreta il dato.

Per procedere in questo modo si inseriscono i dati relativi allo spessore e alla  $V_S$  degli strati.

Lo scopo è naturalmente ottenere delle curve di dispersione che si sovrappongano bene (cioè coerentemente) con la distribuzione di energia mostrata dallo spettro di velocità calcolato.

Se invece si desidera automatizzare questo processo di ricerca della miglior soluzione si effettua il *picking* della curva di dispersione e si passa alla sezione "*inversion*".

Qui si sceglierà il numero di strati da utilizzare per l'inversione o, nel caso si sia precedentemente (nella modellazione diretta) identificato e salvato un modello di massima, lo si caricherà (option#2, *from reference/starting model*) - tale modello sarà migliorato dal software.

Fissati altri parametri che definiscono i dettagli del processo di inversione (vedi specifiche sezioni del manuale) si lancerà (pulsante "RUN") il processo.

Quello che si suggerisce è un approccio "misto" all'interno del quale l'inversione "automatica" serva da ausilio all'interno di una modellazione svolta direttamente dall'utente sulla base dei dati stratigrafici noti. In altre parole: trovare prima un modello si massima e poi ottimizzarlo con l'inversione (secondo l'*opzione2*).

A causa del problema della *non-univocità* della soluzione, affidandosi unicamente all'inversione automatica si rischia di ottenere soluzioni numericamente buone (limitato *misfit*) ma non perfettamente tagliate sulla locale situazione stratigrafica.

## Analisi ReMi (solo onde di Rayleigh)

- 1. dalla finestra principale aprire la sezione "ReMi spectra"
- caricato il file dei dati (suggeriamo 1 minuto di lunghezza) e fissati i pochi parametri si calcolino gli spettri di velocità avviando la procedura con il pulsante "spectra calculation" (provare diverse lunghezza della finestra di analisi, suggeriti 2 secondi)
- 3. salvare lo spettro meglio definito (lo si evidenzia tramite il bottoncino)
- 4. accedere al modulo "*Velocity spectrum, Modeling & Picking*" tramite il pulsante "analyze saved spectrum"
- 5. in questa sezione basta caricare lo spettro appena salvato con il pulsante "*upload ReMi spectrum*"

Il resto delle operazioni (modellazione diretta e/o inversione) è assolutamente analogo a quanto precedentemente riportato per le analisi *MASW*.

Si ricordi che le modalità di interpretazione/picking per un dato *ReMi* è diverso rispetto ad un dato *MASW* (vedi *sezione 4.1*)

## Analisi dell'attenuazione

Per analizzare l'attenuazione delle onde di Rayleigh è necessario prima di tutto avere determinato il profilo verticale della velocità delle onde S (tramite qualsiasi metodologia: *MASW*, *ReMi*, sismica di pozzo ecc.) e avere tale modello in un file ASCII in formato .mod (in cui sono riportate gli spessori, le V<sub>S</sub>, le V<sub>P</sub> e le densità).

- 1. dalla finestra principale aprire la sezione "Attenuation analysis"
- 2. caricare il file sismico (dati di sismica attiva) con il pulsante in alto a sinistra
- 3. in caso di presenza di forti rifrazioni o altro rumore "pulire" il dato ("activate" e "select") (ricordiamo che per questo tipo di analisi si può sfruttare solamente il modo fondamentale che deve essere quindi presente e ben chiaro)
- 4. visualizzare lo spettro di velocità (pulsante "calculate/update") per definire l'intervallo di frequenza all'interno del quale ha senso determinare la curva di attenuazione (per il modo fondamentale!)
- 5. calcolare la curva di attenuazione tramite il pulsante "calculate curve" nella sezione "step#2: calculate attenuation curve"
- 6. caricare il modello (file .mod con profilo Vs precedentemente determinato): pulsante "input Vs model" nella sezione "step#3: attenuation curve modelling/inversion"
- 7. procedere con la modellazione (sezione "Modelling Q") o l'inversione (sezione "Invertine Q")

Anche qui, a riguardo della modellazione/inversione, valgono le medesime considerazioni viste sopra rispetto le curve di dispersione.

## <u>l risultati</u>

Tutti i risultati (immagini e rapportino in formato html) sono automaticamente salvati nella cartella di lavoro.

Come noto, il file html può essere "convertito" in pdf (da utilizzare come allegato alle proprie relazioni) semplicemente stampandolo (*print*) come pdf (comune operazione di *windows* e di tutti i *browsers*).

È poi chiaramente possibile anche semplicemente copiare tutto il contenuto del rapportino html (*ctrl-c*) e riportarlo in un qualsiasi doc (*ctrl-v*) per poter eventualmente aggiungere note personali ecc.

## Appendice S: concatenare dati SAF (3 componenti)

Tra le *utilities* (nel gruppo "Gestione dei dati passivi"), è presente anche lo strumento " concatenate HVSR (SAF)".

Cliccando su quel pulsante sarai in grado di caricare una serie di dati .SAF (il formato standard per i dati di microtremore utilizzati per il calcolo HVSR) e otterrai automaticamente un (singolo) file "total-HVSR.saf" con tutti i dati caricati.

Nell'esempio qui sotto abbiamo caricato tre *file* SAF (ciascuno lungo 24 ore) in modo da ottenere un singolo file con dati di 3 giorni.

winMASW® - Surface Wave	is & Beyond	- D ×	winMASW® - Surface Waves & Beyond	- 🗆 X
🈂 🖂 🛄 🤣 🧶 🖲			<sup>a</sup> www.winmasw.com	utilities
parallel computing Or (72 workers) 72 apply parallel set your working folde C:\Users\Giancarlo\Desk	topISPAC_JABO(esac2MOCH3dsysHVSR	- hternet stes - V where am 1? (GPS) utilities synthetics	managing active data vertical stack compare 2 datasets multiple-dataset filtering combine 3C data combine 3C data combine 2 datasets ? pre-processing SEG to SAF conversion 2D and 3D data	managing passive data TCEMCD concatenate data concatenate HVSR (SAF) post-processing & miscellanea elastic moduli Vs30 & VSE @ foun
single-component and Velocity Spectrum, I single-observable inve	alysis (RayleightLove) (+ HV) Addeling & Picking ? rsion (disp. or HVSR) ? 6 Gray Velocitie ?	passive seismics ReMi & SR ? ESAC & SR IVVSR tools compute MVSR ?	2D GPS positioning 2D velocity contouring 3D project/visualization DTM Gol	Stesky's equation calculator [in H5] area percentage image2segy
Rayleigh-Wave Atte	nuation Analysis	convert SEG to SAF show multiple HVSRs		
joint analysis of Sur Velocity Spectra, M Joint Inversion of	face Waves (+ HV) odeling & Picking Dispersion Data	joint Inversion of dispersion & HVSR/RPM Joint Inversion of Rayleigh Love + HV Holistic Inversion of Rayleigh Waves (Disp+RPM)		1. and 1.
	Academy - 2020 C	neck current release		-

Una volta caricati i *files*, viene richiesto il nome del file (in formato SAF) con cui salvare il *dataset* completo ottenuto dal mettere in sequenza i singoli files caricati.



#### winMASW<sup>®</sup>

Nel caso il *dataset* ottenuto sia eccessivamente lungo (o a causa di un intervallo di campionamento eccessivamente alto e/o per la durata della registrazione totale) il *dataset* completo non viene mostrato:



## Appendice T: software HS-QC - il tuo assistente di campagna

La maggior parte dei software di acquisizione dei sismografi disponibili sul mercato sono privi di *tools* per la verifica della qualità dei dati acquisiti. Una volta che è stata effettuata l'acquisizione dei dati (attivi o passivi) è infatti impossibile valutare l'effettiva qualità in modo chiaro e "quantitativo".

Per tale ragione, al fine di evitare di portare a casa dati di bassa qualità, è stata implementata il software **HS-QC [Quality Check]**.

Gli utenti *HoliSurface*<sup>®</sup> e *winMASW*<sup>®</sup> Academy che possiedono il **nostro sistema di acquisizione** ricevono anche la **USB dongle** per il **software HS-QC**, da utilizzare in campagna durante le acquisizioni. Ad un prezzo contenuto **HS-QC** è naturalmente disponibile anche per tutti gli altri utenti.

La qualità dei dati può essere valutata sia per **dati attivi (MASW e HS)** che **passivi (ad esempio HVSR, ESAC, ReMi, MAAM, vibrazioni).** 

Ci sono due famiglie di pannelli:

1) **quick analysis [pulsanti blu scuro]**: consentono una valutazione dei dati molto veloce ed immediata;

2) **"full" analysis**: una serie di pannelli all'interno dei quali effettuare un'analisi più approfondita (in pratica si tratta di versioni semplificate e ridotte delle analisi possibili con *HoliSurface*<sup>®</sup> e/o *winMASW*<sup>®</sup>).

È disponibile anche un tool per lo **stack** dei dati attivi (vedi pulsante in basso a destra nel pannello principale - immagine qui sotto).



## I TRE PULSANTI QUICK

Per la valutazione più rapida e immediata della qualità dei dati, nel pannello principale sono disponibili tre pulsanti **QUICK**, a seconda della tipologia di dati che stai considerando. Dopo aver cliccato sul pulsante di tuo interesse ed aver caricato il *dataset* acquisito otterrai automaticamente una delle seguenti schermate.

#### DATI ATTIVI

Dati HS [pulsante "quick HS"]

Vengono mostrate le tracce, la curva RPM e le tracce "convertite in velocità"



#### Dati MASW [pulsante "quick MASW"]

Vengono mostrate le tracce (ampiezze reali e normalizzate) e gli spettri delle velocità di fase (sono mostrati due spettri di velocità, uno delle tracce caricate e uno delle tracce flippate)




Un diverso modo di mostrare le tracce





#### DATI PASSIVI

#### Pulsante "passive: quick ESAC/ReMi/MAAM/HVSR/vibrations"

Vengono mostrate le tracce con le ampiezze reali (nell'esempio qui sotto riportatto c'è chiaramente un problema con il canale#12 che, grazie all'utilizzo di HS-QC, potrai attivarti al fine di ottenere dei dati correti – potrebbe essere un contatto difettoso, il geofono mal collegato eccetera eccetera)





Sono anche mostrati gli spettri di ampiezza (valori reali e normalizzati): di nuovo è chiaramente visibile il problema con il canale #12 (da sistemare in campagna al fine di ottenere dati corretti)



Un ulteriore *output* è il Rapporto Spettrale di ciascuna traccia rispetto alla prima.





tracce e spettri di ampiezza e fase delle tracce caricate

#### **HVSR**

Nel caso in cui il *dataset* caricato sia composto solo da tre tracce, il software considera i dati come microtremori per il calcolo dell'HVSR e, automaticamente, computa e mostra i seguenti *outputs* 



le tre tracce caricate (con le ampiezze reali)



spettri di ampiezza delle tracce caricate (ampiezze reali e normalizzate)



le tracce caricate (nel pannello in basso è sono mostrati solo 3 secondi)



tracce e spettri di ampiezza e fase delle tre tracce



Rapporto Spettrale (Spectral Ratio) di ciascuna traccia rispetto alla prima traccia



Spettri di ampiezza smussati (12%) e HVSR calcolati considerando due possibili situazioni (che dipendono dalle caratteristiche del vostro sistema di acquisizione): 1) <u>a sinistra</u> i risultati nel caso in cui il formato delle tracce sia verticale, H1 e H2 (la componente verticale è cioè la prima traccia – formato standard);

2) <u>a destra</u> i risultati nel caso in cui il formato delle tracce sia H1, H2 e verticale (la componente verticale è cioè la terza traccia).

