

OGGETTO: Indagine sismica passiva tromografica riguardante i lavori di adeguamento degli impianti tecnologici alla legge 626, rifacimento fondo del campo sportivo comunale, ampliamento del rettangolo di giuoco del campo di calcio del Comune di Caltavuturo (Palermo).

COMMITTENTE: Comune Di Caltavuturo

TECNICO GEOLOGO: Dott. Giovanni Lauria

INDAGINE SISMICA PASSIVA TROMOGRAFICA



Indice

Premessa

Metologia sismica passiva eseguita con tromografo digitale **TROMINO**[®]

Strumentazione utilizzata

Interpretazione dei dati ottenuti

Acquisizione sismica passiva

Determinazione diretta di alcune caratteristiche fisico - tecniche del substrato nella zona indagata

Ubicazione punti di campionatura e documentazione fotografica

Allegati

- **Modello interpretativo stratigrafico con relativa elaborazione del parametro Vs 30**
- **Comparazione rapporti spettrali H/V ottenuti nei 2 punti di campionatura**

PREMESSA

Nell'ambito dei "Lavori di adeguamento degli impianti tecnologici alla legge 626, rifacimento fondo del campo sportivo comunale, ampliamento del rettangolo di giuoco del campo di calcio del Comune di Caltavuturo, Provincia di Palermo" il committente, il Comune Di Caltavuturo, ha incaricato lo scrivente per la consulenza circa gli aspetti geofisici dell'area sede dello studio sopra menzionato.

Le considerazioni riportate di seguito sono il risultato di una indagine di sismica passiva, attraverso analisi, realizzata con tromografo elettronico digitale TROMINO® ai soli fini della determinazione delle caratteristiche elastiche del terreno ottenute dalla analisi spettrale delle componenti vibrazionali del terreno, ossia attraverso le analisi dei rumori del terreno.

La campagna di indagine ha previsto l'esecuzione di un rilevamento su uno spazio temporale ben definito e su una superficie opportunamente predisposta.

La presente metodologia ha permesso di evidenziare quantitativamente le geometrie del substrato identificando discontinuità sismiche presenti legate a variazioni litologiche. Dalle tracce sismiche ottenute, attraverso un processo di elaborazione (trasformata in serie di fourier del segnale sismico, pulitura di disturbi spontanei, ipotesi di modellizzazione inversa) si è individuata la frequenza di risonanza fondamentale del terreno, confrontata successivamente con i corrispettivi spettri di ampiezza dei segnali ai vari sensori al fine di ottenere un modello stratigrafico con relativo valore della velocità sismica delle onde di taglio (V_s).

Ai sensi dell'ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, successivamente richiamata dal DM 14/01/2008, la definizione delle onde trasversali (S) ha permesso la determinazione del parametro $V_s 30$ e la caratterizzazione dei terreni ai sensi della suddetta normativa.

La restituzione dei dati, con relativa interpretazione del profilo sismico, è riportata di seguito.

METOLOGIA SISMICA PASSIVA ESEGUITA CON TROMOGRAFO DIGITALE TROMINO®

Le indagini geosismiche sono state realizzate avvalendosi del metodo sismico che utilizza l'acquisizione del rumore sismico di fondo come funzione di eccitazione.

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre; si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossime a quelle delle onde S (vedi ad es. Lachet e Bard, 1994), il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectra Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Field e Jacob, 1993; Lachet e Bard, 1994; Lermo e Chavez – Garcia, 1993,1994; Bard, 1998; Ibsvon Seht e Wohlenberg, 1999; Fah et al., 2001; solo per citarne alcune).

Le basi teoriche dell' H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo di tipo strato + bedrock (o strato assimilabile a bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2), un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. L'onda così riflessa interagisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a **$f_r = V_s/4H$** . (1)

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1 : 1, ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma è interpretabile attraverso opportuni fattori di correlazione.

L'analisi H/V permette pertanto di identificare i contrasti di impedenza tra strati, la successiva determinazione della velocità delle onde S fino a profondità notevoli (ben oltre i 100 metri di profondità) e strettamente dipendenti dallo spazio temporale di acquisizione; quindi l'elaborazione del Vs30 avviene attraverso una formulazione specifica adottando come punto di partenza la relazione (1) mostrata in precedenza.

Per i nostri scopi, la determinazione delle onde di taglio (onde S) entro i primi 30 metri di spessore ha permesso di definire il parametro Vs 30 e di poter altresì caratterizzare i terreni in esame ai sensi dell'ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003.

STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di un tromografo digitale portatile progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino[®], MicroMed SpA, 10 x 7 x 14 cm per 1 Kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W, e verticalmente, alimentato da due batterie AA da 1,5 V, senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alle frequenze di campionamento di 128 Hz.

INTERPRETAZIONE DEI DATI OTTENUTI

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale in campo libero, per una durata temporale pari a 20,00 minuti, sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura descritta in Castellano et al. (2005), utilizzando i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre di analisi 20 sec;
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale;
- rimozione dei transienti sulla serie H/V.

Le ragioni per la scelta del lisciamento (smoothing) triangolare al posto del lisciamento Konno e Omachi (1998) proposto dalle linee guida SESAME (2005) risiedono nel fatto che quest'ultimo non dà alcuna differenza statisticamente rilevante rispetto al lisciamento triangolare, pertanto si è deciso di adottare il lisciamento più semplice.

Le ragioni per l'effettuazione della rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V e non sulla serie temporale delle tracce pre-analisi H/V sono spiegate per esempio in Castellano e Mulargia (2008).

Nella fattispecie sono state eseguite n. 02 basi sismiche, o acquisizione tromografiche, suddivise in n. 2 sigle (TR1 – TR2), ubicate rispettivamente sul campo da gioco e dietro la porta posta a nord del campo da gioco medesimo (come da planimetria con ubicazione punti di campionatura riportata più avanti) che verranno descritte nei paragrafi successivi.

ACQUISIZIONE SISMICA PASSIVA DENOMINATA TR1

La presente indagine ha previsto l'acquisizione, in corrispondenza di una superficie opportunamente predisposta, di microtremore per una finestra di acquisizione temporale pari a 20,00 minuti;

Il confronto del picco H/V a 30 Hz circa e 2,75 Hz circa sugli spettri di ampiezza del segnale (fig.2) ha permesso di individuare e localizzare le discontinuità presenti nel sottosuolo; nelle misure si riconosce bene, nel picco a 30 Hz circa la frequenza di risonanza corrispondente alla variazione sismostratigrafica tra i terreni sovrastanti e il substrato a consistenza "litoide"; proseguendo verso sinistra lungo la curva H/V il picco significativo interpretabile come discontinuità sismica nel sottosuolo è stato individuato a circa 2.75 Hz. In ogni caso il fitting eseguito ha permesso di interpretare i dati localizzando le discontinuità sismiche presenti fino a 1.5 metri (circa) di profondità individuando il passaggio tra la porzione superficiale ($V_s = 200$ m/s) ed i terreni di natura "litoide" aventi velocità di propagazione delle onde S pari a 400 - 750 m/s con spessore pari a 28 m circa.

