



# VSE

VSE S.r.l.

PIAZZALE CADORNA N. 14 - MILANO (MI)

C.F. 02607460223 e P.IVA 13156270962

REA MI - 2615671

Regione Emilia - Romagna

Comune di Caorso

Provincia di Piacenza

Provvedimento Autorizzatorio Unico Regionale (P.A.U.R.)

Titolo:

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica  
**"CAORSO"**

Oggetto:

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA IMPIANTO**  
**Allegato 3: prove sismiche HVSR**

Codifica Elaborato:

RV.

01

Impresa/Studio di progettazione:



Servizi Integrati Gestionali Ambientali srl  
Circonvallazione Piazza D'Armi, 130 48122  
Ravenna (RA)  
C.F. e P.I. 01465700399

Progettista:

Dott. Geol. Carlo Caleffi - Engeo srl



Latitudine:  
Longitudine:

Cod. File:

RV.01\_CAORSO\_PD\_00\_GEOL\_ALL 3 PROVE SISMICHE HVSR.pdf

Scala:

--

Formato:

-

Codice:

PD

Rev.:

00

| Rev. | Data    | Descrizione revisione: | Redatto:                       | Controllato:              | Approvato:           |
|------|---------|------------------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------|
| 0    | 02/2025 | Prima emissione        | Dott. Geol. Alessandro Ferrari | Dott. Geol. Carlo Caleffi | Ing. Viviana Masucci |
| 1    | mm/aaaa |                        |                                |                           |                      |
| 2    | mm/aaaa |                        |                                |                           |                      |

Copia conforme all'originale sottoscritto digitalmente da RICCIARDI MARCO, CALEFFI CARLO

|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| PROGETTO: | Impianto fotovoltaico Caorso (PC) |
|-----------|-----------------------------------|

### PROVA HVSR

|   |                       |                      |
|---|-----------------------|----------------------|
| Comune<br>Caorso (PC)                       | Località<br>Via Rotta |                      |
| Cantiere<br>Impianto fotovoltaico           | Data<br>15/01/2024    | Ora<br>10.20         |
| Codice lavoro<br>SRVN.07.2461               |                       |                      |
| Codice Prova<br>HVSR                        | File<br>CAO_A.SAF     | Durata (min)<br>20   |
| Strumento<br>Echo Tromo HVSR3               | Freq.camp.<br>208 Hz  | F. sensore<br>2.0 Hz |
| Operatore<br>Dott. Geol. Alessandro Ferrari |                       |                      |


| CONDIZIONI ATMOSFERICHE |   |  |   |  |
|-------------------------|---|--|---|--|
| Vento                   | <input type="checkbox"/> assente            | <input checked="" type="checkbox"/> debole (<5m/s) | <input type="checkbox"/> medio (5>v>30 m/s) | <input type="checkbox"/> forte (>30 m/s) |
| Pioggia                 | <input checked="" type="checkbox"/> assente | <input type="checkbox"/> debole                    | <input type="checkbox"/> media              | <input type="checkbox"/> forte           |

| TERRENO DI PROVA           |  |   |  |   |
|----------------------------|--|---|--|---|
| Suolo                      | <input checked="" type="checkbox"/> argilloso-limoso soffice | <input type="checkbox"/> argilloso-limoso duro  | <input checked="" type="checkbox"/> con erba       | <input type="checkbox"/> senza erba                               |
|                            | <input type="checkbox"/> ghiaia                              | <input type="checkbox"/> sabbia                 | <input type="checkbox"/> roccia                    |   |
|                            | <input type="checkbox"/> suolo asciutto                      | <input checked="" type="checkbox"/> suolo umido | <input type="checkbox"/> suolo saturo              |   |
| Pavimentazione artificiale | <input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia                  | <input type="checkbox"/> cemento/cls            | <input type="checkbox"/> asfalto                   | <input type="checkbox"/> ceramica                                 |
|                            | <input type="checkbox"/> altro:                              |   |  |   |
| Accoppiamento sensore      | <input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi          | <input type="checkbox"/> piedini da pavimento   | <input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale | <input type="checkbox"/> sabbia<br><input type="checkbox"/> altro |

| STRUTTURE CIRCOSTANTI |   |                                 |                                    |                                      |
|-----------------------|---|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Abitazioni            | <input checked="" type="checkbox"/> assenti | <input type="checkbox"/> sparse | <input type="checkbox"/> fitte     | <input type="checkbox"/> molto fitte |
| Fabbriche             | <input checked="" type="checkbox"/> assenti | <input type="checkbox"/> sparse | <input type="checkbox"/> fitte     | <input type="checkbox"/> molto fitte |
| Ponti                 | <input checked="" type="checkbox"/> assenti |                                 | <input type="checkbox"/> presenti  |                                      |
| Strutt. sotterranee   | <input checked="" type="checkbox"/> assenti |                                 | <input type="checkbox"/> presenti: |                                      |
| Piante                | <input checked="" type="checkbox"/> assenti | <input type="checkbox"/> sparse | <input type="checkbox"/> fitte     | <input type="checkbox"/> molto fitte |

| SORGENTI RUMORE      |   |         |                                    |          |       |             |              |
|----------------------|---|---------|------------------------------------|----------|-------|-------------|--------------|
| Disturbo discontinuo |   | assente | raro                               | moderato | forte | molto forte | Distanza (m) |
|                      | auto  |         |                                    |          | ✓     |             | 20           |
|                      | camion                                      |         |                                    |          | ✓     |             | 20           |
|                      | passanti                                    | ✓       |                                    |          |       |             |              |
|                      | altro<br>.....                              | ✓       |                                    |          |       |             |              |
| Disturbo cont.       | <input checked="" type="checkbox"/> assente |         | <input type="checkbox"/> presente: |          |       |             |              |

|  |
|--|
| OSSERVAZIONI: indagine eseguita a 20 m dall'autostrada |
|--|

|   |                      |              |      |        |
|---|----------------------|--------------|------|--------|
|  <b>EN GEO</b> S.r.l.<br>ENGINEERING GEOLOGY | Elaborato            | Data         | Agg. | Pag.   |
|   | Report indagine HVSR | Gennaio 2025 | 0    | 1 di 5 |

