

Università degli Studi dell'Aquila



CONSORZIO PER LA SPERIMENTAZIONE EDILIZIA

laboratorio prove materiali strutture e terre



CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO DI PALAZZO CENTI, L'AQUILA

GRUPPO DI LAVORO

Geologia

Prof. Geol. Marco Tallini (coordinatore)

Dott. Geol. Federica Durante

Dott. Geol. Francesco Del Monaco

Geotecnica

Prof. Ing. Gianfranco Totani (coordinatore)

Prof. Ing. Paola Monaco

Ing. Sara Amoroso

Ing. Ferdinando Totani

L'Aquila, ottobre 2012

1 – Contenuti della Relazione

La presente Relazione descrive e commenta i risultati della campagna di indagini geologiche, geotecniche e geofisiche eseguite nel periodo maggio 2012. Le indagini geotecniche sono state svolte dal Consorzio Sperimentazione Edilizia – Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terre – Università degli Studi dell'Aquila, per la caratterizzazione dei terreni di fondazione di Palazzo Centi.

In particolare nella Relazione sono illustrati in dettaglio i seguenti aspetti:

- finalità, tipologia e ubicazione planimetrica delle indagini;
- programma, attrezzature/modalità di prova e risultati delle indagini;
- caratterizzazione litostratigrafica, geotecnica e geofisica dei terreni di fondazione;
- indicazioni per la definizione delle azioni sismiche di progetto, in accordo con la normativa tecnica vigente.

2 – Normativa di riferimento

D.M. 14 gennaio 2008 *Norme Tecniche per le Costruzioni*, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 – Suppl. Ordinario n. 30.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008*, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26 febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n. 27.

3 – Inquadramento geomorfologico – geologico

Il presente studio è stato eseguito ai fini della ristrutturazione di Palazzo Centi a L'Aquila. Il sito è meglio individuato nella cartografia di dettaglio in allegato. Il lavoro, redatto nel rispetto delle normative nazionali e regionali vigenti, ha avuto come scopo l'individuazione delle caratteristiche geologiche del sito e delle aree limitrofe. L'incarico ha comportato una ricerca bibliografica e cartografica preliminare, al fine di inquadrare l'area nel suo contesto geografico e geologico, nonché di acquisire informazioni utili allo scopo del lavoro. E' stato successivamente effettuato un accurato studio geologico e geomorfologico che ha permesso l'accertamento delle principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche e stratigrafiche. Infine sono state eseguite prove geotecniche di campagna che hanno permesso di determinare le caratteristiche dei terreni rinvenuti. Tali dati sono stati integrati con altri provenienti da studi geologici e geotecnici precedentemente effettuati nell'area.

3.1 – Inquadramento geomorfologico

L'edificio in oggetto, è posizionato ad una quota di circa 724 m su di un versante blandamente inclinato verso Sud-Est. L'attuale morfologia sub-pianeggiante di tale area nasce da fenomeni di sedimentazione/livellazione, ad opera di diversi agenti e/o processi esogeni, e modificata soprattutto dall'intervento antropico attraverso sbancamenti e riporti per usi edificatori e di viabilità. Dalla cartografia del PAI della Regione Abruzzo non sono presenti fenomeni di instabilità.

3.2 – Inquadramento geologico locale

In questo studio vengono analizzate le caratteristiche geologiche e geomorfologiche principali di un'area posta all'interno del centro storico della città de L'Aquila. Il bacino del territorio del capoluogo abruzzese, e l'area in cui ricade il sito in oggetto, rientra nel vecchio Foglio Geologico (1:100.000) n. 139 e nel nuovo Foglio Geologico (1:50.000) n. 359, GdL MSAQ 1:10.000 (vedi Figure 1, 2 e 3). Sostanzialmente tale territorio appartiene ad una "conca intramontana" dell'Appennino centrale in cui si rinvencono unità rocciose appartenenti ad aree paleogeografiche differenti; essa è ubicata al centro di importanti strutture tettonico-stratigrafiche, costituite da successioni carbonatiche triassico-mioceniche, in facies di piattaforma e di transizione. Vi si rilevano dei depositi calcarei meso-cenozoici dell'Unità del Gran Sasso e, in contatto tettonico, i depositi torbiditici miocenici.

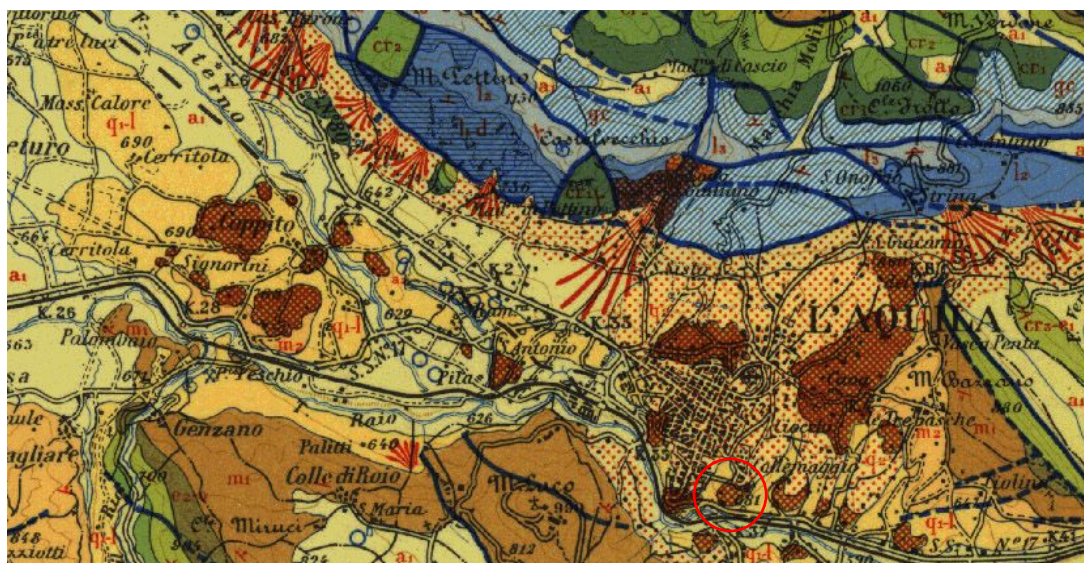


Figura 1 – Stralcio Foglio Geologico n. 139 (1:100.000)

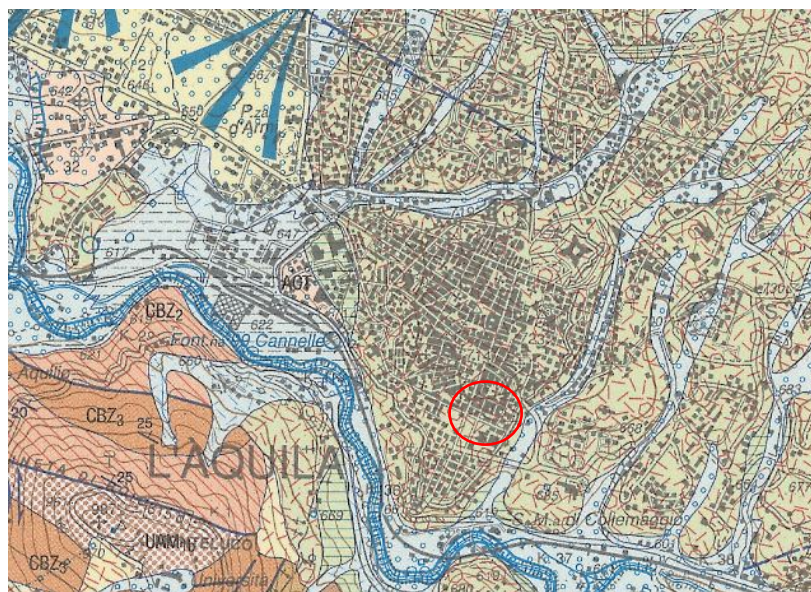


Figura 2 –Stralcio della Carta Geologica d'Italia n. 359 (1:50.000)

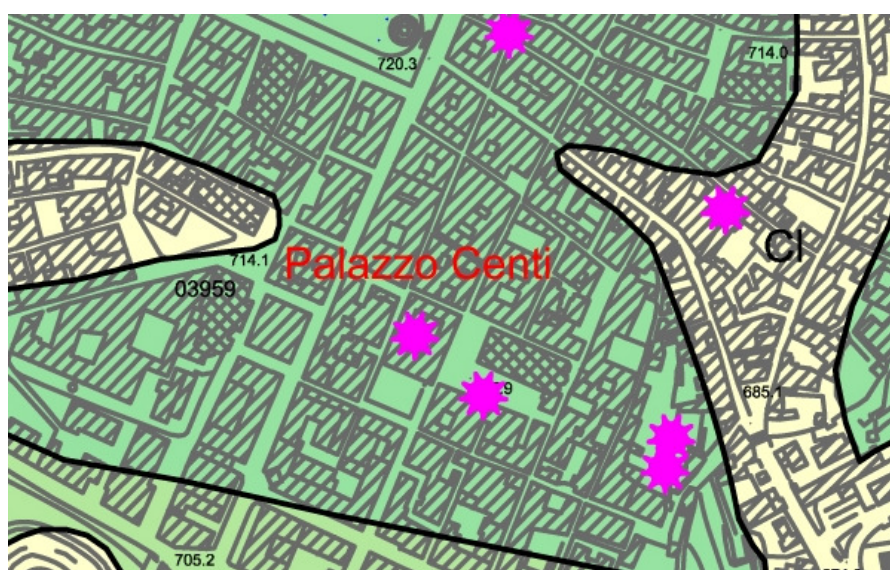


Figure 3 – Stralcio della Carta Geologica GdL MS AQ (1:10.000). In verde BR1 Breccie dell'Aquila Pleistocene Medio, giallo pallido CI Depositi eluvio-colluviali e in asterisco rosa cavità. Dalla carta geologica si nota come all'interno dello stesso palazzo viene localizzata la presenza di una cavità.

Il bacino dell'Aquila è una delle principali "conche intramontane" dell'Appennino centrale in cui si rinvenivano unità rocciose appartenenti ad aree paleogeografiche differenti, ed è ubicata al centro di importanti strutture tettonico-stratigrafiche, costituite da successioni carbonatiche triassico-mioceniche, in facies di piattaforma e di transizione. Vi si rilevano i depositi meso-cenozoici dell'Unità del Gran Sasso, dei Monti d'Ocre, del M. di Bazzano e i depositi torbiditici miocenici.

Sulla fascia settentrionale ed occidentale dell'area investigata affiorano i calcari dell'Unità del Gran Sasso, ovvero Corniola, Maiolica detritica e Scaglia detritica; sulla fascia meridionale ed orientale si ritrovano i calcari di rampa miocenici, le marne argillose grigio-azzurre (sedimentatisi in un

ambiente deposizionale di transizione tra la piattaforma ed il bacino) e i depositi terrigeni silicoclastici di bacino. I sedimenti quaternari ricoprono gran parte della valle dell'Aterno; lasciando visibili, in modo netto, solo alcune strutture carbonatiche e terrigene. I depositi, che colmano la vasta depressione di Scoppito-L'Aquila, sono formati da materiali granulometricamente variegati (dalle argille alle brecce), da sciolti a notevolmente cementati, e deposti in facies fluviale, fluvio-lacustre e lacustre; a questi si aggiungono i depositi detritici di versante originatisi dai fenomeni di erosione, trasporto e deposito del substrato roccioso presente immediatamente a monte dell'area in oggetto. Da ricordare infine i materiali più recenti, e non meno importanti, che ricoprono i sedimenti sopra citati: le alluvioni del F. Aterno, le colluvioni limo-argillose e i materiali di riporto antropico.

La formazione della depressione Scoppito-L'Aquila può essere riferita all'orogenesi appenninica, ovvero quando i sollevamenti differenziali della crosta terrestre, rompevano, fagliavano e dislocavano i corpi rocciosi creando avvallamenti notevoli (50-200 m). Il processo orogenetico si innesca con delle spinte compressive, dai settori più occidentali verso quelli orientali, e si evolve, a seguito dell'apertura del Tirreno (Tortoniano sup.), attraverso una tettonica distensiva, anch'essa con un fronte di migrazione da Ovest verso Est. Ciò dà origine ad una disarticolazione, con successiva traslazione, degli ammassi rocciosi generando pieghe, faglie e sovrascorrimenti ad allineamento appenninico (NW-SE).

Nella successiva fase distensiva si realizzano, all'interno della catena, una serie di faglie normali (NW-SE immergenti a SW) ad alto angolo e conseguenti depressioni tettoniche che diventano profonde aree di sedimentazione continentale.

Le Figure 1 e 2 e 3 mostrano che il settore in esame è costituito prevalentemente da depositi noti in letteratura come "Brecce dell'Aquila", formazione costituita da frammenti calcarei, subordinatamente selciosi, eterometrici, spigolosi e sub-arrotondati in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o limoso-sabbiosa di colore biancastro o avana. La matrice a tratti è quasi del tutto assente e a tratti diventa prevalente sulla frazione grossolana. Suddetti materiali si presentano con un aspetto variabile da granulare, debolmente coesivo e/o cementato, a litoide. In tali brecce si possono rinvenire sia cavità o blocchi calcarei omogenei di diversi metri cubi.

Le paleomorfologie sono riempite da depositi eluvio-colluviali litologicamente molto eterogenei rappresentati da elementi poligenici e da materiali di riporto antropici. Le classi granulometriche riscontrate variano dai ciottoli alle argille e la colorazione varia dal marrone scuro al marroncino. Lo spessore è comunque altamente variabile.

Da notare infine che in nessuno dei fori di sondaggio eseguiti è stata osservata la presenza di falda nell'ambito delle profondità investigate.

4 – Indagini geologiche, geotecniche e geofisiche (2012)

4.1 – Finalità e tipologia delle indagini

Il contenuto di questa Relazione si basa sui risultati della campagna di indagini geologiche, geotecniche e geofisiche (sondaggi, indagini di sismica attiva e passiva) eseguite nell'area nel Palazzo Centi nel maggio 2012.

Le indagini recenti nell'area sono state programmate allo scopo di acquisire i dati necessari per la caratterizzazione del sottosuolo ai fini della progettazione degli interventi di adeguamento sismico del complesso edilizio esistente, danneggiato dal sisma del 6 aprile 2009, in ottemperanza alla normativa tecnica vigente (D.M. 14.01.2008).

In particolare le indagini eseguite hanno consentito di acquisire gli elementi necessari per:

- adeguata ricostruzione delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione;
- classificazione sismica del sottosuolo e indicazioni per la definizione delle azioni sismiche di progetto.

Le tipologie di indagine prescelte per il raggiungimento dei suddetti obiettivi, tenuto conto della natura dei terreni prevista da indagini precedenti e da informazioni sulla geologia dell'area, consistono in:

- sondaggi geotecnici a carotaggio continuo, con esecuzione di prove Standard Penetration Test (SPT);
- misure in sito della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s mediante prove con dilatometro sismico (SDMT)
- misure di rumore ambientale tramite l'utilizzo della tecnica H/V.

4.2 – Programma e ubicazione delle indagini

Le indagini eseguite nel periodo maggio 2012 nell'area di Palazzo Centi (Piazza Santa Giusta, Via San Michele, Via Guelfaglione) comprendono:

- n° 2 sondaggi geotecnici verticali a rotazione a carotaggio continuo (S1, S2), spinti rispettivamente fino a 35 m e 45 m di profondità dal piano campagna. Al termine delle perforazione i fori di sondaggio sono stati predisposti per l'esecuzione di misure di velocità delle onde di taglio V_s con dilatometro sismico (SDMT) mediante riempimento con sabbia per l'intera lunghezza. Nel corso dei sondaggi S1, S2 sono state eseguite n° 10 prove Standard Penetration Test (SPT). Data la natura prevalentemente grossolana dei terreni, non sono stati prelevati campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio;
- n° 4 sondaggi inclinati a carotaggio continuo (F1, F2, F3, F4), spinti fino a profondità comprese tra 5 m e 13 m dal piano campagna, per l'accertamento del piano di posa delle fondazioni;
- n° 2 misure di rumore ambientale tramite l'utilizzo dello strumento Tromino Micromed
- n° 2 verticali di prova con dilatometro sismico (SDMT) consistenti nella sola misura della velocità delle onde di taglio V_s ogni 0.50 m all'interno dei fori di sondaggio (S1 e S2) preventivamente riempiti di sabbia. Infatti, essendo stata riscontrata dai sondaggi la presenza di terreni "non penetrabili" (materiali di riporto, brecce), in nessuna delle postazioni individuate è stato possibile eseguire prove SDMT "complete" secondo la procedura standard (con misure DMT usuali ogni 0.20 m all'interno del terreno naturale, in aggiunta alle misure di V_s). Le prove SDMT 1, eseguita all'interno del foro di sondaggio S1, e SDMT 2, eseguita all'interno del foro di sondaggio S2, sono state spinte rispettivamente fino a 32.50 m e 44.50 m di profondità dal piano campagna;

L'ubicazione planimetrica dei punti di indagine profonda (sondaggi / verticali di prova SDMT) nell'area di Palazzo Centi è illustrata in Figura 3. Le relative quantità sono riepilogate nella Tabella 1.

I risultati dei sondaggi e delle indagini di sismica attiva e passiva sono riportati in specifici Rapporti allegati alla presente Relazione:

- Allegato 1: Sondaggi, prove SPT
- Allegato 2: Misure di V_s in sito mediante SDMT
- Allegato 3: Risultati indagine H/V

Il programma delle indagini è stato definito e successivamente condotto dai tecnici del Consorzio per la Sperimentazione Edilizia dell'Università dell'Aquila in conformità alle indicazioni fornite dai coordinatori del gruppo di lavoro per gli studi geologici e geotecnici che hanno supervisionato tutte le operazioni.

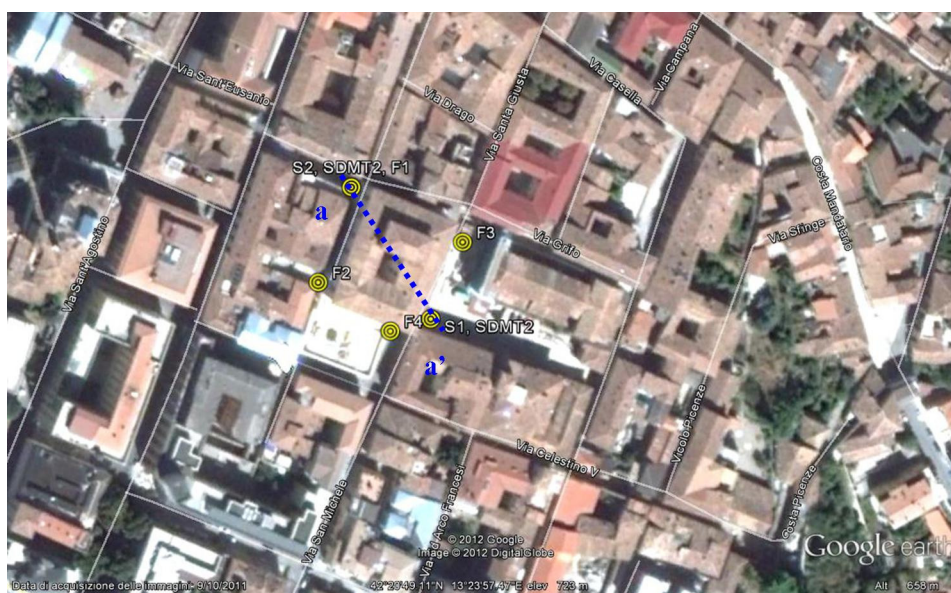


Figura 4 – Planimetria dell'area di Palazzo Centi e ubicazione indagini 2012: sondaggi (S1-SDMT1 Piazza S. Giusta, S2-SDMT2 Via Guelfaglione)

Tabella 1 – Riepilogo sondaggi / SDMT Palazzo Centi

Postazione	Sondaggi (n° - prof. da p.c)	Prove SPT (n°)	Prove SDMT (n° - prof. da p.c)
1	S1 – 35.00 m	5	SDMT 1 – 32.50 m
2	S2 – 45.00 m	5	SDMT 2 – 44.50 m
3	S3 – 8.00 m	-	-
4	S4 – 13.00 m	-	-
5	S5 – 10.00 m	-	-
6	S6 – 10.00 m	-	-

4.3 – Descrizione delle metodologie di indagine

4.3.1 Sondaggi, prove SPT

I sondaggi sono definiti *geotecnici* in quanto caratterizzati dalle seguenti modalità esecutive:

- carotaggio integrale e rappresentativo del terreno attraversato;
- prelievo (laddove possibile) di campioni di terreno;
- esecuzione di prove geotecniche nel foro;
- descrizione stratigrafica in chiave geotecnica;
- annotazione di osservazioni atte alla caratterizzazione geotecnica del terreno.

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti con perforatrice idraulica a rotazione tipo CMV MK 1200, utilizzando per la perforazione carotieri Ø 101 mm e tubazioni di rivestimento provvisorio Ø 127 mm.

Il materiale ottenuto dal carotaggio è stato sistemato in cassette catalogatrici in PVC con l'indicazione delle profondità di prelievo.

Data la natura prevalentemente grossolana dei terreni, non sono stati prelevati campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio.

Le prove Standard Penetration Test (SPT) sono state eseguite con maglio a sganciamento automatico (massa battente 63.5 kg e altezza di caduta 76 cm) e campionatore standard tipo Raymond con punta conica.

I fori verticali (S1 e S2) sono stati predisposti per la successiva esecuzione di prove sismiche tipo SDMT provvedendo al riempimento dei fori stessi con sabbia.

Per i risultati delle indagini sopra descritte e per maggiori dettagli circa le modalità esecutive si rimanda allo specifico Rapporto allegato alla presente Relazione (Allegato 1, 2).

4.3.2 Misure di V_s in situ mediante dilatometro sismico (SDMT)

Il dilatometro sismico (SDMT) è la combinazione del dilatometro "meccanico" standard (DMT), introdotto da Marchetti (1980), con un modulo sismico per la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . A partire da V_s è possibile determinare, tramite teoria dell'elasticità, il modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 .

Il modulo sismico (Figura 5) è costituito da un corpo cilindrico posto sopra la lama DMT, munito di due ricevitori distanti 0.5 m. Il segnale è amplificato e digitalizzato in profondità. La configurazione di prova *true-interval* a due ricevitori evita possibili inesattezze nella determinazione dello zero dei tempi dall'impatto, talora riscontrate nella configurazione *pseudo-interval* con un solo ricevitore. Inoltre la coppia di sismogrammi registrata dai due ricevitori ad una data profondità di prova corrisponde allo stesso colpo, anziché a colpi successivi non necessariamente identici, con sensibile miglioramento della ripetibilità delle misure di V_s (ripetibilità osservata $\approx 1-2\%$).

V_s è ottenuta (Figura 5b) come rapporto tra la differenza di distanza tra la sorgente e i due ricevitori ($S_2 - S_1$) e il ritardo dell'arrivo dell'impulso dal primo al secondo ricevitore (Δt). Le misure di V_s sono effettuate ogni 0.50 m di profondità.

L'energizzazione avviene in superficie (Figura 5d) mediante un martello a pendolo (≈ 10 kg) che percuote orizzontalmente una base di ferro parallelepipedica pressata verticalmente contro il terreno (grazie al peso del camion) ed orientata con asse longitudinale parallelo all'asse dei ricevitori, in modo che essi offrano la massima sensibilità all'onda di taglio generata.

La determinazione del ritardo dai sismogrammi SDMT, di solito ottenuta utilizzando l'algoritmo della *cross-correlation*, è generalmente ben condizionata, essendo basata sui due sismogrammi – in particolare le onde iniziali – piuttosto che sul tempo di primo arrivo o *marker* specifici nel sismogramma. La Figura 6 mostra un esempio di sismogrammi ottenuti da SDMT a varie profondità di prova nel sito del Fucino-Telespazio (è buona pratica riportare affiancati i sismogrammi registrati e rifasati secondo il ritardo calcolato).

Le misure di V_s ottenute da SDMT sono state validate, in diversi siti di ricerca, in base a confronti con misure di V_s ottenute da altre prove sismiche in sito. A titolo di esempio, la Figura 7 mostra confronti tra misure di V_s nel sito di ricerca del Fucino-Telespazio (L'Aquila), in argille NC cementate, estesamente indagato alla fine degli anni '80. Il profilo di V_s ottenuto da prove SDMT eseguite nel 2004 (Figura 7) è risultato in ottimo accordo con i profili di V_s ottenuti in precedenza da SCPT, Cross-Hole e SASW (AGI, 1991). Altri confronti similmente favorevoli sono riportati ad es. da Hepton (1988), McGillivray e Mayne (2004), Młynarek et al. (2006).

Informazioni dettagliate, riferimenti bibliografici e commenti su risultati/applicazioni della prova SDMT possono essere reperiti nella letteratura scientifica recente, ad es. in Marchetti et al. (2008). (Informazioni sulla prova DMT "meccanica" possono trovarsi nel rapporto del Comitato Tecnico TC16 ISSMGE del 2001, disponibile anche in versione italiana – Marchetti et al. 2001). La prova SDMT è inoltre descritta nel recente documento *Gruppo di lavoro MS (2008). "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"* elaborato dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e dal Dipartimento della Protezione Civile.