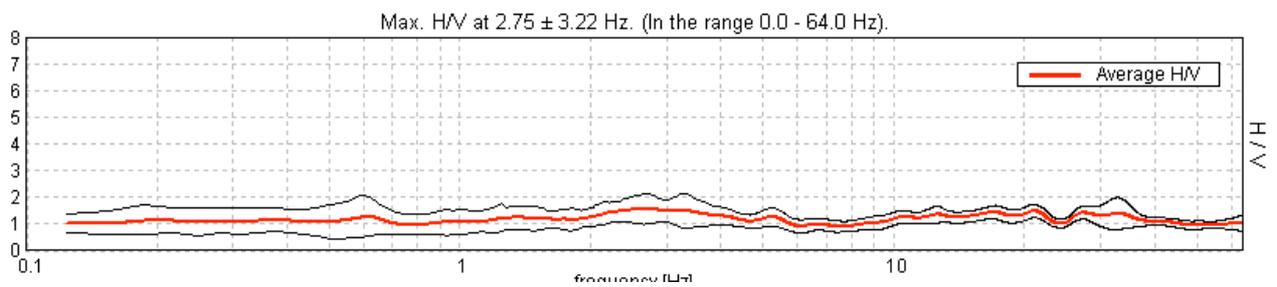


Fig 1 – curva H/V ottenuta

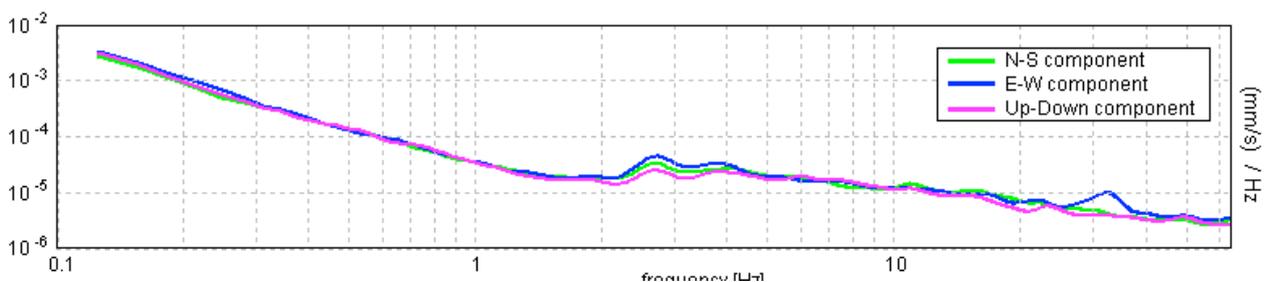


Fig 2 – spettro di ampiezza del segnale analizzato

Determinazione diretta ed indiretta di alcune caratteristiche fisico – tecniche del substrato nella zona indagata

Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato ($V_s 30$); successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, successivamente richiamata dal DM 14/01/2008, è stato possibile classificare tali terreni.

La determinazione dell'andamento delle onde di taglio entro i primi 30 metri è stata resa possibile dall'interpretazione congiunta del profilo H/V in comparazione con la curva degli spettri di ampiezza.

L'individuazione delle discontinuità è infatti resa possibile quando in corrispondenza dei valori di frequenza di risonanza caratteristici nella curva H/V si realizza contestualmente una inversione nella componente verticale dello spettro di ampiezza.

Successivamente avendo noti sia lo spessore degli strati che i relativi valori di propagazione delle onde di taglio è stato possibile determinare il valore di $V_s 30$ attraverso la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

con:

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con relativi valori di velocità delle onde S:

INDAGINE TROMOGRAFICA TR1		
Profondità alla base dello strato	Spessore	V_s
[m]	[m]	[m/s]
1.50	1.50	200
29.50	28	400
inf.	inf.	750

Il relativo valore di $V_s 30$ ottenuto ha riportato il seguente risultato: $V_s(0.0-30.0)=384m/s$

Adottando la classificazione vigente in materia antisismica ai sensi dell'ordinanza 3274 del 20/03/2003, richiamata dal DM 14/01/2008, i terreni individuati nella presente indagine appartengono alla **CATEGORIA STRATIGRAFICA B** ovvero: "rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento

delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s 30 compresi tra 360-800 m/s (ovvero N_{stp} , 30 > 50 nei terreni a grana grossa e Cu 30 > 250 Kpa nei terreni a grana fine)".

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto indagine tromografica TR1

MODELLO INTERPRETATIVO STRATIGRAFICO CON RELATIVA ELABORAZIONE DEL PARAMETRO Vs30

CALTAVUTURO, CAMPO TR1

Strumento: TRZ-0138/01-11

Inizio registrazione: 02/09/16 11:01:39 Fine registrazione: 02/09/16 11:21:39

Tipo di lisciamento: Triangular window

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)

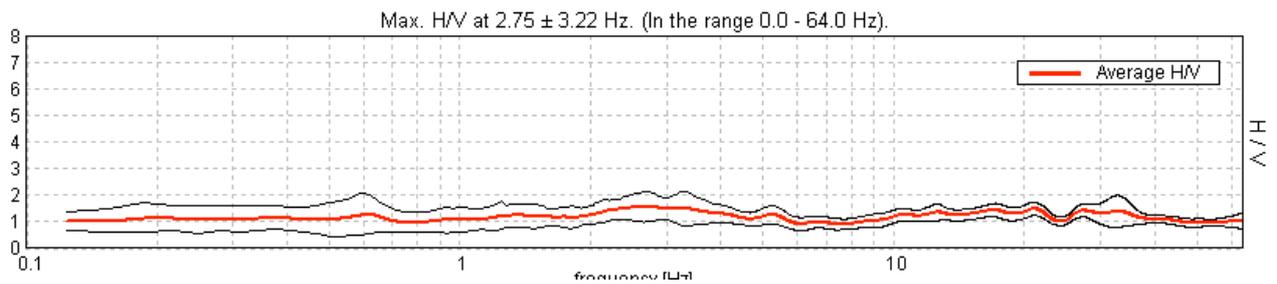
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

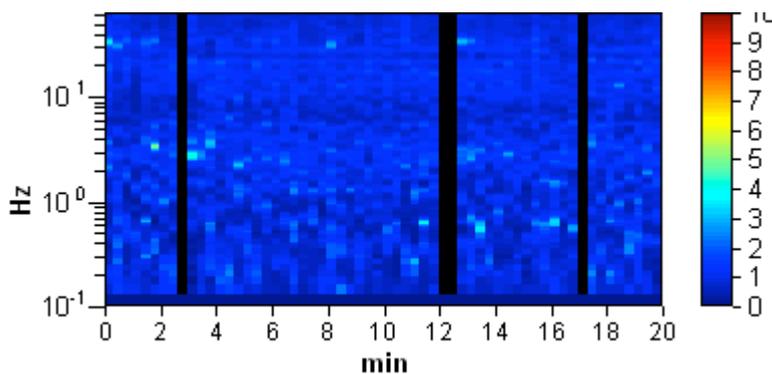
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