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

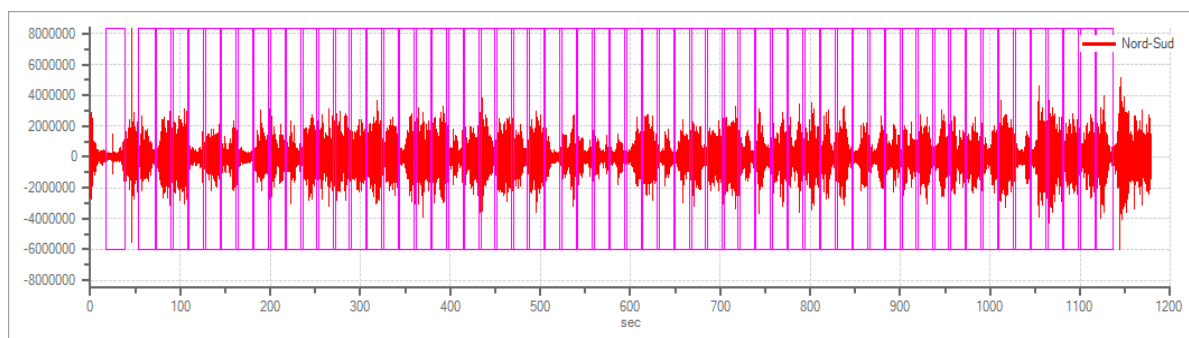
Numero tracce: 3  
Durata registrazione: 1179 s  
Frequenza di campionamento: 208.00Hz  
Numero campioni: 245248  
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

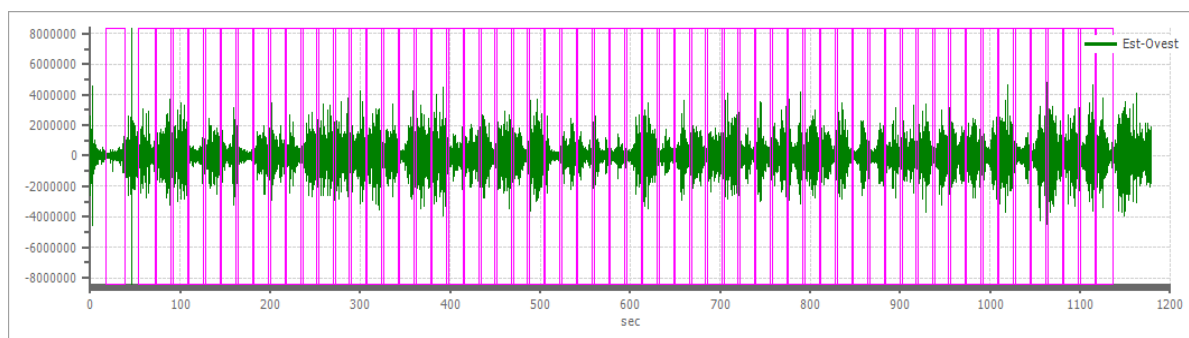
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 41  
Numero finestre incluse nel calcolo: 35  
Dimensione temporale finestre: 30.00 s  
Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
Percentuale di lisciamento: 10.00 %

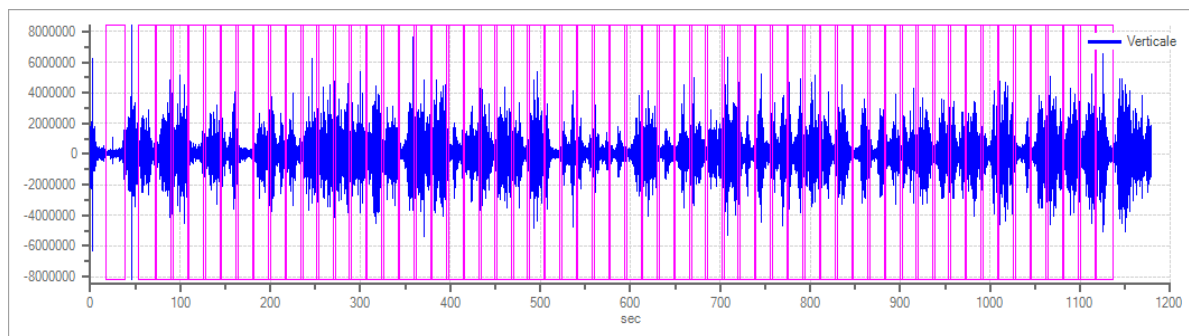
### Grafici tracce con finestre selezionate:



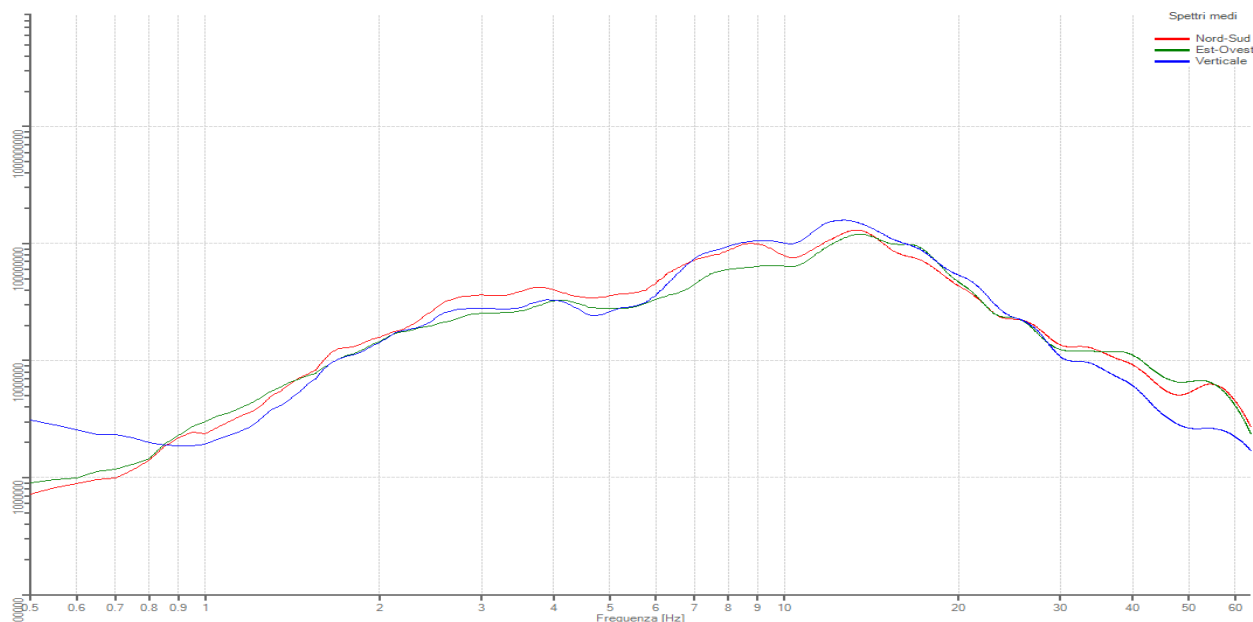
Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