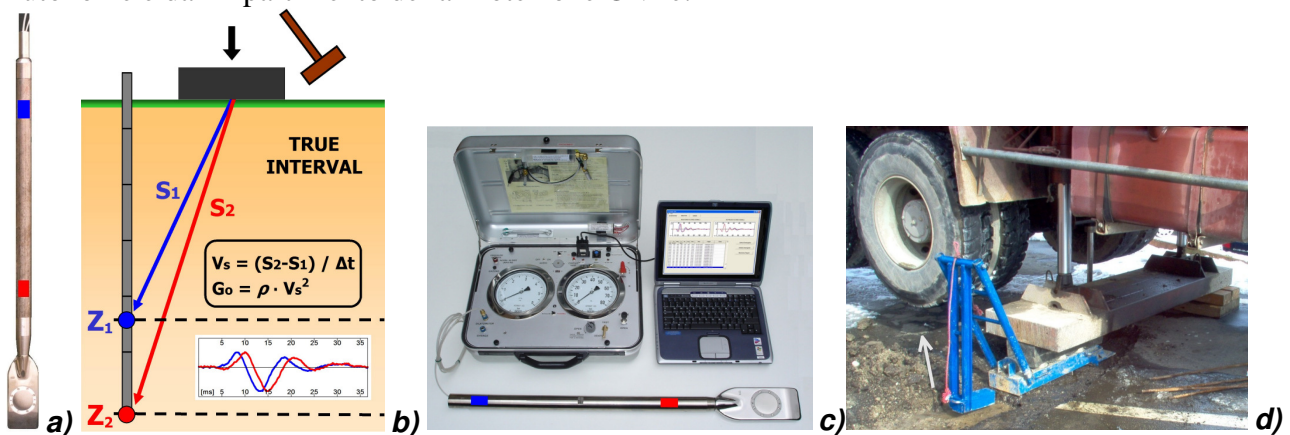


Figura 5 – (a) Lama DMT e modulo sismico. (b) Schema della prova SDMT. (c) Attrezzatura SDMT. (d) Sorgente di energizzazione in superficie.

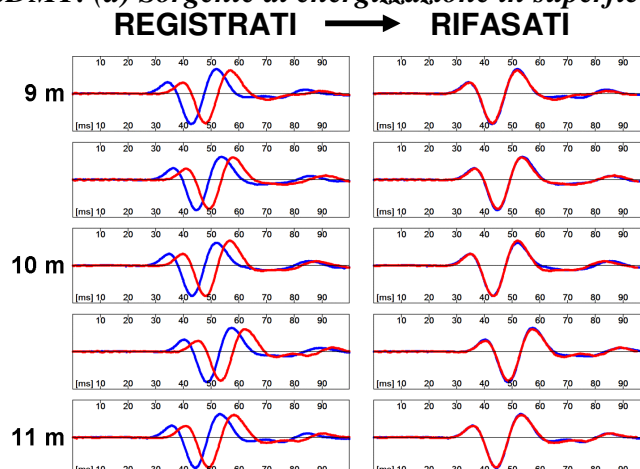


Figura 6 – Esempio di sismogrammi ottenuti da SDMT a varie profondità di prova nel sito del Fucino-Telespazio (registrati e rifasati secondo il ritardo calcolato)

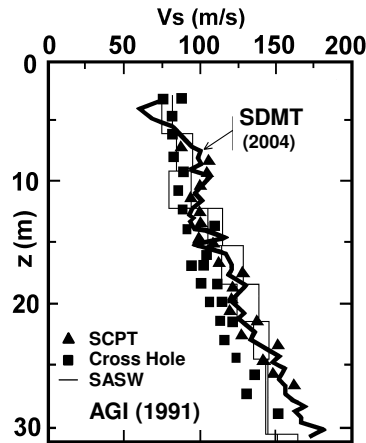


Figura 7 – Confronto tra profili di V_s ottenuti da SDMT e da SCPT, Cross-Hole e SASW (AGI 1991) nel sito di ricerca del Fucino-Telespazio

Misure di V_s con SDMT in terreni non penetrabili

In casi in cui il terreno è troppo duro per essere penetrato (ad es. ghiaie, o anche rocce tenere) è possibile eseguire misure di V_s mediante SDMT all'interno di fori di sondaggio preventivamente riempiti di sabbia (solo misure di V_s – senza misure DMT). La possibilità di questa misura discende dal fatto che il percorso dell'onda di taglio dalla superficie al ricevitore superiore e inferiore include un breve tratto nel riempimento di lunghezza simile per i due ricevitori (vedi schema approssimato in Figura 8).

schema approssimato

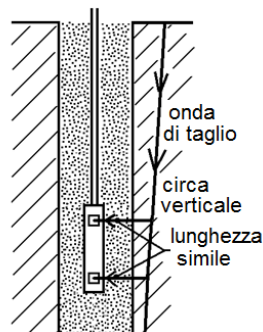


Figura 8 – Schema approssimato illustrativo della tecnica di misura di V_s mediante SDMT in un foro di sondaggio riempito di sabbia (terreni non penetrabili)

La procedura è la seguente:

- (1) Esecuzione del foro di sondaggio (con o senza rivestimento) per mezzo di sonda fino alla profondità di prova desiderata.
- (2) Riempimento del foro con sabbia grossa pulita – ghiaietto (dimensioni dei grani da 1-2 a 4-5 mm, esente da fine), versando la sabbia da testa foro. L'operazione di riempimento viene condotta per intervalli di profondità di lunghezza massima uguale alla lunghezza di un singolo elemento del rivestimento (ad es. 1.50 m), avendo cura ogni volta che il fondo del rivestimento sia mantenuto al di sotto della sommità del riempimento e misurando sistematicamente il volume della sabbia versata ed il livello del riempimento all'interno del foro. Se necessario può essere versata acqua dalla testa del foro per facilitare la discesa e la densificazione della sabbia (queste operazioni minimizzano il rischio che eventuali vuoti nel riempimento possano successivamente ridurre il contatto tra il modulo sismico ed il terreno, necessario per ottenere

misure di V_s accurate). Dopo aver riempito ciascun tratto di lunghezza 1.50 m il rivestimento viene sollevato, senza rotazione. Questa sequenza viene ripetuta finché il foro non è completamente riempito di sabbia.

- (3) Il dilatometro sismico viene quindi inserito e fatto avanzare all'interno del foro riempito di sabbia nel modo usuale, ad es. mediante uso di un penetrometro (posizionato con attenzione sul centro del foro), e vengono eseguite misure di V_s ogni 0.50 m di profondità. In questo caso non vengono eseguite misure DMT (prive di significato nel terreno di riempimento).

Confronti effettuati in diversi siti di prova indicano che i valori di V_s ottenuti in un foro riempito di sabbia sono all'incirca coincidenti con i valori di V_s ottenuti mediante penetrazione nel terreno "vergine". La Figura 9 mostra il confronto tra i profili di V_s ottenuti, nello stesso sito, mediante penetrazione nel terreno "vergine" naturale (procedura SDMT usuale) e in un vicino foro riempito di sabbia. L'ottimo accordo osservato tra i due profili di V_s in Figura 9 è indice dell'affidabilità delle misure di V_s ottenute in questo modo.

La procedura descritta è già stata applicata con successo in numerosi siti, tra cui diversi siti all'Aquila e dintorni ed a Sulmona, sia prima che dopo il sisma del 6 aprile 2009. Per maggiori informazioni si rinvia a Totani et al. (2009) ed al rapporto "*L'Aquila Earthquake SDMT Volume – June 2009*" (Università degli Studi dell'Aquila).

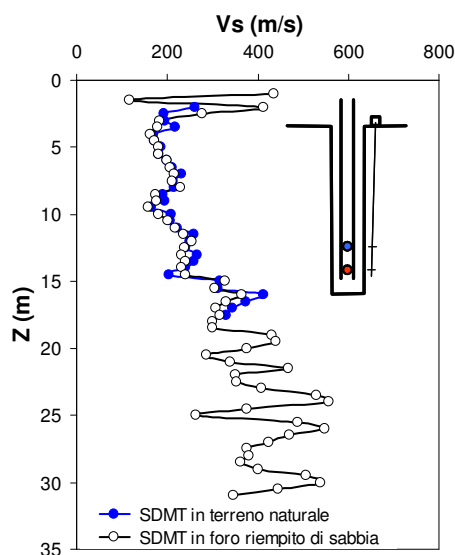


Figura 9 – Validazione della tecnica di misura di V_s con SDMT in terreni non penetrabili: confronto tra profili di V_s ottenuti da SDMT nel terreno naturale e in un vicino foro riempito di sabbia nel sito di Montescaglioso – Ginosa (Matera)

I sondaggi eseguiti nell'area del complesso di Palazzo Centi, come peraltro previsto in base a risultati di indagini precedenti e informazioni sulla geologia dell'area, hanno messo in luce la natura generalmente grossolana dei terreni di fondazione (materiali di riporto, brecce), che li rende "non penetrabili" dalla lama dilatometrica. Ciò ha reso necessario eseguire le misure di V_s sfruttando la presenza dei fori di sondaggio. Nei fori S1, S2, S3, riempiti di sabbia grossa e ghiaietto fino al piano campagna, è stata spinta la sonda SDMT mediante penetrometro autocarrato (camion zavorrato da 20 tonnellate), eseguendo in ciascuna postazione misure di V_s con passo 0.50 m fino a profondità pari o prossime al fondo foro.

Per i risultati delle misure di V_s in sito con SDMT e per maggiori dettagli circa le modalità esecutive si rimanda allo specifico Rapporto allegato alla presente Relazione (Allegato 2). In tale elaborato sono riportati sia i valori di V_s ricavati dall'interpretazione delle misure (grafici e tabulati numerici), sia i sismogrammi ottenuti da SDMT alle varie profondità di prova (ogni 0.50 m), registrati e rifasati secondo il ritardo calcolato.

4.3.3 Metodo H/V: misure di rumore sismico

Le vibrazioni ambientali (o rumore sismico ambientale o microtremori) sono movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze non percepibili dall'uomo (10⁻⁴ – 10⁻² mm), osservabili in ogni parte della superficie della Terra. Queste vibrazioni sono l'effetto di una molteplicità di sorgenti agenti a diverse frequenze: onde marine e perturbazioni atmosferiche, ad esempio, contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 0.5 Hz; vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 0.5 Hz.

La tecnica sismica passiva a stazione singola si è imposta negli anni recenti come il metodo più semplice per verificare se in un sito esista la possibilità di amplificazione per motivi stratigrafici e a quali frequenze. La tecnica assume che i microtremori siano principalmente composti da onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato soffice su un mezzo rigido e che la presenza di quello strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Questa tecnica ha lo scopo principale di evidenziare la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni. Il risultato è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto H/V in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. In casi semplici (coperture soffici al di sopra di un basamento sismico rigido), è possibile stabilire una relazione fra lo spessore h dello strato soffice, la velocità media delle onde S all'interno di quest'ultimo (V_s) e la frequenza di risonanza f dello strato, nella forma:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

Dall'equazione emerge come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di vibrazioni ambientali che vincola il valore di f , nota la V_s delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

Le misure di microtremore a stazione singola si effettuano per mezzo di sismometri tricomponenti sufficientemente sensibili nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (0.1-20 Hz, corrispondenti alle frequenze dei modi di vibrare della maggior parte delle strutture).

Dal punto di vista pratico bisogna effettuare:

- 1) un accurato accoppiamento dello strumento di misura con il terreno;
- 2) registrazioni di almeno 20 min in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s su cui effettuare una media;
- 3) verificare che la misura rispetti i criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V (progetto SESAME).

Si tratta essenzialmente di criteri di tipo statistico che hanno lo scopo di segnalare situazioni poco chiare, per le quali sono necessarie ulteriori indagini.

Per l'analisi del rumore sismico ambientale è stato usato un tromografo (Tromino – Micromed s.p.a). Si tratta di una stazione sismica digitale compatta e leggera, equipaggiata con sismometro a banda larga e ad alta sensibilità, costituito da tre velocimetri a breve periodo. L'analisi dei dati è stata condotta tramite il software Grilla con il quale è possibile analizzare e visualizzare le misure effettuate tramite tale strumentazione. Il software effettua l'analisi spettrale completa delle tracce, effettua il calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo effettuando le procedure di pulizia dei tracciati nel dominio del tempo e della frequenza. Inoltre provvede ai test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee del SESAME.

Di seguito si riporta una carta di ubicazione delle misure effettuate nell'area di Palazzo Centi e le curve H/V ottenute sono in allegato 3.

L'area in esame mostra due picchi di amplificazione, il primo per entrambi le misure è 0.56 Hz, ed il secondo invece è 4.06 per la F17 e 8.28 per la F18. Picco che per forma e ampiezza, evidenzia un passaggio graduale tra i materiali a bassa impedenza sismica. Il picco fondamentale del colle dell'Aquila, che indica il passaggio stratigrafico tra le formazioni continentali e lacustri superficiali e il bedrock carbonatico, con frequenza di circa 0,6 Hz, è visibile dalle misure effettuate. Il secondo picco invece evidenzia il passaggio tra il materiale di riporto e le brecce dell'Aquila o ad un passaggio interno tra brecce alterate e non alterate. Le misure sono state effettuate in contesto urbano, caratterizzato da superfici asfaltate le quali condizionano sensibilmente i risultati.



Figura 10 – Ubicazione misure di rumore sismico

5 – Caratterizzazione litostratigrafica

I litotipi che caratterizzano il sito sono in successione stratigrafica, dal più giovane al più antico, i seguenti:

- **RIPORTI ANTROPICI E/O PAVIMENTAZIONE:** frammenti calcarei e di laterizi in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa. Lo spessore rilevato durante i sondaggi geognostici è di circa 1 m.
- **BRECCIE DELL'AQUILA:** costituite da frammenti calcarei spigolosi e sub arrotondati, eterometrici, in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o sabbiosa-limosa di colore avana-rosato fino alla profondità di 7 m e poi biancastra. Alla profondità di 1.00m un livello di limo argilloso rassastro (20cm). Il comportamento geologico-tecnico delle Breccie dell'Aquila è variabile da granulare debolmente coesivo a cementato e litoide ed in queste si possono rinvenire blocchi calcarei omogenei di diversi metri cubi.
- **LIMO ARGILLOSO E LIMO SABBIOSO** che costituisce a volte la matrice la quale può essere più o meno abbondante, di colore bruno-rossastro e bruno.

Al di sotto dell'Unità "Breccie dell'Aquila", secondo i dati gravimetrici, di rumore sismico e alla stratigrafia di un sondaggio realizzato in Piazza Duomo, sono presenti depositi lacustri antichi. Nel lavoro della GE.MI.NA. (1963) tale associazione litologica è denominata "Complesso superiore argilloso-sabbioso-lignitifero" e rappresenta la porzione superiore di una successione suddivisa in tre complessi di cui fanno parte verso il basso anche il Complesso inferiore argilloso-sabbioso-ghiaioso e quindi il Complesso intermedio ghiaioso-sabbioso-argilloso. Lo spessore medio totale dei complessi è di circa 250 metri ed il loro comportamento geologico-tecnico è di tipo granulare-coesivo. Inferiormente ai complessi lacustri e fluviali antichi, ad una profondità di oltre 300 metri dal piano campagna, è presente il *bedrock* carbonatico.

Per maggiore completezza si allega lo stralcio del profilo geologico esemplificativo del colle dell'Aquila (Figura 11) come riportato dal progetto "Microzonazione sismica dell'area aquilana".

Attraverso i dati provenienti dai sondaggi eseguiti, specificatamente per la caratterizzazione del sottosuolo di Palazzo Centi, è stata realizzata una sezione stratigrafica interpretativa a-a' (S2-S1), mostrata in Figura 12, la cui traccia è mostrata in Figura 4.

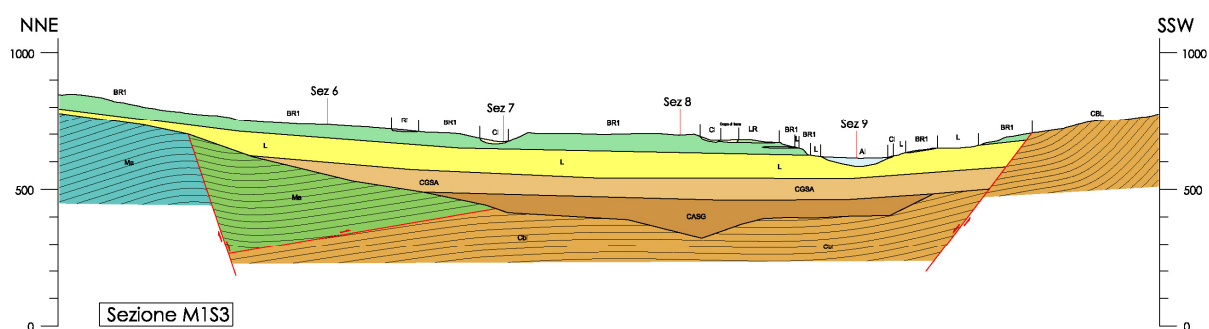


Figura 11 – Profilo esemplificativo trasversale al colle dell'Aquila (Sezione MIS3 tratta da "Microzonazione sismica dell'area aquilana"). FP: faglia del M. Pettino; R: retroscorrimento di Colle Macchione; B: breccie dell'Aquila; LA: limi arrossati di alterazione delle breccie; L: limi lacustri; LS: lente di limi e sabbie; CGSA: Complesso Ghiaioso-Sabbioso-Argilloso; CASG: Complesso Argilloso-Sabbioso-Ghiaioso; Cb: Unità Calcaree; FA: faglia antitetica.

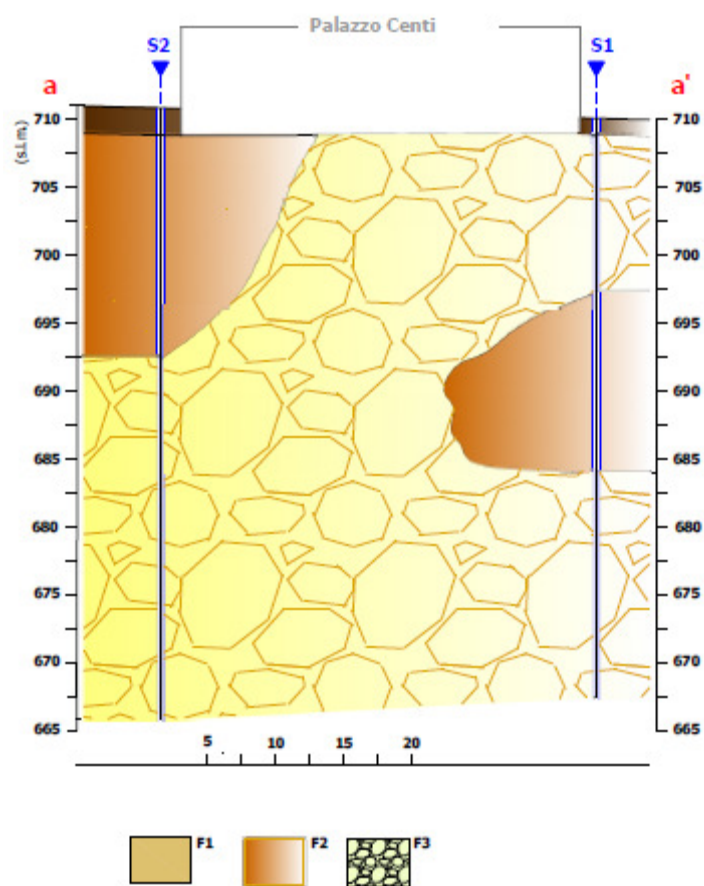


Figura 12 – Sezione litologica nel sito di Palazzo Centi, F1 Materiale di riporto, F2 Brecce dell'Aquila.

6 – Piano di posa delle fondazioni

Allo scopo di accertare le caratteristiche e la profondità del piano di posa delle fondazioni esistenti e la natura del terreno di fondazione, sono stati eseguiti quattro sondaggi (Figura 13), S3, S4, S5 e S6, con una leggera inclinazione rispetto alla verticale, spinti fino a 5 m di profondità dal piano campagna.



Figura 13 – Planimetria dell'area di Palazzo Centi e ubicazione indagini sulle fondazioni

In base ai risultati di queste indagini si è potuto osservare che le fondazioni di Palazzo Centi (limitatamente alle zone indagate) sono impostate ad una quota compresa tra -0.8 m e -2.0 m rispetto alla quota del piano campagna e poggiano in parte sulle brecce (spigolo SE) e in parte sui limi argillosi e sabbiosi (spigoli NO, SO, NE). In particolare, allo spigolo NO-Via R. Guelfaglione il piano di posa delle fondazioni è posto a -2.0 m (Figura 14), mentre allo spigolo SO-Via R. Guelfaglione è posto a -0.8 m (Figura 15); allo spigolo NE-Piazza S. Giusta è posto a -1.8 m (Figura 16), mentre allo spigolo SE-Via S. Michele è posto a -0.9 m (Figura 17).

I materiali costituenti le fondazioni sono prevalentemente pietrame calcareo e laterizi.

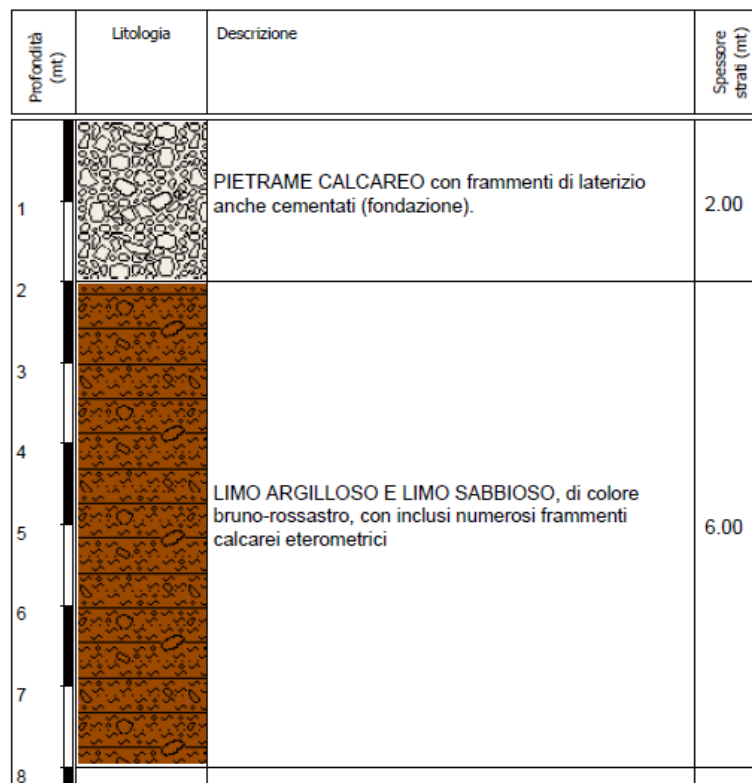


Figura 14 – Stratigrafia del sondaggio F1 eseguito attraverso le fondazioni esistenti di Palazzo Centi allo NO-Via R. Guelfagione

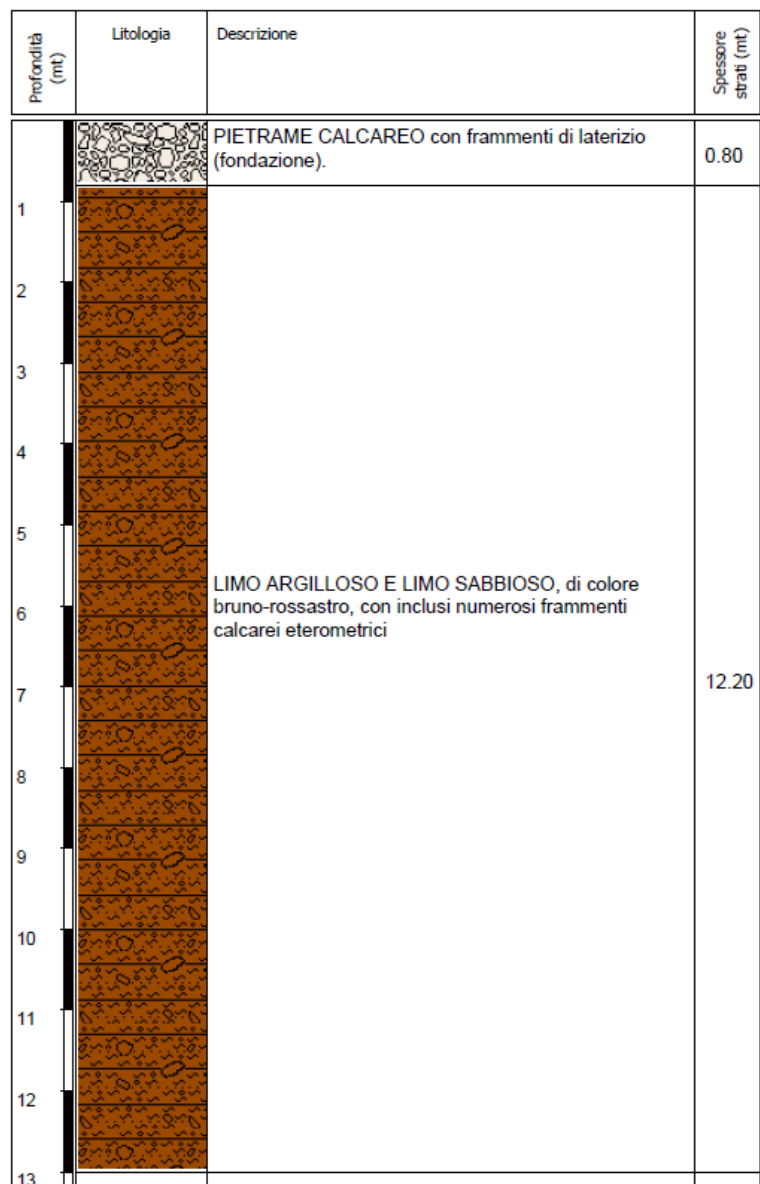


Figura 15 – Stratigrafia del sondaggio F2 eseguito attraverso le fondazioni esistenti di Palazzo Centi allo SO-Via R. Guelfaglione




Profondità (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (mt)
1		PIETREME CALCAREO con frammenti di laterizio anche cementati (fondazione).	1.80
2		LIMO ARGILLOSO di colore bruno-rossastro, con inclusi pochi frammenti calcarei	1.40
3		BRECCE CALCAREE costituite da frammenti calcarei spigolosi e subarrotondati, eterometrici, in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o sabbioso-limosa di colore avana-rosato.	6.80
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Figura 16 – Stratigrafia del sondaggio F3 eseguito attraverso le fondazioni esistenti di Palazzo Centi allo NE-Piazza S. Giusta

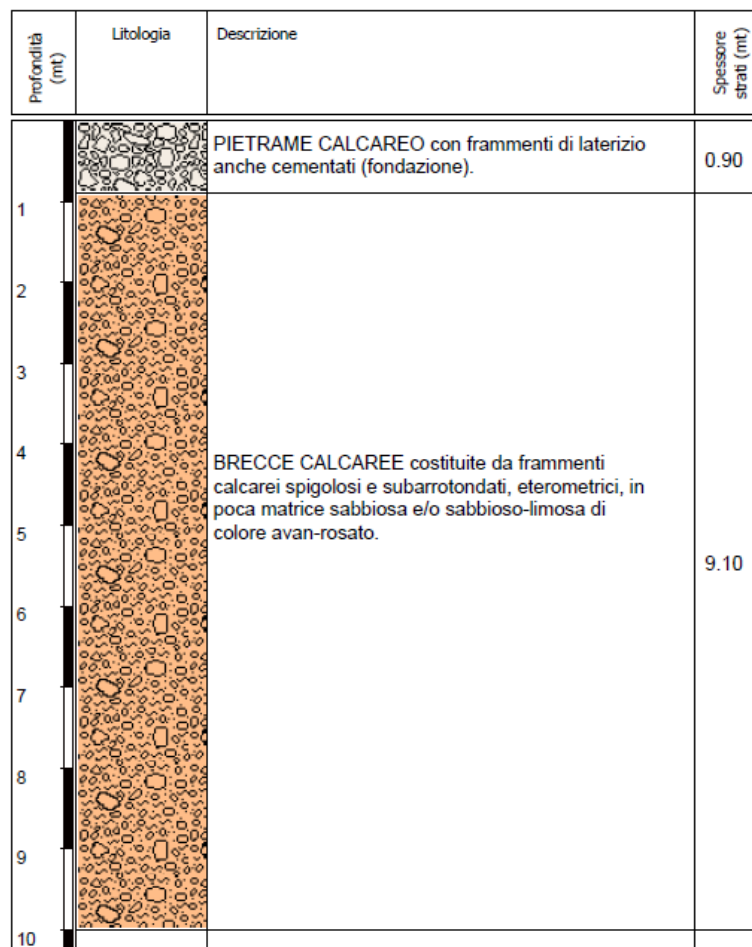


Figura 17 – Stratigrafia del sondaggio F3 eseguito attraverso le fondazioni esistenti di Palazzo Centi allo SE-Via S. Michele

7 – Caratterizzazione geotecnica del sito

7.1 – Criteri generali di interpretazione dei risultati delle indagini

Le caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione di Palazzo Centi, nell'ambito delle profondità di interesse, sono state ricavate in base ai risultati di tutte le indagini disponibili.