#### I PANNELLI "ORDINARI" (SEMPLIFICATI)

In aggiunta ai pulsanti/analisi **QUICK**, è disponibile una versione semplificata dei pannelli ordinari, che consentono analisi più dettagliate – ma comunque semplificate – da effettuare già durante le operazioni di acquisizione dei dati (al fine di semplificare le operazioni di campagna i pulsanti attivi sono evidenziati in **verde**).



		data, spectral ratio and RPM			- general	settings	-
		select data			reference	e clepith	
		scivate		🗆 retr	action		
2		select 30 HS		E BVS	R from Surfa	ce Wavea	
2		cancel save	ce.com	- HVM	R from body	w2015	
5		remove data					
				Vs (m/s)	Qs	Present	Qp
		RPM analysis	Z (vertical component)	160	18	0.36	18
		1 50	T Prat a	280	29	0.35	29
		RPM curve BOUICE	radial component)	380	42	0.35	42
1				450	50	0.35	50
		26 Particle Motion	(transversal component)	360	40	0.35	40
				850	94	0.35	94
					0	0.3	0
	0 time to visualize done cut filter decimate	100 PT 1797			0	0.25	0
		SIGNET	pano concienzo spocagio		0	0.25	0
	group	-velocity spectra (vertical & radial components)			0	0.25	0
					0	0.2	0
					0	0.2	0
				unicad	show	MAR	
				deta	al:		-
				-	united of t	moured:	
				No. 25		volt.	-
etical apectron			awe radial spectrum	refi	resh	4	compute
					Site F	tesponse	
		E DUCD	250 Show white by				

### Holdsafface B suite - MAAM Ministrike Array Analysis of Microbemont Holdsafface B suite - MAAM Ministrike Array Analysis of Microbemont Holdsafface B suite - MAAM Ministrike Array Analysis of Microbemont Holdsafface B suite - MAAM Ministrike Array Analysis of Microbemont

and the standard	since data	pen	Gha
radius (m): 0	show data	spectra	

nin freq.	2	m	ax freq.	50	
nin vel.	50	50 max vol. 1600			
P	roces	ising para	ameters		
24		window le	ngth (s)		
15%	•	spectral se	noothin	g	
50%	- t	apering (9	6)		
320	-	tolerance r	nax		
		DERM	4	show	
5	•	tolerance i	min.		
		elocity inc	rement		





central TR-last
compute MAAM



cloar all

linear x axis 🔻

#### Appendice U: esempi di alcune delle cose che puoi fare con winMASW®

Qui di seguito una piccolissima rassegna di alcune delle cose/analisi possibili con winMASW. Si ricordi che l'obiettivo di un qualsiasi lavoro professionale **non è** "fare una MASW" (o un ESAC, HVSR eccetera) ma trovare una soluzione (acquisizione e analisi dati) utili a svelare la distribuzione della V<sub>S</sub> in profondità.

Diversi obiettivi e diverse condizioni locali impongono di affrontare tale problema in modi che possono essere <u>molto</u> diversi da quelli "standard".

"Tutti" possono fare una "MASW" (acronimo che oramai non indica più nulla di puntuale e preciso), ma solo chi ha compreso tutti i meccanismi di generazione e propagazione delle onde di superficie riesce a indentificare la soluzione più adatta ai problemi che di volta in volta si possono presentare al professionista (anche al di là del problema delle Vs30 legate alle NTC).

Ulteriori casi studio vengono inviati agli utenti via newsletter.

## Oltre ai due libri pubblicati per la Flaccovio nel 2012 e 2019, segnaliamo anche quelli (in lingua inglese) pubblicati per la Elsevier e la Springer



## U1. <u>Pannello analisi congiunta</u>: analisi congiunta (modellazione diretta) in onde di Rayleigh e Love utilizzando la classica dispersione secondo le curve modali.

L'analisi modale (quella cioè in cui gli spettri di velocità sono interpretati e modellati utilizzando le *curve modali* (modo fondamentale, primo superiore eccetera) è il metodo più "basico" per analizzare la dispersione delle onde di superficie.

Se per dati (spettri di velocità) semplici può essere in qualche misura utile, per dati più complessi è di fatto impossibile capire quali modi sono presenti e come si interlacciano tra loro (per questo l'analisi multi-componente e approcci più sofisticati quali l'FVS e le curve effettive sono *sempre* da preferirsi).

L'immagine qui di seguito riporta un vecchio esempio di analisi (modellazione) congiunta con curve modali della componente RVF (onde di Rayleigh) e delle onde di Love (THF).

In questa ipotesi "interpretativa" (vedi libro "Lezioni di sismica" del 2023), le onde di Rayleigh mostrano 4 modi mentre quelle di Love solamente il fondamentale.

Si consideri che solamente l'analisi FVS (o a curve effettive) può dimostrare che la distribuzione di energia del modello proposto è in effetti quella ipotizzata dal lavoro fatto con le curve modali.

L'analisi FVS, infatti, consente di riprodurre (quindi *dimostrare* e non semplicemente *ipotizzare*) esattamente la distribuzione di energia tra modi (vedi pertinente sezione di questo manuale e riferimenti bibliografici).





#### U2. Due esempi di dataset inutilizzabili/problematici

Si noti l'improvviso cambio di pendenza attorno all'offset 20 m: i sedimenti della prima parte dell'array sono evidentemente molto più consolidati (veloci) rispetto quelli che si trovano dall'offset 20 m in poi (molto più lenti).

**Il seguente** *snapshot* riporta un dataset totalmente inutilizzabile (il vago segnale che si osserva lungo le tracce è l'*onda d'aria* – provate ad utilizzare lo strumento "draw velocity" con la velocità tipica di quel genere di segnale): non è la quantità di denaro speso per il sismografo a garantire la qualità del lavoro, ma il numero di ore spese (investite) nello studio della teoria della generazione e propagazione delle onde sismiche che conduce ad acquisizioni e analisi accurate.

Questo *dataset*, semplicemente, non contiene dati (utili) ma la dice lunga sulla preparazione di chi ha eseguito l'acquisizione.



U3. <u>Pannello analisi congiunta</u>: analisi congiunta della dispersione delle onde di Rayleigh e Love (approccio FVS) e primi arrivi delle onde P e SH (rifrazione)



Modellazione congiunta per le componenti Z e T: pannello superiore dispersione delle onde di Rayleigh (a destra) e tempi di arrivo della rifrazione delle onde P [in questo caso a causa della falda freatica – vedi modello sottostante]; pannello inferiore: dispersione delle onde di Love e tempi di arrivo della rifrazione delle onde SH.



Come per la figura precedente ma per le componenti R e T: come si può vedere, la rifrazione delle onde P è chiaramente visibile anche lungo la componente R (radiale). Ciò significa che utilizzando semplicemente un set di geofoni orizzontali si possono fare velocemente quattro cose: analisi della dispersione delle onde di Rayleigh e Love e della rifrazione delle onde P e SH.



## U4. <u>Pannello analisi congiunta</u>: analisi congiunta della dispersione delle onde di Rayleigh (componente R) e Love secondo l'approccio FVS: vedi perché le onde di Love sono così cruciali?!

Qui si seguito sono mostrate le tracce acquisite in campagna utilizzando, come raccomandiamo per i lavori più comuni, solamente un *set* di geofoni orizzontali (da 4.5 Hz) [si analizzano cioè le componenti RVF e THF].



Con un po' di modellazione diretta FVS e con il sussidio dell'inversione congiunta automatica FVS [pannello "Joint Inversion of Dispersion Data"] otteniamo quando mostrato nella seguente figura.



www.winMASW.com - geophysical software & services

Il segnale che domina le onde di Rayleigh (componente R) a frequenze superiori a 10 Hz è dovuto al primo modo superiore mentre alle frequenze inferiori è relativo al modo fondamentale. Le onde di Love sono dominate dal modo fondamentale (come si verifica nella stragrande maggioranza dei casi).

Al fine di ottenere un buon accordo per entrambe le componenti è necessario introdurre un po' di anisotropia per alcuni strati (vedi qui di seguito il modello  $V_{SH}$  e  $V_{SV}$ ). Questo non è sorprendente ma si deve sempre considerare che in situazioni "comuni" ci possiamo attendere anisotropie non superiori al 10%.



**Nota importante:** i modi superiori *non* sono un problema se vengono considerati correttamente. Al contrario: perché la loro velocità è superiore, forniscono importanti informazioni specialmente riguardo agli strati più profondi. Il problema nasce quando non vengono compresi in quanto questo porta inevitabilmente a sovrastimare i valori delle V<sub>s</sub>. L'unico modo per comprendere correttamente gli spettri delle velocità è analizzare due o più componenti (in questo caso abbiamo analizzato le componenti R e T registrate utilizzando solamente un *set* di geofoni orizzontali da 4.5 Hz).

Possono le onde di Love avere modi superiori di rilevante ampiezza? Certamente. A questo proposito, si studi con cura l'articolo "*The magnifying effect of a thin shallow stiff layer on Love waves as revealed by multi-component analysis of surface waves*" (Dal Moro, 2020).

Ricorda infine che puoi anche caricare una **curva HVSR** (precedentemente computata) e procedere con una modellazione congiunta che può comprendere anche la **rifrazione delle onde P e SH** [vedi altri esempi qui illustrati].

# U5. <u>Pannello "joint analysis of phase and group velocities" (per una sola componente)</u>: modellazione congiunta degli spettri delle velocità di fase e di gruppo (approccio FVS) [HVSR non disponibile]

Innanzitutto dobbiamo sottolineare come, se desideriamo ottenere profili Vs corretti, raccomandiamo di lavorare in modo diverso: è necessaria l'acquisizione e analisi di più *observables*. In questo caso a disposizione vi era unicamente un *dataset* di 24 tracce (componente ZVF) ma da sempre raccomandiamo di lavorare con l'analisi della dispersione delle componenti R e T congiuntamente all'HVSR (calcolato come media degli HVSR acquisiti in due o più punti dell'*array*).



Dati a disposizione (componente ZVF): velocità di fase computata considerando tutte le tracce a disposizione e velocità di gruppo computata sulla base della sola traccia#18 [vedi quadrato rosso]



Analisi congiunta FVS



Rappresentazione FVS con anche le curve modali dei primi 8 modi (a scopo dimostrativo)

L'analisi FVS combinata **velocità di fase e gruppo** (fatta al volo e da affinare) mostra come:

1) un unico geofono è sufficiente per analizzare la dispersione "media" (analisi della **velocità di gruppo ottenuta considerando la traccia#18** – vedi quadratino rosso nel *plot* delle tracce sismiche);

2) il vero punto è acquisire e gestire **dati multi-componente** ed è per questo che raccomandiamo sempre l'utilizzo di un *set* di geofoni orizzontali che consentono di acquisire le componenti R e T (vedi pubblicazioni e manuali aggiornati di HoliSurface<sup>®</sup> & winMASW<sup>®</sup>) [e qui purtroppo avevamo solo la componente Z];

3) spesso non si può lavorare con il "concetto" (quindi la pratica) delle **curve modali**: qui lavoriamo con l'FVS che mostra come *tutto* quello che è sopra circa i 12 Hz sia coalescenza di soli modi superiori che sono di fatto singolarmente inseparabili;

4) il salto a circa 42 Hz è indicativamente tra il terzo e l'ottavo modo (vedi ampia letteratura disponibile in merito alla fenomenologia dei salti di modo – che non sono certamente in sequenze semplici e ordinarie);

5) si nota un lieve cambio di pendenza dell'onda di Rayleigh qui considerata da circa metà dell'array (la seconda metà è leggermente più lenta), indice di probabili variazioni laterali (vedi tecnica PS-MuCAA utile a porle in evidenza): con winMASW<sup>®</sup> ACD si potrebbero dividere questi dati [attivi] in 2 sub-datasets e valutare la cosa ma la tecnica PS-MuCAA è per molte ragioni da preferire. Tale variazione laterale è probabilmente causa del fatto che non è facile identificare un modello perfetto sia per le velocità di fase che di gruppo;

6) il terreno di riporto superficiale (relativamente "stiffer") costituisce un motivo in più per analizzare le onde di Love da noi sempre raccomandate: vedi articolo *The magnifying effect of a thin shallow stiff layer on Love waves as revealed by multi-component analysis of surface waves* - Dal Moro G., Nature - Scientific Reports 10, 9071 (2020). <u>https://doi.org/10.1038/s41598-020-66070-1</u>";

7) le **stratigrafie di pozzo** distanti [150m dal sito] che sono qui disponibili non sono affidabili come sussidio in quanto le cose possono cambiare nel giro di una manciata di metri anche in zone che ci si aspetterebbe essere omogenee [e il cambio di pendenza supporta proprio l'esistenza di variazioni laterali] (vieni ai nostri *workshops* per rendertene conto in modo molto concreto);

8) il pannello mostrato (seconda immagine) consente di modellare le velocità di fase e gruppo congiuntamente alla rifrazione [P o SH] (cosa in genere poco dirimente) e all'HVSR [area del pannello con la copertina del nostro libro *Efficient Joint Analysis of Surface Waves and Introduction to Vibration Analysis: Beyond the Clichés* - Springer] che qui però non era disponibile (vedi successivi piccoli casi studio e nostre linee guida mirate all'analisi congiunta di dati).

#### Consideriamo per concludere due cose:

- se desideriamo ottenere profili Vs corretti non possiamo basarci sull'analisi di un unico *observable*: per i lavori più ordinari acquisisci a analizza le componenti R + T congiuntamente all'HVSR;
- 2) il pannello phase+group (+HVSR e rifrazione) è un pannello che ha in primis una funzione educativa: mostrare come lavorare con le velocità di fase o gruppo sia del tutto equivalente e questo conduce con naturalezza a lavorare con il metodo HoliSurface [HS]: <u>https://www.winmasw.com/\_it/prodotto.asp?IDp=1</u>

### U6. <u>Pannello componente singola:</u> analisi congiunta delle velocità di fase della componente ZVF (onde di Rayleigh) e rifrazione onde P

Dataset molto comune ottenuto utilizzando un set di 24 geofoni verticali (ma l'ultimo è risultato non funzionare e quindi il dataset è stato ridotto ai primi 23 canali tramite il pulsante "zeros/flips/remove").

Lo spettro di velocità di fase pone in evidenza un chiaro fenomeno di *mode splitting* [vedi libro <u>Onde di Superficie in Geofisica Applicata</u>].