### Rapporto spettrale H/V

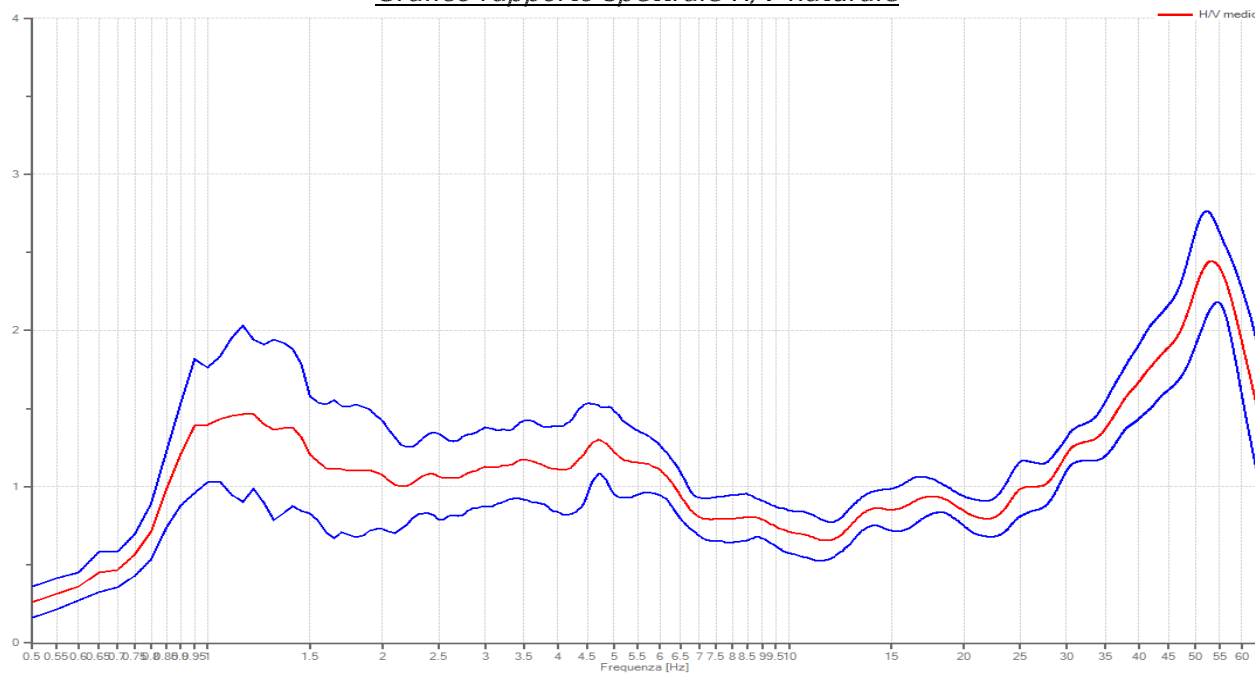
#### Dati riepilogativi:

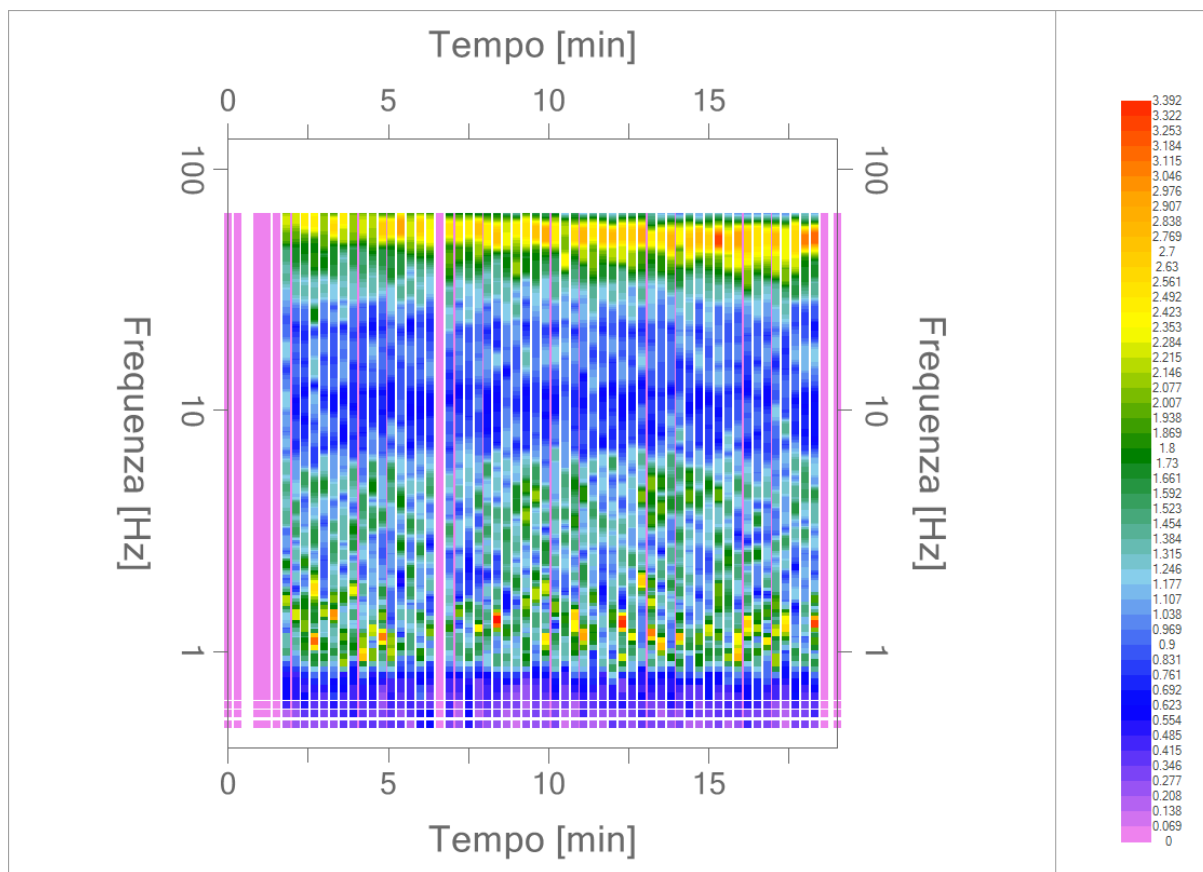
Frequenza massima: 64.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenze: 0.05 Hz  
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media quadratica