Data la composizione granulometrica prevalentemente a grana grossa dei terreni, tali caratteristiche sono state ricavate esclusivamente dall'interpretazione delle prove in sito (non sono disponibili campioni indisturbati da sottoporre a prove di laboratorio).

Moduli di deformazione

Informazioni sulla rigidezza dei terreni sono state ricavate a partire dai profili della velocità delle onde di taglio V_S ottenuti da prove con dilatometro sismico SDMT in foro (lungo il perimetro esterno). Da V_S è stato determinato il modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 in base alla relazione:

$$G_0 = \rho V_S^2$$

in cui ρ è la densità del terreno ($\rho = \gamma/g$, dove γ è il peso di volume naturale del terreno e $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità). In prima approssimazione, i valori di G_0 sono stati stimati assumendo un valore di $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ costante in tutti gli strati.

La definizione dei moduli di deformazione dei terreni merita qualche ulteriore commento. Come noto, infatti, la rigidezza del terreno varia in funzione del livello di deformazione, oltre che del livello tensionale. In particolare la rigidezza del terreno è massima a piccolissimi livelli di deformazione e decresce all'aumentare delle deformazioni. Tale comportamento è accuratamente descritto dalle curve sperimentali di laboratorio $G/G_0/\gamma$ (decadimento del modulo di taglio G , rapportato al suo valore massimo iniziale G_0 , in funzione della deformazione di taglio γ), valide sia in campo dinamico che in campo statico.

I modelli di analisi dinamica (più sofisticati) richiedono la definizione di tali curve come dati di *input*. Modelli di analisi semplificati richiedono, in generale, la definizione di un modulo di deformazione del terreno "operativo" che sia rappresentativo del livello di deformazione caratteristico del caso in esame. Tale modulo "operativo" può essere ricavato a partire dai profili di G_0 ottenuti *in sito* da V_S , assumendo come riferimento – in assenza di curve di laboratorio specifiche per i terreni in esame (a grana grossa, non campionabili) – una curva di decadimento $G/G_0/\gamma$ di letteratura che possa essere considerata rappresentativa del loro comportamento e valutando il valore del modulo G nel campo delle deformazioni di taglio γ di interesse per lo specifico caso applicativo.

A titolo di esempio, la Figura 18 mostra la curva sperimentale $G/G_0/\gamma$ ottenuta Modoni e Gazzellone (2010) per un terreno a grana grossa (ghiaia addensata), mentre la Figura 19 illustra i risultati ottenuti da prove di colonna risonante (RC) e di taglio torsionale ciclico (CTS) effettuate dall'Università di Napoli Federico II sul campione indisturbato (S2C1) prelevato nei limi argillosi e sabbiosi, tra 3.5 m e 4.0 m di profondità, in Via de Bartholomeis a L'Aquila.

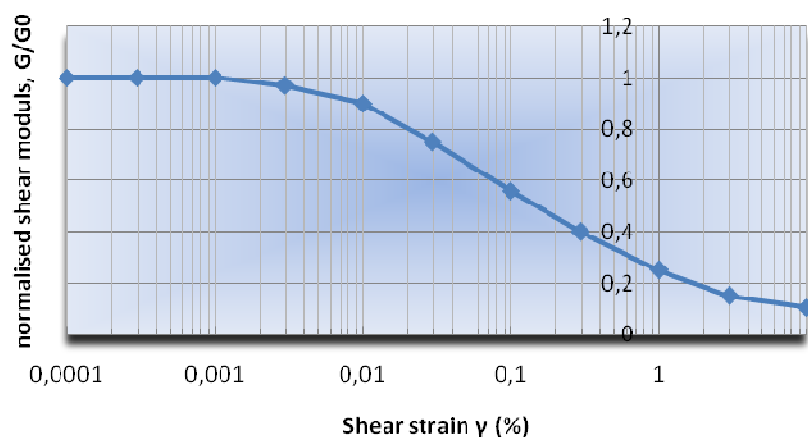


Figura 18 – Curva di decadimento $G/G_0/\gamma$ ottenuta da Modoni e Gazzellone (2010) per una ghiaia addensata

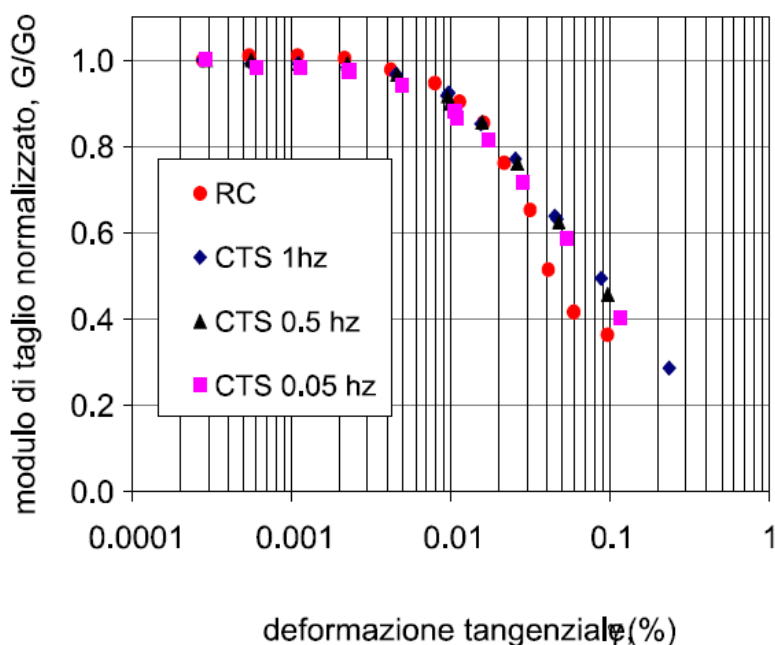


Figura 19 – Curva di decadimento $G/G_0/\gamma$ ottenuta da prove di laboratorio RC-CTS per i limi argillosi e sabbiosi di Via de Bartholomeis a L'Aquila

Parametri di resistenza al taglio

Una stima approssimata dei parametri di resistenza al taglio è stata ottenuta dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT, utilizzando correlazioni di letteratura formulate per terreni a grana grossa. In particolare si è fatto uso della correlazione empirica proposta da Cubrinovski & Ishihara (1999) per valutare la densità relativa D_R da N_{SPT} (numero di colpi/30 cm), quindi a partire da D_R è stato stimato l'angolo di resistenza al taglio ϕ' (di picco) utilizzando la relazione di Bolton (1986). Si osserva tuttavia che, tenendo conto della reale composizione dei terreni qui esaminati (frammenti calcarei eterometrici, in più o meno abbondante matrice fine, con possibile cementazione, e limi argillosi e sabbiosi con frammenti calcarei), notevolmente diversi da quelli per i quali sono state sviluppate le correlazioni utilizzate, i valori di D_R e ϕ' ricavati dai risultati SPT sono da intendersi come una *stima largamente approssimata*.

7.2 – Riepilogo risultati significativi ottenuti dalle indagini

Le figure che seguono riassumono i risultati più significativi ottenuti dai sondaggi e dalle misure di V_S con SDMT.

In particolare le Figure 20 e 21 mostrano, per ciascuna postazione di indagine (vedi ubicazione in Figura 4), i seguenti profili affiancati:

- profilo stratigrafico ottenuto dal sondaggio;
- profilo della velocità delle onde di taglio V_S ottenuto da misure SDMT nel foro di sondaggio;
- profilo del modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 ricavato da V_S .

La Figura 22 mostra i profili sovrapposti di V_S ottenuti da tutte le prove SDMT eseguite nell'area di Palazzo Centi, lungo il perimetro del fabbricato. La Figura 23 mostra gli stessi profili di V_S affiancati. La Figura 24 mostra i profili sovrapposti di G_0 ottenuti da tutte le prove SDMT eseguite nell'area di Palazzo Centi, lungo il perimetro del fabbricato. La Figura 25 mostra i profili affiancati di G_0 ottenuti da V_S in tutte le postazioni SDMT.

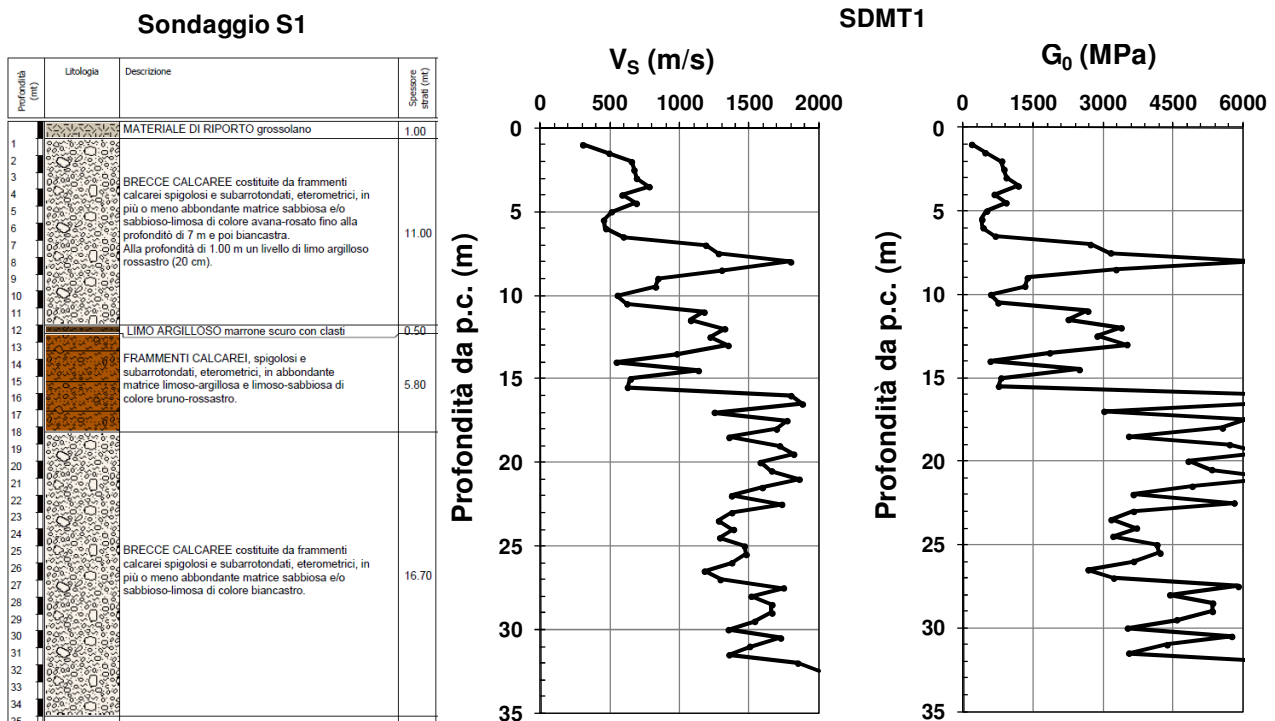


Figura 20 – Sondaggio S1 – Prova SDMT 1 – Profilo stratigrafico e profili della velocità delle onde di taglio V_S e del modulo di taglio a piccole deformazioni G_0

Sondaggio S2

Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Spessore (m)
1	LIMO ARGILLOSO E LIMO SABBIOSO, di colore bruno-rossastro e bruno, con inclusi frammenti calcarei eterometrici a tratti numerosi e a tratti del tutto assenti (11.70-14.40 m).	MATERIALE DI RIPIRTO grossolano con frammenti di laterizi	1.50
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17	BRECCE CALCAREE costituite da frammenti calcarei spigolosi e subarrotondati, eterometrici, in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o sabbioso-limosa di colore biancastro e avana		28.50
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			

SDMT2

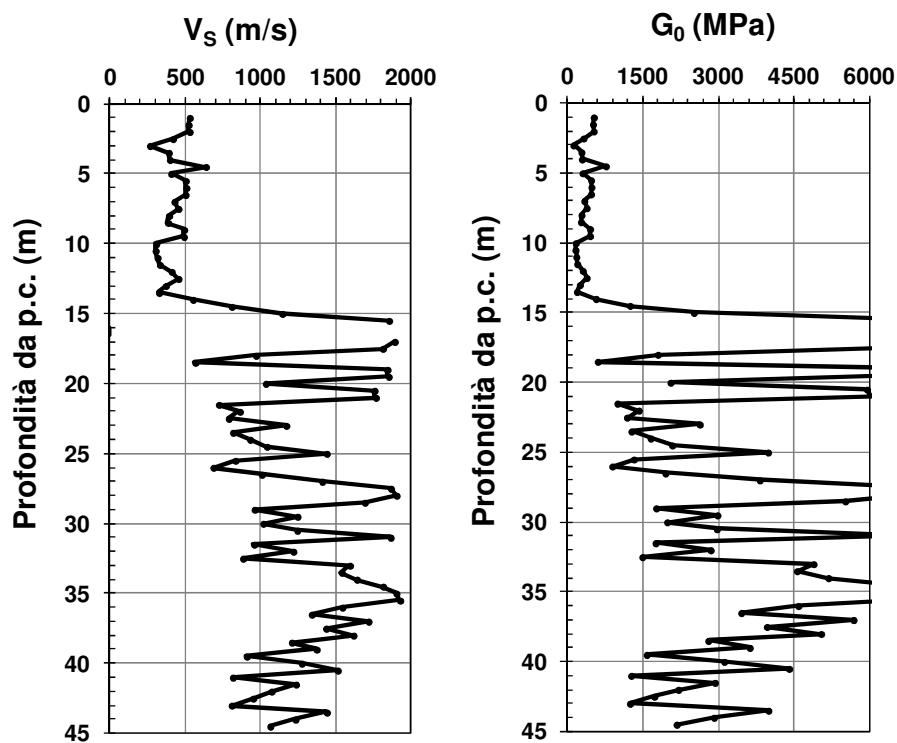


Figura 21 – Sondaggio S2 – Prova SDMT 2 – Profilo stratigrafico e profili della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio a piccole deformazioni G_0

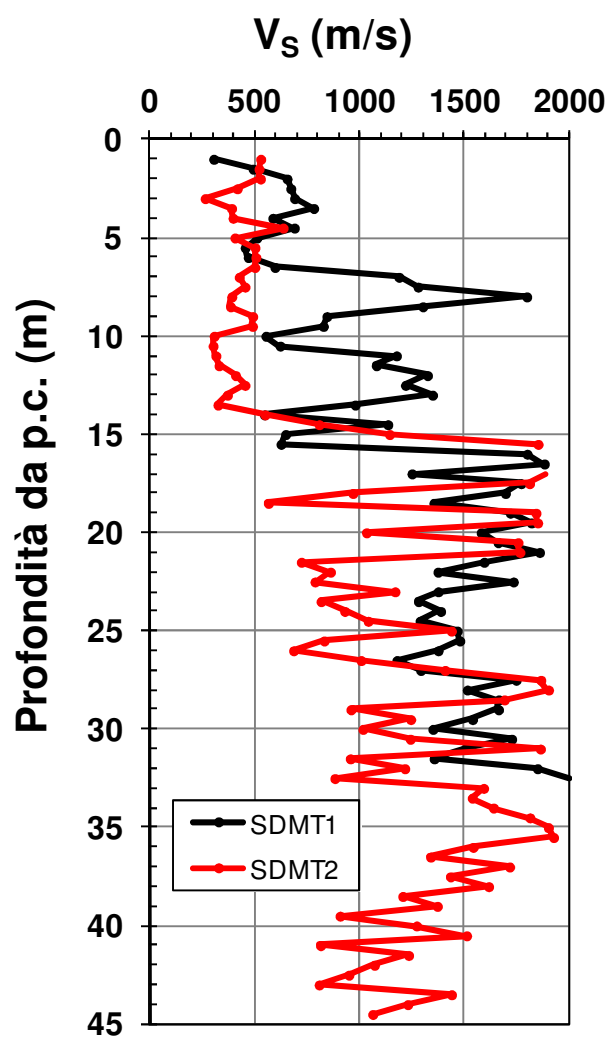


Figura 22 – Profili sovrapposti della velocità delle onde di taglio V_s ottenuti da tutte le prove SDMT

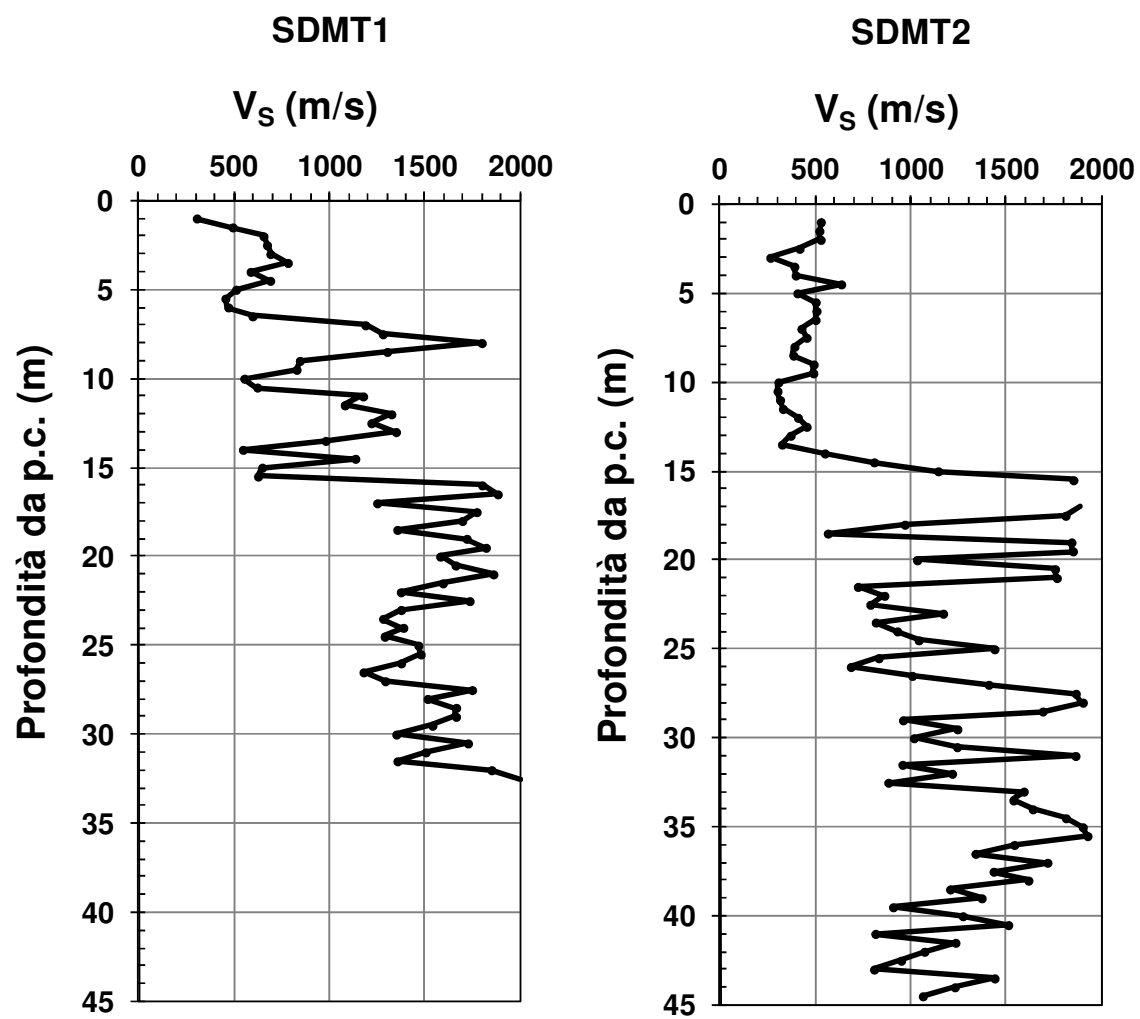


Figura 23 – Profili della velocità delle onde di taglio V_s ottenuti da tutte le prove SDMT

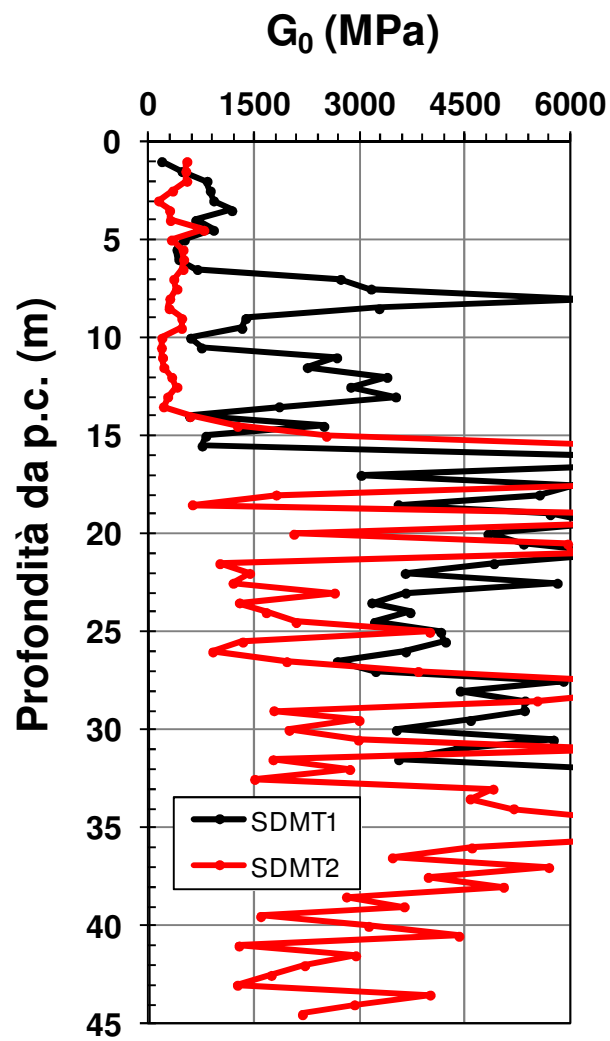


Figura 24 – Profili sovrapposti della velocità delle onde di taglio G_0 ottenuti da tutte le prove SDMT

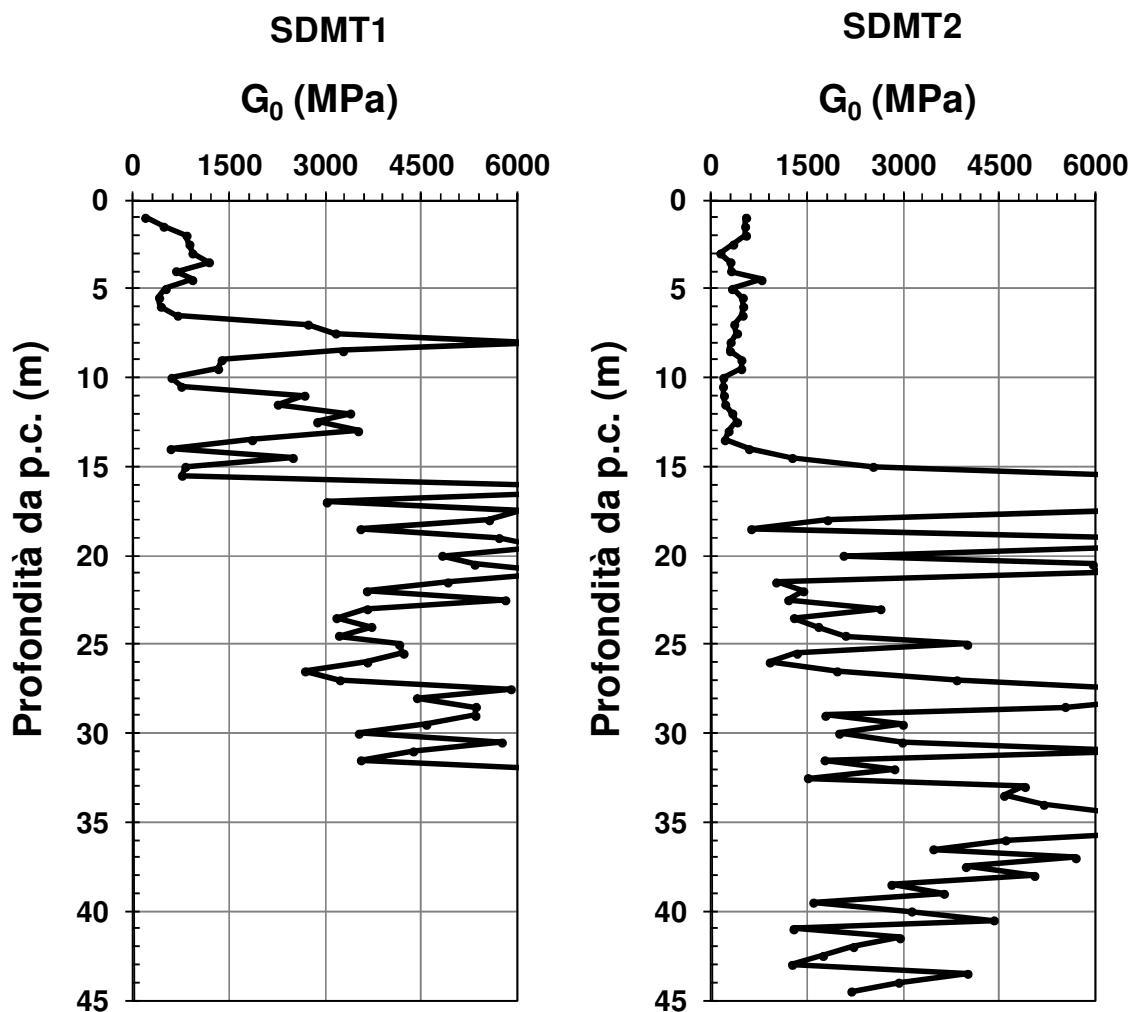


Figura 25 – Profili del modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 ottenuti da tutte le prove SDMT

A livello generale, dalle Figure da 20 a 25 si osserva quanto segue:

- I risultati dei sondaggi evidenziano una discreta disuniformità stratigrafica dell'area investigata, caratterizzata nello spigolo SE-Piazza S. Giusta dalla presenza di estesi depositi di brecce dell'Aquila con livelli limosi argillosi e sabbiosi, al di sotto di un metro di materiali di riporto, e nello spigolo NO-Via R. Guelfaglione dalla presenza di 15 m di limi argillosi e sabbiosi, al di sotto di 1.5 m di materiali di riporto, prima di entrare nella formazione delle brecce.
- Le caratteristiche meccaniche delle brecce dell'Aquila sono, in generale, piuttosto buone (sia pure con la variabilità che caratterizza, come noto, le proprietà meccaniche di questi materiali).
- Più scadenti sono le caratteristiche meccaniche dei materiali di riporto e dei limi limosi e argillosi presenti lungo il perimetro esterno di Palazzo Centi.
- La velocità delle onde di taglio delle brecce è piuttosto elevata, con valori di V_s generalmente dell'ordine di 600-1800 m/s. Sono mediamente più elevati i valori di V_s lungo il lato affacciato verso Piazza S. Giusta (SDMT 1). Congruentemente i valori del modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 ricavati da V_s denotano una rigidezza dei terreni nel campo delle piccole deformazioni piuttosto elevata.
- I materiali di riporto e i limi argillosi e sabbiosi superficiali presentano valori di V_s ($V_s \approx 300$ -500 m/s) e moduli di rigidezza inferiori.