Con un po' di modellazione diretta e, in caso, un'inversione automatica FVS (manualmente"), otteniamo un modello di sottosuolo il cui spettro di velocità di fase bene si sovrappone (quindi coincide) con quello osservato (dati di campagna).



www.wlnmasw.com

Ora possiamo prendere il modello identificato con l'analisi della dispersione (che dipende *in primis* da V<sub>S</sub> e spessori) e facilmente ottimizzare i valori delle V<sub>P</sub> utilizzando i valori del rapporto di Poisson [pannello di modellazione diretta al di sotto dello spettro di velocità].

Per meglio porre in evidenza i primi arrivi dell'onda rifratta (in questo caso – avendo utilizzato geofoni verticali stiamo trattando l'onda P), possiamo ridurre il tempo visualizzato [campo "*time to visualize*" sotto le tracce sismiche] (in questo caso fissiamo il valore a 0.12 s).

Vediamo ora (immagine qui sotto) la buona congruenza sia della dispersione che dei primi arrivi dell'onda rifratta P.

Rispetto a quest'ultimo *observable* il problema resta sempre quello: l'onda P vede la rifrazione superficiale (chiaramente dovuta alla falda ma non può vedere nulla al di sotto. Il profilo V<sub>P</sub> è dunque valido/significativo solo fino a circa 3 m di profondità ma al di sotto non possiamo dire/vedere nulla a differenza della dispersione che ci consente di scendere ben al di sotto in quanto le V<sub>S</sub> – e quindi le onde di superficie – non sono significativamente influenzate dalle condizioni di saturazione.

Potemmo ricordare molto altro ma si rimanda di necessità ai libri di testo indicati in questo manuale.





Nelle due immagini di seguito riportate (in una prospettiva 3D e 2D), si riporta lo spettrogramma della traccia 22 utilizzando, per l'ampiezza, una scala lineare. Si possono chiaramente identificare gli arrivi legati alle onde di superficie [in questo caso la componente verticale dell'onda di Rayleigh] (lenti e a bassa frequenza) e due eventi molto più veloci e ad alta frequenza.

Il primo è certamente legato ad una rifrazione P [nell'immagine con tutte le tracce sismiche riportata nella pagina precedente a fianco dello spettro di velocità e con sovrapposti i tempi di arrivo delle onde P rifratte del modello] si può notare la <u>perfetta continuità del segnale</u>. Per capire se il secondo arrivo è reale o invece generato da qualche accidente locale se ne

Per capire se il secondo arrivo e reale o invece generato da qualche accidente locale se ne dovrebbe valutare la continuità lungo tutte le tracce (molto chiaro per l'evento più veloce).



frequency (Hz)

L'immagine di seguito si riferisce alla stessa traccia ma è ottenuta utilizzando per le ampiezze una scala logaritmica utile in alcuni casi a meglio identificare componenti di minore ampiezza rispetto le principali.

La scelta della scala è possibile tramite la piccola finestra pop-up sopra il pulsante "compute".



# U7. <u>Pannello componente singola [utilizzando dati puramente passivi]</u>: analisi congiunta delle velocità di fase da dati passivi con array lineare elaborati con il modulo ReMi (e usando la curva di dispersione *effettiva*) e HVSR

Dovrebbe essere chiaro dalla teoria di base (che non è un inutile e fastidioso fardello ma il modo in cui impariamo a fare le cose corrette evitando semplificazioni e bizzarrie estremamente popolari) che qualsiasi dato passivo (riguardante la dispersione) deve essere modellato/invertito considerando la *curva effettiva* e non personali/soggettive interpretazioni modali.

Si ricordi inoltre che, anche in modalità passiva, si possono analizzare tutte le componenti e non solo la verticale (le più importanti sono la Z e la T).

	velocity spectrum: limits
	frequency (Hz) 7 47 min max
	velocity (m/s) 150 380
input file(s) 🔽 Resample to 7 ms [Nyquist: about 71 Hz]	min max
first dataset: 2014-05-08 16-13-05 00500 03000 016 Acquis[201	Show average spectra only
sampling: 8 ms [125 Hz] record length: 4 min	2 window length (in seconds) for spectra calculation
data parameters	minimum value (s): 1 maximum value (s): 30
5 geophone distance (m)	ESAC
0 008 sampling rate (s)	smooth and normalize
show traces & spectra	2 number of channels for smoothing
	8 smoothing (%) for the Spectral Ratio
	compute
Array length: 75 m 0 10 20 30 40 meters	50 60 70 80
direct direction	average (rev+dir)
Guide contract direction Create directio	A strategy (versus)
	COM 1. save subortine 2. analyze saved spectrum

Risultati delle analisi ReMi ed ESAC (come si può vedere dal pannello superiore era stata attivata anche l'opzione ESAC): si nota come, naturalmente, la curva da ESAC (cerchi magenta con bordo blu) si allinea lungo il "bordo inferiore" dello spettro di velocità di fase ottenuto dalla ReMi. Le due curve in "contropendenza" sono legate a fenomeni di aliasing spaziale (nessun problema).

Qui di seguito la modellazione diretta congiunta (dal pannello di analisi a componente singola) della dispersione della componente Z e dell'HVSR. La modellazione della dispersione (in questo caso Z) deve essere svolta attivando l'opzione "**effective curve**" e *non* riferendosi alle curve modali [la curva blue nel grafico in basso a sinistra è dunque la curva effettiva della componente Z].



#### Alcuni commenti:

1) si consideri che gli stessi dati (da *array* lineare) possono essere elaborati con il modulo ESAC (cosa per svariati motivi di gran lunga preferibile – vi sono molti più strumenti di controllo del dato);

2) fare un unico HVSR è sempre assolutamente sconsigliato (almeno due in due diversi punto dell'array);

3) i dati di dispersioni sono, in questo caso, piuttosto buoni (solitamente lo spettro da ReMi è molto più ambiguo/sporco/mal-definito);

4) riguardo alla modellazione dell'HVSR: a) la lieve inversione di velocità tra circa 60 e 80 m di profondità è legata all'andamento della curva HVSSR a circa 2 Hz; b) **attenzione:** un HVSR inferiore ad 1 *quasi* certamente indica un'inversione ma si possono verificare inversioni anche *senza* che l'HVSR scenda sotto il valore di 1;

5) se si desidera essere certi al 100% che il profilo V<sub>s</sub> è corretto, è utilissimo analizzare anche la **dispersione delle onde di Love** (componente T), facilmente svolto anche da dati passivi (vedi ad esempio libro del 2023 "Lezioni di sismica" – Dario Flaccovio Editore).

## U8. Determinazione proprietà dispersive della componente Z attraverso metodo ESAC [in *winMASW*<sup>®</sup> Academy] e confronto tra metodo MAAM [in *HoliSurface*<sup>®</sup>]

Si tratta in entrambi i casi di lavorare con dati passivi. La matematica relativa ai due metodi è radicalmente differente e si riflette in una serie di punti caratterizzanti:

- l'ESAC impone stendimenti molto ampi (in termini estremamente sintetici possiamo dire che lavora con le "lunghezze d'onda") e un significativo numero di canali e la possibile presenza di "imperfezioni" in alcune delle tracce non inficia significativamente il risultato [qualche traccia "rumorosa" non rappresenta un problema];
- 2) la MAAM [implementata nel software HoliSurface<sup>®</sup> HS] richiede array circolari con un limitato numero di canali (triangoli o pentagoni con geofono centrale) e un raggio estremamente piccolo rispetto le esigenze dell'ESAC (siamo nell'ordine di un paio di metri rispetto le svariate decine dell'ESAC). La qualità dei dati deve essere vicina alla perfezione (non sono ammesse approssimazioni – vedi manuale HoliSurface<sup>®</sup> e letteratura di riferimento).

L'immagine riportata qui sotto mostra un confronto tra lo spettro di velocità di fase ottenuto da ESAC e da MAAM per un sito test (si considera qui la componente Z). Si può notare la sostanziale identicità delle velocità ottenute (sono anche indicati i limiti di validità del dato legati alla geometria delle rispettive acquisizioni).

Si considerai con adeguata attenzione che (in entrambi i casi) ciò che si ottiene è la *curva effettiva* (<u>non</u> il modo fondamentale). Inoltre, poiché le aree in gioco sono molto diverse, non si deve trascurare il fatto che mentre l'ESAC riporta una dispersione media su un'ampia area (svariate decine di metri), la dispersione da MAAM si riferisce ad una porzione molto locale/puntuale (il raggio è di pochi metri per le più comuni applicazioni). Il metodo ESAC è applicabile anche per le componenti R e T (vedi in questo stesso manuale la **tecnica PS-MuCAA** in **winMASW®** Academy) mentre allo stato dell'arte il metodo MAAM è di fatto applicabile solo alla componente Z dell'onda di Rayleigh.



Esempio di *array* triangolare per acquisizione MAAM: tre geofoni ai vertici del triangolo ed uno centrale (dalle ottime prestazioni). A fianco di quest'ultimo è posto anche il triassiale utilizzato qui per determinare l'HVSR. Tutti i geofoni sono collegati allo stesso sismografo ottenendo quindi un dataset/file con 7 tracce facilmente gestito dal software di analisi (HS).

In *HoliSurface*<sup>®</sup> assieme all'analisi MAAM è possibile eseguire anche l'analisi **SPAC** che, seguendo logiche del tutto analoghe all'ESAC, ha un *range* di validità (delle frequenze) estremamente limitato rispetto la MAAM e può servire unicamente a verificare/confrontare le velocità di fase ottenute attraverso MAAM solo alle più alte frequenze [vedi pertinente sezione del manuale *HoliSurface*<sup>®</sup>].

### U9. <u>Utilities: selezione e comparazione di dati attivi</u> acquisiti con *shot* centrale rispetto lo stendimento

Tra le molte *utilities* di winMASW<sup>®</sup> Academy vi è quella di *editing* delle tracce attive caricate grazie alla quale possiamo: 1) rimuovere una o più tracce (ricorda che con winMASW<sup>®</sup> possiamo analizzare anche *dataset* non equi-spaziati); 2) azzerare una o più tracce; 3) invertire la polarità di una o più tracce.

Si considerano qui i dati attivi acquisiti con shot centrale e si vuole valutare l'eventuale differenza tra le tracce di destra e di sinistra.



Qui di seguito un esempio di dataset di campagna riferito alla componente THF (battuta HF al centro di uno stendimento di 18 canali con spaziatura 3 m):



Per poter confrontare i dati "di sinistra" e quelli "di destra" sarà sufficiente una serie di banali operazioni di editing.

Con lo strumento "zeros/flips/remove" presente sia nel pannello di analisi a componente singola che doppia possiamo spacchettare i dati come segue (qui di seguito si mostra quanto necessario fare riguardo le prime 9 tracce [quelle di "sinistra"]):

	active data: compute velocity spectrum	visualize curves
#1. data opioadnig & editing	phase velocity ##4.palar. FK fittering limits 120 300 draw velocity fitancining the spectrum explore spectrum	instant 0
2020-10-14_19-20_TMF_ext.wg2 next shot	single-frequency traces save uplaad marga mode separation	rput curve 7
sampling: 1 ms (1000 Hz) - 1001 samples	type# (high of group velocity ineer o	a handle set and
minimum offset: 0 m		1000 Show location
geophone spacing: 3 m		Site Response
	Now you can compute the velocity spectrum	
normalized traces		Back Scattering
0		picking
		picking
		show/4k
		auto cicking
0.2		
		-dispersion curves
0.3		solott mate V
		to select the last
		considered mode
		oris the right ballen
		save picking 7
0.6 5 ) } {		
		cancel picking
0.7		
0.8		
		investor
0.9		inversion
		joint D+HV inv.
0 5 10 15 20 25		
offset (m)	modelling	C
	Vs Qs Pelsson thickness upload mod synthetics (FVS)	5
	7 about Poisson 80 7 0.03 0.3 THF v 512 v	H H
	130 11 0.35 0.6 sever m.del	ų.
	100 13 0.35 STOOM M & R STOOM M & R	3
	100 16 0.35 Z refresh store model	ົງ
resampling data selection filtering & spectra refr. & refl.	general setting	Ū
0.5 v activite filter cancel NOTES refr./refl. 0.2	Lave v 5 phase ve v 200 21 0.50 9 compute synthetics (FVS)	č
Antibusha (D)Md and		$ \geq $
resample solect 80 spectra Lpiced save	0 Reference dipth Refraction 400 33 10 effective (passive)	<u> </u>
accept cance save machinem modify offsets the polarity refresh	eso 67 0.25 4) automatic Q values	2
	1333 100 0.2 100 reporting	$\leq$
a di sa la di Alendiana	HV (surface waves)     103     113     115     200     40     max starth	5
other tools & seming	2403 200 0.15 100 max dipant report EVS	2
1 lime to visualize (s) show cut zoros@psitemeve fip all traces show 3D data test ampitude zoro padding		5
		>

Dobbiamo ora flippare l'ordine delle tracce (pulsante "flip all traces"):



A questo punto dobbiamo sistemare gli *offset* (di fatto saranno gli stessi per le tracce di destra e di sinistra):



Alla fine si salverà il dataset. Lo stesso tipo di operazioni si farà per selezionare le tracce "di destra" (le tracce 10-18).