#### Risultati:

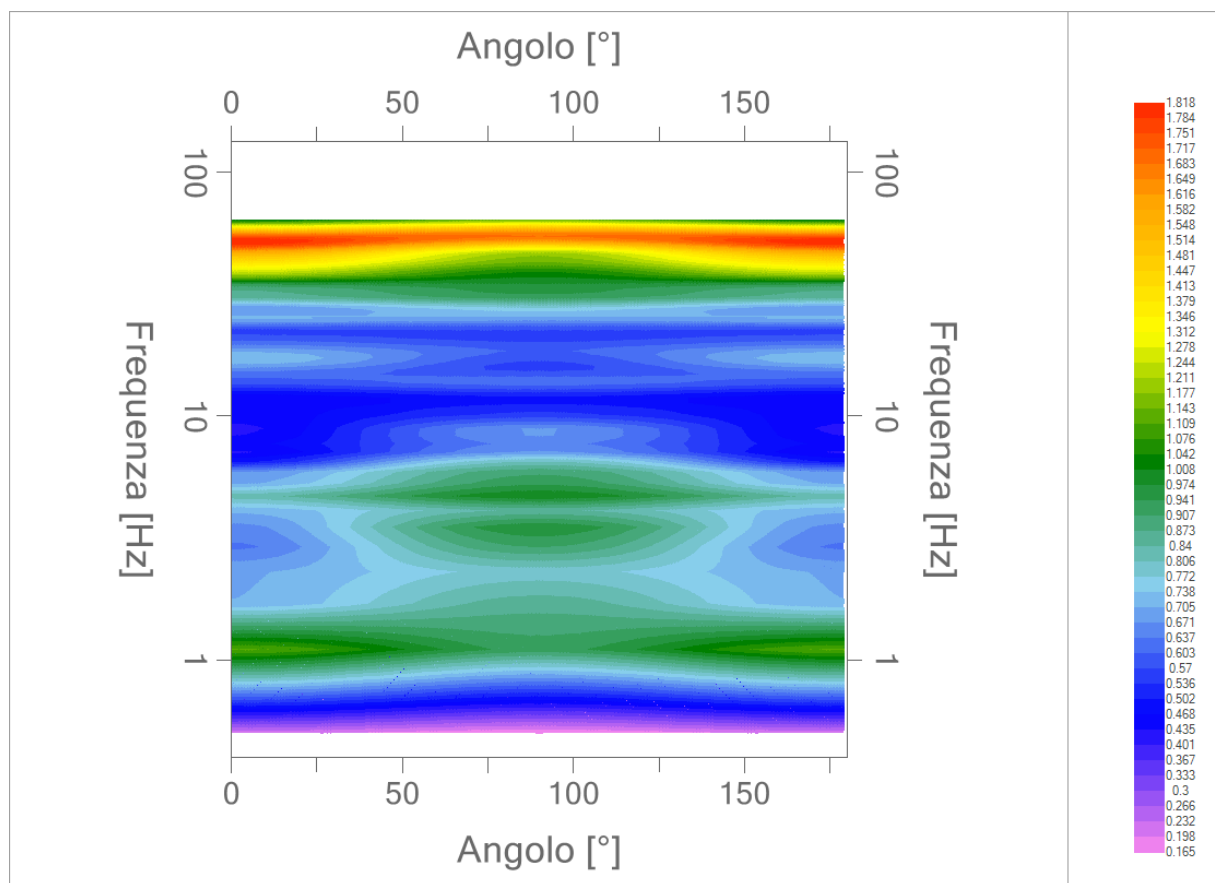
Frequenza del picco del rapporto H/V: 53.20 Hz  $\pm$  0.12 Hz

#### Grafico rapporto spettrale H/V naturale





Mapa della stazionarietà degli spettri



DIREZIONALITA' H/V

|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| PROGETTO: | Impianto fotovoltaico Caorso (PC) |
|-----------|-----------------------------------|

## Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005

|  |
|--|
| Picco H/V a 53.20 Hz $\pm$ 0.12 Hz (nell'intervallo 0.50 – 20.0 Hz). |
|--|

| Criteri per una curva H/V affidabile<br>[ Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]  |    |  |
|--|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | OK |  |
| Criteri per un picco H/V chiaro*<br>[ Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]   |    |  |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$  | OK |  |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$   | NO |  |
| $A_0 > 2$  | OK |  |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$   | OK |  |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$  | OK |  |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$  | OK |  |

|                        |   |
|------------------------|---|
| $L_w$                  | lunghezza della finestra  |
| $n_w$                  | numero di finestre usate nell'analisi   |
| $n_c = L_w n_w f_0$    | numero di cicli significativi   |
| $f$                    | frequenza attuale   |
| $f_0$                  | frequenza del picco H/V   |
| $\sigma_f$             | deviazione standard della frequenza del picco H/V   |
| $\varepsilon(f_0)$     | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   |
| $A_0$                  | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$   |
| $A_{H/V}(f)$           | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$   |
| $f^-$                  | frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$   |
| $f^+$                  | frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$  |
| $\sigma_A(f)$          | deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$  |
| $\theta(f_0)$          | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   |

| Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$ |            |           |            |            |            |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| Intervallo di freq. [ Hz]                         | < 0.2      | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0  | 1.0 – 2.0  | > 2.0      |
| $\varepsilon(f_0)$ [ Hz]                          | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$                 | 3.0        | 2.5       | 2.0        | 1.78       | 1.58       |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$   | 0.48       | 0.40      | 0.30       | 0.25       | 0.20       |



|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| PROGETTO: | Impianto fotovoltaico Caorso (PC) |
|-----------|-----------------------------------|