7.3 – Caratteristiche geotecniche dei terreni nel volume significativo ai fini dell'interazione con le fondazioni del fabbricato esistente

Ai fini dell'interazione con gli elementi strutturali del fabbricato esistente (fondazioni) i materiali di interesse sono quelli presenti nel volume di terreno significativo (2-3 m di profondità) al di sotto della quota di fondazione. Tali materiali sono costituiti dalle “Brecce dell'Aquila” (frammenti calcarei eterometrici in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o limoso-sabbiosa) nello spigolo SE, mentre sono costituiti dalla formazione dei “Limi argillosi e limi sabbiosi” negli spigoli NO, SO, NE. Generalmente sia le brecce sia i limi sono stati incontrati lungo il perimetro esterno del palazzo a partire da 1-2 m di profondità, al di sotto dei materiali di riporto. Le brecce costituiscono inoltre il terreno di appoggio delle fondazioni esistenti, come evidenziato dai sondaggi inclinati appositamente eseguiti lungo il perimetro esterno di Palazzo Centi (Figure 14, 15, 16, 17).

Per la definizione dei parametri di rigidezza dei terreni interagenti con le strutture di fondazione si è preferito fare riferimento a moduli G_0 "medi" ottenuti dall'insieme delle verticali d'indagine eseguite in varie postazioni, piuttosto che a informazioni "puntuali" ottenuti da singole verticali.

Per quanto riguarda i parametri di resistenza al taglio si è fatto riferimento, come *stima largamente approssimata*, ai valori ricavati all'interpretazione delle prove SPT secondo le correlazioni indicate in precedenza (profili della densità relativa D_R e dell'angolo di resistenza al taglio di picco ϕ'_p riportati in Figura 26).

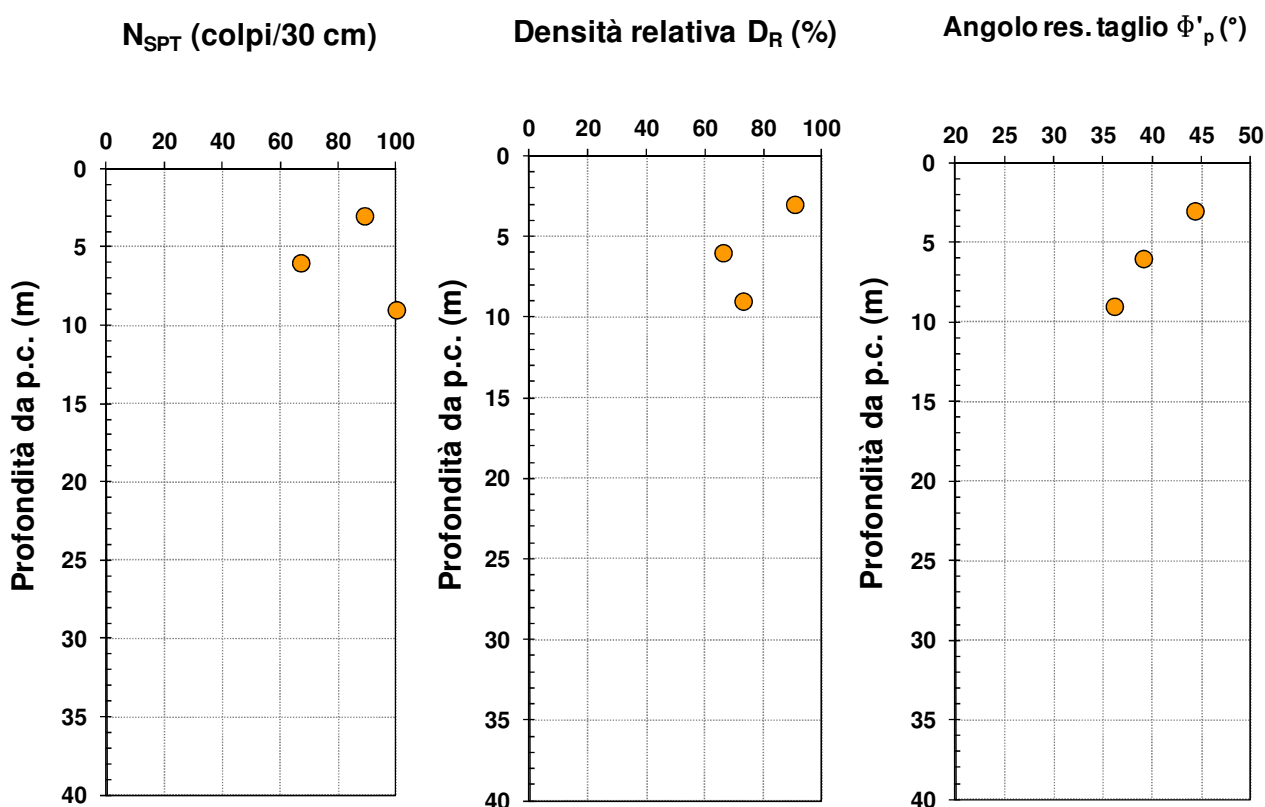


Figura 26 – Resistenza al taglio da interpretazione risultati SPT per il sondaggio S1: densità relativa D_R da N_{SPT} secondo Cubrinovski & Ishihara (1999), angolo di resistenza al taglio (di picco) ϕ'_p da D_R secondo Bolton (1986)

Ai fini dell'interazione terreno-fondazione si può quindi fare riferimento ai valori dei parametri geotecnici "medi" riportati in Tabella 2.

Si è considerato un livello di deformazioni "operative" di riferimento $\gamma \approx 0.1\%$ (corrispondente all'incirca al livello di deformazione per i cedimenti delle fondazioni). Con riferimento alla Figura 20, per le brecce il corrispondente valore del modulo G "operativo" è stato ricavato come $G = 0.58 G_0$, mentre per i limi argillosi e limi sabbiosi il corrispondente valore del modulo G "operativo" è stato ricavato come $G = 0.40 G_0$. Il valore del modulo di Young E corrispondente è stato ricavato, in prima approssimazione, in base alla relazione della teoria dell'elasticità $E = 2 (1 - \nu) G$, assumendo $\nu = 0.2$. (I valori di E così ottenuti sono peraltro in linea con osservazioni sperimentali sul rapporto $G_0 /$ modulo "operativo" riportate da Monaco et al. 2009).

Tabella 2 – Riepilogo dati geotecnici ai fini dell'interazione terreno-fondazioni esistenti

Terreno	Peso di volume γ (kN/m ³)	Angolo di resistenza al taglio ϕ' (°)	Modulo di deformazione operativo E (MPa)
Brecce	19	36	3185
Limi argillosi e limi sabbiosi	19	30	433

8 – Classificazione sismica del sottosuolo nell'area di Palazzo Centi

8.1 – Categorie di sottosuolo in base a $V_{S,30}$

Secondo quanto prescritto dalle *Norme tecniche per le costruzioni* (D.M. 14.01.2008), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tabelle 3.2.II e 3.2.III del D.M. 14.01.2008).

L'identificazione della categoria di sottosuolo si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{S,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. (Per le fondazioni superficiali tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione).

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,30}$ è definita dall'espressione:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \text{ [m/s]}$$

in cui:

h_i = spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato

N = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità

I valori di $V_{S,30}$ calcolati per le singole verticali di prova SDMT nell'area di Palazzo Centi sono riepilogati nella Tabella 3.

Tabella 3 – Valori di $V_{S,30}$ e categorie di sottosuolo nel sito di Palazzo Centi

Postazione	$V_{S,30}$ (m/s)	Categoria
SDMT 1	1005	A
SDMT 2	644	B

I valori di $V_{S,30}$ riportati in Tabella 3 sono stati calcolati, come prescritto dalla normativa, considerando una profondità di 30 m a partire dal piano di imposta delle fondazioni che, dai rilievi effettuati, sono impostate a 0.90 m. dal piano campagna nello spigolo sud-est (postazione SDMT1) e a 2.00 m. dal piano campagna nello spigolo nord-ovest (postazione SDMT2). E' da notare la significativa differenza nei primi 13 m. dal piano campagna dei valori di V_S per i due spigoli sopra richiamati (diagonalmente opposti – Figura 4) come illustrato nella Figura 22.

Ai fini della classificazione del sottosuolo secondo le *NTC 2008*, i terreni nell'area di Palazzo Centi possono essere generalmente classificati nella Categoria B (valori di $V_{S,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s).

Si raccomanda comunque quanto segue.

Se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale.

Come noto, infatti, il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, un'analisi di risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A). **Si richiama l'attenzione sul fatto che la situazione sismostratigrafica del sottosuolo nell'area di Palazzo Centi è decisamente più complessa di quanto evidenziato dalla semplice classificazione in "categorie di sottosuolo" effettuata in base alla $V_{S,30}$, che considera solo i primi 30 m di profondità e può in alcuni casi condurre a risultati fuorvianti.**

Come noto dall'insieme delle informazioni ad oggi disponibili da altre indagini eseguite nel centro storico dell'Aquila (studio di Microzonazione sismica, indagini profonde effettuate nel centro storico dell'Aquila), il sottosuolo di buona parte del centro storico dell'Aquila, in cui ricade il sito di interesse, è costituito da uno spesso strato di brecce con VS elevate, sovrastanti circa 200 m di depositi limosi lacustri caratterizzati da velocità VS più basse, posti al di sopra del *bedrock* carbonatico, il cui tetto si trova ad oltre 300 m di profondità. Ne consegue un'inversione della velocità delle onde di taglio nel passaggio dalle brecce ai limi lacustri, i cui effetti non sono tenuti in conto con la stima della $V_{S,30}$. **Pertanto per una determinazione più accurata delle azioni sismiche di progetto è raccomandabile l'esecuzione di una specifica analisi di risposta sismica locale, in luogo della procedura semplificata basata sugli spettri elastici di risposta definiti a partire dalle categorie di sottosuolo identificate in base alla $V_{S,30}$.**

9 – Piano di posa delle fondazioni

La conoscenza del complesso terreno-fondazione si basa su::

- geometria delle strutture di fondazione;
- piano di posa delle strutture di fondazione;
- materiali costituenti le strutture di fondazione (pietrame, mattoni, ecc.);
- eventuali anomalie (cavità, vuoti, aperture, presenza di elementi di interesse storico-archeologico, ecc.).

Onde pervenire a tali conoscenze, sono stati eseguiti quattro sondaggi inclinati sugli spigoli di Palazzo Centi (Capitolo 6).

Per quanto riguarda le strutture di fondazione si è potuto riscontrare quanto segue:

- il piano di posa delle fondazioni si configura interamente sulle brecce, seguendo la morfologia superficiale delle stesse;
- le strutture di fondazione sono confinate lateralmente da terreno di riporto di spessore variabile dai 2 ai 3 metri;
- le strutture di fondazione sono costituite da conci in pietra di dimensioni e caratteristiche prossime a quelli che costituiscono la muratura in elevazione.

Non si hanno informazioni dettagliate circa la continuità/discontinuità delle stesse e la presenza di giunti.

(Il rilievo geometrico della fabbrica muraria in elevazione consentirà di ricostruire la più attendibile pianta delle fondazioni).

Qualora ci fossero carenze nella continuità/collegamento delle fondazioni, si consiglia di intervenire sulle stesse al fine di migliorare il loro comportamento in riguardo alle azioni sismiche.

In generale, lo scopo degli interventi in fondazione è quello di aumentare la rigidezza delle strutture delle fondazione esistenti al fine di impedire spostamenti relativi nelle direzioni orizzontale e verticale. Tale scopo può essere raggiunto realizzando collegamenti in orizzontale tra le fondazioni esistenti e raccordandoli perimetralmente anche agli interventi in elevazione. In conclusione l'intervento di miglioramento delle fondazioni deve essere trattato con pari dignità e unitariamente a quello in elevazione.

Tra le soluzioni possibili si può realizzare alla quota di calpestio del seminterrato un graticcio di travi armate quale elemento strutturale orizzontale, collegato strutturalmente con i pannelli murari esistenti attraverso barre di acciaio orizzontali passanti e barre inclinate non passanti.

Tale intervento non costituisce una sottofondazione (in quanto non pone in diretta interazione la porzione muraria fondale con il terreno sottostante), ma ha lo scopo di irrigidire le strutture murarie di fondazione rendendole capaci di resistere anche a trazione.

10 – Considerazioni conclusive

La campagna di indagini geologiche, geotecniche e geofisiche eseguite nel 2012 nell'area di Palazzo Centi comprende:

- sondaggi geotecnici a carotaggio continuo, con esecuzione di prove Standard Penetration Test (SPT);
- sondaggi obliqui a carotaggio continuo per l'accertamento del piano di posa delle fondazioni;
- misure in sito della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s mediante prove con dilatometro sismico (SDMT);
- misure di rumore sismico mediante tecnica dei rapporti spettrali applicata a dati di microtremore (HVNSR).

I risultati di tali indagini hanno consentito di acquisire gli elementi necessari per:

- adeguata ricostruzione delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione;
- adeguata ricostruzione del piano di posa delle fondazioni;
- individuazione delle frequenze di risonanza dei terreni di copertura;
- classificazione sismica del sottosuolo e indicazioni per la definizione delle azioni sismiche di progetto.

Le indagini hanno evidenziato una disuniformità stratigrafica dell'area investigata, per la presenza di livelli di strati limosi argillosi e sabbiosi (di spessore anche di 15 metri) soprastanti o interposti agli estesi depositi di brecce dell'Aquila.

In base ai risultati delle indagini si è potuto osservare che le fondazioni di Palazzo Centi (limitatamente alle zone indagate) poggiano in parte sulle brecce (spigolo SE) e in parte sui limi argillosi e sabbiosi (spigoli NO, SO, NE). Le caratteristiche meccaniche delle brecce dell'Aquila sono, in generale, piuttosto buone (sia pure con la variabilità che caratterizza, come noto, le proprietà meccaniche di questi materiali). Più scadenti sono le caratteristiche meccaniche dei limi argillosi presenti. La velocità delle onde di taglio delle brecce è piuttosto elevata, con valori di V_s generalmente dell'ordine di 600-1800 m/s. Sono mediamente più elevati i valori di V_s lungo il lato affacciato verso Piazza S. Giusta (SDMT 1). Congruentemente i valori del modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 ricavati da V_s denotano una rigidità dei terreni nel campo delle piccole deformazioni piuttosto elevata. Gli strati di limo argillosi e sabbiosi superficiali presentano valori di V_s ($V_s \approx 300-500$ m/s) e moduli di rigidità inferiori.

Le misure di rumore sismico hanno evidenziato nel rapporto spettrale H/V la presenza di un picco di f_0 (frequenza di risonanza dei terreni di copertura) compreso tra 0.5 e 0.6 Hz. Tale picco è stato riconosciuto su tutto il colle dell'Aquila e corrisponderebbe alla superficie di appoggio dei limi lacustri sottostanti le brecce sul *bedrock* carbonatico profondo (oltre 300 m). Il picco presente ad alte frequenze (> 5 Hz) non è netto ed è legato alla presenza dei riporti o a strati superficiali alterati di brecce.

La situazione sismostratigrafica del sottosuolo nell'area di Palazzo Centi (come in buona parte del centro storico dell'Aquila) è caratterizzata da un'inversione della velocità delle onde di taglio nel passaggio dalle brecce ai limi lacustri ed è decisamente più complessa di quanto evidenziato dalla semplice classificazione in "categorie di sottosuolo" effettuata in base alla $V_{s,30}$, così come definita

dalle *Norme tecniche per le costruzioni* (D.M. 14.01.2008), che considera solo i primi 30 m di profondità.

Pertanto, come prescritto dalle stesse *NTC 2008*, per una determinazione più accurata delle azioni sismiche di progetto si raccomanda l'esecuzione di una specifica analisi di risposta sismica locale, in luogo della procedura semplificata basata sugli spettri elastici di risposta definiti a partire dalle categorie di sottosuolo identificate in base alla $V_{s,30}$.

Riferimenti bibliografici

- AGI (1991). Geotechnical Characterization of Fucino Clay. *Proc. X ECSMFE*, Firenze, 1, 27-40.
- Amoroso S., Del Monaco F., Di Eusebio F., Monaco P., Taddei B., Tallini M., Totani F., Totani G.** (2010) – Campagna di indagini geologiche, geotecniche e geofisiche per lo studio della risposta sismica locale della città dell'Aquila: la stratigrafia dei sondaggi (giugno – agosto 2010). Report CERFIS n. 1/10. http://www.cerfis.it/it/download/doc_download/29-report-cerfis-n1-2010.html
- Bolton, M.D.** (1986). The strength and dilatancy of sands. *Géotechnique*, 1, 65-78.
- Cubrinovski, M. and Ishihara, K.** (1999). Empirical correlation between SPT-N value and relative density for sandy soils. *Soils and Foundations*, 5, 61-71.
- Del Monaco f. & Tallini m.** - (in prep.) – Rilevamento a scala 1:10.000 di parte del Foglio Velletri (settore Artena – Rocca Massima – Cori), Progetto CARG.
- Del Monaco F.** (coautore) (2010) – Geological map of Colli Albani Volcano. G. Giordano, M. Mattei, R. Funicello (Ed.). S.EL.CA., Firenze (<http://www.geolsoc.org.uk/page7878.html>)
- Del Monaco F.**, 2004, La qualità delle acque superficiali cremonesi: alcuni possibili interventi di risanamento, estratto da “La misura dello spreco-Esercizi di valutazione ambientale strategica delle risorse fisiche”, a cura del prof. Pier Luigi Paolillo – FRANCOANGELI Editore. http://www.francoangeli.it/Ricerca/Scheda_libro.aspx?ID=12716&Tipo=Libro&strRicercaTesto=&titolo=la+misura+dello+spreco%2E+esercizi+di+valutazione+ambientale+strategica+delle+risorse+fisiche. Codice ISBN: 9788846463029
- F. Del Monaco, C. De Rose, M. Tallini, G. Milana, F. Durante** (2011) - Analisi del rumore sismico nel centro storico de l'Aquila: le alte frequenze di risonanza e il modello del sottosuolo, Atti del 30° Convegno Nazionale GNGTS - Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Trieste 14-17 novembre 2011. ISBN 978-88-902101-6-8.
- F. Del Monaco, I. Gaudiosi, F. Setale, G. Di Giulio, M. Tallini** (2012), Site effects in the Aterno River Valley (L'Aquila) from 1D and 2D numerical simulations. Atti del 32° Convegno Nazionale GNGTS - Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Potenza 20-22 novembre 2012.
- F. Del Monaco, M. Tallini, G. Milana, F. Cara, G. Di Giulio, F. Setale** (2011) - Seismic noise in a geologically complex site (L'Aquila, central Italy) to fine-tune the subsoil model for seismic microzonation mapping. Convegno Internazionale EGU2011, Vienna, aprile 2011. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-12633.pdf>
- F. Del Monaco, M. Tallini, G. Milana, S. Scrivieri, S. Amoroso, F. Di Eusebio, G. Lanzo, P. Monaco, , F. Totani, G. Totani e GDL_MA2_MSAQ**, 2010, Rumore sismico e modello del sottosuolo in siti geologicamente complessi: esempio nella Valle dell'Aterno, Atti del 29° Convegno Nazionale GNGTS-Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato 26-28 ottobre 2010, pag. 239. ISBN 978-88-902101-5-0. http://www2.ogs.trieste.it/gngts/gngts/convegniprecedenti/2010/riassunti/2.2/2.2_del%20monaco.pdf
- Francesco Del Monaco, Marco Tallini, Carmelina De Rose, Federica Durante** (2012, sottomesso a Engineering Geology) - Seismic noise in L'Aquila historical downtown (central Italy): high frequencies distribution vs. subsoil model.
- G. Milana, F. Cara, F. Del Monaco, G. Di Giulio and M. Tallini** (2011) - Characterization of the breccia deposits in downtown L'Aquila (Central Italy) through multichannel analysis of surface waves. Convegno Internazionale EGU2011, Praga, aprile 2011. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-11436.pdf>
- G. Totani, F. Totani, P. Monaco, M. Tallini, F. Del Monaco, G. Zia** (2012) - Site investigations and geotechnical model in the Southern part of the historic centre of L'Aquila, Second International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering, Taormina – May 28-30, 2012.
- GDL M. Lepini** (2011) - “Progetto Monti Lepini: studi idrogeologici per la tutela e la gestione della risorsa idrica”, stesura del paragrafo “Assetto geologico e idrogeologico dell'area di studio”, Gangemi Editore, http://www.gangemieditore.com/scheda_articolo.php?id_prodotto=2001
- GE.MI.NA.** (1963). Ligniti e Torbe dell'Italia Continentale. Geomineraria Nazionale, Torino, pp. 319.