A questo punto potremo confrontare tracce e spettri di velocità di fase grazie allo strumento "**compare 2 [active] datasets**" presente nel pannello delle *utilities* accessibile dalla schermata principale di winMASW.

Si caricheranno *entrambi* i *dataset* assieme (tieni premuto il pulsante "Ctrl") e verranno prodotte una serie di figure utili al confronto delle tracce. Tutte le figure saranno automaticamente salvata all'interno di una cartella ("comparing\_active\_traces") che verrà creata automaticamente all'interno della cartella di lavoro.

amplitude normalized amplitude 0.2 0.2 0.4 0.4 9.0 (s) (s) **e** 0.6 0.8 0.8 \_dx3\_mo1.5\_WEST first9traces.sgy mo1.5\_WEST rst9traces.sg mo1.5 dx3 EASTT9channels.sgy THF mo1.5 dx3 EASTT9channels.sov 1.2 1.2 0 10 15 20 25 0 10 15 20 25 offsets (m) offsets (m)

Ecco qui alcune delle immagini create:

Comparazione tra le tracce sismiche di destra e sinistra: si verifica una sostanziale identità con solo lievi differenze tra le tracce più distanti (il tutto indice dunque si sostanziale uniformità dell'area campionata – situazione sostanzialmente 1D).





### Vengono anche computate (e salvate) le tracce ottenute dalla *somma* e dalla *differenza* tra i due *dataset* caricati (immagine qui di seguito).



#### U10. Computo in modalità batch di dati passivi per HVSR [con commenti]

Nel caso si abbiano molti punti presso i quali computare l'HVSR, l'operazione si può svolgere (come abbiamo visto) in modalità *batch* (per dettagli vedi la pertinente sezione nella sezione dedicata all'HVSR).

Qui un esempio di file ASCII di progetto per un caso in cui abbiamo 14 punti in linea. I dati mostrati risultano problematici in due punti e viene mostrato come le potenzialità di questo strumento risultino utili per risolvere il problema illustrato.

www.winM/	ASW.com							
# HVSR batch	processing #							
0								
0								
0 16.7107	/ 32.40386	54.37693	86.72191	104.2671	l 121.	6846	138.7052	155.8513
172.2376 1	86.0155 221.1	1027 234.65	533 252.6	6087				
418.4 41	8.1 418.3	418.4	418.5	418.5	418.2	417.9	417.1	415.6
414.8 412	<u>2.9</u> 412.6	412.6						
HVSR_point1.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point1.jpg						
HVSR_point2.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point2.jpg						
HVSR_point3.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point3.jpg						
HVSR_point4.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point4.jpg						
HVSR_point5.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point5.jpg						
HVSR_point6.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point6.jpg						
HVSR_point7.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point7.jpg						
HVSR_point8.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point8.jpg						
HVSR_point9.	SAF 1 1 2 3 HVS	R_point9.jpg						
HVSR_point10	).SAF 1 1 2 3 HV	SR_point10.jpg	]					
HVSR_point11	.SAF 1 1 2 3 HV	SR_point11.jpg	]					
HVSR_point12	2.SAF 1 1 2 3 HV	SR_point12.jpg	]					
HVSR_point13	SAF 1 1 2 3 HV	SR_point13.jpg	]					
HVSR_point14	.SAF 1 1 2 3 HV	SR_point14.jpg	9					

Caricando questo file di progetto (in questo caso generato automaticamente dalla routine PS-MuCAA del pannello ESAC) nel pannello HVSR, otterremo gli HVSR per ciascun punto ed una serie di ulteriori grafici che definiscono, in un certo senso, una sorta di sezione 2D dei microtremori (tanto gli spettri di ampiezza delle singole componenti che l'HVSR).



#### Posizione lungo la linea e topografia



Spettri di ampiezza (ampiezze reali e normalizzate) per le componenti EW, NS e Z (UD).



HVSR (ampiezze reali): si notano due punti (#7 e #9) in cui, alle basse frequenze, l'HVSR risulta sballato. Questo è (inevitabilmente) chiaro anche esaminando gli spettri di ampiezza riportati nella pagina precedente.



Spettri di ampiezza e HVSR (ampiezze reali mostrate secondo diverse prospettive).

Dovrebbe essere abbastanza chiaro che, in due punti (#7 e #9), gli HVSR risultano chiaramente sballati. Fortunatamente, alla fine della routine, il software offre la possibilità di sistemare il problema. Infatti, mostrando le curve HV ottenute, il software chiede se esistono punti da "sistemare" in quanto sballati (capita non troppo di rado che, per motivi a volte insondabili, alcuni HVSR hanno un andamento sballato – vedi grafici sopra riportati).

In questo caso possiamo dire al software di sistemare (interpolando gli HVSR) per i punti #7 e #9. Ecco qui di seguito cosa si ottiene: sulla sinistra gli HVSR originali [con un paio di punti sballati] e sulla destra quelli ottenuti dall'interpolazione.



U12. <u>Pannello componente singola</u>: analisi FVS della componente ZVF solo per un'indagine superficiale (geotecnica) [alte frequenze]



componente ZV, mo (minimum offset): 4 m, dx (distanza geofonica): 0.5 m

Per questa indagine è stata utilizzata solo la componente ZVF (geofoni verticali). Dati e analisi sono riportati e brevemente commentati nelle figure seguenti. Il piccolo artefatto intorno ai 60 Hz è il risultato del filtro Notch a 60 Hz lasciato inavvertitamente attivo durante l'acquisizione dei dati (nessun grave danno).



Tracce di campagna e spettri delle velocità di fase (si noti la gamma delle frequenze)



### Risultato dell'analisi FVS [Full Velocity Spectrum]: vedi come il modello risulta in ottimo accordo con i dati di campagna?

Le linee nere di contorno (dal modello) corrispondono quasi perfettamente alle velocità di campagna.


Ora possiamo provare a plottare le curve di dispersione modale:



Come si può vedere chiaramente, il segnale non riguarda modi semplici e "singoli". Ad esempio, il segnale tra 1 e 150 Hz riguarda il modo fondamentale (ricordiamo che il piccolo artefatto a 60 Hz è dovuto al filtro Notch utilizzato durante l'acquisizione). Il messaggio (vedi i nostri libri e articoli a riguardo): un segnale continuo (nello spettro delle velocità di fase) non è necessariamente dovuto/attribuito a un singolo modo poiché i modi possono interlacciarsi e creare una "continuità fuorviante". Questo è il motivo per cui raccomandiamo l'analisi congiunta di dati multi-componente.

Letture consigliate [disponibili nella chiavetta USB di winMASW]: <u>Surface wave analysis:</u> <u>improving the accuracy of the shear-wave velocity profile through the efficient joint</u> <u>acquisition and Full Velocity Spectrum (FVS) analysis of Rayleigh and Love waves, Dal</u> <u>Moro G., 2019, Exploration Geophysics</u>

**Esercizio suggerito** per verificare se la soluzione trovata considerando le velocità di *fase* è in accordo anche con le velocità di *gruppo*: vai al pannello "**Joint Analysis of Phase & Group Velocities**", calcola gli spettri di velocità di gruppo e procedi con la modellazione.



Dati gentilmente concessi da Joe Gouthro (Shallow Earth Technologies Inc. - Calgary, Canada)

## U13. <u>Pannello analisi congiunta</u>: analisi congiunta delle due componenti delle onde di Rayleigh waves per studi molto superficiali [alte frequenze]

Nelle due immagini seguenti sono mostrati i geofoni orizzontali utilizzati per registrare le componenti R (radiale) e T (trasversale) [acquisizione della componente Z non mostrata per ovvi motivi]. Sono stati utilizzati 21 canali con una spaziatura dei geofoni di soli 20 cm.



#### Acquisizione della componente R [onde di Rayleigh]

Acquisizione della componente T [onde di Love]



www.winMASW.com - geophysical software & services

**Primo "problema": sono necessari 21 canali (o più)?** La risposta è ampiamente spiegata e commentata nei nostri libri Flaccovio, Elsevier e Springer ed è riassunta nelle prossime due figure che chiariscono che l'uso di 21 o 10 canali non altera significativamente gli spettri delle velocità di fase. D'altra parte va **sottolineato con forza** che lavorare con due (o più) componenti è un punto chiave se si vogliono superare le ambiguità necessariamente presenti nell'analisi delle onde di superficie [vedi la sezione "**1.3 Non unicità della soluzione: problemi e soluzioni**" del libro Springer]. Se il tuo scopo è ottenere il profilo V<sub>S</sub> corretto, lavorare con una sola componente è, semplicemente, sbagliato/inadeguato (in termini generali).



Decimazione delle tracce per le componenti Z, R e T



100

frequency (Hz)

120 140 160 180

20

40 60 80

2.20 minimasw.com

יוסס:אפפשרואיאאא







#### Alcuni modelli/inversioni FVS: Z+T [senza anisotropia]

Abbiamo selezionato le componenti Z e T (cioè la componente verticale delle onde di Rayleigh e le onde di Love) e abbiamo eseguito un'inversione congiunta FVS congiunta con i risultati mostrati nel seguente *snapshot*:



Poiché la lunghezza dell'array è di solo 4 m, possiamo considerare il modello sufficientemente affidabile solo fino a circa 2-3 m di profondità:



Il modello ottenuto è stato poi utilizzato per verificare la consistenza della componente R. Qui il buon accordo generale:



#### Pochi commenti

Ricorda che le onde di superficie possono essere utilizzate per diverse applicazioni (non solo per il famigerato parametro Vs30). Considera che:

1) solo l'*inversione congiunta* può salvarci da tutte le possibili ambiguità che possono altrimenti fuorviare le nostre analisi (nel caso si lavori con una sola componente/ *observable*);

2) le curve di dispersione modale spesso non sono adeguate per "comprendere" correttamente *datasets* complessi e l'approccio FVS è un potente strumento per imparare a gestirli.

#### U14. Pannello ESAC – Sezione PS-MuCAA: esempio di dati passivi multicomponente per la verifica della continuità laterale

#### manual-in-progress

Per il seguente esempio abbiamo registrato le 3 componenti (Z, R e T) utilizzando 18 canali. Le tre componenti sono state registrate non contemporaneamente ma in successione (prima la Z, poi la R e infine la T).



Acquisizione della componente R: l'asse del geofono è parallela allo stendimento.

moo.wsemniw.www

שםאאפהחואיאאא

moo:wsemnlw.www





6 time (min)







10 channels





I dati

12

10

### U15. Inversione congiunta delle curve di dispersione effettive delle componenti R e T da dati passivi

manual-in-progress

Per il seguente esempio abbiamo registrato le 3 componenti (Z, R e T) utilizzando 18 canali. Le tre componenti sono state registrate non contemporaneamente ma in successione (prima la Z, poi la R e infine la T).

#### Acquisizione della componente R

#### Acquisizione della componente T

ps

Si ricordi che con le **procedure SuPPSALA e PS-MuCAA** si accede al mondo del 2D (vedi manuale e libro "Lezioni di sismica" del 2023).

### U16. Un ulteriore esempio di analisi congiunta FVS delle componenti R e T + HVSR

Classico esempio dell'approccio che caldeggiamo per i lavori di professionali "ordinari": utilizzando i soli geofoni orizzontali registriamo la componente Radiale (R) delle onde di Rayleigh e le onde di Love (componente THF).

Le tracce relative al canale#13 (offset 20 m) sono state rimosse in quanto il relativo geofono presentava alcuni piccoli problemi (ricordate che *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* gestisce senza problemi dati non equi-spaziati).



Un occhio competente realizza pressoché immediatamente che le onde di Rayleigh (parte superiori del pannello) sono dominate da modi superiori (si noti come le velocità che caratterizzano lo spettro delle onde di Rayleigh sono significativamente maggiori rispetto quelle delle onde di Love).

Usare dunque le sole onde di Rayleigh è rischioso in quanto è possibile fraintendere modi superiori per il modo fondamentale andando a sovrastimare le V<sub>S</sub> (cosa purtroppo frequente in molti lavori).

Dopo un po' di modellazione diretta (anche congiuntamente all'HVSR), riusciamo ad ottenere un modello in ottimo accordo con i dati. Eccolo (trattando la dispersione secondo l'approccio FVS):





Se vogliamo vedere come si comportano le curve modali ecco qui il relativo *snap* (si vede molto come mentre le onde di Love sono, *comme d'habitude*, dominate dal modo fondamentale, quelle di Rayleigh sono in gran parte dominate dal primo superiore e da modi ulteriori (il fondamentale è praticamente assente).



Si ricordi che i modi superiori sono qualcosa che, quando correttamente compresi e sfruttati, sono assolutamente utilissimi in quanto consentono di meglio vincolare il modello del sottosuolo. Il problema è quando, analizzando una sola

componente, i modi vengono fraintesi (*misintepreted*) e portano a errate ricostruzioni del sottosuolo.