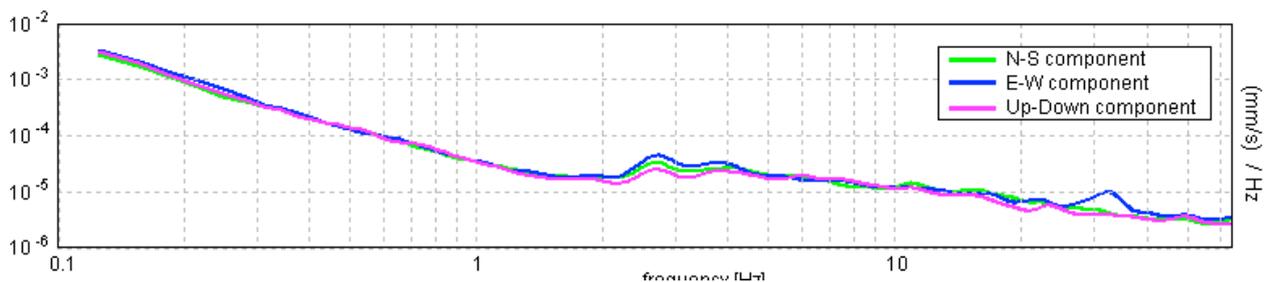
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



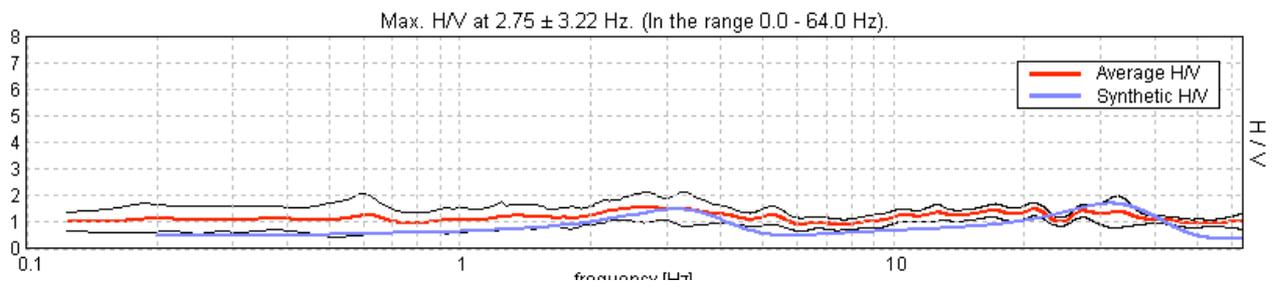
SERIE TEMPORALE H/V



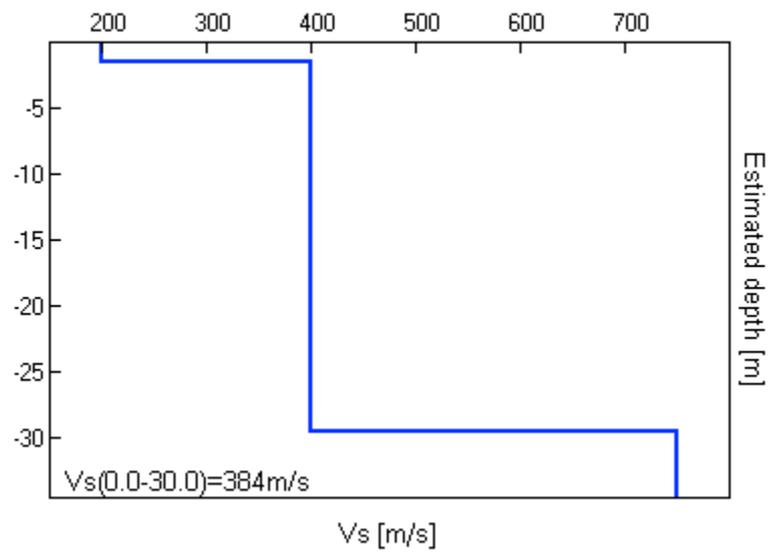
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



$V_s(0.0-30.0)=384\text{m/s}$



ACQUISIZIONE SISMICA PASSIVA DENOMINATA TR2

La presente indagine ha previsto l'acquisizione, in corrispondenza di una superficie opportunamente predisposta, di microtremore per una finestra di acquisizione temporale pari a 20,00 minuti;

Il confronto dei picchi H/V a 50 Hz e 2,5 Hz circa sugli spettri di ampiezza del segnale (fig.2) ha permesso di individuare e localizzare le discontinuità presenti nel sottosuolo; nelle misure si riconosce bene, nel picco a 50 Hz circa la frequenza di risonanza corrispondente alla variazione sismostratigrafica tra i terreni sovrastanti e il substrato a consistenza "litoide"; proseguendo verso sinistra lungo la curva H/V il picco significativo interpretabile come discontinuità sismica nel sottosuolo è stato individuato a circa 2.5 Hz.

In ogni caso il fitting eseguito ha permesso di interpretare i dati localizzando le discontinuità litologiche presenti fino a 1 metro (circa) di profondità individuando il passaggio tra la porzione superficiale ($V_s = 170$ m/s) ed i terreni di natura "litoide" aventi velocità di propagazione delle onde S pari a 400 - 850 m/s con spessore indefinito.

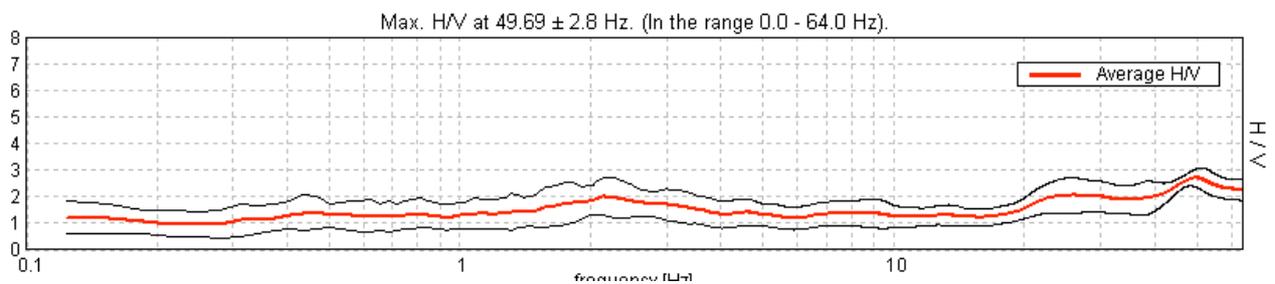


Fig 1 – curva H/V ottenuta

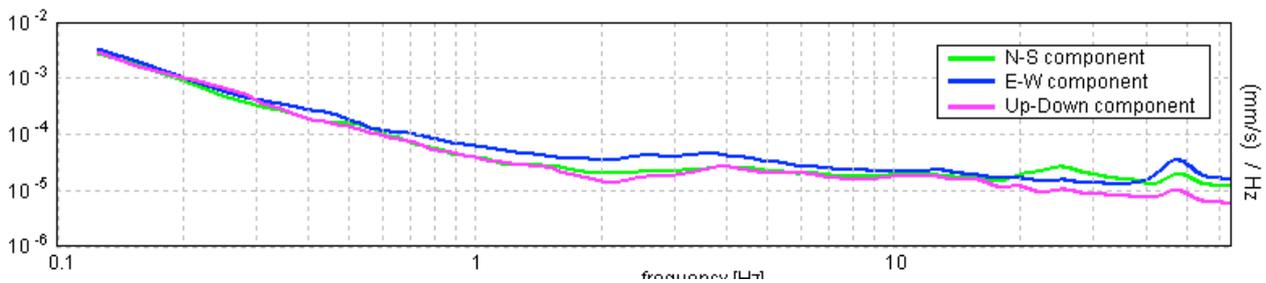


Fig 2 – spettro di ampiezza del segnale analizzato

Determinazione diretta ed indiretta di alcune caratteristiche fisico – tecniche del substrato nella zona indagata

Dalla individuazione delle onde di taglio generate in corrispondenza del punto di indagine è stato possibile determinare la velocità di propagazione media di tali onde entro i primi 30 metri di terreno attraversato ($V_s 30$); successivamente, attraverso questo parametro ed ai sensi della normativa vigente in materia antisismica, ordinanza 3274 – Nuova Normativa Antisismica del 20/03/2003, successivamente richiamata dal DM 14/01/2008, è stato possibile classificare tali terreni.