### PROVA HVSR

|   |                       |                      |
|---|-----------------------|----------------------|
| Comune<br>Caorso (PC)                       | Località<br>Via Rotta |                      |
| Cantiere<br>Impianto fotovoltaico           | Data<br>15/01/2024    | Ora<br>10.20         |
| Codice lavoro<br>SRVN.07.2461               |                       |                      |
| Codice Prova<br>HVSR                        | File<br>CAO_B.SAF     | Durata (min)<br>20   |
| Strumento<br>Echo Tromo HVSR3               | Freq.camp.<br>208 Hz  | F. sensore<br>2.0 Hz |
| Operatore<br>Dott. Geol. Alessandro Ferrari |                       |                      |


| CONDIZIONI ATMOSFERICHE |   |  |   |  |
|-------------------------|---|--|---|--|
| Vento                   | <input type="checkbox"/> assente            | <input checked="" type="checkbox"/> debole (<5m/s) | <input type="checkbox"/> medio (5>v>30 m/s) | <input type="checkbox"/> forte (>30 m/s) |
| Pioggia                 | <input checked="" type="checkbox"/> assente | <input type="checkbox"/> debole                    | <input type="checkbox"/> media              | <input type="checkbox"/> forte           |

| TERRENO DI PROVA           |  |   |  |   |
|----------------------------|--|---|--|---|
| Suolo                      | <input checked="" type="checkbox"/> argilloso-limoso soffice | <input type="checkbox"/> argilloso-limoso duro  | <input checked="" type="checkbox"/> con erba       | <input type="checkbox"/> senza erba                               |
|                            | <input type="checkbox"/> ghiaia                              | <input type="checkbox"/> sabbia                 | <input type="checkbox"/> roccia                    |   |
|                            | <input type="checkbox"/> suolo asciutto                      | <input checked="" type="checkbox"/> suolo umido | <input type="checkbox"/> suolo saturo              |   |
| Pavimentazione artificiale | <input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia                  | <input type="checkbox"/> cemento/cls            | <input type="checkbox"/> asfalto                   | <input type="checkbox"/> ceramica                                 |
|                            | <input type="checkbox"/> altro:                              |   |  |   |
| Accoppiamento sensore      | <input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi          | <input type="checkbox"/> piedini da pavimento   | <input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale | <input type="checkbox"/> sabbia<br><input type="checkbox"/> altro |

| STRUTTURE CIRCOSTANTI |   |  |                                    |                                      |
|-----------------------|---|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| Abitazioni            | <input type="checkbox"/> assenti            | <input checked="" type="checkbox"/> sparse | <input type="checkbox"/> fitte     | <input type="checkbox"/> molto fitte |
| Fabbriche             | <input checked="" type="checkbox"/> assenti | <input type="checkbox"/> sparse            | <input type="checkbox"/> fitte     | <input type="checkbox"/> molto fitte |
| Ponti                 | <input checked="" type="checkbox"/> assenti |  | <input type="checkbox"/> presenti  |                                      |
| Strutt. sotterranee   | <input checked="" type="checkbox"/> assenti |  | <input type="checkbox"/> presenti: |                                      |
| Piante                | <input checked="" type="checkbox"/> assenti | <input type="checkbox"/> sparse            | <input type="checkbox"/> fitte     | <input type="checkbox"/> molto fitte |

| SORGENTI RUMORE      |   |         |                                    |          |       |             |              |
|----------------------|---|---------|------------------------------------|----------|-------|-------------|--------------|
| Disturbo discontinuo |   | assente | raro                               | moderato | forte | molto forte | Distanza (m) |
|                      | auto  |         |                                    | ✓        |       |             | 100          |
|                      | camion                                      |         |                                    | ✓        |       |             | 100          |
|                      | passanti                                    | ✓       |                                    |          |       |             |              |
|                      | altro<br>.....                              | ✓       |                                    |          |       |             |              |
| Disturbo cont.       | <input checked="" type="checkbox"/> assente |         | <input type="checkbox"/> presente: |          |       |             |              |

|   |
|---|
| OSSERVAZIONI: indagine eseguita a 100 m dall'autostrada |
|---|

|   |                      |              |      |        |
|---|----------------------|--------------|------|--------|
|  <b>EN GEO</b> S.r.l.<br>ENGINEERING GEOLOGY | Elaborato            | Data         | Agg. | Pag.   |
|   | Report indagine HVSR | Gennaio 2025 | 0    | 1 di 5 |

## Tracce in input

### Dati riepilogativi:

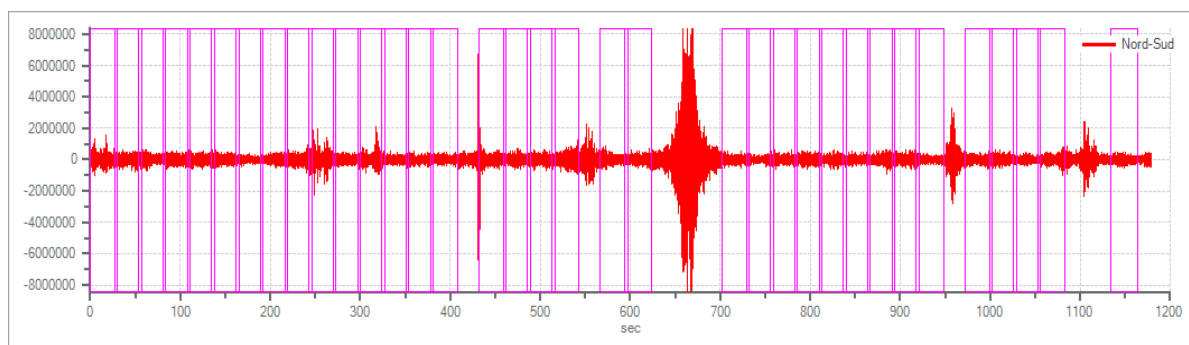
Numero tracce: 3  
 Durata registrazione: 1179 s  
 Frequenza di campionamento: 208.00Hz  
 Numero campioni: 245248  
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