#### U17. Pannello ReMi: esempio analisi componente T (Love) da array lineare equispaziato

Nello *snapshot* sottostante, è mostrato il **pannello ReMi** (accessibile dal pannello principale di winMASW<sup>®</sup>). Qui è possibile caricare i dati (equi-spaziati o meno – nella versione **Academy** è possibile lavorare anche con dati non equi-spaziati) e, una volta impostati correttamente tutti i parametri (corretta distanza dei geofoni [in questo caso 5 metri], limiti di frequenza e velocità, lunghezza della finestra di analisi) possiamo lanciare l'elaborazione (in questo caso chiediamo al software di mostrare solo gli spettri di velocità medi).

Per questo esempio, attiviamo anche l'opzione ESAC in modo da confrontare il risultato ottenuto dall'approccio ReMi (cioè la tecnica *phase shift* applicata a dati passivi) con quello ricavato dall'*Extended Spatial AutoCorrelation*.

		velocity s	pectrum:	limits
		frequency (Hz)	4.8	17
www.winma	asw.com		min	max
		velocity (m/s)	165	1200
nnut file(s) 📿 Recample to 7 ms (Ny)	nuist: about 71 Hz1		min	max
		🖂 show average sp	ectra only	
irst dataset: MAM_4529_T.dat ampling: 8 ms [125 Hz] ecord length: 29 min		3 window length (in seconds) for spectra calculation		
4.4.		minimum value (s): 1		
data parameters		maximum value (s): 6	0	
5 geophone distance (m)		SAC		
0.008 sampling rate (s)		smooth and normalize		
	show traces & spectra	1 number of channels for smoothing		
		7 smoothing (%)	for the Sp	ectral Ratio
				compute

Cliccando il pulsante "compute", si ottengono immediatamente due figure:

1) la prima con l'array

2) la seconda con gli spettri di ampiezza di ciascun canale e i rapporti spettrali rispetto al primo canale (per capire che tipo di informazioni si possono ottenere da questi grafici, si veda Dal Moro & Stemberk, 2022)

È inutile dire che, come per qualsiasi acquisizione sismica (passiva o attiva), le acquisizioni devono essere effettuate utilizzando geofoni omogenei (con la stessa identica *curva di risposta*) e lo stesso valore di guadagno (se presente).



#### linear geophone array [ReMi panel]

www.winMASW.com - geophysical software & services



Dopo qualche secondo, si ottiene la figura finale con tre spettri di velocità di fase: quello ottenuto considerando la direzione dalla prima all'ultima traccia, quello che considera la velocità di propagazione opposta e quello medio (ottenuto semplicemente mediando i primi due spettri di velocità). Poiché in questo caso abbiamo attivato anche l'**opzione ESAC**, in sovrapposizione ai tre spettri di velocità viene mostrata (vedi puntini magenta) anche la dispersione ottenuta tramite ESAC.

Dai risultati qui ottenuti, possiamo fare alcune osservazioni. Se confrontiamo gli spettri di velocità da ReMi (cioè da *phase shift*) e la dispersione ottenuta dall'ESAC, possiamo notare qualcosa di "particolare" in quanto i due coincidono (la massima coerenza degli spettri di velocità e la curva di dispersione da ESAC hanno le stesse velocità). Questo *non* è chiaramente in accordo con il **paradigma generale** spesso evocato quando si considera l'approccio ReMi, il quale considera che la dispersione è rappresentata dal "limite inferiore" dello spettro di velocità ottenuto (si veda la letteratura pertinente).

In questo caso, la velocità corretta/reale (identificata attraverso l'ESAC) corrisponde al *massimo* dello spettro di velocità ottenuto da ReMi e non al *limite inferiore*. Il motivo è molto semplice: il campo dei microtremori di fondo non è distribuito in modo omogeneo (azimutalmente), ma sono presenti sorgenti dominanti in linea con l'*array* (in questo caso l'*array* era infatti perpendicolare a due strade trafficate che corrono una a nord e una a sud – una era più vicina dell'altra e questo è mostrato dagli spettri di ampiezza ottenuti all'inizio del calcolo).



### U18. Rimozione automatica di componente industriale da curva HVSR: esempio commentato

In questo esempio viene mostrata la rimozione di una importante componente industriale ad una frequenza in cui è presente anche un picco HVSR "naturale". Anzitutto calcoliamo il rapporto spettrale H/V nel modo consueto (immagine seguente).



Insieme ai grafici ordinari, vengono mostrate anche le funzioni di coerenza e gli spettri d'ampiezza pressoché non smussati (per i dettagli si veda la sezione dedicata al **Computo, analisi e modellazione HVSR** di questo manuale).



La presenza di una componente industriale a circa 1.5 Hz è evidente, ma cerchiamo di caratterizzare ulteriormente ciò che accade a 1.5 Hz considerando attentamente i ulteriori grafici/analisi.

Possiamo infatti verificare la presenza di componenti industriali attraverso analisi più approfondite. Nella figura seguente è mostrata la direttività **della componente orizzontale** (cioè lo spettro di ampiezza sul piano orizzontale in funzione dell'azimut): a 1.5 Hz l'ampiezza è apparentemente molto direttiva (varia cioè molto con l'azimut).



Se ora calcoliamo il **moto della particella lungo i tre piani** considerando i **dati grezzi o una frequenza in cui non sono presenti segnali industriali**, otteniamo una serie di grafici per così dire "caotici" privi di un andamento specifico (l'immagine in basso si riferisce ai 2 Hz, in cui *non* vi sono segnali industriali). Ricordiamo che questo tipo di grafici si ottiene con il pulsante "**Particle Motion & TLLA**" (se non inseriamo alcun valore nella casella alla sua sinistra si andranno a considerare i dati grezzi mentre se inseriamo una certa frequenza si analizzerà il moto della particella a *quella* specifica frequenza).



Se invece chiediamo al software di mostrare il **moto della particella a 1.5 Hz** (inserendo 1.5 nella casella a sinistra del pulsante "**Particle Motion & TLLA**") otteniamo i seguenti grafici, che mostrano chiaramente una causa "artificiale": un moto estremamente regolare e quindi non attribuibile al campo dei microtremori naturali (per loro natura non-correlati).



Tutte queste evidenze mostrano chiaramente l'origine industriale della componente a 1.5 Hz che ora vogliamo rimuovere dall'HVSR. Possiamo farlo utilizzando il pulsante "**processing industrial signals**" dopo aver impostato correttamente i due semplici parametri nelle due caselle a sinistra del pulsante (per dettagli vedi pertinente sezione di questo manuale e il libro "Lezioni di sismica" del 2023).



In alto a sinistra l'HVSR originale [curva rossa] e quello elaborato (privo della componente industriale identificata) [curva blu]. Come di consueto, tutte le figure vengono salvate automaticamente nella cartella di lavoro.

# U19. Dal pannello "analisi congiunta delle velocità di fase e di gruppo" (singola componente): modellazione congiunta degli spettri delle velocità di fase e di gruppo (approccio FVS) insieme all'HVSR e ai tempi di arrivo della rifrazione

Si considera qui un dataset ZVF attivo (non equi-spaziato) con solo 5 tracce che ci permette di analizzare congiuntamente sia le velocità di fase che di gruppo (queste ultime definite considerando unicamente l'ultima traccia - vedi quadratino rosso) sia la curva HVSR da un'acquisizione passiva. Poiché stiamo considerando un numero molto limitato di tracce (lunghezza dell'array 52 m), lo spettro delle velocità di fase mostra anche l'effetto dell'*aliasing* spaziale. Questo non rappresenta un vero e serio problema poiché la dispersione reale è perfettamente chiara (nell'intervallo di frequenza 5-17 Hz la dispersione mostra velocità di fase di circa 160-280 m/s). Naturalmente, se si aumentasse il numero di tracce, l'aliasing spaziale scomparirebbe (si vedano i nostri libri pubblicati per la Flaccovio Editore).



Il seguente *snapshot* riporta la modellazione congiunta di quattro *osservabili*: le velocità di gruppo e di fase delle onde di Rayleigh (tramite FVS), l'HVSR e i tempi di arrivo della rifrazione delle onde P (chiaramente sono da considerare solo i primi arrivi). Nel caso in cui si analizzasse la componente THF si considererebbero le onde Love e la rifrazione delle onde SH.





#### www.winmasw.com



# Appendice V: gestione di foto geo-referenziate multiple [esplorazione di lunghe linee]

Questo *tool* è presente tra le *utilities* di *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* e *HoliSurface*<sup>®</sup> e ha lo scopo di gestire in modo efficiente l'esplorazione (soprattutto via HVSR) di ampie aree/profili, dove la precisione del posizionamento non è un fatto importante e un errore relativamente grande (di solito 3-4 m) non rappresenta un vero problema. Questo aspetto va approfondito con un esempio concreto. Immaginiamo di voler evidenziare possibili variazioni laterali lungo un profilo relativamente lungo con dati passivi (HVSR / ESAC o interferometria). Consideriamo ora il caso HVSR.

#### step#1 (in campagna)

Ad ogni punto di misura scattare una foto con il nostro *smartphone*, *action Camera* o qualsiasi altro strumento – vedere la sezione "Dati GPS delle nostre applicazioni software (winMASW<sup>®</sup>, HoliSurface<sup>®</sup> & ELIOVSP<sup>®</sup>)".



Immaginiamo di voler considerare 12 punti/foto (in questo caso lungo un profilo di più o meno 170 m).

#### step#2 (in studio/ufficio)

Per prima cosa è necessario nominare (ri-nominare) i files delle foto in modo sequenziale in modo che il primo carattere sia il numero progressivo della posizione lungo il profilo investigato. Ad esempio: 1\_site1.jpg; 2\_site2.jpg; 3\_site3.jpg; 4\_site4.jpg etc.

#### step#3

Una volta che abbiamo messo tutti i *files* delle foto nella stessa cartella (da impostare come cartella di lavoro dal pannello principale di *winMASW*<sup>®</sup>/*HoliSurface*<sup>®</sup>, possiamo ora cliccare sul pulsante **"foto e dati GPS**" (tra le *utilities*) e caricare le dodici (12) foto contemporaneamente (la selezione di file multipli è possibile con il **pulsante** *ctrl*).

HoliSurface® - utilities	- • ×
HS	HS utilities
-/~-	managing active data
managing passive data	vertical stack
TCEMCD	assemble VF/EX with HF
double MAAM	compare 2 datasets
concatenate HVSR (SAF)	compare N datasets
	average velocity spectrum
SEC to SAE conversion	
	post-processing & miscellanea
2D and 3D data	ac/Nspt-Vs
upload & show GRD file	elastic moduli
2D velocity contouring	Vs30 at foundation
3D project/visualization	Stacky's equation
	Slesky's equation
DTM tool	scientific calculator
photos & GPS data	area percentage

In alternativa al caricamento delle 12 foto in questo modo, è anche possibile caricare un "**file di progetto**" in forma di banale file ASCII (quindi con estensione .txt) in cui vengono riportati i files di ogni foto (uno per riga).

Qui un **esempio di file di progetto** (esempio "project\_file.txt") per il caricamento di 4 foto:

2\_20210826\_181153\_HDR.jpg 4\_GPS\_2021-09-08\_12-07-36-968.jpg 9\_2021-09-08\_12-12-29-076.jpg 13\_20210831\_160123.jpg

### Che differenza c'è dunque tra il caricare direttamente le *n* immagini o utilizzare un file di progetto?

Una sola (ma dal punto di vista pratico molto importante): nel caso si carichino direttamente le immagini è necessario che siano ri-nominate come sopra sottolineato se vogliamo che la sequenza sia quella corretta e quindi le lunghezze corrette.

Se invece utilizziamo un file di progetto non è necessario nominare i files delle immagini in modo sequenziale perché la sequenza utilizzata sarà quella indicata dal file di progetto stesso. In quest'ultimo caso le immagini potranno avere dunque nomi qualsiasi (sito1.jpg, 2ns\_site.jpg, 2021-09-09.jpg eccetera).

Ora otterrai automaticamente le seguenti immagini (salvate, come sempre, automaticamente nella cartella di lavoro):



Immagine riassuntiva con tutte le foto caricate

Nella cartella di lavoro, per ogni foto otterrai una "figura riepilogativa" e un file kml con lo stesso nome delle foto caricate (es. "SiteLocation\_4\_number4.kml") [che ovviamente possono essere poi facilmente caricate/utilizzate in **Google Earth**].



Tre immagini con lo stesso significato: la posizione dei dodici siti con tre modi leggermente diversi di visualizzare tali informazioni (puoi scegliere quello più adatto alle tue esigenze e preferenze). Nell'angolo in basso a destra sono riportate le distanze lineari (modificabili) dal primo punto. È possibile evidenziare l'intera sequenza e copiare e incollare i valori ottenuti ovunque sia necessario.