- Giuliano Milana, Giuseppe Di Giulio, Fabrizio Cara, Marco Tallini, Francesco Del Monaco, Federica Durante, Renzo Berarducci** (2011) - Campagna di indagini ESAC e MASW. Acquisizione dati. Report CERFIS n. 3/11. http://www.cerfis.it/it/download/doc_download/54-report-cerfis-n3-2011.html
- Gruppo di lavoro MS** (2008). Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 Vol. e DVD.
- Gruppo di lavoro MS_AQ (2010)** – La Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell'area Aquilana. 3 Vol. + 1 DVD. Stesura del testo relativo alla descrizione dei risultati per le Macroaree 1 e 2. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB25330
- Hepton, P.** (1988). Shear wave velocity measurements during penetration testing. *Proc. Penetration Testing in the UK*, 275-278. ICE.
http://www2.ogs.trieste.it/gngts/gngts/convegniprecedenti/2011/riassunti/2.2/2.2_DelMonaco.pdf
- Lanzo G., Tallini M., Milana G., Di Capua G., Del Monaco F., Pagliaroli A., Peppoloni S.** (2011) - The Aterno valley strong-motion array: seismic characterization and determination of subsoil model, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2011, Volume 9, Number 6, Pages 1855-1875, <http://www.springerlink.com/content/aj20022t482j2626/>.
- M. Tallini, G. Cavuoto, F. Del Monaco, V. Di Fiore, M. Mancini, G. Caielli, G.P. Cavinato, R. De Franco, N. Pelosi, A. Rapolla** (2011, in press) – Seismic surveys integrated with geological data for in-depth investigation of Mt. Pettino active fault area (Western L'Aquila Basin), *Italian Journal of Geosciences*.
- M. Tallini, G.P. Cavinato, G. Cavuoto, G. Decaterini, F. Del Monaco, M. Di Filippo, V. Di Fiore, M. Di Nezza, G. Leone, P. Marsan, G. Milana e gruppo di lavoro Microzonazione INGV, M. Moscatelli, A. Rapolla, T. Sanò, D. Tarallo, P. Zaffiro**, 2009, Primi risultati del progetto "Microzonazione sismica dell'Aquila": le macroaree 1 (L'Aquila Centro) e 2 (L'Aquila Ovest: Cansatessa-Pettino-Coppito), *Atti del 28° Convegno Nazionale GNGTS-Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida*, Trieste 16-19 novembre 2009, pag. 350. ISBN 88-902101-4-1. http://www2.ogs.trieste.it/gngts/gngts/convegniprecedenti/2009/riassunti/2.1/2.1_tallini.pdf
- M. Tallini, L. Restaino, R. Berarducci, F. Del Monaco** (2010) – Indagini sismiche. Report CERFIS n. 3/10. http://www.cerfis.it/it/download/doc_download/45-report-cerfis-n3-2010.html
- M. Tallini, V. Di Fiore, P.P. Bruno, A. Castiello, G. Cavuoto, F. Del Monaco, N. Pelosi, M. Punzo, D. Tarallo, F. Varriale**, (2011) - Sismica a riflessione ad alta risoluzione per il modello del sottosuolo e la stima della pericolosità sismica del centro storico dell'Aquila, *Atti del 30° Convegno Nazionale GNGTS - Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida*, Trieste 14-17 novembre 2011. ISBN 978-88-902101-6-8. http://www2.ogs.trieste.it/gngts/gngts/convegniprecedenti/2011/riassunti/3.1/3.1_Tallini.pdf
- Marchetti, D., Marchetti, S., Monaco, P. e Totani, G.** (2008). Cap. 3.4.4.2.10 "Prove mediante dilatometro sismico (SDMT)". In *Gruppo di lavoro MS (2008). Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 Vol. e DVD. Vol. 2 – Parte III, 327-337.
- Marchetti, S.** (1980). In Situ Tests by Flat Dilatometer. *J. Geotech. Engrg. Div.*, 106(GT3), 299-321. ASCE.
- Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. and Marchetti, D.** (2008). In Situ Tests by Seismic Dilatometer (SDMT). In J.E. Laier, D.K. Crapps & M.H. Hussein (eds), *From Research to Practice in Geotechnical Engineering*, ASCE Geotech. Spec. Publ. No. 180, 292-311.
- Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. e Calabrese, M.** (2001). Il Dilatometro Piatto (DMT) nelle indagini geotecniche – Rapporto del Comitato Tecnico TC16 della ISSMGE. *Atti XVIII Ciclo Conferenze di Geotecnica di Torino, 18.04 "Il Dilatometro Piatto"*, 20-22 Novembre, Politecnico di Torino. 50 pp.
- McGillivray, A. and Mayne, P.W.** (2004). Seismic piezocone and seismic flat dilatometer tests at Treporti. *Proc. 2nd Int. Conf. on Site Characterization*, Porto, 2, 1695-1700.
- Młynarek, Z., Gogolik, S. and Marchetti, D.** (2006). Suitability of the SDMT method to assess geotechnical parameters of post-flotation sediments. In R.A. Failmezger & J.B. Anderson (eds), *Flat Dilatometer Testing, Proc. 2nd Int. Conf. on the Flat Dilatometer*, Washington, D.C., USA, April 2-5, 148-153.
- Modoni, G. and Gazzellone, A.** (2010). Simplified theoretical analysis of the seismic response of artificially compacted gravels. *Proc. 5th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, San Diego.

- Monaco, P., Marchetti, S., Totani, G. and Marchetti, D.** (2009). Interrelationship between small strain modulus G_0 and operative modulus. *Proc. International Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from Case History to Practice IS-Tokyo 2009*, Tsukuba, Japan, June 15-17, 1315-1323. Taylor & Francis Group, London.
- P. Bordini, M. Tallini, G. Milana, F. Del Monaco, G. Di Giulio, F. Cara, J.Haines** (2011) - Seismic response of L'Aquila (Central Appennines, Italy) from 2D numerical simulation. Convegno Internazionale EGU2011, Praga, aprile 2011. <http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-11347.pdf>
- Paola Bordini, Giuliano Milana, Marco Tallini, Francesco Del Monaco, John Haines** (2011) - Role of lateral heterogeneities and reversal of velocity at L'Aquila town (central appennines, Italy) from a comparison between 2D modeling and observations from the 2009 earthquakes sequence, IV IASPEI / IAEE International Symposium: Effect of Surface Geology on Seismic Motion, August 23-26 2011, University of California Santa Barbara. <http://esg4.eri.ucsb.edu/sites/esg4.eri.ucsb.edu/files/4.7%20Bordini%20et%20al.pdf>
- Petitta M., Tallini M., Benedetti G., Del Monaco F.**, 2003, Fracture pattern influence on groundwater discharge along the tectonic border of karst aquifer (Velino Valley, Central Italy)", *Groundwater in Fractured Rocks* (2003), Prague, Kràsny-Hrkal-Bruthans eds.
- S. Amoroso, F. Cara, F. Del Monaco, F. Di Eusebio, G. Di Giulio, G. Milana, P. Monaco, M. Tallini, F. Totani, G. Totani**, 2010, Indagini per la risposta sismica locale finalizzate al consolidamento di edifici di elevato pregio storico-architettonico danneggiati dal sisma dell'aprile 2009 (Palazzo Camponeschi-L'Aquila), Atti del 29° Convegno Nazionale GNGTS-Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato 26-28 ottobre 2010, pag. 222. ISBN 978-88-902101-5-0. http://www2.ogs.trieste.it/gngts/gngts/convegniprecedenti/2010/riassunti/2.2/2.2_amoroso.pdf
- TC16 – Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. and Calabrese, M.** (2001). The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations – A Report by the ISSMGE Committee TC16. 41 pp. Reprinted in R.A. Failmezger & J.B. Anderson (eds), *Flat Dilatometer Testing, Proc. 2nd Int. Conf. on the Flat Dilatometer*, Washington, D.C., USA, April 2-5, 2006, 7-48.
- Totani, G., Monaco, P., Marchetti, S. and Marchetti, D.** (2009). V_s measurements by seismic dilatometer (SDMT) in non-penetrable soils. *Proc. 17th ICSMGE*, Alexandria, Egypt, October 5-9, 2, 977-980.
- Università degli Studi dell'Aquila – Facoltà di Ingegneria.** (2009). L'Aquila Earthquake SDMT Volume – June 2009. Risultati di prove dilatometriche (DMT) e dilatometriche sismiche (SDMT) per la caratterizzazione geotecnica di alcuni siti dell'aquilano. Rapporto di ricerca Gruppo Geotecnica DISAT. 123 pp.

ALLEGATO 1

**INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA PER LA CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE DI PALAZZO CENTI A
L'AQUILA. (maggio 2012)**

**PROVVEDITORATO INTERREGIONALE
PER LE OPERE PUBBLICHE
Lazio - Abruzzo - Sardegna**

**INDAGINE GEOGNOSTICA E SISMICA
PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI
FONDAZIONE DI PALAZZO CENTI A L'AQUILA**

maggio 2012

RAPPORTO D'INDAGINE



L'indagine, condotta con la direzione tecnica del **Prof. Ing. Gianfranco TOTANI**, è consistita nell'esecuzione di n.2 sondaggi a carotaggio continuo ad andamento verticale spinti alla profondità massima di 45 m e n.4 sondaggi inclinati sulle fondazioni dell'edificio spinti alla profondità massima di 13 m.

I sondaggi sono stati eseguiti con perforatrice idraulica a rotazione tipo CMV MK 1200. Per la perforazione sono stati utilizzati carotieri Ø 101 mm e tubazioni di rivestimento provvisorio Ø 127 mm.

Il materiale campionato è stato sistemato in cassette catalogatrici in PVC con l'indicazione delle profondità di prelievo.

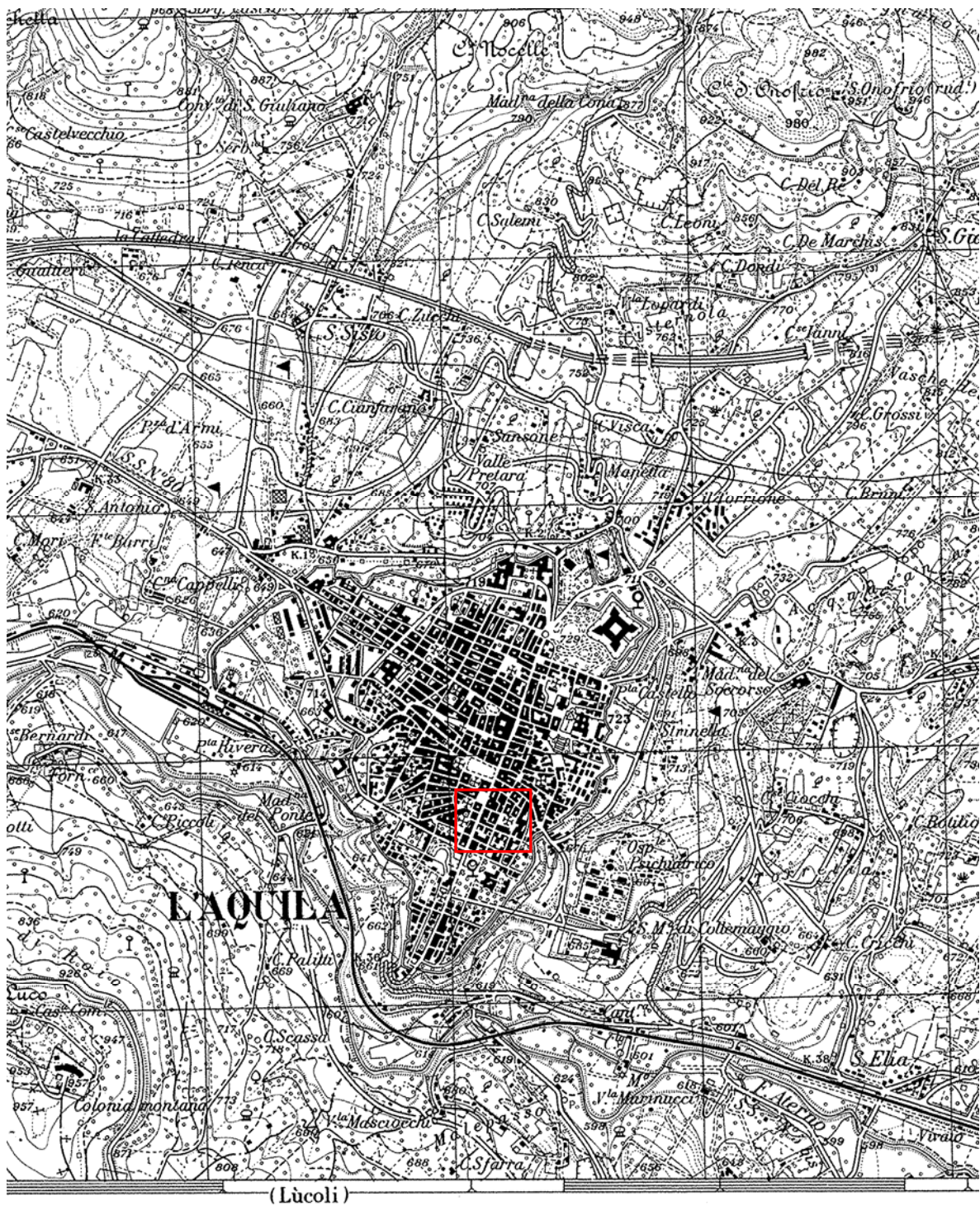
Nel corso dei sondaggi sono state eseguite n.10 prove SPT in foro. Le prove SPT (Standard Penetration Test), i cui risultati sono riportati nei profili stratigrafici dei sondaggi, sono state eseguite utilizzando il campionatore standard tipo Raymond con punta conica e il maglio standard a sganciamento automatico (massa battente 63.5 kg e altezza di caduta 76 cm).

I fori di sondaggio s1 e s2 sono stati predisposti per la successiva esecuzione di prove sismiche tipo SDMT provvedendo al riempimento dei fori stessi con ghiaietto.

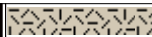




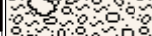










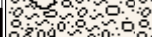
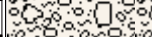




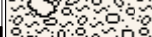





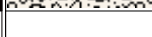










Nel seguito sono riportati:

- stralcio della Carta Topografica Regionale in scala 1:25.000;
- foto aerea con l'ubicazione dei sondaggi;
- profili stratigrafici con i risultati delle prove SPT;
- documentazione fotografica.

STRALCIO DELLA CARTA TOPOGRAFICA REGIONALE (1:25.000)





Committente										Sondaggio s1										Tipo Sonda CMV MK1200										Pagina 1/1									
Opera Palazzo Centi										Profondità raggiunta 35 m										Tipo Carotaggio continuo d 101 mm										Allestimento Foro per prova SDMT									
Località Piazza S. Giusta (L'Aquila)										Quota Ass. P.C.										Inizio/Fine Esecuzione maggio 2012										Coordinate									
Profondità (mt)		Litologia		Descrizione								Spessore strati (mt)		%Carotaggio				S.P.T. (n° Colpi)		Pocket Test kg/cmq		Campioni		Falda															
1				MATERIALE DI RIPORTO grossolano								1.00		%C=80																									
2				BRECCE CALCAREE costituite da frammenti calcarei spigolosi e subarrotondati, eterometrici, in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o sabbioso-limosa di colore avana-rosato fino alla profondità di 7 m e poi biancastra. Alla profondità di 1.00 m un livello di limo argilloso rossastro (20 cm).								11.00		%C=70				24-39-50																					
3																		3.00 PC																					
4																																							
5																		27-21-46																					
6																		6.00 PC																					
7																		Rif																					
8																		9.00 PC																					
9																		6-4-7																					
10																		12.00 PC																					
11																																							
12				LIMO ARGILLOSO marrone scuro con clasti								0.50																											
13				FRAMMENTI CALCAREI, spigolosi e subarrotondati, eterometrici, in abbondante matrice limoso-argillosa e limoso-sabbiosa di colore bruno-rossastro.								5.80		%C=70				Rif																					
14																		15.00 PC																					
15																																							
16																																							
17																																							
18				BRECCE CALCAREE costituite da frammenti calcarei spigolosi e subarrotondati, eterometrici, in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o sabbioso-limosa di colore biancastro.								16.70		%C=70																									
19																																							
20																																							
21																																							
22																																							
23																																							
24																																							
25																																							
26																																							
27																																							
28																																							
29																																							
30																																							
31																																							
32																																							
33																																							
34																																							
35																																							
36																																							
37																																							
38																																							
39																																							
40																																							
41																																							
42																																							
43																																							
44																																							
45																																							

NOTE:



Sondaggio s1: postazione



Sondaggio s1: il materiale campionato da 0 a 5 m



Sondaggio s1: il materiale campionato da 5 a 10 m



Sondaggio s1: il materiale campionato da 10 a 15 m



Sondaggio s1: il materiale campionato da 15 a 20 m



Sondaggio s1: il materiale campionato da 20 a 25 m



Sondaggio s1: il materiale campionato da 25 a 30 m



Sondaggio s1: il materiale campionato da 30 a 35 m

Committente		Sondaggio s2	Tipo Sonda CMV MK1200		Pagina 1/1	
Opera Palazzo Centi		Profondità raggiunta 45 m	Tipo Carotaggio continuo d 101 mm		Allestimento Foro per prova SDMT	
Località via R. Guelfaglione (L'Aquila)		Quota Ass. P.C.	Inizio/Fine Esecuzione maggio 2012		Coordinate	

Profondità (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (mt)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cm ^q	Campioni	Falda
1		MATERIALE DI RIPORTO grossolano con frammenti di laterizi	1.50	%C=80				
2		LIMO ARGILLOSO E LIMO SABBIOSO, di colore bruno-rossastro e bruno, con inclusi frammenti calcarei eterometrici a tratti numerosi e a tratti del tutto assenti (11.70-14.40 m).	15.00	%C=90	6-10-19			
3					3.00 PC			
4								
5					7-11-18			
6					6.00 PC			
7								
8					7-10-12			
9					9.00 PC			
10								
11					6-4-7			
12					12.00 PC			
13								
14					8-13-18			
15					15.00 PC			
16								
17		BRECCE CALCAREE costituite da frammenti calcarei spigolosi e subarrotondati, eterometrici, in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o sabbioso-limosa di colore biancastro e avana	28.50	%C=70				
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								

NOTE:



Sondaggio s2: postazione



Sondaggio s2: il materiale campionato da 0 a 5 m



Sondaggio s2: il materiale campionato da 5 a 10 m



Sondaggio s2: il materiale campionato da 10 a 15 m



Sondaggio s2: il materiale campionato da 15 a 20 m



Sondaggio s2: il materiale campionato da 20 a 25 m



Sondaggio s2: il materiale campionato da 25 a 30 m





Sondaggio s2: il materiale campionato da 30 a 35 m



Sondaggio s2: il materiale campionato da 35 a 40 m



Sondaggio s2: il materiale campionato da 40 a 45 m

Committente		Sondaggio F1 (inclinato in fondazione)		Tipo Sonda CMV MK1200		Pagina 1/1				
Opera Palazzo Centi (spigolo NO)		Profondità raggiunta 8 m		Tipo Carotaggio continuo d 101 mm		Allestimento Foro				
Località via R. Guelfaglione (L'Aquila)		Quota Ass. P.C.		Inizio/Fine Esecuzione maggio 2012		Coordinate inclinazione su vert. = 30°				
Profondità (mt)	Litologia	Descrizione		Spessore strati (mt)	%Carotaggio		S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cmq	Campioni	Falda
1		PIETrame CALcareo con frammenti di laterizio anche cementati (fondazione).		2.00	%C=80					
2		LIMO ARGILLOSO E LIMO SABBIOSO, di colore bruno-rossastro, con inclusi numerosi frammenti calcarei eterometrici		6.00	%C=70					
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
NOTE:										



Sondaggio F1 (spigolo NO): postazione



Sondaggio F1 (spigolo NO): il materiale campionato da 0 a 5 m



Sondaggio F1 (spigolo NO): il materiale campionato da 5 a 8 m



Sondaggio F2 (spigolo SO): postazione



Sondaggio F2 (spigolo SO): il materiale campionato da 0 a 5 m



Sondaggio F2 (spigolo SO): il materiale campionato da 5 a 8 m



Sondaggio F2 (spigolo SO): il materiale campionato da 10 a 13 m

Committente		Sondaggio F3 (inclinato in fondazione)	Tipo Sonda CMV MK1200		Pagina 1/1			
Opera Palazzo Centi (spigolo NE)		Profondità raggiunta 10 m	Tipo Carotaggio continuo d 101 mm		Allestimento Foro			
Località P.zza S. Giusta (L'Aquila)		Quota Ass. P.C.	Inizio/Fine Esecuzione maggio 2012		Coordinate inclinazione su vert. = 35°			
Profondità (mt)	Litologia	Descrizione	Spessore strati (mt)	%Carotaggio	S.P.T. (n° Colpi)	Pocket Test kg/cmq	Campioni	Falda
1		PIETrame CALCAREO con frammenti di laterizio anche cementati (fondazione).	1.80	%C=80				
2		LIMO ARGILLOSO di colore bruno-rossastro, con inclusi pochi frammenti calcarei	1.40	%C=100				
3								
4		BRECCE CALCaree costituite da frammenti calcarei spigolosi e subarrotondati, eterometrici, in più o meno abbondante matrice sabbiosa e/o sabbioso-limosa di colore avana-rosato.	6.80	%C=70				
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
<div>NOTE:</div>								



Sondaggio F3 (spigolo NE): postazione

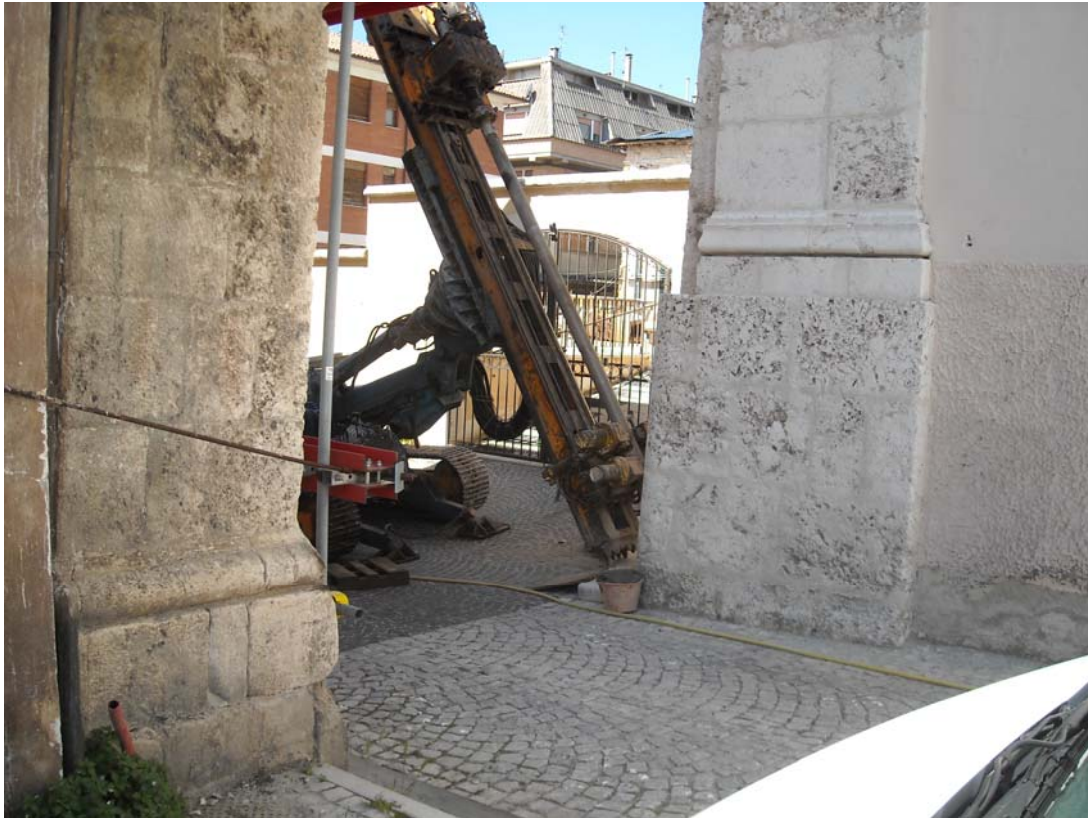


Sondaggio F3 (spigolo NE): il materiale campionato da 0 a 5 m



Sondaggio F3 (spigolo NE): il materiale campionato da 5 a 10 m

[illegible]



Sondaggio F4 (spigolo SE): postazione



Sondaggio F4 (spigolo SE): il materiale campionato da 0 a 5 m



Sondaggio F4 (spigolo SE): il materiale campionato da 5 a 10 m

ALLEGATO 2

**INDAGINI PER LA RISTRUTTURAZIONE DI PALAZZO CENTI A
L'AQUILA DANNEGGIATO DAL SISMA DE 6-4-2009.
PROVE CON DILATOMETRO SISMICO SDMT (maggio 2012)**



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI L'AQUILA

Consorzio per la Sperimentazione Edilizia

Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terre

INDAGINE PER LA RISTRUTTURAZIONE DI PALAZZO CENTI, DANNEGGIATO DAL SISMA DEL TERREMOTO AQUILANO DEL 2009 **L'Aquila**

PROVE CON DILATOMETRO SISMICO (SDMT)



SDMT

L'Aquila, Maggio 2012

INDICE

1.	INTRODUZIONE	2
2.	DESCRIZIONE DELLE ATTREZZATURE E MODALITÀ DI PROVA	5
3.	GRAFICI DEI PARAMETRI INTERPRETATI	7
4.	TABULATI MISURE SISMICHE (Vs)	18
5.	SISMOGRAMMI	27

1. INTRODUZIONE

Questo rapporto illustra i risultati dell'indagine, commissionata al Consorzio Sperimentazione Edilizia – Laboratorio Prove Materiali, Strutture e Terre – Università degli Studi dell'Aquila, costituita da due verticali dilatometriche sismiche (SDMT), eseguite per caratterizzare da un punto di sismico il sito di Palazzo Centi.

Le prove sono state eseguite nei giorni 15-16 maggio 2012 ed hanno lo scopo caratterizzare il sito per la progettazione degli interventi di ristrutturazione, da eseguire sul fabbricato danneggiato dal terremoto aquilano del 6 Aprile, 2009.

La fig. 1 mostra la corografia dell'area di indagine, situata nel centro storico di L'Aquila.



Fig. 1 – Corografia dell'area di indagine

La data di esecuzione delle prove, la loro numerazione, ubicazione e coordinate sono riportate nella tabella che segue.