## Finestre selezionate

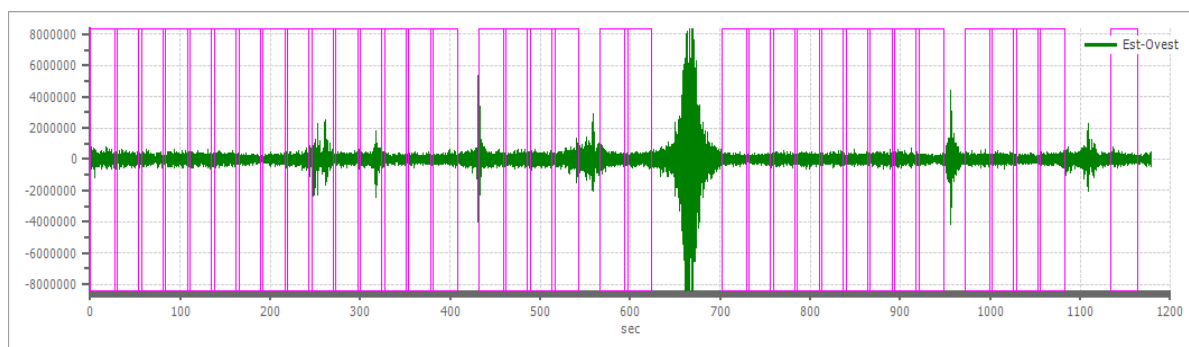
### Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 35  
 Numero finestre incluse nel calcolo: 34  
 Dimensione temporale finestre: 30.00 s  
 Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %

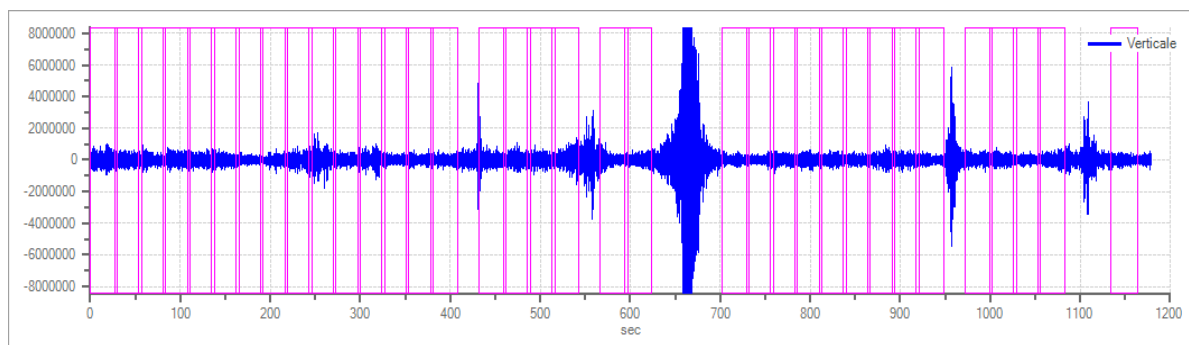
### Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