Ad esempio è possibile copiare e incollare una sequenza di questo tipo (cioè le posizioni in linea) nel *file di progetto* che può essere utilizzata per elaborare automaticamente *in batch* tutti i dati HVSR (vedi Appendice "**elaborazione** *in batch* di dati HVSR multipli" – quinta riga del *file di progetto*). Inutile dire che puoi modificare/correggere errori dovuti ad inesattezze del dispositivo che hai utilizzato per scattare le istantanee in campagna.





I numeri delle posizioni (*inline positions*) sono anche automaticamente salvati (sempre nella cartella di lavoro) come **files ASCII (.txt)**. Si otterranno dunque i due seguenti files:

#### Distances\_from\_the\_first\_point\_in\_meters.txt

#### From\_the\_distances\_between\_adjacent\_points\_in\_meters.txt

All'interno sono riportati i valori mostrati nell'angolo in basso a destra delle immagini sopra mostrate.

La seguente sezione HVSR 2D è solo un esempio di applicazione concreta delle distanze ottenute considerando la procedura descritta nell'Appendice "**elaborazione in batch di dati HVSR multipli**". In pratica: una serie di dati HVSR sono stati raccolti lungo un profilo. Per ogni punto è stata scattata una foto geo-referenziata.

Le foto sono state caricate con lo strumento descritto in questa Appendice ed è stata quindi ottenuta la posizione dei punti lungo il profilo (ovviamente è stato considerato un semplice profilo lineare).

In questo caso la lunghezza del profilo è di circa 700 m e il numero di punti considerato è 18 (con una migliore visualizzazione nei primi 350 m [maggiore densità di punti]).





Qui di seguito un ulteriore esempio in relazione all'esplorazione di una vasta area in centro Europa:



Si ricordi come nella cartella di lavoro vengano automaticamente salvati i files *kml* per ciascun punto.

Vedi anche l'Appendice "elaborazione in batch di dati HVSR multipli".

# Appendice W: elaborazione *batch* di dati HVSR multipli [anche per ricostruzioni 2D]

L'elaborazione di una grande quantità di dati HVSR può richiedere molto tempo. Per farlo automaticamente (risparmiando così tempo ed energia) puoi utilizzare questo strumento (disponibile in *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* e *HoliSurface*<sup>®</sup>). Basta scrivere e salvare un semplice file di progetto ASCII e caricarlo poi utilizzando il pulsante "**Multiple HVSR batch processing**" nel pannello HVSR.

😅 S2S 🛃 🎯   $f_c$   🐙	l 🖑 🔍 G	🐛 📰 🤣 🧶 🤣 🔍 🗓 🕘 M 📗 🕨 纲
show current data	reset	multiple HVSR batch processing
ste	ep#1 (op	tional) - decimate
64 Hz v new	frequency	resample

Tutti i file da elaborare devono essere archiviati nella stessa cartella in cui si trova anche il file di progetto.

Un esempio di dati e di file di progetto è fornito insieme al software winMASW/HoliSurface nella cartella "**Self\_Training\_Data\_Dissemination**" (vedi sottocartella "Automatic\_2D\_HVSR\_section\_data\_and\_projectfile").

Il file di progetto è un semplice file ASCII con la seguente struttura/contenuto (prova ad aprire il file fornito "project\_file\_18points.txt"):

The Hill Project 2D HVSR section#1 290 350 0 725 0 7 13 23 57 80 85 110 118 127 137 146 190 220 287 327 507 47 46 45 43 42 41 39 37 36 36 36 35. 35. 35 36.5 36 35.5 35.5 firstPOINT.SAF 1123 photo\_site1.jpg secondPOINT.seg2 1 1 2 3 photo site2.jpg locationTHREE doubleHOLI3C.seg2 1 1 2 3 photo site3.jpg locationTHREE doubleHOLI3C.seg2 2 6 5 4 photo\_site4.jpg . . .

#### Significato di ogni riga del project file

Prima riga: nome del progetto

**Seconda riga:** in questa riga devi inserire <u>una semplice nota</u> per te (utile ad esempio a ricordare in futuro di che tipo di progetto si tratta)

**Terza riga:** <u>la velocità media (Vs)</u> tra la superficie e l'orizzonte/contatto che si desidera seguire (Vs equivalente). Questo può essere ad esempio il contatto tra uno strato soffice poco profondo (es. limo) e uno strato di ghiaia (questo tipo di contatti può creare picchi HVSR molto grandi) o il contatto tra uno strato quaternario e il substrato roccioso. Ricorda che un picco HVSR non si riferisce necessariamente al *bedrock*.

Se metti più di un valore, la conversione da frequenze a profondità verrà fatta per tutti i valori di Vs inseriti.

**Quarta riga:** questa è il *flag* "<u>iberna computer</u>". Se "1" (uno) all'inizio dell'elaborazione in batch il computer si spegnerà automaticamente (ciò può essere utile, ad esempio, nel caso in cui si stia elaborando in batch una grande quantità di dati e si desidera avviare la procedura e dimenticarsene); nel caso il valore sia "0" (zero), al termine della procedura il computer non andrà in ibernazione.

**Quinta riga:** la <u>posizione</u> di ogni punto (in metri) [vedere anche Appendice "*Gestione di foto multiple geo-referenziate [esplorazione di grandi aree]*"]

**Sesta riga:** la <u>topografia</u> per ogni punto (in metri). Nel caso in cui non sei interessato a tale funzionalità, inserisci il valore zero (0).

Settima (e successive) riga/righe. In queste righe devono essere fornite quattro (4) informazioni:

- 1) il <u>nome del file</u> dei tuoi dati di microtremore (considerati sia in formato SAF che in formato seg2)
- 2) il geofono triassiale considerato (<u>il nostro file seg2 può contenere dati relativi a</u> più geofoni triassiali! vedi poco oltre in questa sezione)
- 3) la sequenza delle tracce verticale, NS e EW per il geofono considerato
- 4) il nome della foto georeferenziata relativa al punto considerato (un qualsiasi nome va inserito anche se in pratica non abbiamo alcuna foto – in questo caso basta inserire ad esempio "photo1.jpg")

# Riguardo al numero del **"geofono triassiale considerato**" il punto deve essere molto chiaro.

Con alcuni *sistemi di acquisizione* è possibile registrare più dati "HVSR" contemporaneamente, in più posizioni. Ad esempio, con il nostro sistema, puoi **collegare facilmente due geofoni HOLI3C (a 3 componenti)** e conseguentemente registrare i dati per ottenere le curve HVSR in due posizioni diverse.



Quando utilizzi due (o più) geofoni contemporaneamente, il tuo file conterrà chiaramente più di 3 tracce. Consideriamo qui il semplice caso di 2 geofoni triassiali che registrano simultaneamente i dati. Avrai chiaramente un *dataset*/file finale con 6 tracce (3 relative al primo geofono/sito e 3 relative al secondo geofono/sito). Per gestire facilmente questo tipo di dati HVSR multipli nel tuo progetto, puoi facilmente specificare/definire il significato del tuo file di dati nel *file di progetto*. Se, ad esempio, il file si chiama "locationTHREE\_doubleHOLI3C.seg2", è necessario specificare il significato delle tracce nel seguente modo:

### locationTHREE\_doubleHOLI3C.seg2 1 1 2 3 photo\_site1.jpg locationTHREE\_doubleHOLI3C.seg2 2 6 5 4 photo\_site2.jpg

In questo modo diciamo al software che le prime tre tracce [1 2 3] riguardano il primo geofono (vedi numero rosso) mentre le tracce 6 5 4 riguardano il secondo geofono (vedi numero rosso).

Ovviamente, nel caso in cui abbiamo stiamo utilizzando un singolo geofono, dobbiamo semplicemente scrivere qualcosa come "1 1 2 3" (nel caso in cui la sequenza della traccia sia UD NS e EW) o "1 3 2 1" (nel caso in cui la sequenza della traccia è EW NS UD) [dipende dal *sistema di acquisizione*].

Un'ulteriore situazione possibile è quando l'HVSR deve essere calcolato considerando i dati registrati derivanti da una configurazione congiunta HVSR+MAAM (come nella figura seguente). Per coloro che non hanno familiarità con questa tecnica, MAAM è l'acronimo di *Miniature Array Analysis of Microtremors* (vedi la pagina relativa al <u>software HoliSurface</u> e <u>questo video</u>).



In questo caso il nostro file dati avrà 7 tracce: 3 relative al geofono triassiale e 4 relative ai 4 geofoni verticali utilizzati per la MAAM.

Anche in questo caso è necessario indicare correttamente al software quali sono le tracce UD NS ed EW da utilizzare per il calcolo dell'HVSR. Se, ad esempio, il geofono triassiale fosse collegato ai primi 3 canali del sismografo la linea sarà qualcosa come:

2020-08-06\_18-32\_point13\_HVSR\_MAAM110.seg2 1 1 2 3 photo\_site1.jpg

Invece, se il geofono triassiale fosse collegato agli ultimi canali (quindi i primi 4 canali sono stati utilizzati per i 4 geofoni verticali), la linea potrebbe essere ad esempio qualcosa del tipo:

2020-08-06\_18-32\_point13\_HVSR\_MAAM110.seg2 1 7 6 5 photo\_site1.jpg

In questo caso il sistema e la configurazione sono tali che il settimo canale riguarda la componente UD (verticale), il sesto canale è collegato alla componente NS e il quinto canale alla componente EW.

È quindi di fondamentale importanza che tu sappia esattamente come funziona il tuo *sistema di acquisizione* (ricorda che *Eliosoft* fornisce tutta l'attrezzatura hardware e i software necessari per qualsiasi tipo di applicazione sismica, visita il **nostro sito web**).

#### outputs:

Al termine della procedura si otterranno una serie di cartelle in cui è salvata l'analisi completa di ogni *dataset*. Ad esempio, se il diciassettesimo *file* è denominato "8\_2020-03-03\_15-09HUNTERbis", l'analisi completa verrà riportata in una nuova cartella denominata "HVSRoutput\_17\_8\_2020-03-03\_15-09HUNTERbis".

Otterrai anche una serie di figure con i dati 2D ricostruiti (vedi pagine successive).

#### Procedura raccomandata (prova ad esercitarti con i dati forniti)

- 1) impostare la cartella di lavoro (dove sono archiviati tutti i dati e i file di progetto)
- 2) caricare una foto geo-referenziata dell'area (facoltativo ma consigliato)
- 3) caricare il primo dataset ed eseguire le elaborazioni volte a definire i migliori parametri da utilizzare durante l'analisi di tutti i dati che verranno elaborati in *batch*
- 4) una volta scelti i migliori parametri di elaborazione (lunghezza della finestra, frequenza minima e massima da considerare, *smoothing*, opzioni di equalizzazione, ecc.), attivare le opzioni "full output" e "close windows" e caricare il file di progetto con pulsante "elaborazione in batch di HVSR multipli".

Nelle pagine seguenti, sono riportati i risultati che è possibile ottenere adottando tale procedura (con i dati di esercitazione e il file di progetto forniti).



Nelle seguenti figure sono mostrate le curve degli spettri di ampiezza e gli HVSR normalizzati (per enfatizzare meglio i picchi HVSR e la loro continuità sulle posizioni in linea)









0\_\_\_\_\_2

#### Spettri di ampiezza (ampiezze reali e normalizzate) per le tre componenti [Z, NS e EW].







### HVSR (ampiezze reali) utilizzando due diverse scale di colore:







#### **Ulteriori figure**

### Conversione in profondità utilizzando la velocità riportata nella terza riga del file di progetto (in questo caso 290 m/s).

Topografia, immagine caricata, profondità (avendo utilizzato la velocità media fornita nel file di progetto) mostrate secondo scale lineari e logaritmiche.



### Secondo esempio

Nelle seguenti figure, possiamo vedere il risultato nel caso in cui non venga considerata la topografia.





HVSR: ampiezze reali

**Ampiezze reali:** il grande picco a circa 6 Hz è dovuto ad un canale di torba poco profondo (locale) mentre il picco a circa 0.5 Hz è dovuto al substrato roccioso profondo



curve HVSR normalizzate



### curve normalizzate (prospettiva 3D)
### Conversione in profondità

Le due figure qui mostrate sono ottenute considerando due diversi valori medi di Vs (terza riga nel file di progetto): 50 m/s 380 m/s.

Questi due valori sono stati fissati considerando le caratteristiche specifiche del sito. Mentre il picco HVSR a circa 0.5 Hz è dovuto al substrato roccioso profondo, il grande picco a 6 Hz è dovuto ad un canale di torba. Le torbiere locali sono caratterizzate da un valore Vs di circa 50 m/s (tale valore è stato ottenuto attraverso l'analisi della dispersione delle onde di superficie – in questo caso tramite MAAM) mentre il valore Vs medio per l'intera colonna stratigrafica fino al substrato roccioso è stato stimato considerando i dati ESAC.

Utilizzando questi due valori (50 e 380 m/s) nel file di progetto (terza riga) possiamo ottenere la profondità approssimativa del canale di torba (in questo caso circa 3 m) e la profondità del *bedrock*.

