Prova	Data	Ubicazione	Coordinate
SDMT1	16 maggio 2012	Palazzo Centi Piazza Santa Giusta	42°20'48.88"N 13°23'56.64"E
SDMT2	15 maggio 2012	Palazzo Centi Via di Bazzano-Via Rosso Guelfaglione	42°20'50.41"N 13°23'55.51"E

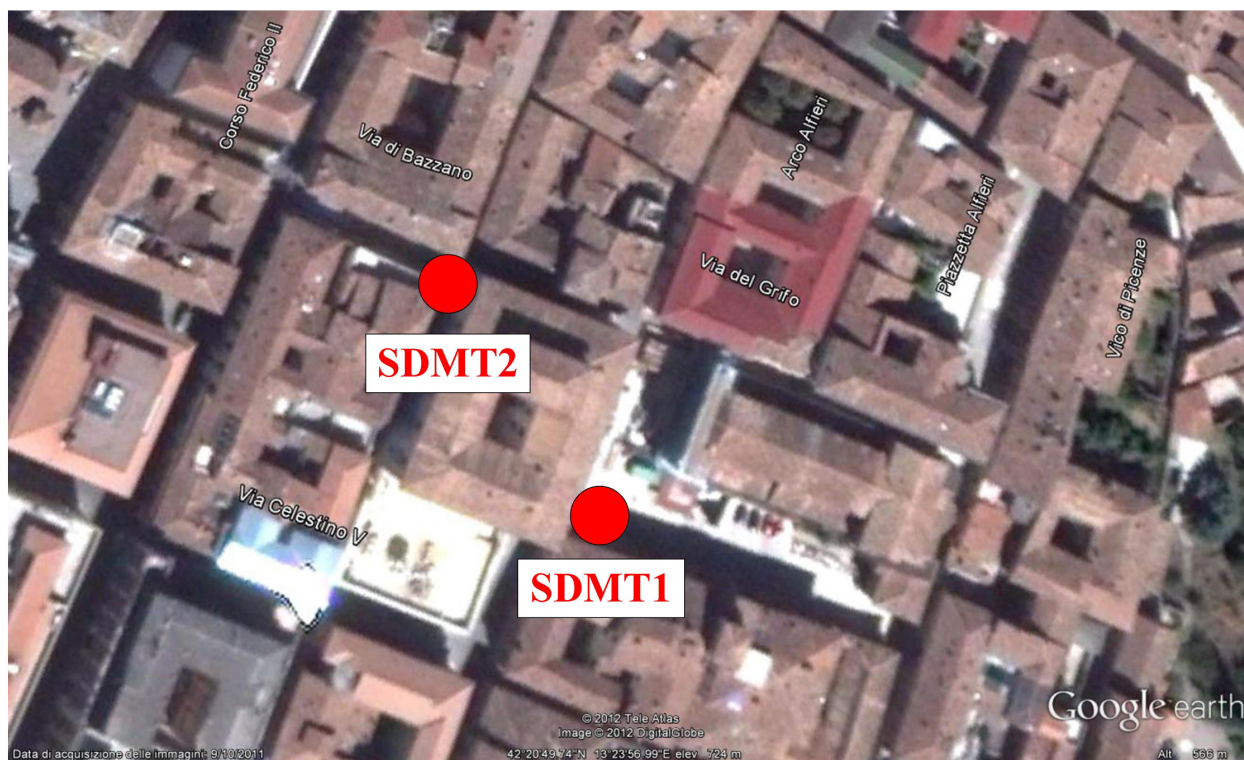


Fig. 2 – Ubicazione delle prove dilatometriche sismiche SDMT

Nella planimetria della fig. 2 sono riportate le ubicazioni, in pianta, delle prove dilatometriche sismiche.

Note alle prove

- Le verticali SDMT1, SDMT2 sono state eseguite all'interno di fori di sondaggio riempiti con ghiaietto. Ciò perché il sito è costituito da terreni non penetrabili dal dilatometro sismico per sola spinta statica, pur utilizzando un penetrometro zavorrato da 24 ton di peso.
- Le prove sono codificate secondo la stessa sequenza numerica già prevista per i fori di sondaggio.
- La verticale SDMT1 è limitata in profondità a 32.50 m a causa del raggiungimento del limite di spinta del camion (24 tonnellate).

Foto ubicazione prova



Foto 1 - Postazione SDMT1



Foto 2 - Postazione SDMT1



Foto 3 - Postazione SDMT2



Foto 4 - Postazione SDMT2

2. DESCRIZIONE DELLE ATTREZZATURE E MODALITÀ DI PROVA

DESCRIZIONE DELLA PROVA CON DILATOMETRO SISMICO (SDMT)

Il dilatometro sismico è la combinazione della lama dilatometrica con un modulo sismico che misura la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

Il modulo sismico è un corpo cilindrico, collocato sopra la lama (vedi figura), munito di due ricevitori distanti 0.50 m.

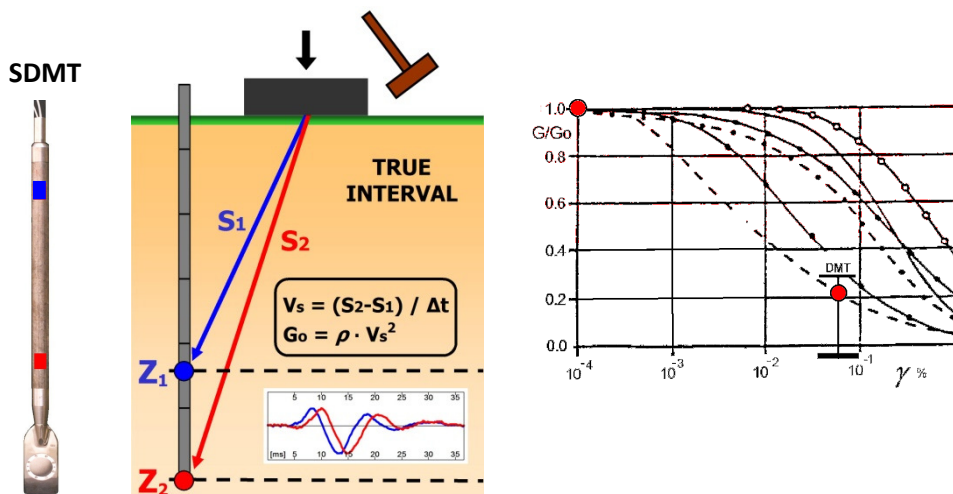
La configurazione della prova è “true interval” a due ricevitori. Tale configurazione evita i problemi connessi con la possibile inesatta determinazione dello zero dei tempi dall’impatto - talora riscontrati nella configurazione “pseudo interval” con un solo ricevitore. Inoltre la coppia di sismogrammi ai due ricevitori corrisponde allo stesso colpo, anziché a colpi successivi non necessariamente identici. Viene così molto migliorata la ripetibilità della misura di V_s .

L’energizzazione avviene in superficie mediante un martello a pendolo, avente massa battente di ca 10 Kg. Essa percuote orizzontalmente la testa di una base parallelepipedica di forma allungata di lunghezza ca 80 cm, pressata verticalmente contro il terreno. L’asse longitudinale della base parallelepipedica è orientato parallelamente all’asse dei ricevitori, in modo che essi offrano la massima sensibilità all’onda di taglio di interesse.

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s è il rapporto tra la differenza di distanza tra la sorgente e i due ricevitori ed il ritardo dell’arrivo dell’impulso dal primo al secondo ricevitore.

V_s può essere convertita nel modulo di taglio iniziale G_0 . La conoscenza combinata di G_0 e del modulo M (da DMT) può essere di aiuto nella costruzione della curva di decadimento del modulo G -Gamma.

Le determinazioni di V_s vengono effettuate ogni 50 cm di profondità.



Il penetrometro impiegato è un tre assi, pesante 24 ton. Impiega aste maggiorate per applicare 20 ton di spinta senza

Riferimenti bibliografici

- Protezione Civile - Gruppo di Lavoro (2008) "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Prova DMT pp. 391-397; Prova SDMT pp. 397-405.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2009) "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14 gen 2008". Circolare 2 Feb 2009. GU N.47 del 26.2.09.
- Totani et al. (2009) " V_s measurements by Seismic Dilatometer (SDMT) in non-penetrable soils" Proc. 17th ICSMGE Alexandria Egypt. Oct. 2009
- Monaco et al. (2009) "Interrelationship between Small Strain Modulus G_0 and Operative Modulus". International Symposium IS-Tokyo 2009 on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering
- Monaco & Marchetti (2007) "Evaluating Liquefaction Potential by Seismic Dilatometer (SDMT) accounting for Aging" Proc. 4th Intern. Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki, June 2007
- Mayne, Martin, Schneider (1999) "Small- and Large-Strain Soil Properties from Seismic Flat Dilatometer Tests", Proc. Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Jamiolkowski et al. editors, Torino

3. GRAFICI DEI PARAMETRI INTERPRETATI

Consorzio Sperim. Edilizia (CSE) Provveditorato OOPP L'Aquila

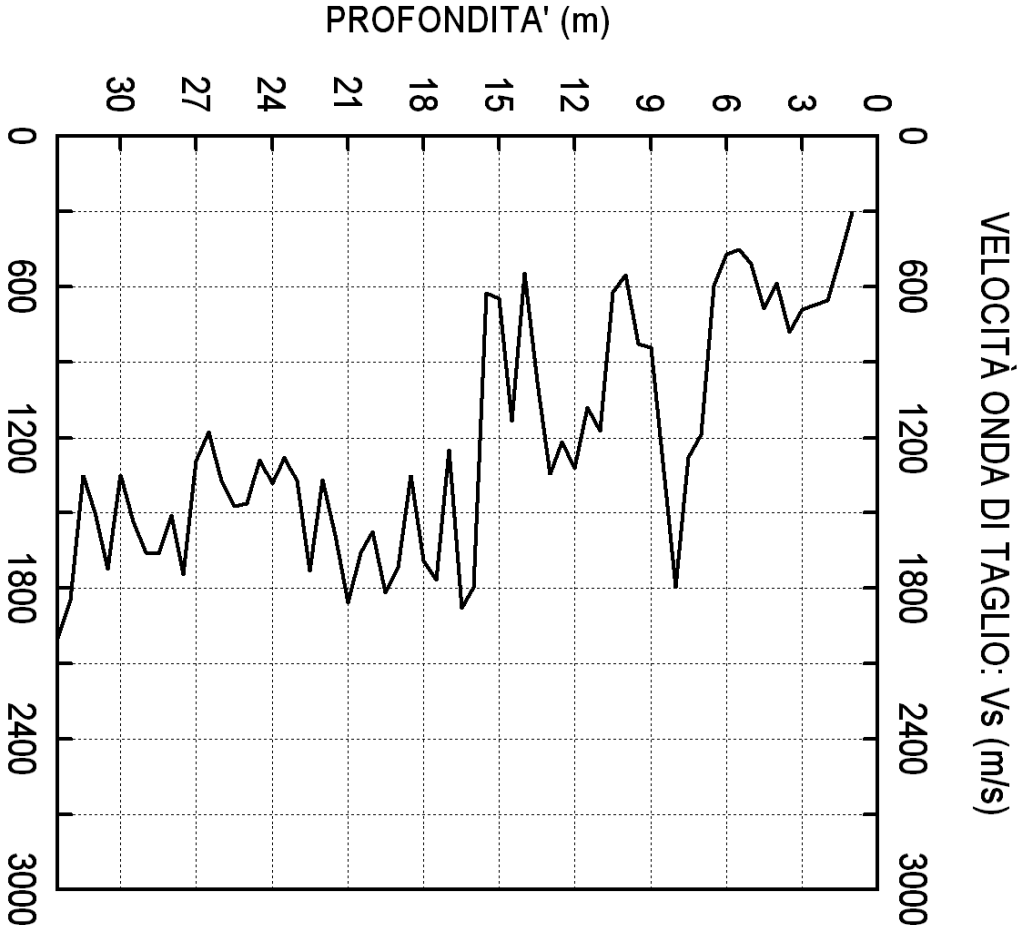
Palazzo Centi Piazza Santa Giusta

PROVA

SDMT1

16 MAG 2012

PROVA CON DILATOMETRO SISMICO (S D M T)



Consorzio Sperim. Edilizia (CSE) Provveditorato OOPP L'Aquila

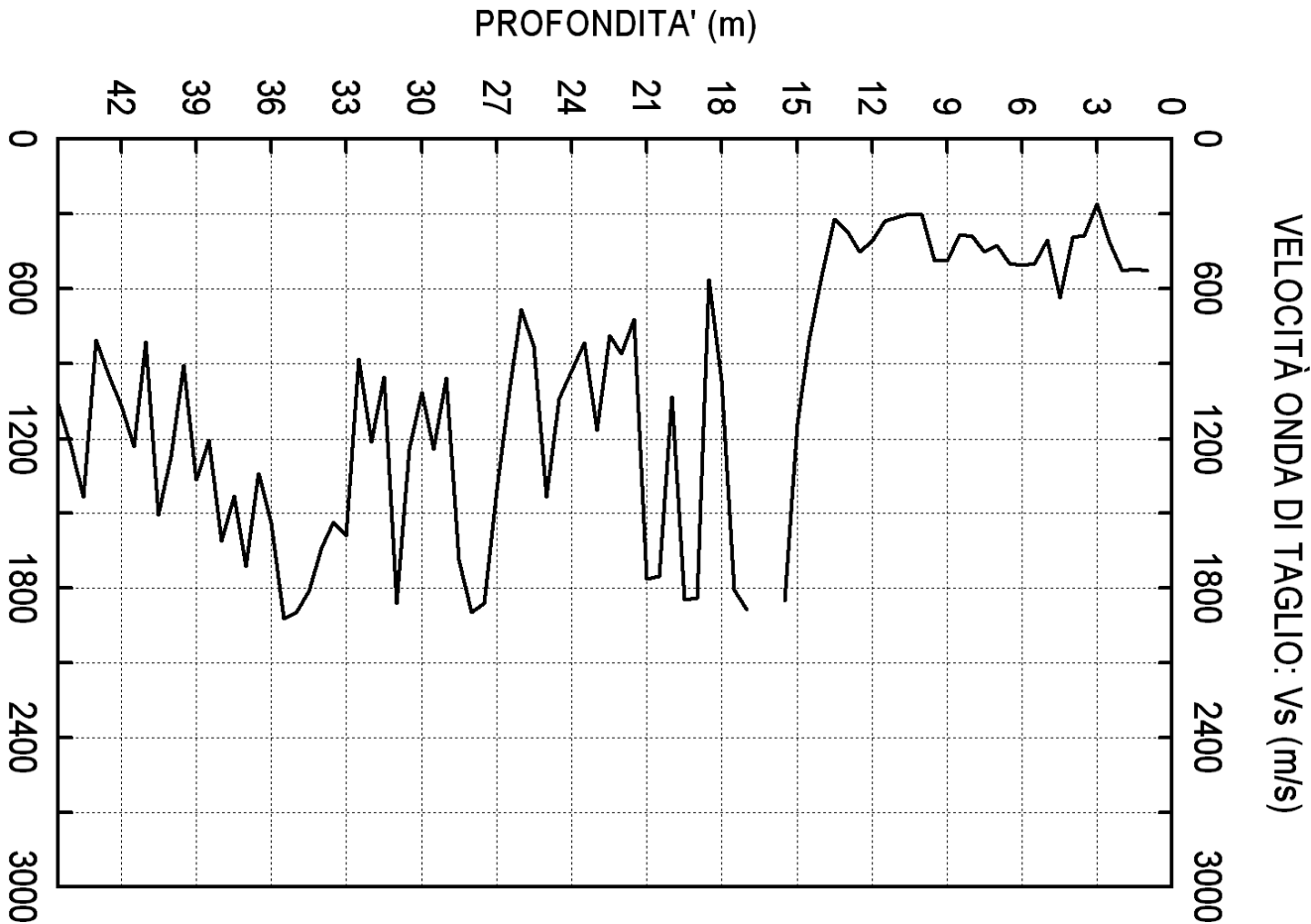
Palazzo Centi Via di Bazzano-Via Guelfagione

PROVA

SDMT2

15 MAG 2012

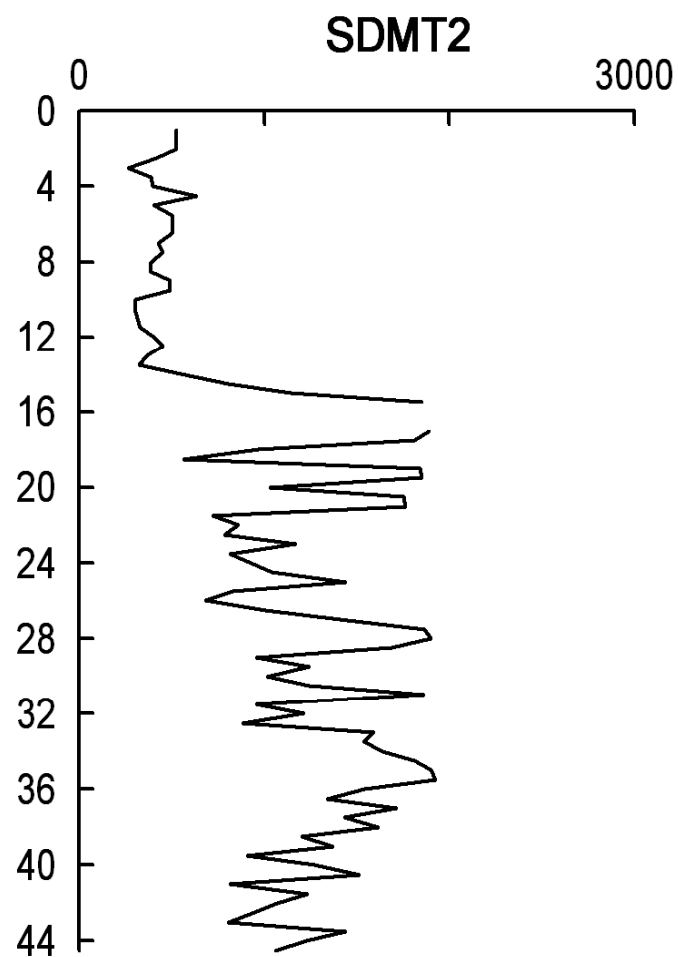
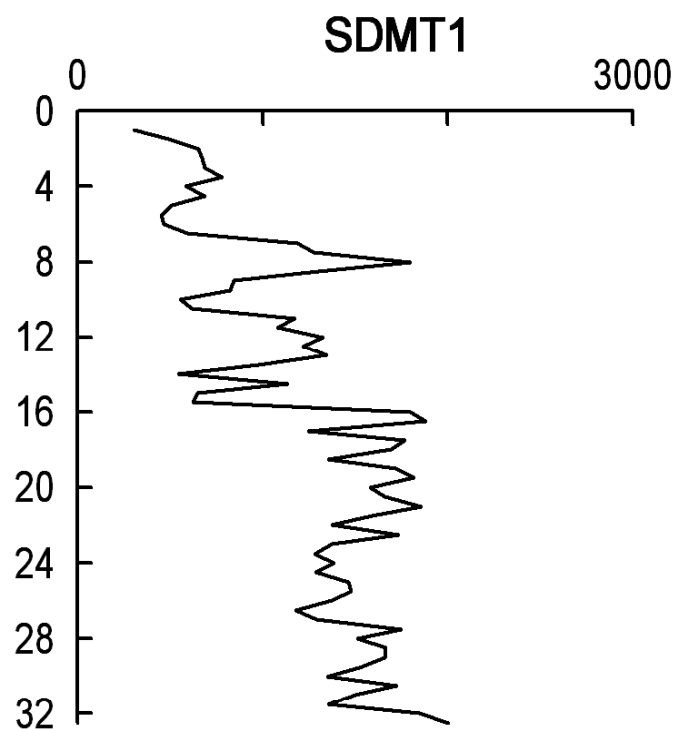
PROVA CON DILATOMETRO SISMICO (S D M T)



Consorzio Sperim. Edilizia (CSE)
Palazzo Centi

Provveditorato OOPP L'Aquila
L'Aquila

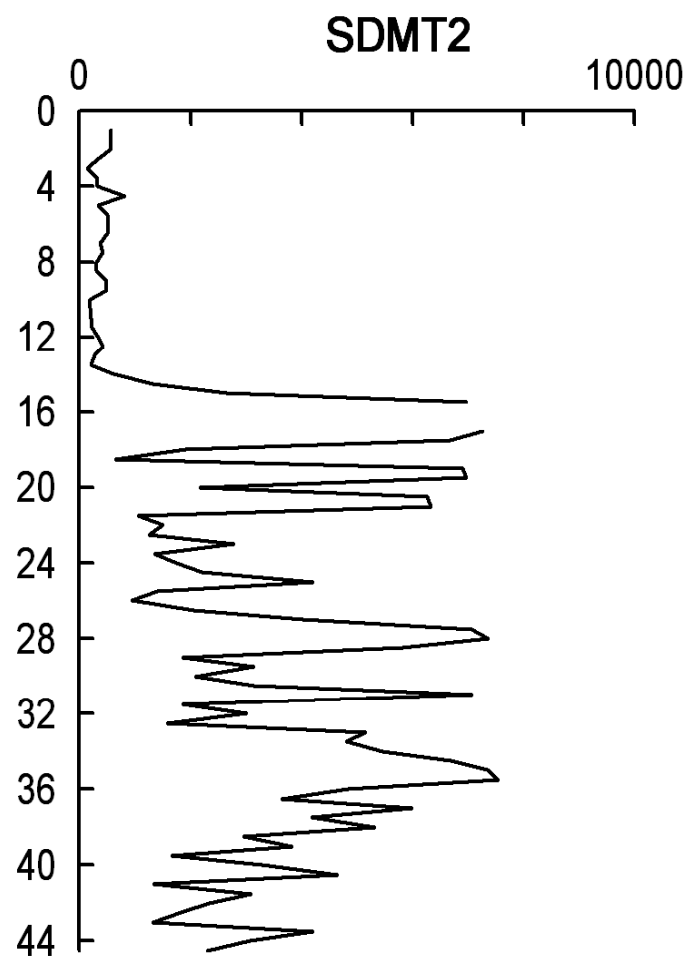
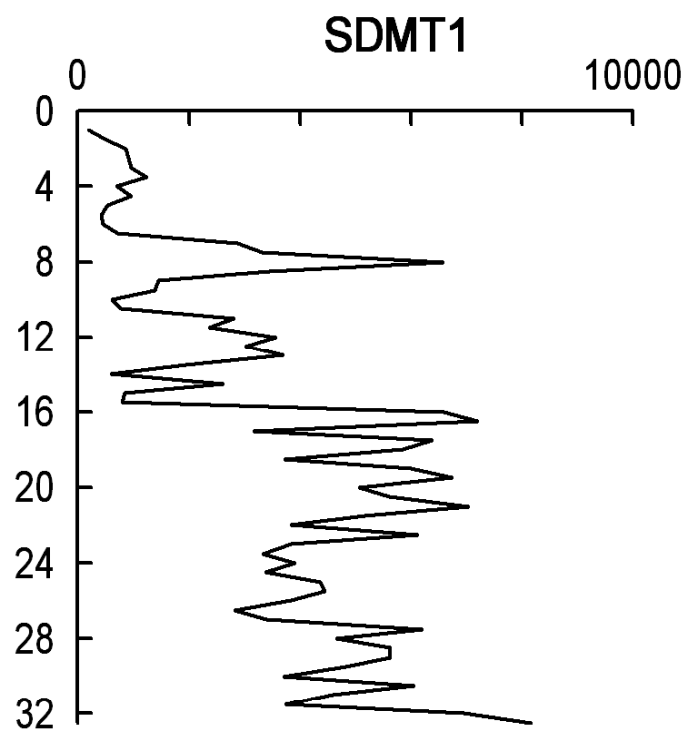
PROFILO DEL PARAMETRO VELOCITÀ ONDA DI TAGLIO V_s (m/s)



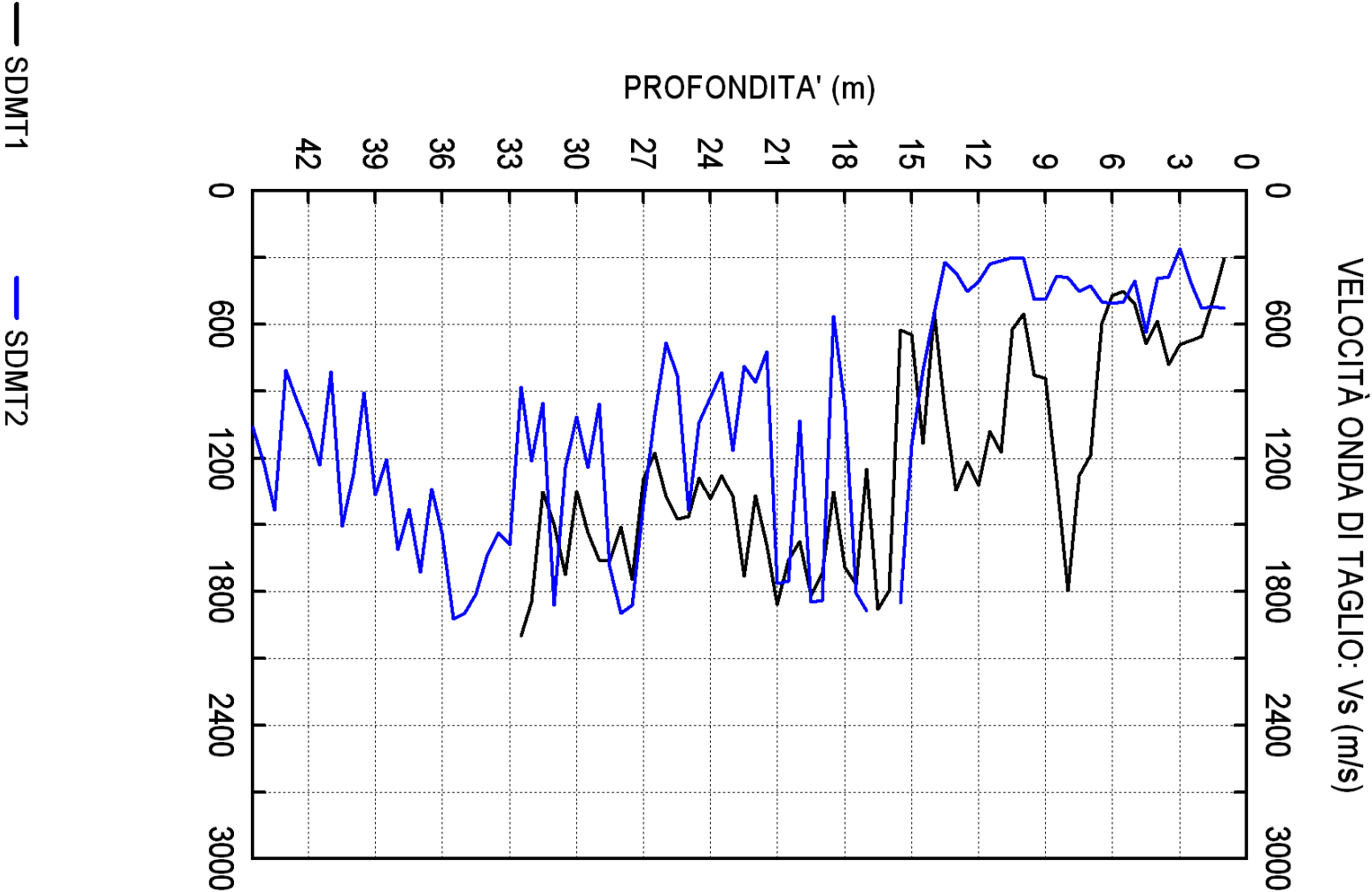
Consorzio Sperim. Edilizia (CSE)
Palazzo Centi