La determinazione dell'andamento delle onde di taglio entro i primi 30 metri è stata resa possibile dall'interpretazione congiunta del profilo H/V in comparazione con la curva degli spettri di ampiezza.

L'individuazione delle discontinuità è infatti resa possibile quando in corrispondenza dei valori di frequenza di risonanza caratteristici nella curva H/V si realizza contestualmente una inversione nella componente verticale dello spettro di ampiezza.

Successivamente avendo noti sia lo spessore degli strati che i relativi valori di propagazione delle onde di taglio è stato possibile determinare il valore di $V_s 30$ attraverso la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

con:

h_i = Spessore in metri dello strato i -esimo

V_i = Velocità dell'onda di taglio i -esima

N = Numero di strati

Il modello interpretativo fornito ha permesso pertanto di ottenere la seguente stratigrafia con relativi valori di velocità delle onde S:

INDAGINE TROMOGRAFICA TR2

<i>Profondità alla base dello strato</i>	<i>Spessore</i>	<i>Vs</i>
[m]	[m]	[m/s]
0.90	0.90	170
40.90	40	400
inf.	inf.	850

Il relativo valore di $V_s 30$ ottenuto ha riportato il seguente risultato: $V_s(0.0-30.0)=426\text{m/s}$

Adottando la classificazione vigente in materia antisismica ai sensi dell'ordinanza 3274 del 20/03/2003, richiamata dal DM 14/01/2008, i terreni individuati nella presente indagine appartengono alla **CATEGORIA STRATIGRAFICA B** ovvero: "rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_s 30$ compresi tra 360-800 m/s (ovvero $N_{stp, 30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $Cu 30 > 250$ Kpa nei terreni a grana fine)".

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto indagine tromografica TR2

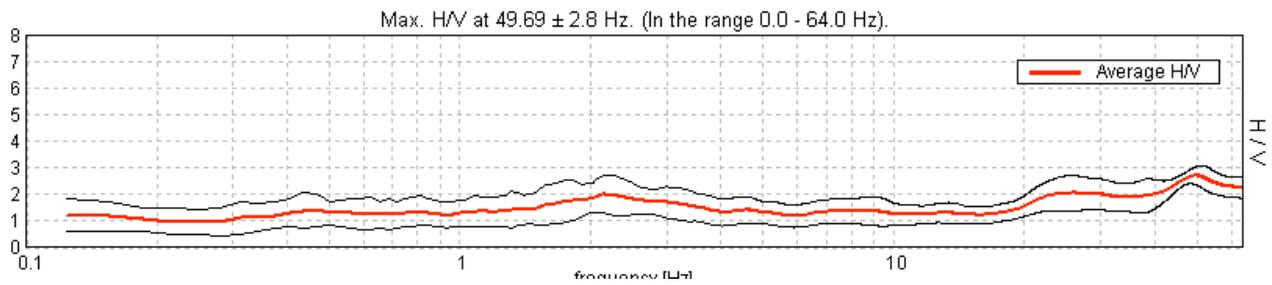
MODELLO INTERPRETATIVO STRATIGRAFICO CON RELATIVA ELABORAZIONE DEL PARAMETRO Vs30

CALTAVUTURO, DIETRO PORTA TR10

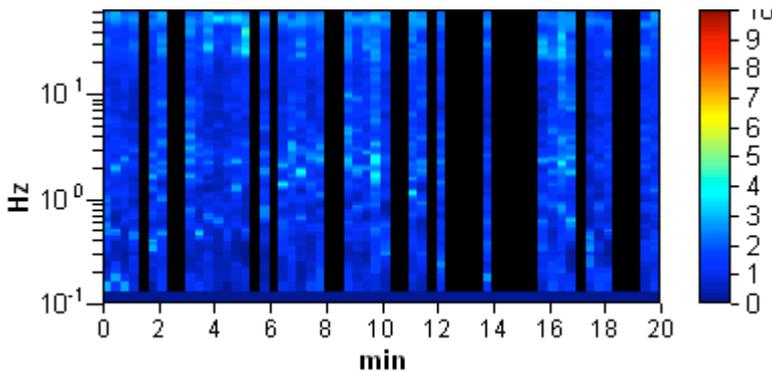
Strumento: TRZ-0138/01-11
Inizio registrazione: 02/09/16 12:38:56 Fine registrazione: 02/09/16 12:58:56
Tipo di lisciamento: Triangular window
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 62% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

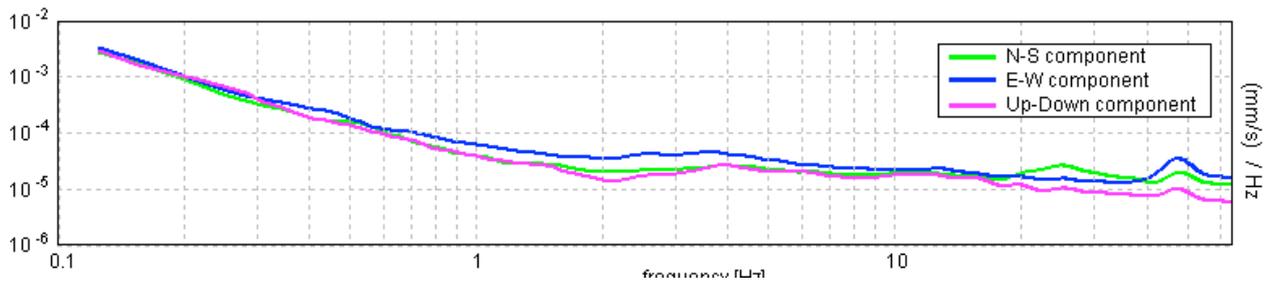
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