# Appendice X: gestione del sistema di acquisizione *HoliSurface* (acquisitore, cavo sismico e geofono triassiale da noi forniti)

- Per indagini HS, HVSR o misure vibrazionali con un singolo geofono triassiale (HOLI3C):
- 1) Connetti il connettore (femmina) del cavo sismico HoliSurface al connettore (maschio) del sismografo (canali 1-12)
- 2) Connetti il geofono HOLI3C alla fine del cavo sismico (connettore femmina del geofono agganciato al connettore maschio al termine del cavo sismico)



Vedi anche il seguente video tutorial: https://youtu.be/hqjJvAxL6xQ

Ricorda che se desideri acquisire dati attivi per la tecnica HoliSurface [HS] la freccia dell'adesivo sul geofono deve puntare verso la sorgente!

3) Ora, lancia il software di acquisizione (precedentemente installato) e utilizzalo per definire i parametri di acquisizione desiderati (ricordati che se hai connesso in modo corretto il solo triassiale HOLI3C [per raccogliere dati HS, HVSR e/o vibrazionali], dovrai attivare solo i canali 1 2 e 3).

Così facendo le tre tracce che otterrai saranno rispettivamente: la componente Z (verticale) sulla traccia 1, la componente R (radiale, o NS) sulla traccia 2 e T (trasversale, o EW) sulla traccia 3.

#### Due note

a. Nel caso desideri acquisire semplicemente dei dati passivi (ad esempio HVSR o vibrazionali su un edificio/struttura o per misure di cantiere - vedi libro "ACQUISIZIONE E ANALISI DI DATI SISMICI E VIBRAZIONALI PER STUDI DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA E GEOTECNICA"), puoi connettere il geofono HOLI3C direttamente al sismografo (senza il cavo sismico!). Se lo connetti al connettore 1-12 dovrai (come precedentemente visto) attivare i canali 1 2 e 3 (che saranno, come visto anche nel caso si usi il cavo sismico HS, rispettivamente la componente Z, R (o NS) e T (o EW). Se invece lo connetti al connettore 13-24, dovrai attivare i canali 22, 23 e 24 che (del tutto specularmente) saranno ora le componenti T R e Z. In altri termini, se conetti il geofono HOLI3C al connettore 13-24, le tre tracce che otterrai saranno rispettivamente: componente T (prima traccia), R (seconda traccia) e Z (terza/ultima traccia).

b. In effetti, è possibile collegare il geofono HOLI3C direttamente al sismografo (senza il cavo sismico HS) anche nel caso si desideri effettuare un'acquisizione HS molto "corta" (con offset di indicativamente 2-4 m - utile per definire le velocità degli strati più superficiali). Osserva con cura l'immagine (esempio) della seguente foto: il geofono triassiale HOLI3C (sulla sinistra) è collegato direttamente al sismografo, mentre sulla destra si trova la sorgente e il geofono triagger (in questo caso l'offset è di 3.7 m – l'analisi congiunta dei dati attivi e dell'HVSR consentirà di investigare senza significative ambiguità i primi 10-30 m).



Esempio di come ottenere in modo semplice ed efficace un *dataset* multi-offset (per analisi delle *velocità di fase* - che molti chiamano ancora MASW) utilizzando il nostro sistema di acquisizione HS *base* equipaggiato con 4 geofoni a componente singola (usualmente verticali per MAAM) e il triassiale HOLI3C

Il **sistema HS** "**base**" comprende fondamentalmente (oltre alle altre componenti di rito) il sismografo, un geofono triassiale HOLI3C e 4 geofoni a componente singola (quelli verticali sono utilizzati per la MAAM, ma possiamo anche dotarci di geofoni orizzontali in modo da poter acquisire le componenti R e/o T nel caso di sismica multi-offset). Il tutto è comunque facilmente contenuto in uno zaino.



Colleghiamo il geofono HOLI3C alla fine del **cavo sismico HoliSurface**<sup>®</sup> (vedi ad esempio il *video tutorial* introduttivo al sistema *HoliSurface*<sup>®</sup> sul nostro *canale youtube*) e i 4 geofoni a componente singola (in questo caso quelli verticali) a 4 canali del cavo stesso, come nello schema della figura di seguito riportata (per la nomenclatura si vedano i volumi pubblicati per la Flaccovio nel 2012 e 2019 – *dx* è la *distanza intergeofonica* e *mo* l'offset minimo). Il cavo sismico *HoliSurface*<sup>®</sup> va dunque poi collegato al blocco 1-12 del sismografo.

Attenzione: se stiamo utilizzando un cavo sismico HoliSurface<sup>®</sup> da 9 canali e abbiamo collegato il triassiale HOLI3C alla sua terminazione, possiamo utilizzare tutti i 9 canali. Se invece abbiamo un cavo sismico HoliSurface<sup>®</sup> da 12 canali e abbiamo collegato il triassiale HOLI3C, i primi tre canali non possono essere utilizzati in quanto il segnale che proviene dal triassiale viaggia lungo i primi tre canali (in questo caso saranno disponibili i canali/connettori dal 4 al 12, ma non i primi 3).

Se effettuiamo unicamente la prima delle due acquisizioni qui sotto rappresentate, otterremo un *dataset* da 7 tracce [i 4 geofoni a componente singola + le 3 tracce del geofono HOLI3C riferite alle 3 componenti Z, R e T].

Se poi allontaniamo la sorgente di una lunghezza pari a dx/2, otterremo un secondo *dataset* con caratteristiche analoghe ma diversa distanza tra sorgente e primo geofono. Immaginiamo che, in questo caso, i 4 geofoni a componente singola siano geofoni verticali (gli stessi utilizzati per la MAAM).

Nell'esempio di seguito mostrato, la *distanza intergeofonica* (*dx*) e l'offset minimo (mo) della **prima acquisizione** sono stati entrambi fissati in 7 m, mentre per la **seconda acquisizione** la sorgente è stata spostata a 10.5 m dal primo geofono (mo = 10.5 m). Tale valore è semplicemente la somma del precedente mo (7 m) e metà della distanza intergeofonica (7/2 = 3.5).

#### Rimozione tracce non pertinenti

Ora, in *winMASW*<sup>®</sup> Academy, dal pannello di analisi a componente singola carichiamo il primo *dataset*. Per renderlo *omogeneo*, dobbiamo rimuovere le tracce R e T del geofono triassiale (HOLI3C). Se abbiamo svolto tutto correttamente, saranno da rimuovere quindi la seconda e la terza traccia. La **prima traccia** si riferisce infatti alla **componente Z del triassiale HOLI3C** e deve essere mantenuta (in quanto i 4 geofoni a componente singola che abbiamo utilizzato in campagna sono in questo caso geofoni verticali). Per rimuovere tali tracce cliccare il pulsante "*zeros/flips/remove*" e seguire le relative procedure.

#### Modifica offsets

Avendo rimosso 2 tracce, dobbiamo a questo punto modificare gli *offsets* inserendo i valori corretti (pulsante "*modify offset*"). Ora avremo un bel dataset di 5 tracce (riferite alla stessa componente) e con gli *offsets* corretti.

Se l'array non è particolarmente lungo e non siamo troppo interessati alle alte frequenze potrebbe anche bastare un *dataset* da 5 tracce (*l'aliasing* spaziale non è un grosso problema – vedi ad esempio Dal Moro et al., 2003), ma se vogliamo raddoppiare il numero delle tracce (dimezzando la *distanza intergeofonica*), è necessario avere acquisito anche il secondo *dataset* (vedi immagine qui di seguito) e, su tale *dataset*, andranno effettuate le stesse operazioni sopra descritte.

Avremo a questo punto 2 *datasets* da 5 tracce (in questo caso tutte riferite alla componente Z) che potremo assemblare insieme con lo strumento "*combine 2 datasets*" disponibile tra le *utilities* di *winMASW*<sup>®</sup>.



Qui di seguito un esempio di *dataset* da 10 tracce ottenuto esattamente in questo modo (il *dataset* è anche analizzato secondo la tecnica FVS – vedi *contour lines* nere che si riferiscono al modello V<sub>S</sub> sotto riportato e che riproducono molto bene lo spettro di velocità sperimentale [colori in sottofondo]).



È importante ricordare che per l'analisi delle velocità di fase ("MASW") è spesso raccomandabile l'utilizzo dei geofoni orizzontali che consentono di lavorare con le onde di Love e la componente radiale delle onde di Rayleigh (vedi linee guida per l'acquisizione dei dati).

30

500

1500

1000 V<sub>s</sub> (m/s)

La procedura di lavoro è identica con l'unica differenza che nel caso stessimo lavorando con la **componente T** (**trasversale**) andrebbe mantenuta la **terza traccia**, mentre le tracce riferite al geofono HOLI3C da eliminare, a differenza dell'esempio precedente, sarebbero la prima e la seconda (che, se l'acquisizione è stata eseguita secondo lo schema che raccomandiamo, sono rispettivamente la componente Z e R).

### La domanda di fondo

Naturalmente la domanda che dovrebbe sorgere spontanea è: perché lavorare con dati multi-offset (necessari per determinare le *velocità di fase*) se con le *velocità di gruppo* (computate utilizzando un unico geofono) si ottengono gli stessi risultati?

Qui di seguito l'analisi FVS delle *velocità di fase* (sopra) computate considerando tutte le 10 tracce dell'esempio precedentemente illustrato e l'analisi FVS delle *velocità di gruppo* (sotto) computate considerando <u>unicamente</u> l'ultima traccia (quadratino rosso in corrispondenza dell'ultima traccia). Il modello di sottosuolo è lo stesso. Ciò dimostra come lavorare con le velocità di gruppo (una sola traccia) o con le velocità di fase (dati multi-offset) sia di fatto equivalente (vedi ampia letteratura disponibile).



La risposta alla *domanda di fondo* **non** è quindi rintracciabile seguendo la logica e le più consolidate evidenze tecnico-scientifiche, sempre e anche considerando che un professionista **non** è pagato per "effettuare una MASW" ma per determinare i valori delle V<sub>s</sub> (seguendo il metodo più appropriato in base al sito e agli obiettivi - e di metodi ve ne sono moltissimi...).

### Appendice Y: HoliSurface<sup>®</sup> in winMASW<sup>®</sup> Academy?

Questa sezione si dedica ad affrontare un punto molto specifico: posso sviluppare il metodo HS in winMASW<sup>®</sup> Academy 2021?

Innanzitutto chiariamo cosa sia HS. Si tratta di analizzare le **velocità di gruppo** (non quelle di **fase**) di una o più componenti (chiaramente anche congiuntamente all'HVSR).

**Cosa differenzia dal punto ti vista pratico le velocitò di fase da quelle di gruppo?** In estrema sintesi possiamo dire che mentre per definire le **velocità di fase** sono necessarie tracce a diversi *offset* (vedi tutti i metodi quali le cosiddette MASW, ReMi, ESAC, SPAC eccetera), per le **velocità di gruppo** è sufficiente un unico *offset* (quindi un unico geofono).

Per motivi che dovrebbero essere ovvi, *tutta* la sismologia è basata sull'analisi delle velocità di gruppo determinabili grazie all'analisi di sismi di cui è noto il *tempo d'origine* e l'epi/ipocentro.

Un documento introduttivo (da leggere con estrema calma e attenzione) a HoliSurface<sup>®</sup> è disponibile dal seguente link: http://download.winmasw.com/documents/brochure HoliSurface.pdf

Il **software HS** (visita il sito **www.winMASW.com**) consente di analizzare dati sismici e vibrazionali (di vario genere) secondo una serie di metodologie accumunate da una specifica caratteristica: l'acquisizione dei dati analizzati necessita una <u>limitatissima</u> (ma ben definita) strumentazione di campagna. Ricorda che il metodo *HoliSurface* è solo uno dei metodi implementati all'interno del software HS.

Il metodo HS è implementato a partire da **dati attivi** acquisiti con **un unico geofono triassiale posto ad una certa distanza dalla sorgente** (lo stesso triassiale è poi usato anche per raccogliere i dati passivi per l'HVSR – vedi documento introduttivo sopra ricordato).

#### Possiamo effettuare analisi HS con winMASW<sup>®</sup> Academy?

Ne possiamo svolgere una versione "semplificata" comunque certamente utile e sufficiente alle applicazioni/situazioni più comuni e certamente molto educativa lungo il cammino verso il software HoliSurface, grazie al quale potremo andare in campagna con un unico geofono triassiale e ottenere profili V<sub>S</sub> molto ben vincolati. Vediamo come procedere. L'acquisizione (attiva) può essere effettuata con (ad esempio) 3 soli geofoni orizzontali utilizzati per acquisire le componenti R e T. Vediamo come è possibile muoversi proprio in un caso del genere.