Provveditorato OOPP L'Aquila
L'Aquila

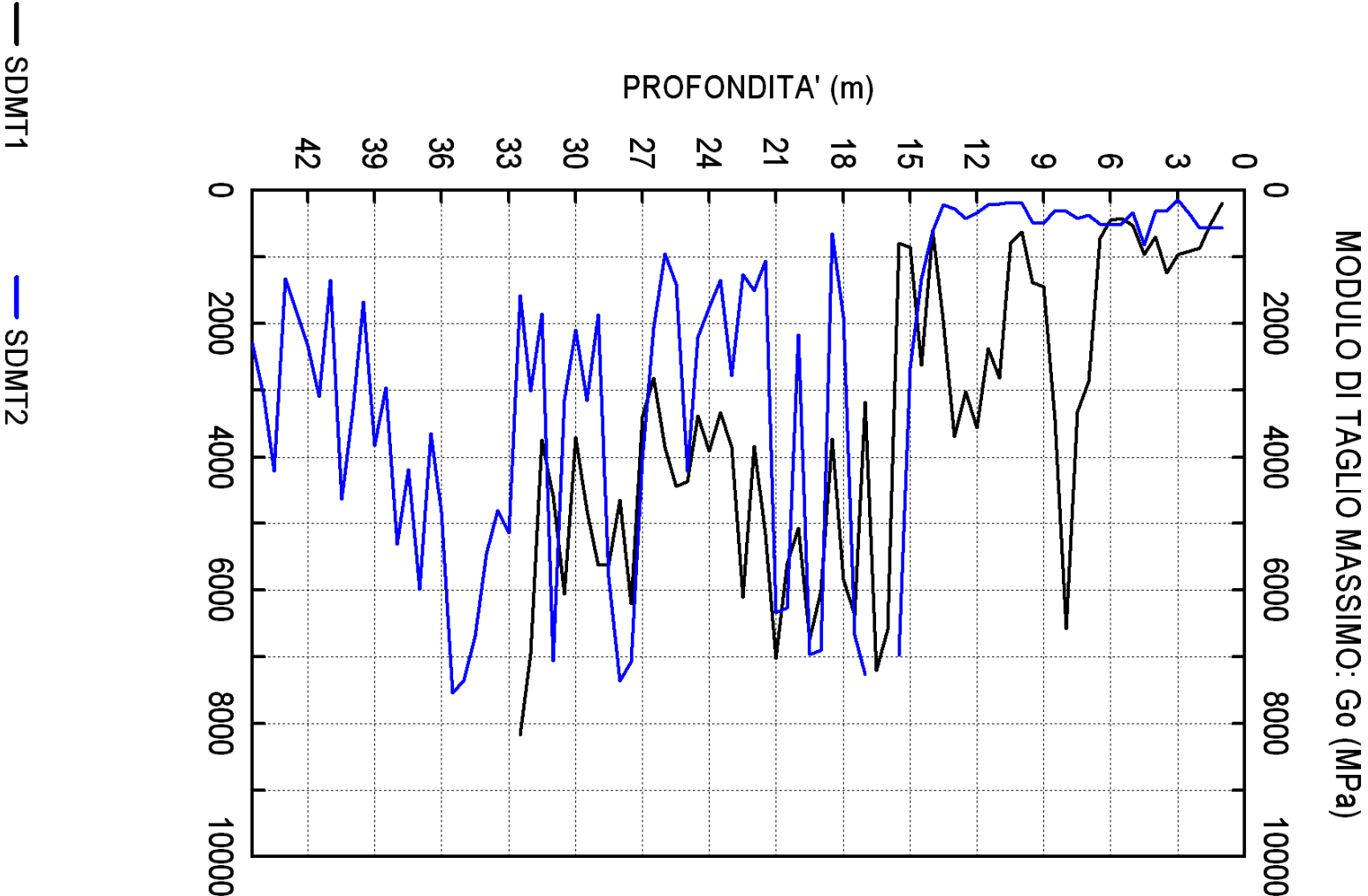
PROFILO DEL PARAMETRO MODULO DI TAGLIO MASSIMO G_0 (MPa)



Consorzio Sperim. Edilizia (CSE)	Provveditorato OOPP L'Aquila	
Palazzo Centi	L'Aquila	
PROVE SOVRAPPORTE		



Consorzio Sperim. Edilizia (CSE)	Provveditorato OOPP L'Aquila	
Palazzo Centi	L'Aquila	
PROVE SOVRAPPORTE		



4. TABULATI MISURE SISMICHE (V_s)

SDMT1 - Tabulato: V_s , G_0 , ripetibilità di V_s

Ogni misura di V_s nella colonna 'Ripetibilità V_s ' corrisponde ad una energizzazione distinta.

Z	V_s	G_0	ρ	Ripetibilità V_s	Coeff. Var
[m]	[m/s]	[MPa]	[kg/m ³]	[m/s]	[%]
1.00	302	186	2039	310,297,298	1.96
1.50	490	490	2039	472,491,508	3.00
2.00	652	867	2039	653,627,653,676	2.66
2.50	670	915	2039	684,664,661	1.52
3.00	688	965	2039	692,683,689	0.54
3.50	779	1237	2039	786,788,762	1.52
4.00	584	695	2039	600,582,569	2.18
4.50	687	962	2039	707,678,675	2.10
5.00	508	526	2039	501,514,508	1.05
5.50	452	417	2039	431,458,464,455	2.78
6.00	467	445	2039	481,459,461	2.13
6.50	594	719	2039	619,577,583,598	2.73
7.00	1186	2868	2039	1197,1169,1193	1.04
7.50	1277	3325	2039	1302,1280,1248	1.74
8.00	1796	6576	2039	1771,1771,1847	1.99
8.50	1300	3445	2039	1304,1287,1309	0.72
9.00	842	1445	2039	810,835,866,858	2.59
9.50	825	1388	2039	796,830,849	2.66
10.00	551	619	2039	559,541,564,539	1.98
10.50	619	781	2039	640,616,601	2.59
11.00	1174	2810	2039	1174,1156,1193	1.29
11.50	1078	2369	2039	1042,1055,1108,1109	2.82
12.00	1322	3563	2039	1312,1365,1290	2.38
12.50	1217	3020	2039	1171,1212,1237,1247	2.41
13.00	1346	3694	2039	1318,1354,1360,1354	1.24
13.50	977	1946	2039	950,1013,950,996	2.86
14.00	544	603	2039	549,524,559	2.71
14.50	1133	2617	2039	1162,1159,1102,1110	2.42
15.00	645	848	2039	624,667,643	2.73
15.50	623	791	2039	607,643,618	2.42
16.00	1798	6591	2039	1783,1726,1831,1850	2.67
16.50	1880	7206	2039	1850,1921,1885,1863	1.43
17.00	1248	3175	2039	1285,1233,1209,1264	2.33
17.50	1769	6380	2039	1689,1757,1820,1809	2.93
18.00	1694	5850	2039	1707,1625,1679,1767	3.02
18.50	1353	3732	2039	1343,1355,1361	0.55
19.00	1717	6010	2039	1679,1723,1788,1679	2.60
19.50	1818	6738	2039	1788,1850,1784,1850	1.76
20.00	1578	5077	2039	1513,1591,1574,1634	2.75
20.50	1659	5611	2039	1645,1635,1617,1698,1698	2.01
21.00	1857	7030	2039	1799,1851,1922	2.71
21.50	1592	5167	2039	1583,1621,1585,1536,1636	2.18
22.00	1372	3838	2039	1315,1380,1393,1399	2.44
22.50	1732	6116	2039	1700,1768,1662,1810,1718	3.00
23.00	1373	3843	2039	1404,1419,1356,1314	3.01

23.50	1279	3335	2039	1292,1325,1234,1265	2.62
24.00	1385	3911	2039	1344,1417,1424,1356	2.57
24.50	1287	3377	2039	1255,1325,1308,1260	2.34
25.00	1464	4370	2039	1497,1459,1441,1427,1497	1.96
25.50	1476	4442	2039	1463,1497,1455,1490	1.20
26.00	1373	3843	2039	1362,1413,1344	2.13
26.50	1176	2820	2039	1209,1137,1181	2.52
27.00	1290	3393	2039	1354,1255,1303,1281,1255	2.86
27.50	1745	6208	2039	1708,1810,1723,1771,1711	2.28
28.00	1512	4661	2039	1468,1490,1534,1558	2.34
28.50	1662	5631	2039	1689,1608,1689	2.30
29.00	1661	5625	2039	1647,1666,1635,1717,1639	1.81
29.50	1537	4816	2039	1512,1577,1566,1557,1472	2.55
30.00	1348	3705	2039	1367,1391,1338,1282,1362	2.75
30.50	1724	6059	2039	1671,1737,1789,1699	2.57
31.00	1502	4599	2039	1454,1542,1468,1542	2.72
31.50	1354	3738	2039	1305,1368,1368,1393,1338	2.23
32.00	1847	6955	2039	1851,1886,1851,1800	1.66
32.50	2001	8163	2039	1999,1922,2083,1999	2.85

SDMT2 - Tabulato: V_s , G_0 , ripetibilità di V_s

Ogni misura di V_s nella colonna 'Ripetibilità V_s ' corrisponde ad una energizzazione distinta.

Z	V_s	G_0	ρ	Ripetibilità V_s	Coeff. Var
[m]	[m/s]	[MPa]	[kg/m ³]	[m/s]	[%]
1.00	526	564	2039	523,529,526	0.47
1.50	518	547	2039	518,514,521	0.56
2.00	525	562	2039	531,511,532	1.84
2.50	414	349	2039	428,410,404	2.46
3.00	261	139	2039	259,266,259	1.27
3.50	387	305	2039	393,395,372	2.69
4.00	394	316	2039	394,395,394	0.15
4.50	633	817	2039	609,638,614,652,650	2.84
5.00	403	331	2039	407,402,399	0.82
5.50	499	508	2039	487,504,506	1.71
6.00	503	516	2039	500,502,506	0.50
6.50	498	506	2039	501,496,497	0.43
7.00	424	367	2039	422,423,428	0.62
7.50	451	415	2039	449,444,460	1.48
8.00	388	307	2039	394,386,384	1.11
8.50	382	298	2039	387,384,375	1.33
9.00	488	486	2039	478,490,497	1.61
9.50	487	484	2039	482,487,492	0.84
10.00	304	188	2039	304,304,303	0.19
10.50	299	182	2039	297,300,299	0.43
11.00	312	198	2039	312,312,313	0.19
11.50	327	218	2039	331,327,322	1.13
12.00	406	336	2039	403,408,407	0.53
12.50	451	415	2039	449,451,452	0.29
13.00	367	275	2039	369,365,368	0.47
13.50	322	211	2039	324,321,321	0.44
14.00	547	610	2039	550,543,548	0.54
14.50	805	1321	2039	797,795,823	1.58
15.00	1141	2654	2039	1131,1136,1157	0.99
15.50	1850	6978	2039	1865,1853,1831	0.76
17.00	1888	7267	2039	1850,1885,1921,1885,1921,1836,1921	1.73
17.50	1809	6672	2039	1854,1784,1850,1747	2.50
18.00	966	1902	2039	953,1004,941	2.83
18.50	563	646	2039	549,580,561	2.27
19.00	1840	6902	2039	1784,1850,1885	2.28
19.50	1848	6962	2039	1866,1792,1887	2.20
20.00	1031	2167	2039	1124,1050,994,1028,957	5.46
20.50	1754	6272	2039	1723,1784,1784,1723	1.74
21.00	1763	6337	2039	1851,1723,1733,1784,1723	2.81
21.50	720	1057	2039	703,750,708	2.93
22.00	859	1504	2039	840,830,891,874	2.88
22.50	785	1256	2039	807,760,803,757,796	2.75
23.00	1167	2777	2039	1204,1150,1140,1209,1134	2.77
23.50	814	1351	2039	838,792,826,781,835	2.87
24.00	927	1752	2039	897,933,966,927,911	2.51

24.50	1039	2201	2039	1062,1040,1003,1015,1075	2.62
25.00	1436	4204	2039	1470,1400,1408,1482,1422	2.32
25.50	829	1401	2039	806,852,850,798,839	2.73
26.00	683	951	2039	646,686,696,691,698	2.81
26.50	1005	2059	2039	1025,1025,964	2.86
27.00	1406	4030	2039	1400,1413,1470,1366,1379	2.57
27.50	1863	7076	2039	1890,1851,1789,1922	2.66
28.00	1900	7360	2039	1855,1922,1922	1.66
28.50	1689	5816	2039	1643,1723,1666,1723	2.08
29.00	957	1867	2039	954,913,972,988	2.92
29.50	1242	3145	2039	1291,1206,1242,1231	2.49
30.00	1014	2096	2039	1039,992,1041,982,1018	2.37
30.50	1240	3135	2039	1282,1227,1262,1191,1236	2.51
31.00	1861	7061	2039	1851,1886,1922,1785	2.72
31.50	954	1855	2039	980,925,976,936	2.53
32.00	1214	3005	2039	1214,1234,1159,1250	2.83
32.50	880	1579	2039	842,904,887,889	2.63
33.00	1590	5154	2039	1626,1562,1612,1562	1.82
33.50	1536	4810	2039	1562,1562,1507,1512	1.71
34.00	1637	5463	2039	1666,1600,1644	1.68
34.50	1811	6686	2039	1758,1851,1785,1851	2.26
35.00	1899	7352	2039	1923,1923,1851	1.79
35.50	1924	7547	2039	1851,1923,1999	3.14
36.00	1540	4835	2039	1505,1574	2.24
36.50	1337	3644	2039	1375,1305,1330	2.17
37.00	1714	5989	2039	1690,1666,1785	3.00
37.50	1432	4181	2039	1397,1401,1445,1483	2.46
38.00	1614	5311	2039	1616,1613,1563,1666	2.26
38.50	1204	2955	2039	1239,1196,1178	2.13
39.00	1369	3821	2039	1332,1424,1350	2.91
39.50	905	1670	2039	887,943,885	2.97
40.00	1270	3288	2039	1316,1265,1230	2.78
40.50	1509	4642	2039	1515,1470,1543	1.99
41.00	812	1344	2039	791,843,803	2.74
41.50	1232	3094	2039	1234,1260,1201	1.96
42.00	1069	2330	2039	1040,1087,1092,1058	1.99
42.50	947	1828	2039	939,965,909,976	2.73
43.00	805	1321	2039	778,819,817	2.34
43.50	1437	4210	2039	1414,1428,1470	1.66
44.00	1228	3074	2039	1198,1263,1213,1240	2.03
44.50	1061	2295	2039	1041,1069,1094,1039	2.13

5. SISMOGRAMMI

(registrati e rifasati secondo il ritardo calcolato)

Legenda

Z (m) = profondità sotto il piano campagna del punto medio tra i due ricevitori

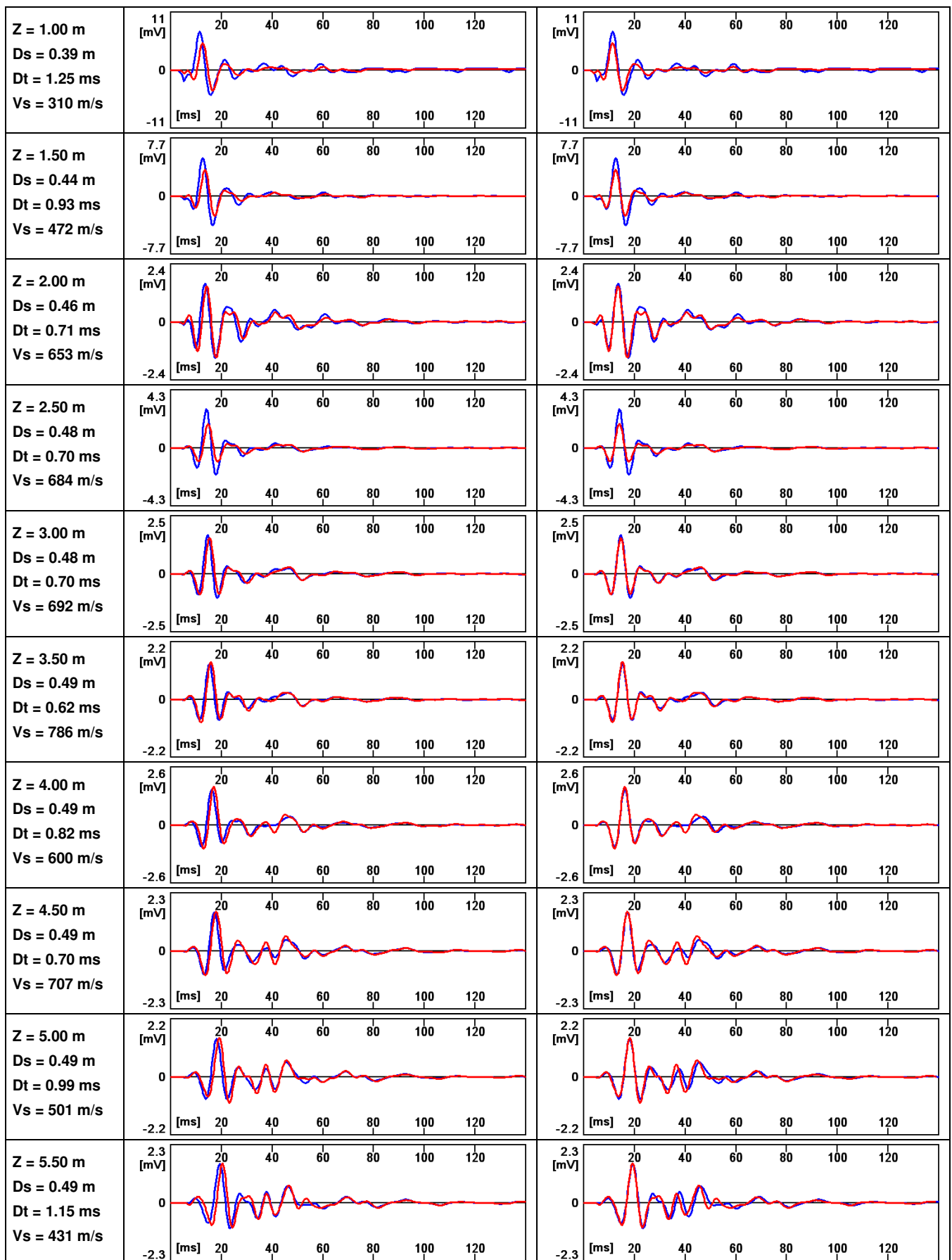
D_s (m) = differenza di percorso dalla sorgente ai due ricevitori