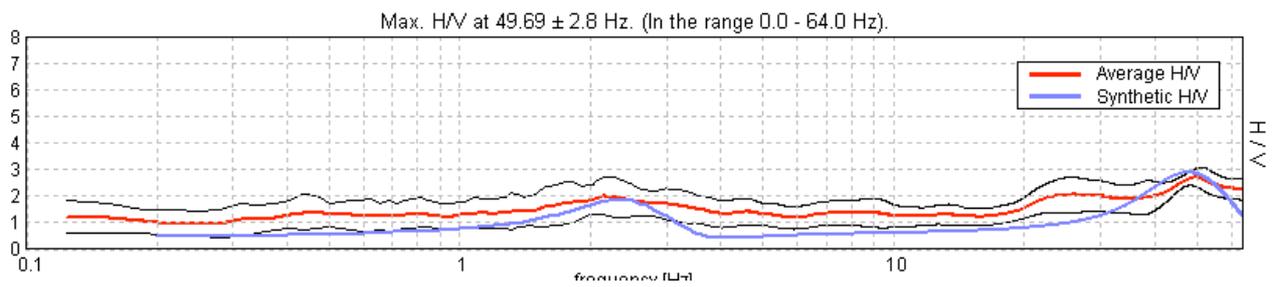
SERIE TEMPORALE H/V



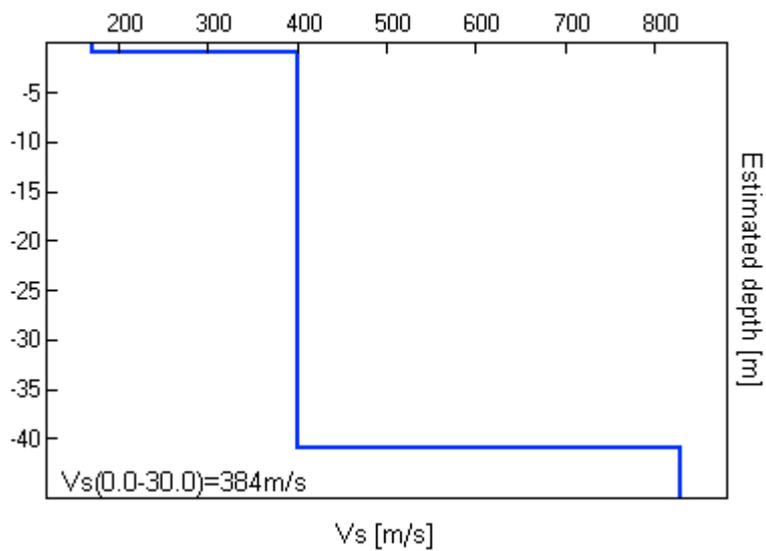
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



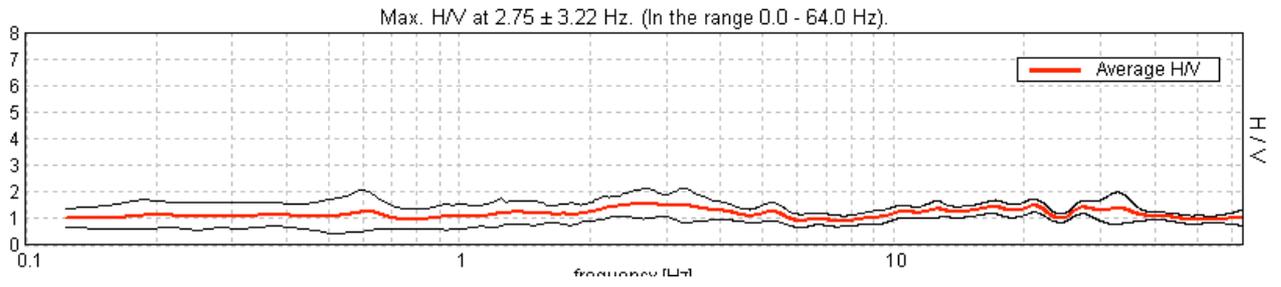
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