- 1. Dal pannello principale di **winMASW**<sup>®</sup> **Academy** si apre il pannello di joint analysis ("Velocity Spectra, Modelling & Picking")
- 2. Si caricano i dati (attivi) delle componenti R e T acquisiti considerando 3 geofoni orizzontali (si considerino con attenzione i dati di seguito riportati)
- 4. Ora, nel caso si stiano considerando dati multi-offset presi con, ad esempio, tre geofoni, possiamo computare tanto le velocità di fase (pulsante "phase velocity spectra") che di gruppo (le velocità di fase saranno necessariamente seriamente affette da *aliasing spaziale* ma sarà certamente e necessariamente presente il segnale "buono""). Qui le velocità di fase (che possono essere utili per capire come orientarci nell'analisi delle velocità di gruppo, il cui andamento è forse meno intuitivo per chi non ha dimestichezza con i concetti base di sismologia). Nelle seguenti immagini gli spettri e il risultato di una semplice e speditiva modellazione FVS di massima (l'utilizzo di 3

sole tracce in genere non consente di lavorare con grande precisione nell'analisi delle velocitò di fase);



Spettri di velocità di fase calcolati da un dataset con sole 3 tracce (componenti R e T): sebbene sia chiaramente presente un pesante aliasing spaziale (vedi libro Flaccovio del 2012), è comunque chiaramente possibile identificare il segnale buono (quello a velocità più basse).





www.winmasw.com

# Modellazione FVS di massima degli spettri di velocità di fase di cui sopra (componenti R e T).

5. Ora possiamo fare un passo nel mondo HoliSurface analizzando le velocità di gruppo: clicchiamo il **pulsante "group velocity spectra"** (scegliendo la o le traccia/e da considerare). Scegliendo l'ultima traccia (la più lontana dalla sorgente – vedi quadratino rosso sulla terza traccia), otterremo gli spettri di velocità (di gruppo!) mostrati nella seguente immagine (incidentalmente si noti che in questo modo non avremo più a che fare con i problemi dell'aliasing spaziale).



6. Se ora (avendo precedentemente già trovato un modello  $V_S$  di massima [il limitatissimo numero di tracce in genere non consente di spingerci a grandi livelli di precisione] grazie alla una modellazione delle velocità di fase ("oggetto" di più comune utilizzo da parte dei professionisti) procediamo con una modellazione di precisione delle velocità di gruppo, potremo ottenere quanto presentato nelle seguenti figure.



Ricorda inoltre che, come sempre, puoi anche caricare la curva HVSR e modellare dunque congiuntamente la dispersione con l'HVSR (scendendo dunque molto più in profondità).

La domanda da porsi è: perché lavorare con dati *multi-offset* (necessari per la determinazione delle *velocità di fase*) quando con le *velocità di gruppo* (che possono essere computate utilizzando **un unico** geofono) si possono ottenere gli stessi risultati?

Qui di seguito un ulteriore esempio di analisi FVS delle **velocità di fase** (sopra) computate (per un'unica componente) considerando questa volta 10 tracce e l'analisi FVS delle **velocità di gruppo** (sotto) computate considerando <u>UNICAMENTE</u> l'ultima traccia (vedi **quadratino rosso** in corrispondenza dell'**ultima traccia**). **Il modello di sottosuolo è lo stesso**.



Analisi FVS delle <u>velocità di fase</u> considerando tutte le <u>10 tracce</u> ["MASW" standard]: i colori in sottofondo rappresentano lo spettro di velocità di fase dei dati di campagna mentre le *contour lines* nere sovrapposte si riferiscono al modello individuato (vedi l'ottima sovrapposizione?)



Analisi FVS delle <u>velocità di gruppo</u> considerando <u>1 sola traccia</u> (quadratino )

### Qual è dunque la morale?

Un'unica traccia (per componente) è sufficiente per definire le velocità di gruppo e ricavare dunque il profilo  $V_S$  e questo dovrebbe essere noto già dai corsi introduttivi alla sismologia ma è comunque utile ribadirlo e sperimentarlo di persona.

Dovrebbe essere chiaro che la preliminare analisi delle velocità di fase è svolta come "sussidio educativo" ma chi ha familiarità con queste classiche tecniche sismologiche può lavorare direttamente con un'unica traccia (per componente) e andare ben oltre a livello di analisi e precisione della soluzione: per questo vedi tutto il <u>mondo HoliSurface</u> grazie al quale è possibile acquisire e analizzare dati attivi e passivi con un unico geofono triassiale e ottenere profili V<sub>S</sub> esternamente vincolati grazie all'analisi congiunta di diversi *observables* e, in particolare:

> spettri delle velocità di gruppo di tutte le tre componenti + curva RPM +

> > curva HVSR



#### Appendice Z: regolarizzazione spettro di risposta

La regolarizzazione di uno spettro di risposta è un'operazione di per sé discutibile in quanto va a deformare un risultato che si immagina rappresentare in forma aderente la *realtà* (trascuriamo tutti i fatti che suggeriscono che, anche svolgendo tutto a regola d'arte, difficilmente le simulazioni svolte con i più comuni strumenti possono in effetti ambire a tanto). La regolarizzazione (svolta secondo le procedure indicate nella sezione del manuale dedicata alla *Risposta Sismica Locale*) è svolta sia nella parte finale del processo di RSL (vedi sezione del manuale dedicata al *computo degli spettri di risposta*) ma, grazie al *tool* (*"response spectrum regularization"*) presente tra le *utilities*, è anche possibile caricare uno spettro di risposta ottenuto con altri *software* e regolarizzarlo. Lo spettro deve essere stato salvato in un semplice file ASCII come quello qui mostrato:



La prima colonna riporta il **periodo** (T) in secondi e lungo la seconda colonna sono riportate le **Accelerazioni** (in unità di *g*). All'atto di caricare il *file*, il *software* chiederà quante righe di *header* sono presenti (in questo caso sono due) e, successivamente, che valore di damping (%) utilizzare (deve essere lo stesso utilizzato per il calcolo dello spettro di risposta originale). Quanto si otterrà è poi automaticamente salvato nella cartella di lavoro (immagine e curva regolarizzata in un file ASCII di identico formato).



### Appendice Zbis: strumento per aprire ed editare figure .fig

È anche possibile aprire ed editare figure (salvate durante le elaborazioni nel *formato .fig*). Lo strumento si trova nel gruppo "post-processing & miscellanea" del pannello delle utilities ("**open (& edit) .fig figure**"). È possibile aprire un file *.fig* e, dopo eventuali piccole modifiche, salvarlo in qualsiasi altro comune formato per immagini (jpg, tif, png, pdf ecc.)

承 winMASW® - Surface Waves & Beyond	- 🗆 X
Ê	2
www.winmasw.com	utilities
managing active data	managing passive data
vertical stack	
compare 2 [active] datasets	TCEMCD
multiple-dataset filtering	concatenate data
combine 3C data	concatenate HVSR (saf or sg2)
combine 2 datasets ?	
pre-processing	
SEG to SAF conversion	post-processing & miscellanea
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	elastic moduli
2D and 3D data	Vs30 & VsE @ foundation
2D velocity contouring	visualize RayFract files
3D project/visualization	Stesky's equation
	open (& edit) .fig figure
DTM tool	
photos & GPS data	area percentage
response-spectrum regularization	]]

### Appendice Ztris: strumento gestione files ottenuti con RayFract

Tra le *utilities* di *winMASW*<sup>®</sup> *Academy* ve n'è anche una ("**manage RayFract files**") che consente di caricare il file GRD ottenuto con *RayFract* (un software per la tomografia a rifrazione che **ELIOSOFT** distribuisce) utilizzando il file GRD con **formato DSBB** (questo è *fondamentale* e devi settare *RayFract* correttamente) e visualizzarlo (cambiando vari parametri di visualizzazione) potendo anche eseguire confronti con i profili di velocità ottenuti con *winMASW*<sup>®</sup>. Sempre bene ricordare alcuni fatti "minimi":

- 1) L'analisi delle onde di superficie non consente di ricavare valori sufficientemente affidabili delle V<sub>P</sub>;
- anche la rifrazione è soggetta a problemi di ambiguità e non-univocità (non considerate nessun metodo come "metodo di riferimento");
- 3) l'affidabilità dei risultati delle *proprie* analisi delle onde di superficie e di corpo dipendono *in toto* dalle proprie *reali* competenze teoriche su una vastissima serie di fatti che regolano la generazione e propagazione delle onde sismiche.

Se i risultati di due metodi (A e B) differiscono è evidentemente perché non si ha adeguata contezza di uno o di entrambi i metodi.



manual-in-progress



www.winMASW.com - geophysical software & services

### Servizio elaborazione dati (multi-componente)

### MASW, ReMi, ESAC, SPAC, HVSR, MAAM, HoliSurface® e vibrazionali

Hai l'esigenza di elaborare dati secondo le menzionate metodologie ma non hai il software e vuoi valutare con calma se acquistarlo?

*Eliosoft* offre un servizio di elaborazione dati. Puoi inviarci i tuoi dati (acquisiti secondo modalità indicate nel dettaglio) e ci occuperemo dell'elaborazione con ricostruzione del profilo Vs (quindi della Vs30 e della Vs equivalente).

Nel caso si decida di avvalersi di tale servizio è fondamentale inviare:

1. informazioni disponibili sulla stratigrafia;

2. almeno una foto dello stendimento (possibilmente con le informazioni GPS incluse

- utilizza cellulare con la App *MapCam* - vedi pertinente sezione di questo manuale);

3. acquisizioni onde di Rayleigh (VF) e Love (HF);

4. **due misure HVSR** (microtremori) con geofono in due punti diversi dello stendimento (ad esempio al centro e alla fine dello stendimento); nomi dei *files* rappresentativi: ad esempio: HVSR\_Z\_NS\_EW\_centrale.sg2; HVSR\_Z\_EW\_NS\_finestendimento.seg2 o HVcentro.SAF e HVricevitoreHS.SAF

Fondamentale: i nomi dei files (esempio per dati attivi: RVF\_mo5\_dx4.sg2 e THF\_mo5\_dx4.sg2; per dati passivi lineari: Z\_dx5.seg2 e/o T\_dx5.sg2 eccetera) e il modo in cui sono organizzati nella cartella inviata devono essere indicativi dei dati stessi (tipo di acquisizione e sua geometria) e rispecchiare la *logica* illustrata nella sezione "1.13. Lavorare in modo ordinato, razionale e produttivo" del libro *Acquisizione e analisi di dati sismici e vibrazionali per studi di caratterizzazione sismica e geotecnica* (Dario Flaccovio Editore, 2019).

Nel caso di dati ESAC bidimensionali è necessario fornire anche il file ASCII (con estensione .pos) descritto nella sezione dedicata all'ESAC di questo manuale.

I dati (correttamente nominati e salvati nelle appropriate cartelle) devono essere inviati **non** come allegato di posta (la nostra posta ben presto si intaserebbe) ma tramite servizi quali ad esempio **wetransfer** o simili.

Salvo casi eccezionali si offrono esclusivamente pacchetti di 4 elaborazioni (pagamento anticipato).



winmasw@winmasw.com

www.winmasw.com

# HS HoliSurface® www.holisurface.com

## 1 ..... HVSR

**Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio** 

## 2 ..... HS/MFA

HoliSurface (improved MFA) (multi-component active seismics by using a single 3C geophone)

### 3 ..... MAAM

Miniature Array Analysis of Microtremors (micro-array passive seismics)

### 4 ..... Vibrational Analyses

Vibrations UNI9160 & DIN4150 Building resonances (flexural and torsional modes)

### 5 ..... SSR (Standard Spectral Ratio)

**Empirical Determination of the Site Amplification** 

Tons of utilities to efficiently manage the data and present them (handling GPS data, trace selection editing & filtering, vertical stack & much more)

efficient seismic exploration and vibration data analysis by means of active and passive data acquired by using just one 3C geophone and 3 or 4 vertical geophones

The background photo shows a model of the *Mars Rover Curiosity* (courtesy of *Mattel*), the vehicle used for the exploration of the Red Planet. The same way as the Rover efficiently explores very remote and extreme environments, the active and passive methodologies implemented in *HoliSurface* require very light and easy-to-carry equipment and limited space, but can nevertheless providing very robust subsurface models.



# **ELIOVSP<sup>®</sup>**

Il *software* per la sismica di pozzo (*Vertical Seismic Profile*) che consente elaborazioni complete e sofisticate e la <u>modellazione</u> <u>congiunta delle onde P ed SH anche congiuntamente all'HVSR</u>!

Il software è, tra le molte cose, capace di gestire dati raccolti con doppio geofono da foro (la cosa consente di dimezzare lo sforzo di campagna).





Scrivici per avere copia del manuale e scoprire che le cose possono essere più semplici (ma molto più precise) di quanto probabilmente sei abituato a pensare...







www.winMASW.com - geophysical software & services

# **DOUBLE BOREHOLE 3C GEOPHONE**

www.winmasw.com

seismograph

depth (referred to the first geophone) ★ [first three traces] geophone distance (usually 1 m)

source

offset

ELIOVSP software joint analysis of DH seismics & HVSR



visita il nostro sito e iscriviti alla newsletter

15

a station of

KAN AND PLAN

State Plakes

A Commenter price

SUN SUN

## www.winmasw.com