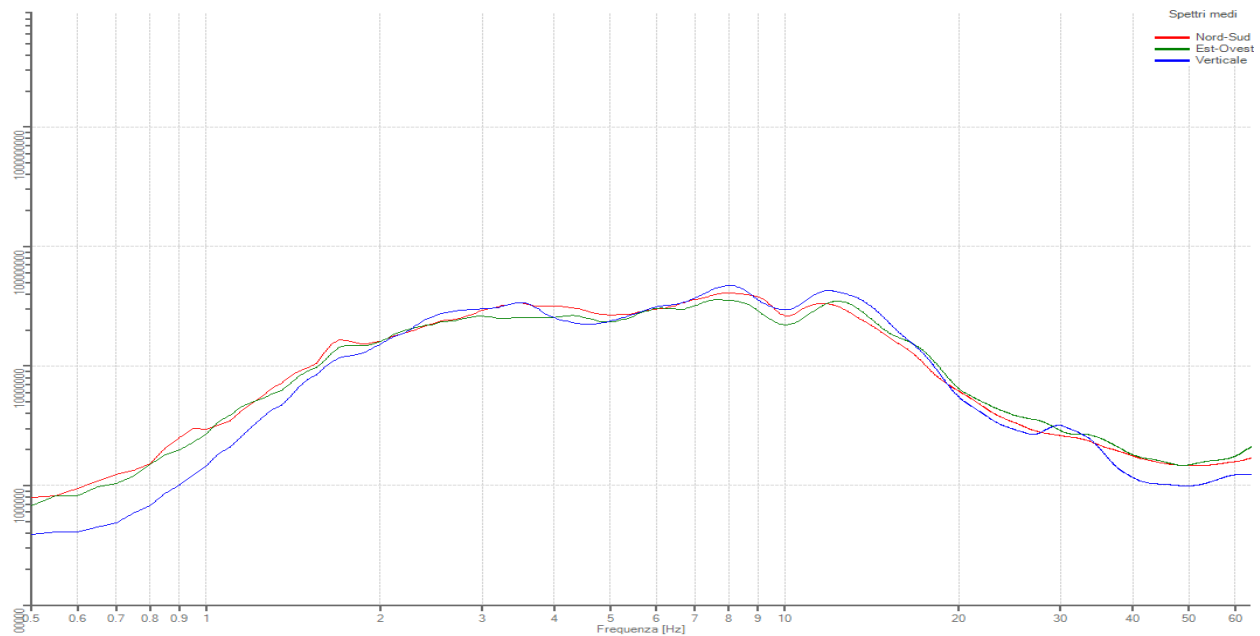


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale





## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

### Rapporto spettrale H/V

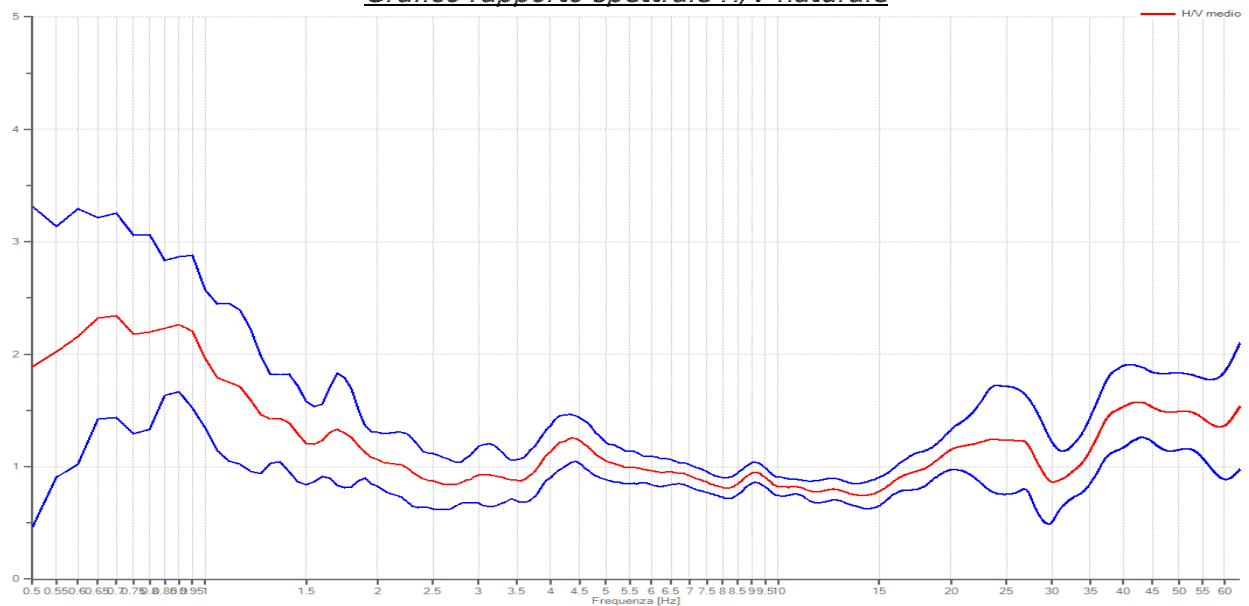
#### Dati riepilogativi:

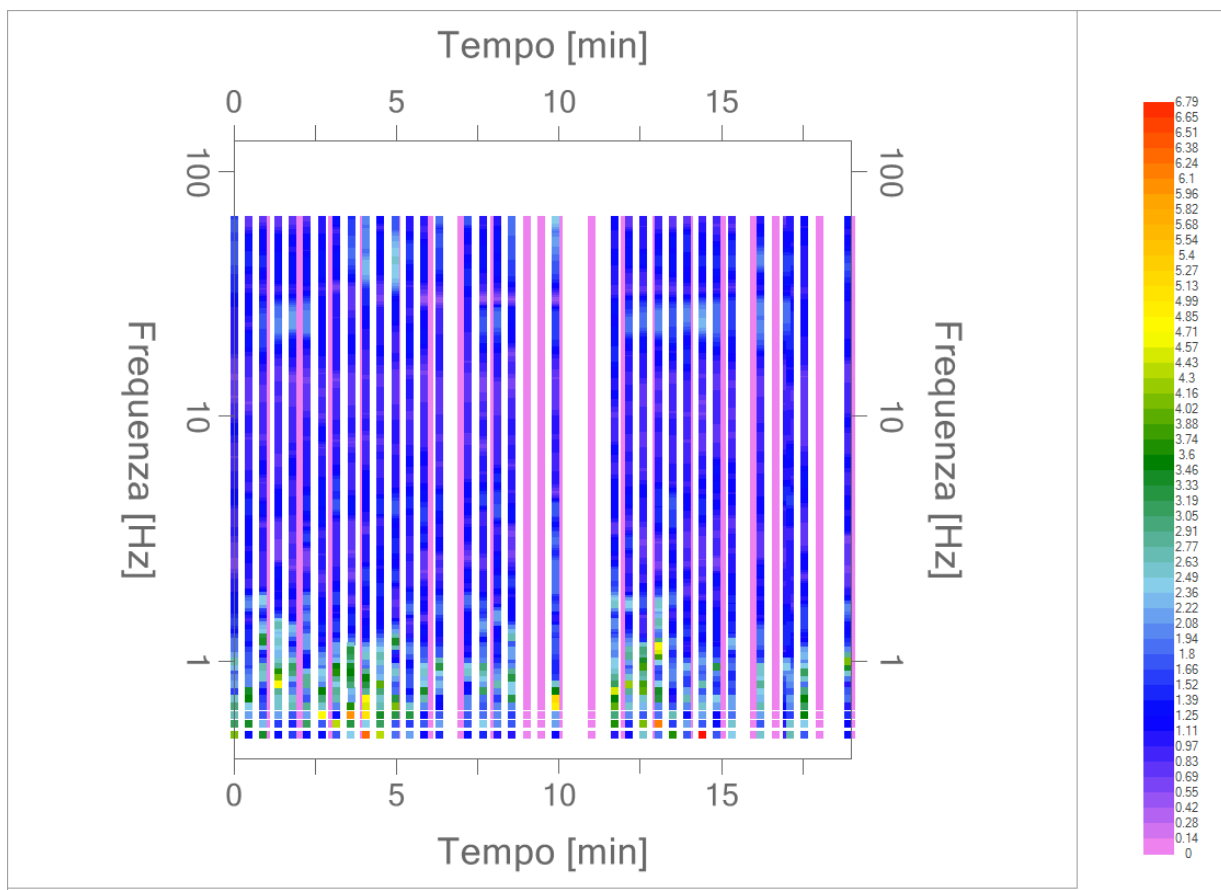
Frequenza massima: 64.00 Hz  
 Frequenza minima: 0.50 Hz  
 Passo frequenza: 0.05 Hz  
 Tipo lisciamento: Triangolare proporzionale  
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %  
 Tipo di somma direzionale: Media quadratica