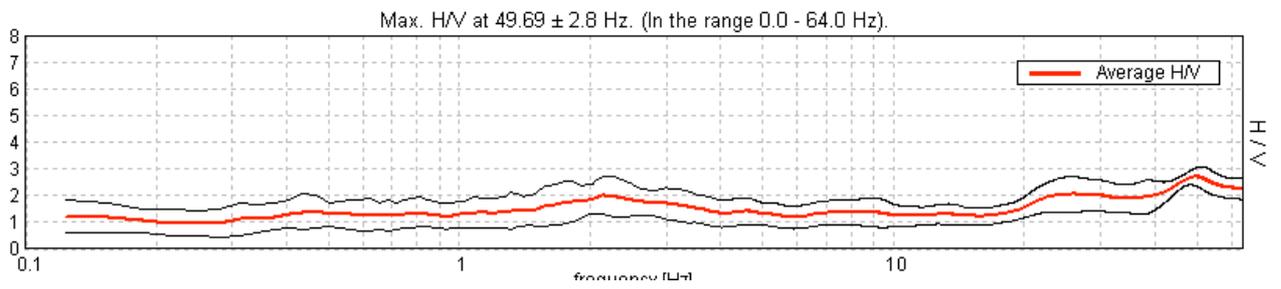
$V_s(0.0-30.0)=384\text{m/s}$



Comparazione rapporti spettrali H/V ottenuti nei 2 punti di campionatura

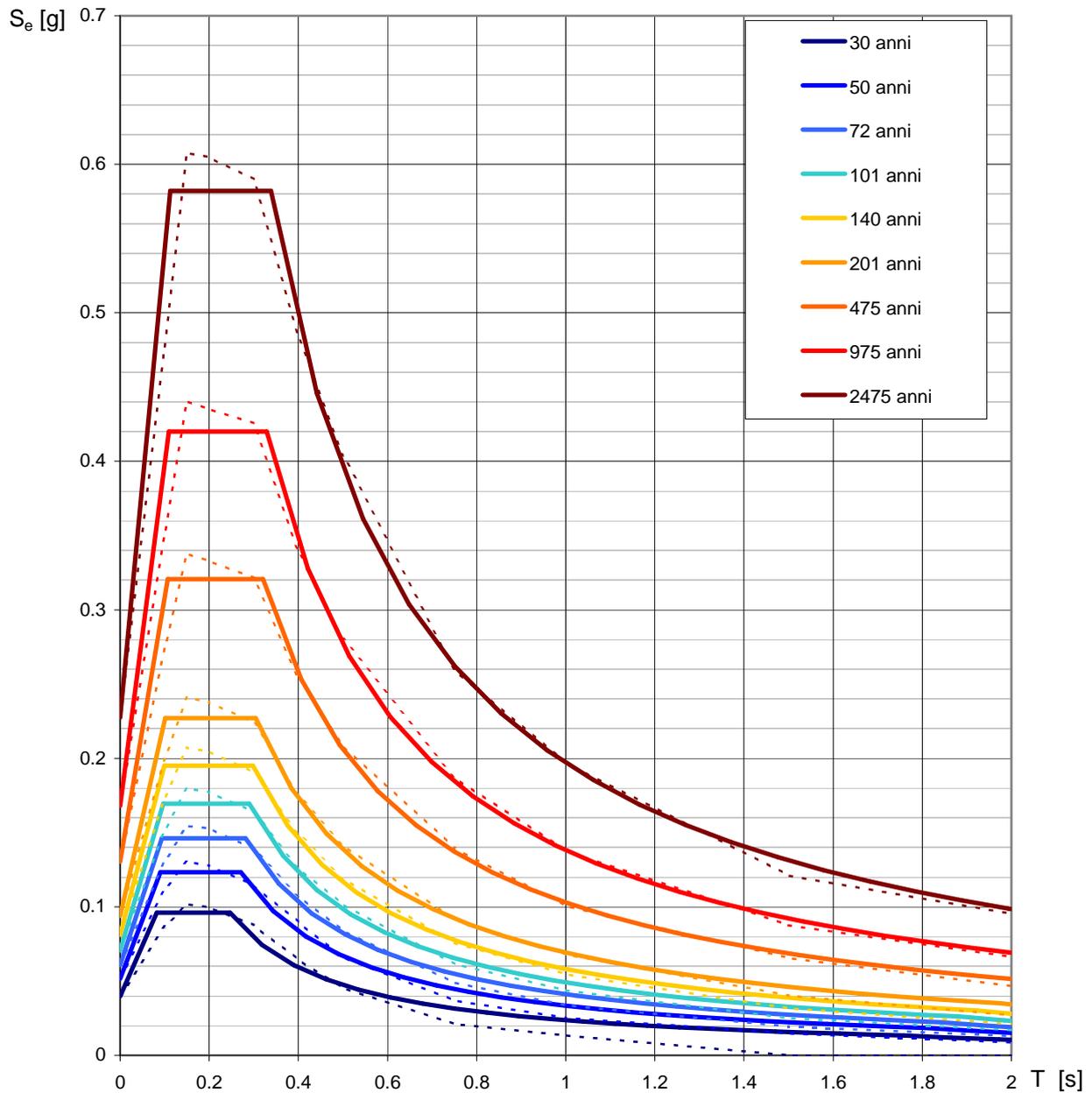


Rapporto spettrale H/V ottenuto TR1



Rapporto spettrale H/V ottenuto TR2

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento

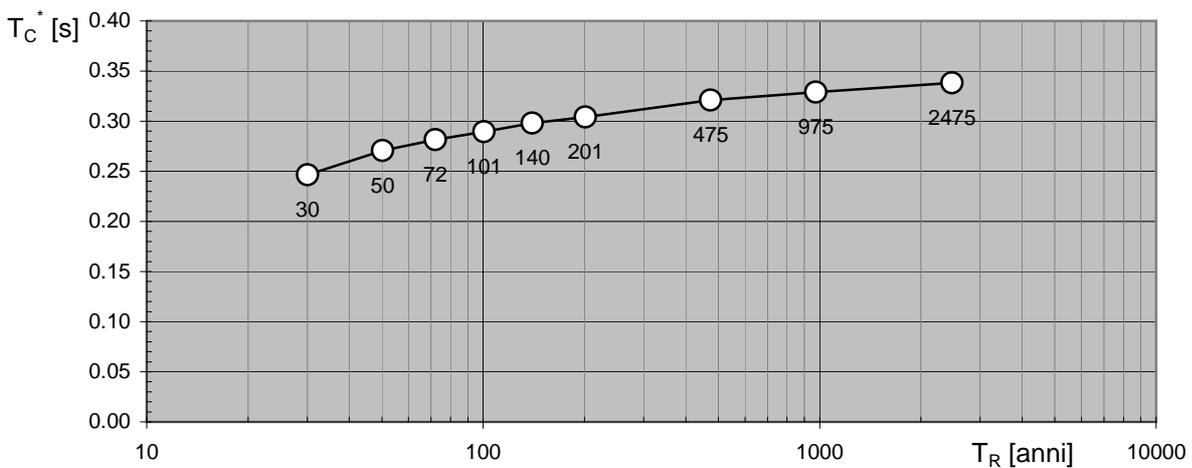
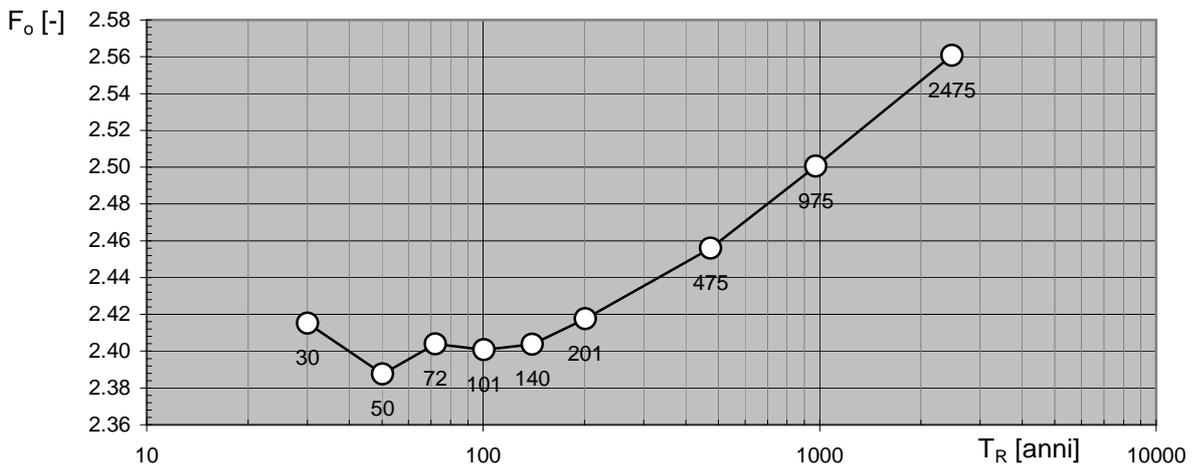
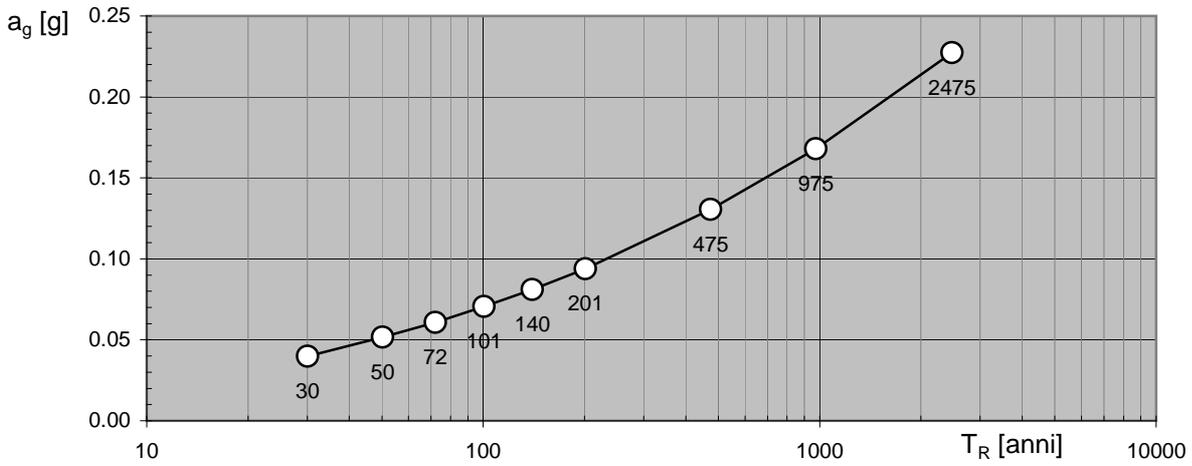


NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

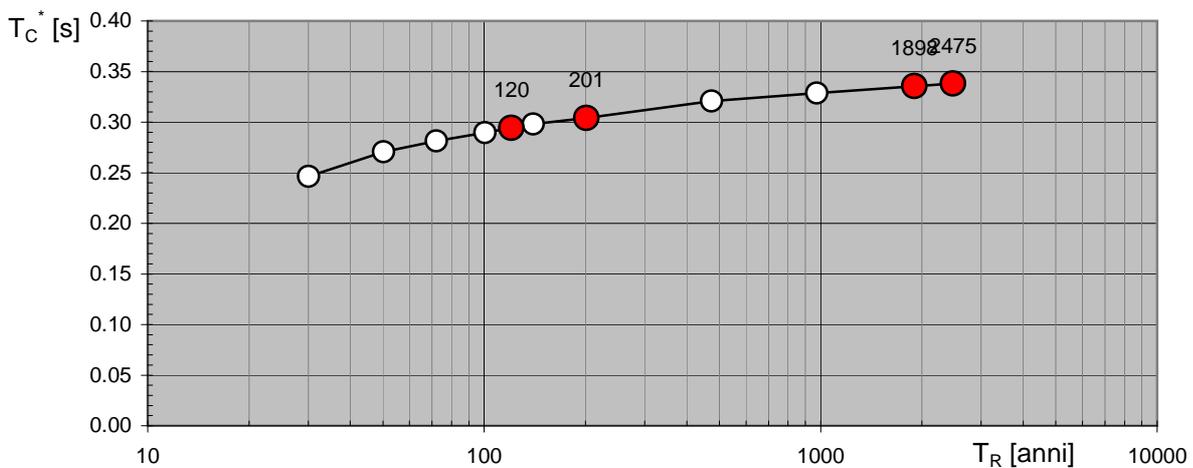
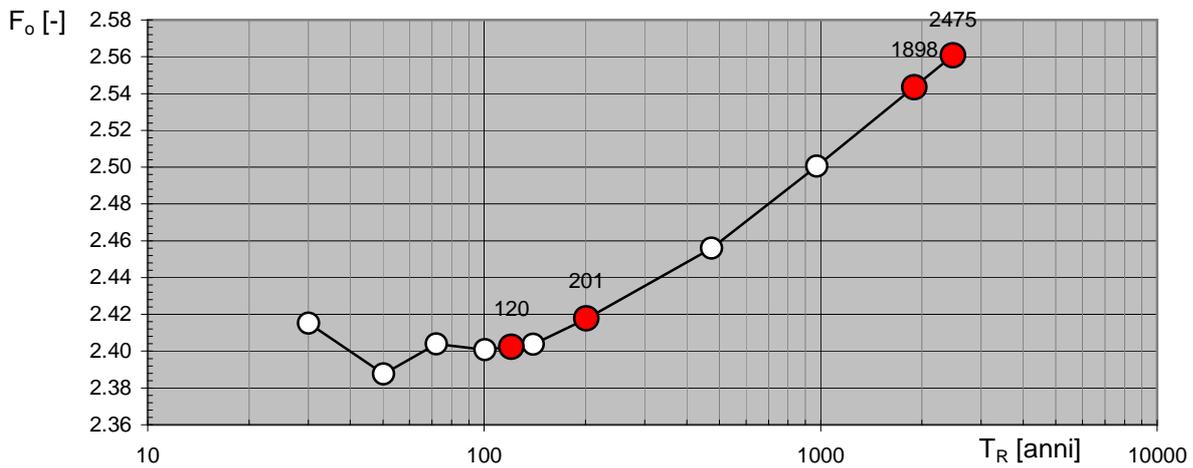
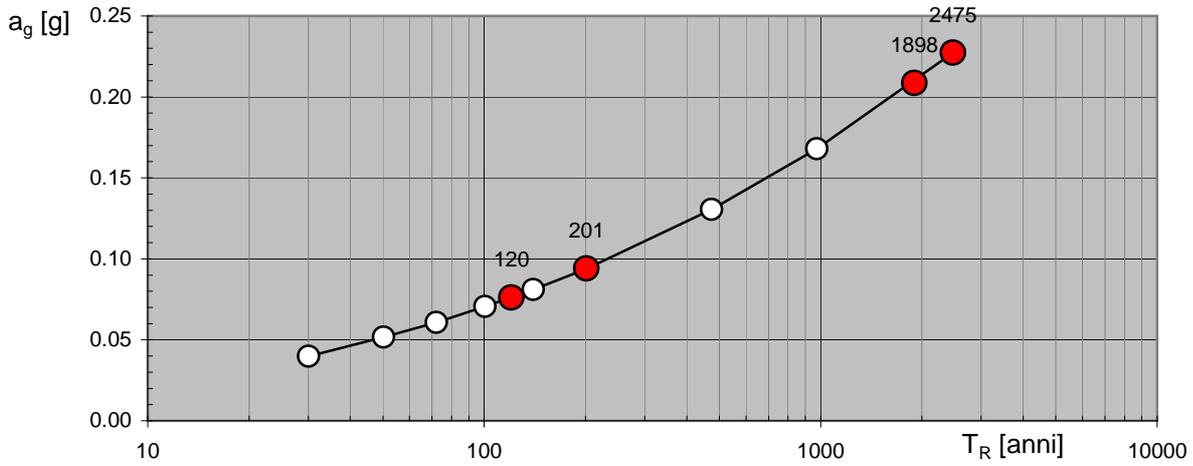
La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R