#### Risultati:

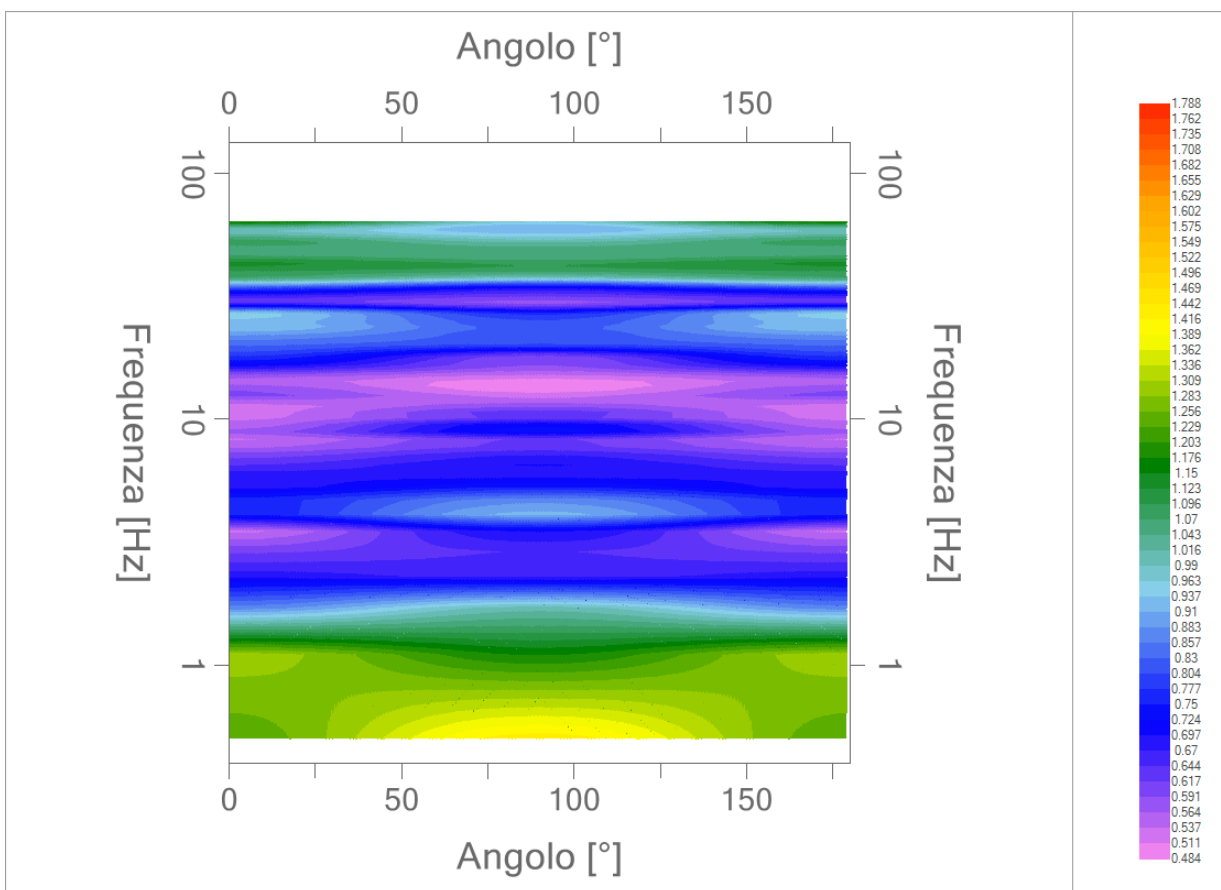
Frequenza del picco del rapporto H/V:  $0.70 \text{ Hz} \pm 0.39 \text{ Hz}$

### Grafico rapporto spettrale H/V naturale





Mapa della stazionarietà degli spettri



DIREZIONALITA' H/V

|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| PROGETTO: | Impianto fotovoltaico Caorso (PC) |
|-----------|-----------------------------------|

## Verifica secondo le linee guida SESAME, 2005


|   |
|---|
| Picco H/V a 0.70 Hz $\pm$ 0.39 Hz (nell'intervallo 0.50 – 20.0 Hz). |
|---|

| Criteri per una curva H/V affidabile<br>[ Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]  |    |  |
|--|----|--|
| $f_0 > 10 / L_w$   | OK |  |
| $n_c(f_0) > 200$   | OK |  |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | OK |  |
| Criteri per un picco H/V chiaro*<br>[ Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]   |    |  |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$  | OK |  |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$   | NO |  |
| $A_0 > 2$  | OK |  |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$   | NO |  |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$  | NO |  |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$  | OK |  |

|                        |   |
|------------------------|---|
| $L_w$                  | lunghezza della finestra  |
| $n_w$                  | numero di finestre usate nell'analisi   |
| $n_c = L_w n_w f_0$    | numero di cicli significativi   |
| $f$                    | frequenza attuale   |
| $f_0$                  | frequenza del picco H/V   |
| $\sigma_f$             | deviazione standard della frequenza del picco H/V   |
| $\varepsilon(f_0)$     | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$   |
| $A_0$                  | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$   |
| $A_{H/V}(f)$           | ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$   |
| $f^-$                  | frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$   |
| $f^+$                  | frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$  |
| $\sigma_A(f)$          | deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$  |
| $\theta(f_0)$          | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$   |

| Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$ |            |           |            |            |            |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| Intervallo di freq. [ Hz]                         | < 0.2      | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0  | 1.0 – 2.0  | > 2.0      |
| $\varepsilon(f_0)$ [ Hz]                          | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$                 | 3.0        | 2.5       | 2.0        | 1.78       | 1.58       |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$   | 0.48       | 0.40      | 0.30       | 0.25       | 0.20       |

\*I risultati relativi alle verifiche eseguite ai sensi delle linee guida SESAME, evidenziano che il segnale presenta un picco H/V “non chiaro”. Tale segnale tuttavia è comunque interpretabile, poiché, sempre ai sensi delle linee guida SESAME, corrisponde a un picco di origine stratigrafica.

|   |                      |              |      |        |
|---|----------------------|--------------|------|--------|
|  <b>EN GEO</b> S.r.l.<br>ENGINEERING GEOLOGY | Elaborato            | Data         | Agg. | Pag.   |
|   | Report indagine HVSR | Gennaio 2025 | 0    | 5 di 5 |