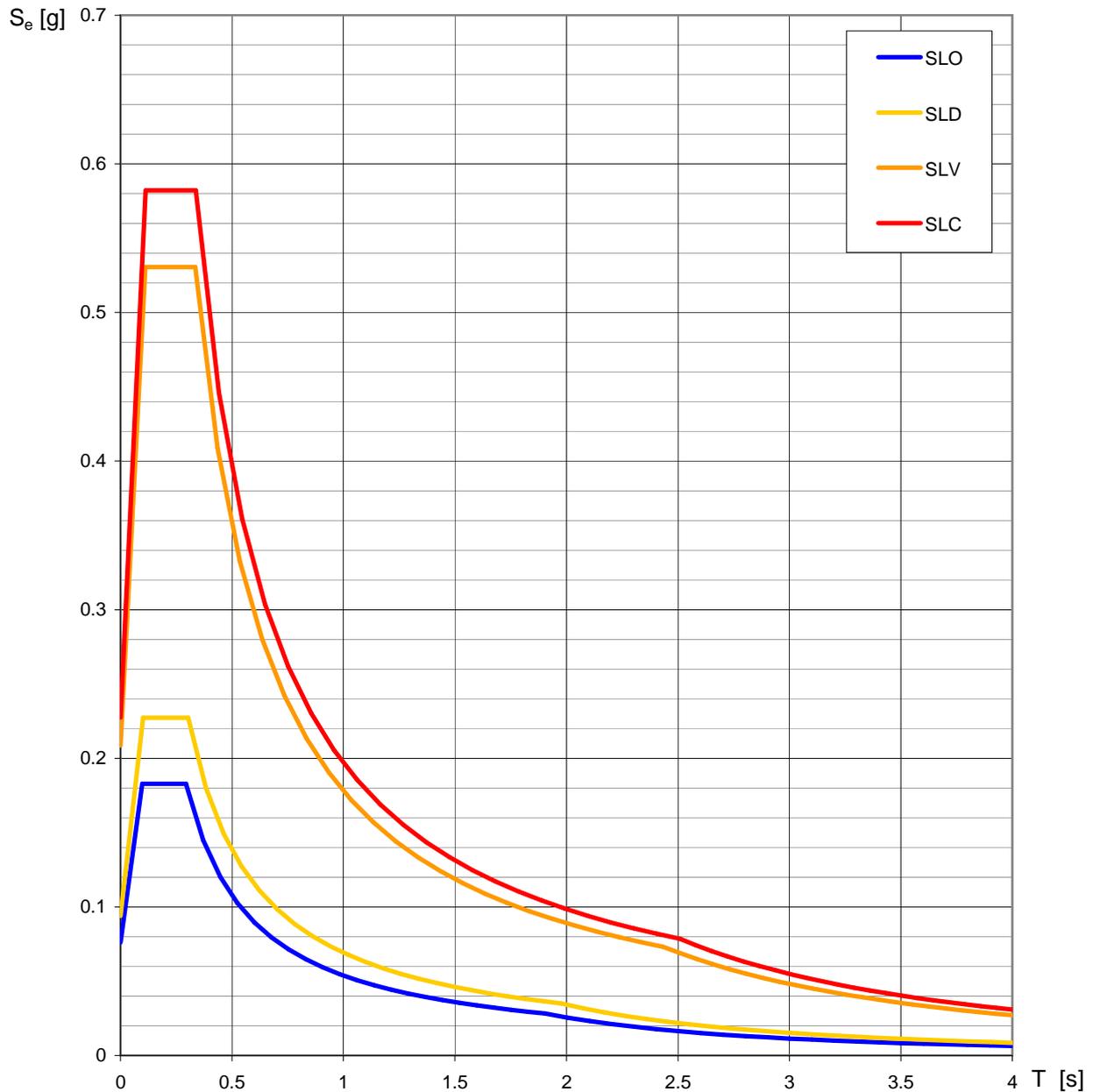


La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

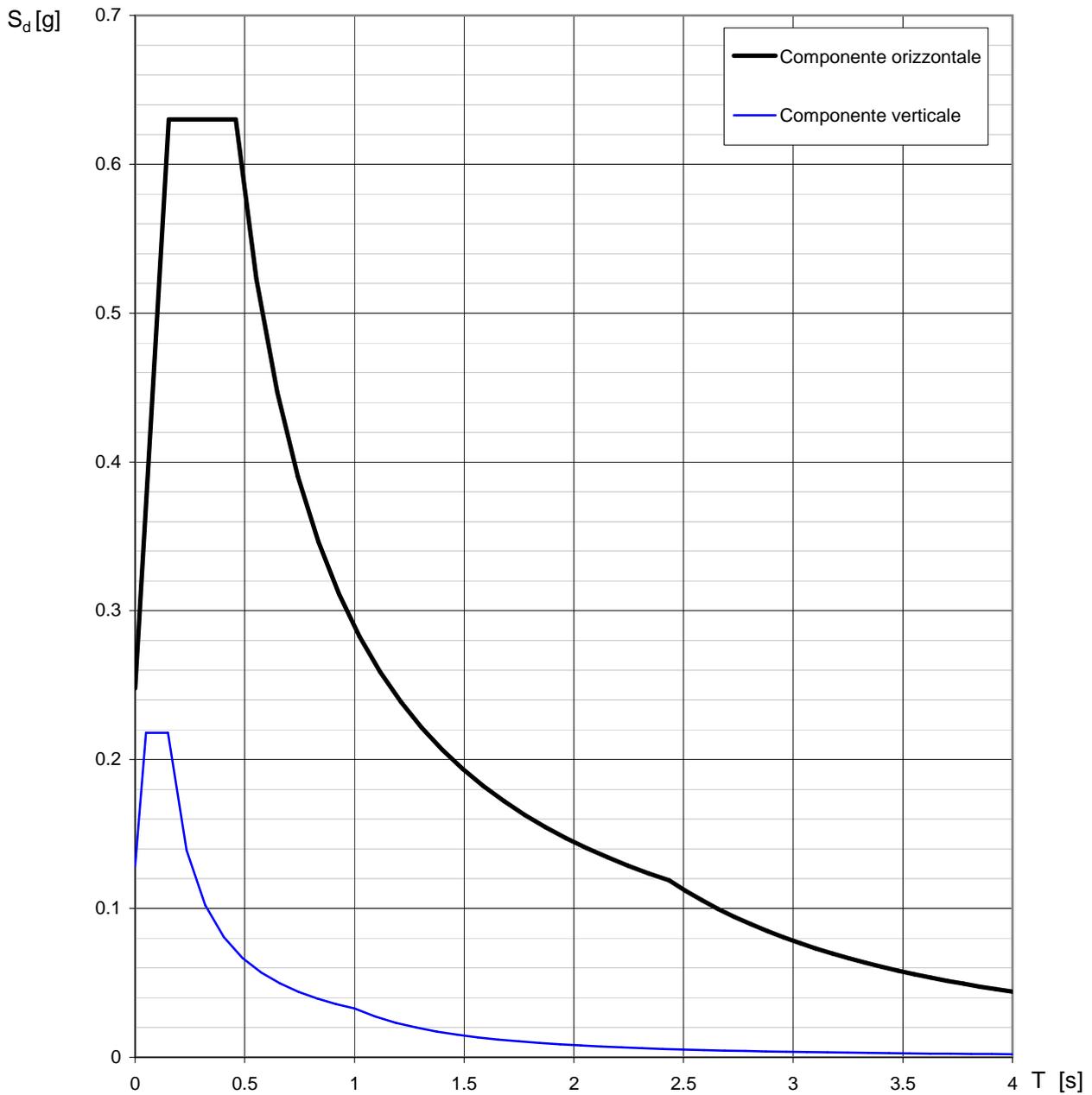
Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



La verifica dell' idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.209 g
F_o	2.543
T_C^*	0.335 s
S_S	1.188
C_C	1.369
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.188
η	1.000
T_B	0.153 s
T_C	0.459 s
T_D	2.434 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.248
$T_B \leftarrow$	0.153	0.630
$T_C \leftarrow$	0.459	0.630
	0.553	0.523
	0.647	0.447
	0.741	0.390
	0.835	0.346
	0.929	0.311
	1.023	0.283
	1.118	0.259
	1.212	0.239
	1.306	0.222
	1.400	0.207
	1.494	0.194
	1.588	0.182
	1.682	0.172
	1.776	0.163
	1.870	0.155
	1.964	0.147
	2.058	0.141
	2.152	0.134
	2.246	0.129
	2.340	0.124
$T_D \leftarrow$	2.434	0.119
	2.509	0.112
	2.583	0.106
	2.658	0.100
	2.733	0.094
	2.807	0.089
	2.882	0.085
	2.956	0.081
	3.031	0.077
	3.105	0.073
	3.180	0.070
	3.254	0.066
	3.329	0.064
	3.404	0.061
	3.478	0.058
	3.553	0.056
	3.627	0.054
	3.702	0.051
	3.776	0.049
	3.851	0.047
	3.925	0.046
	4.000	0.044

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.129 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.568
S	1.000
η	0.667

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.129
$T_B \leftarrow$	0.050	0.218
$T_C \leftarrow$	0.150	0.218
	0.235	0.139
	0.320	0.102
	0.405	0.081
	0.490	0.067
	0.575	0.057
	0.660	0.050
	0.745	0.044
	0.830	0.039
	0.915	0.036
$T_D \leftarrow$	1.000	0.033
	1.094	0.027
	1.188	0.023
	1.281	0.020
	1.375	0.017
	1.469	0.015
	1.563	0.013
	1.656	0.012
	1.750	0.011
	1.844	0.010
	1.938	0.009
	2.031	0.008
	2.125	0.007
	2.219	0.007
	2.313	0.006
	2.406	0.006
	2.500	0.005
	2.594	0.005
	2.688	0.005
	2.781	0.004
	2.875	0.004
	2.969	0.004
	3.063	0.003
	3.156	0.003
	3.250	0.003
	3.344	0.003
	3.438	0.003
	3.531	0.003
	3.625	0.002
	3.719	0.002
	3.813	0.002
	3.906	0.002
	4.000	0.002

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.