D_t (m) = ritardo di arrivo dell'impulso dal primo al secondo ricevitore

V_s (m/s) = D_s / D_t = velocità di propagazione dell'onda di taglio

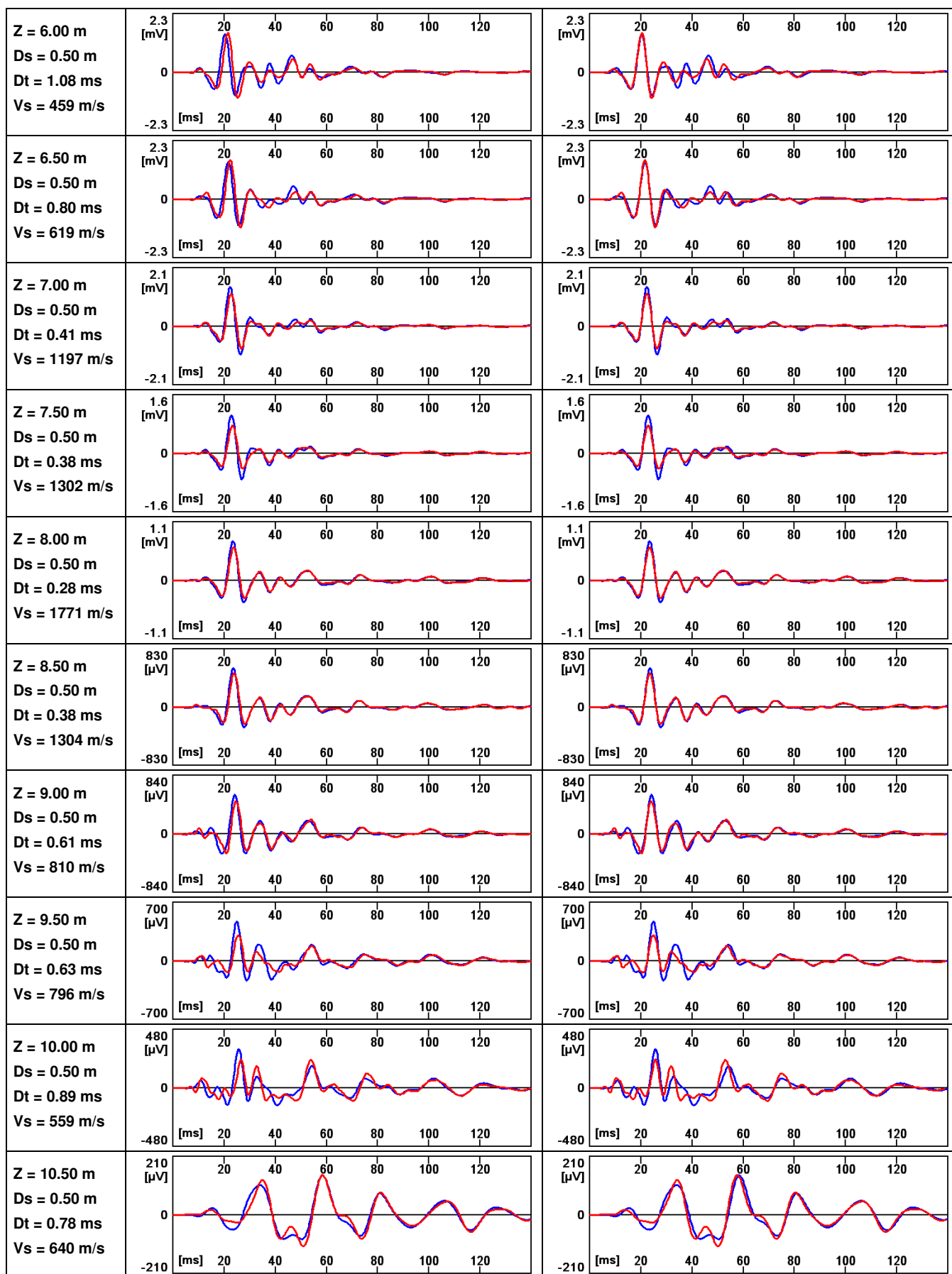
REGISTRATI

RIFASATI



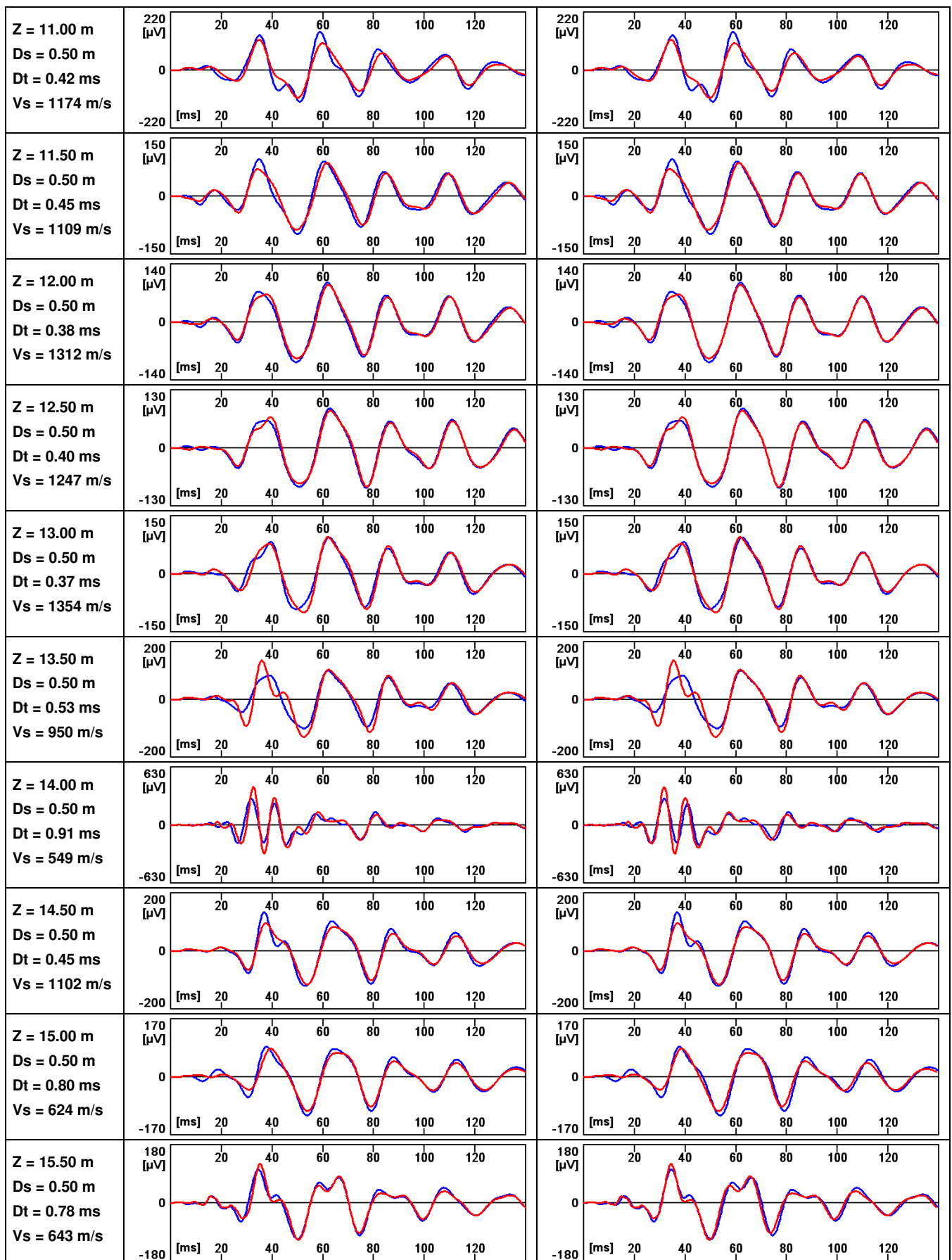
REGISTRATI

RIFASATI



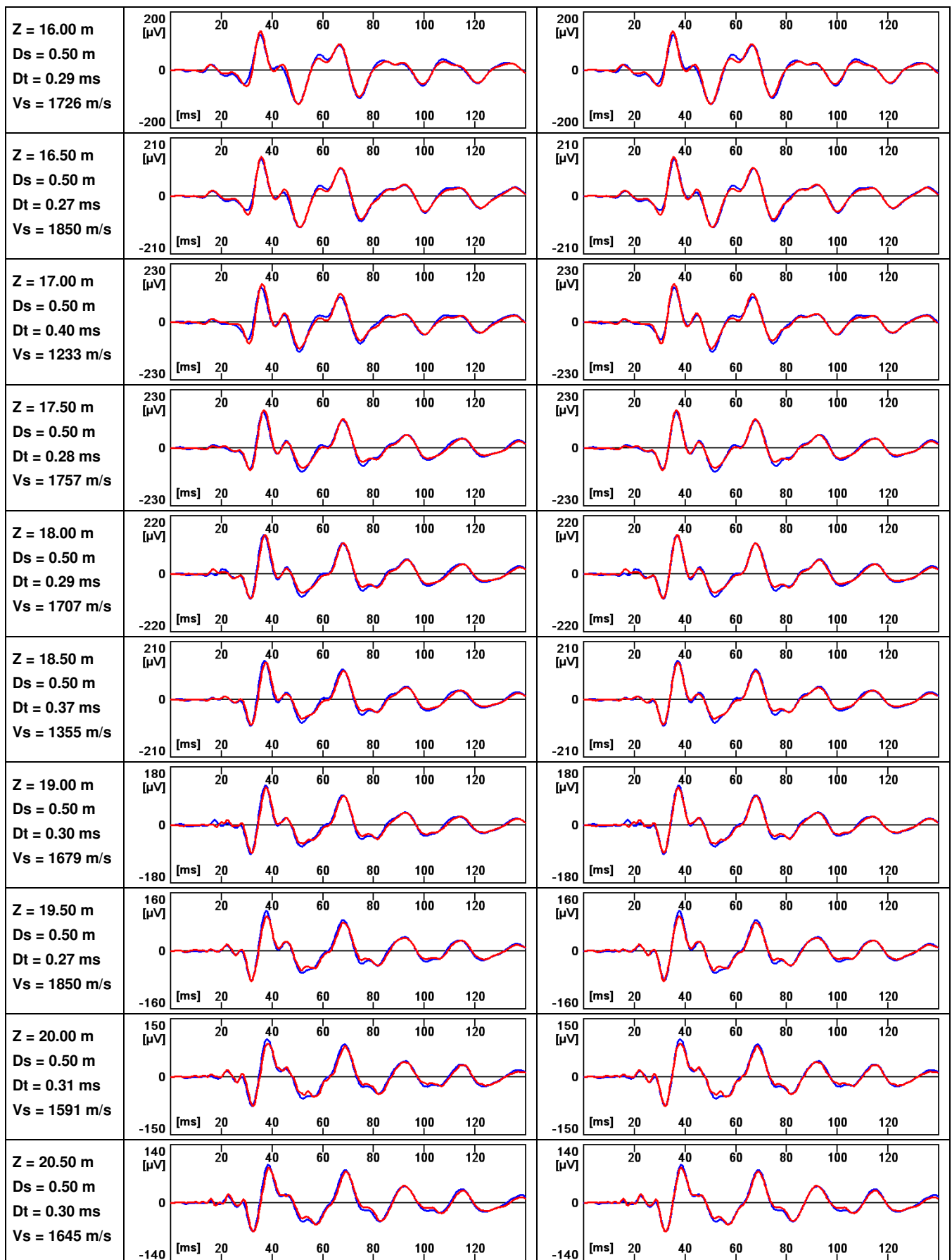
REGISTRATI

RIFASATI



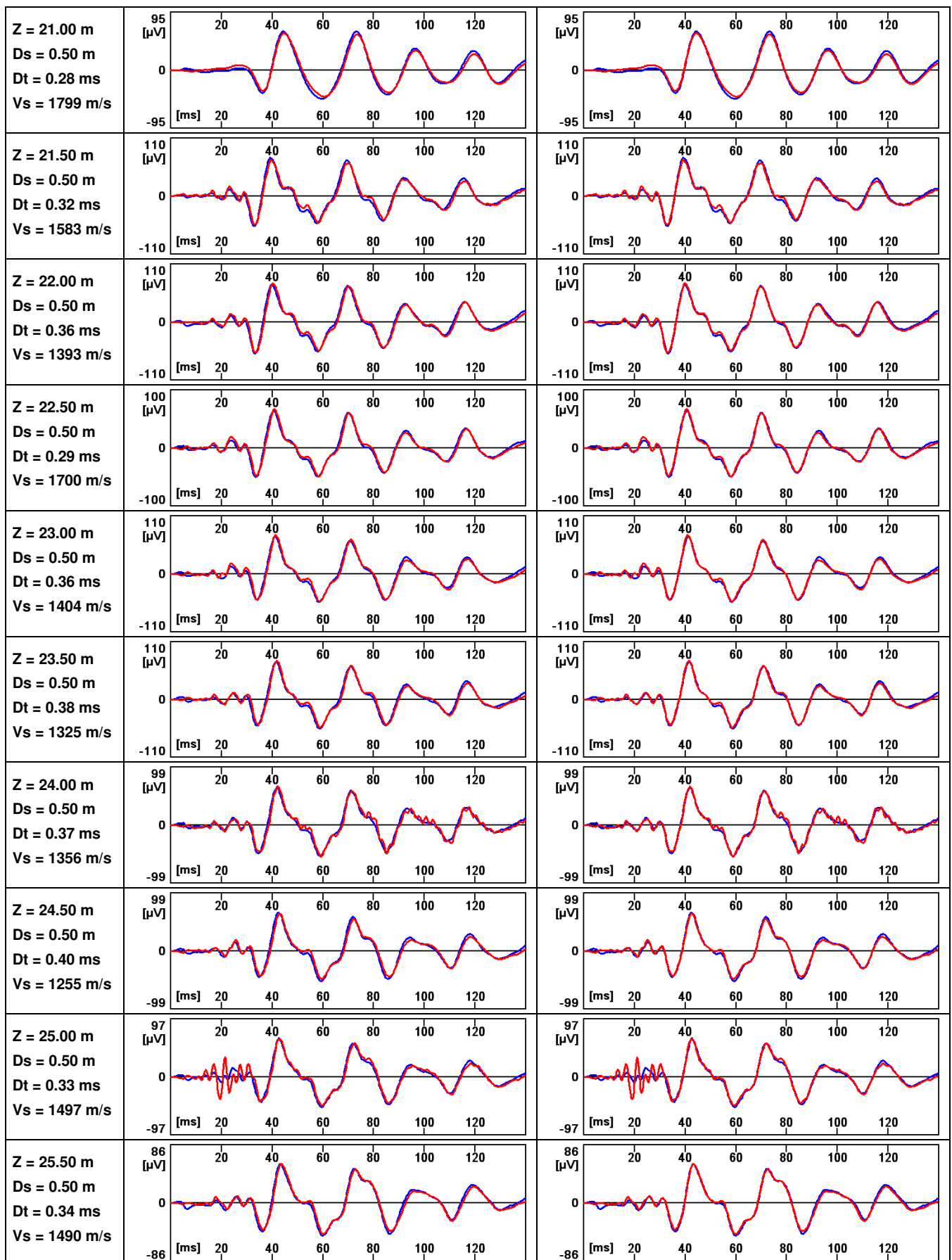
REGISTRATI

RIFASATI



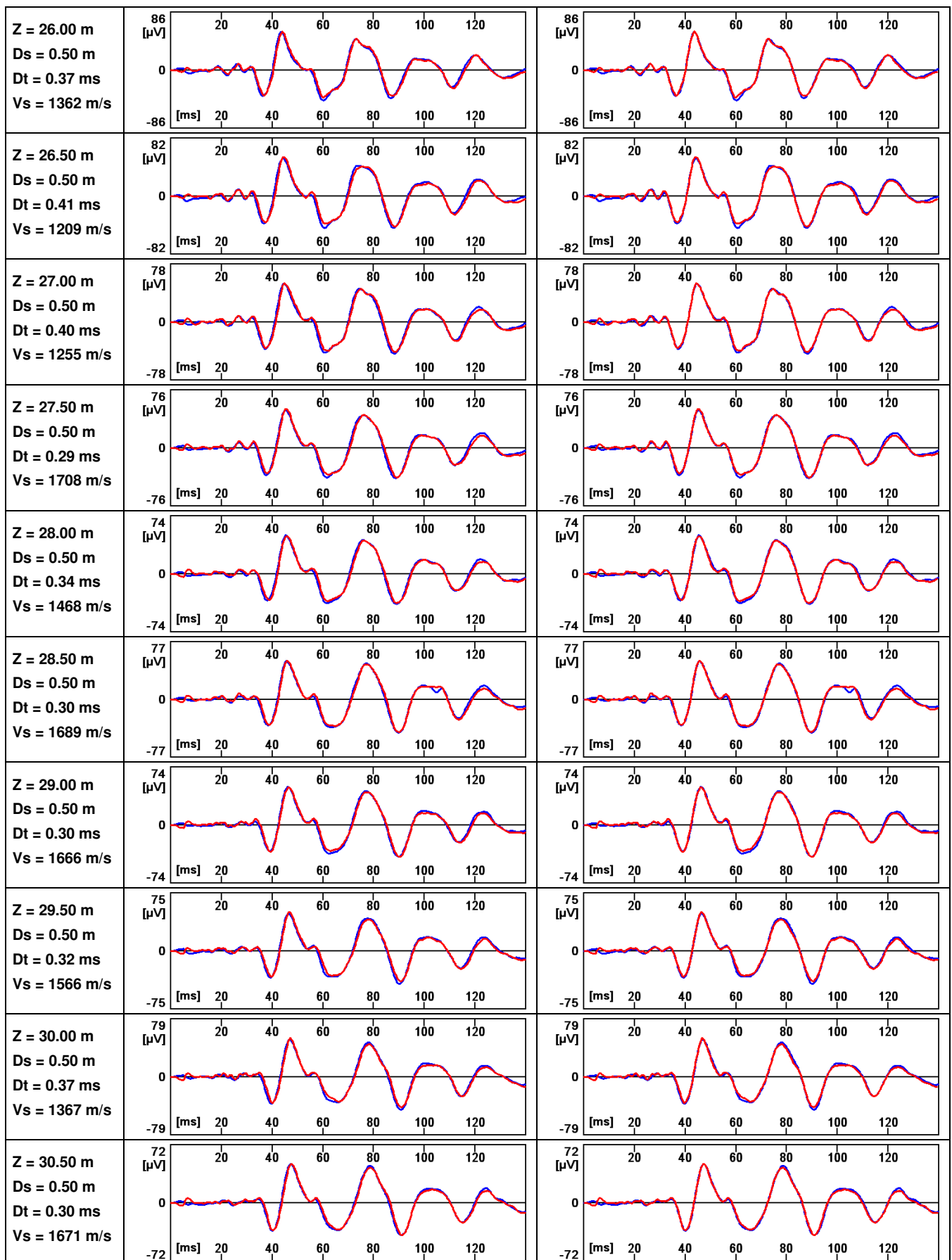
REGISTRATI

RIFASATI



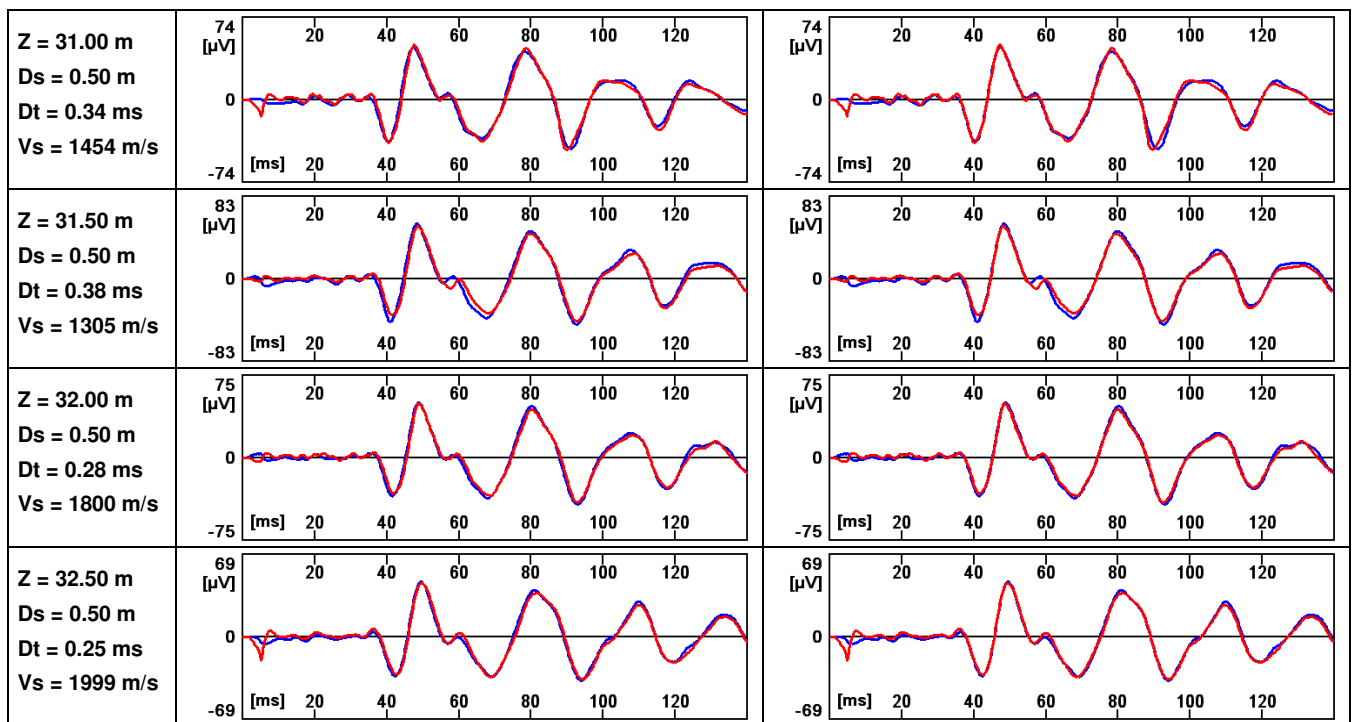
REGISTRATI

RIFASATI



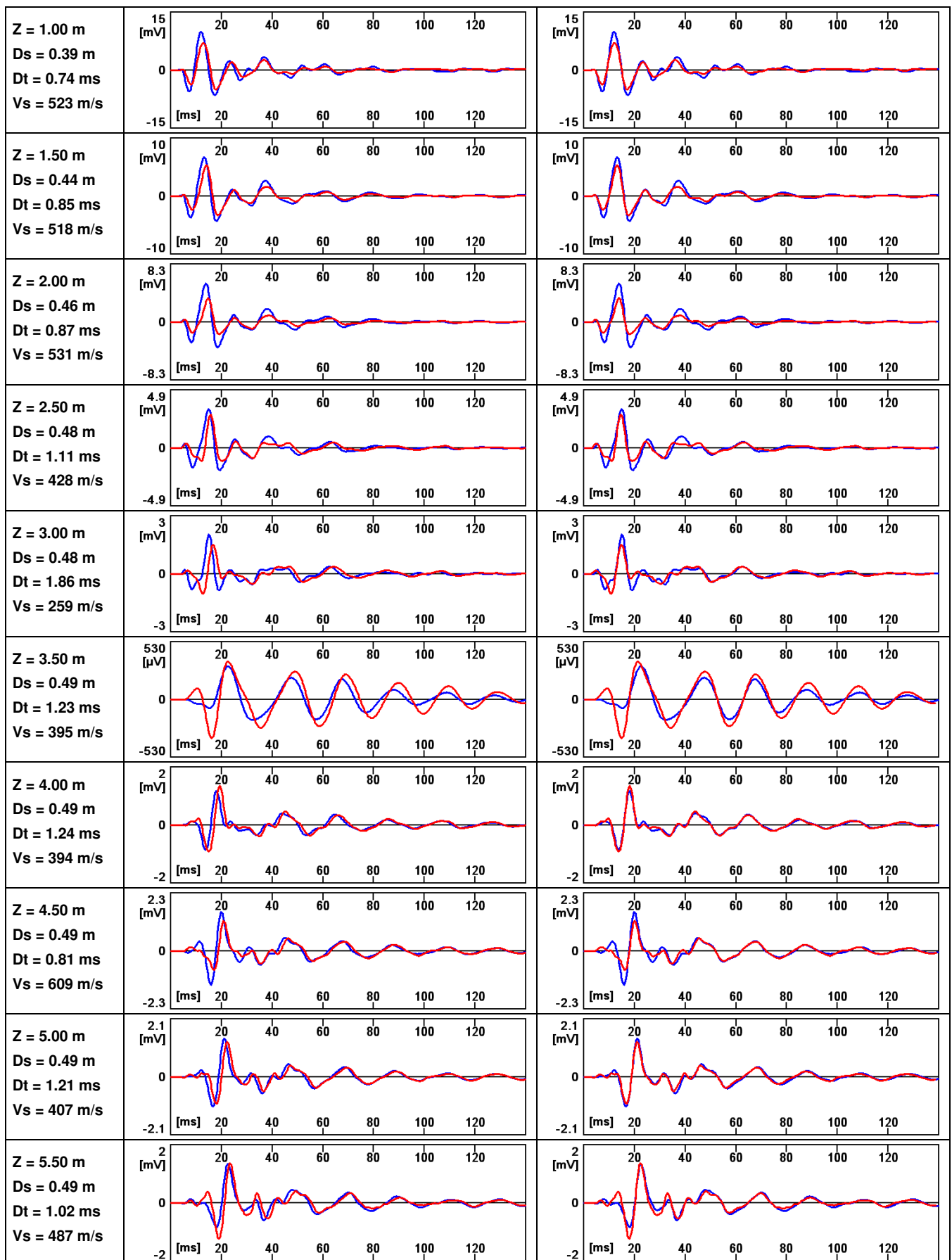
REGISTRATI

RIFASATI



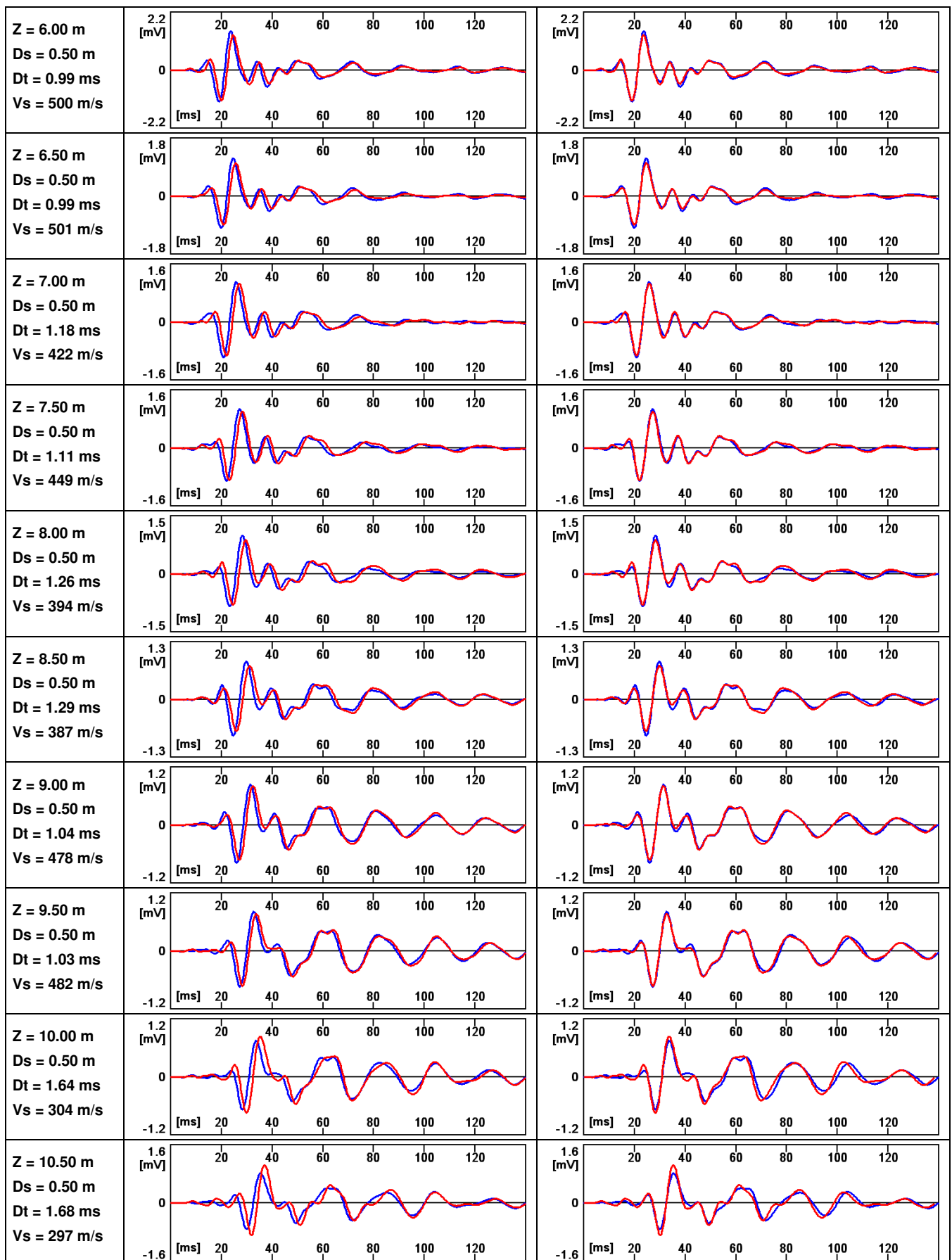
REGISTRATI

RIFASATI



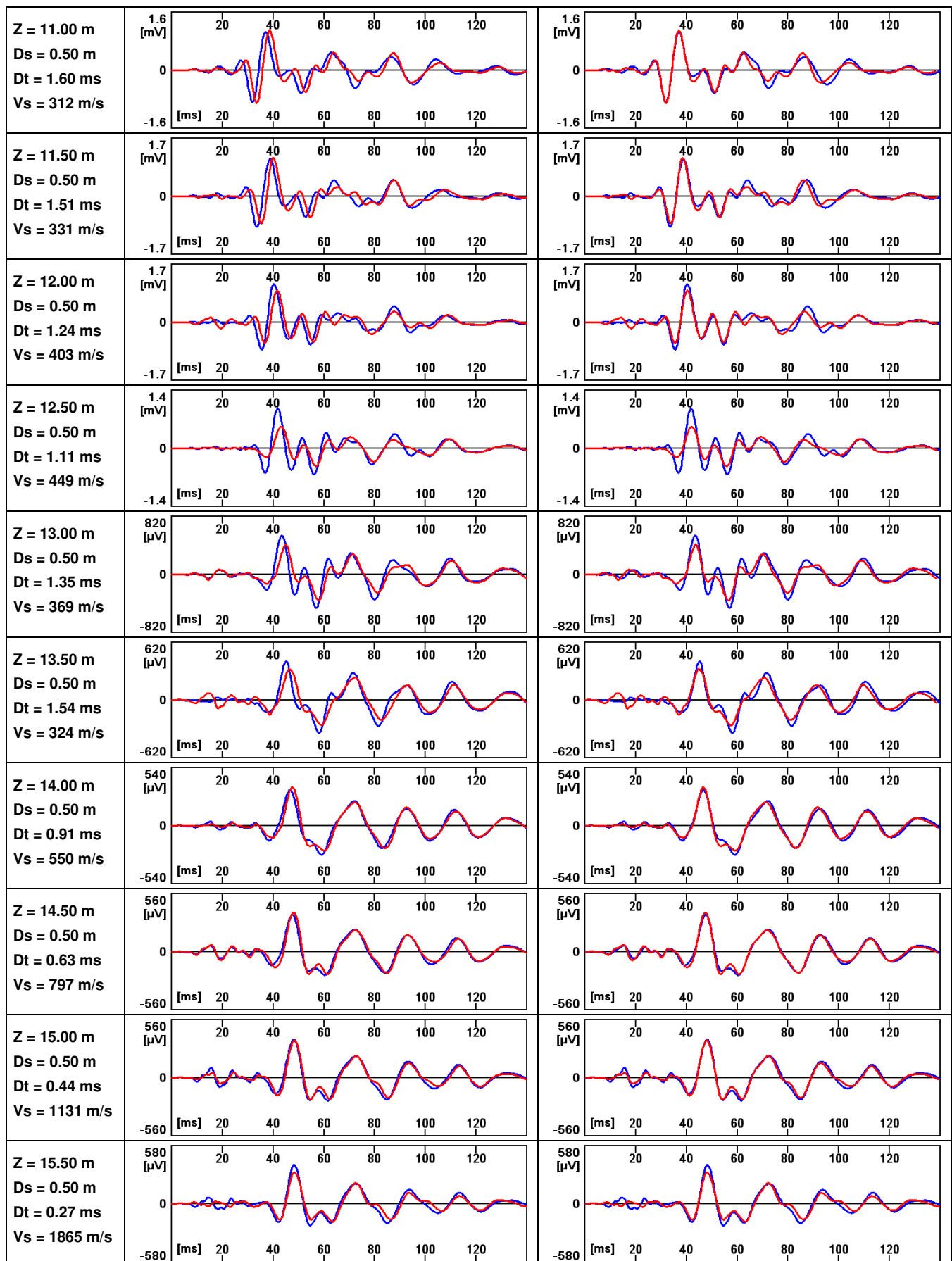
REGISTRATI

RIFASATI



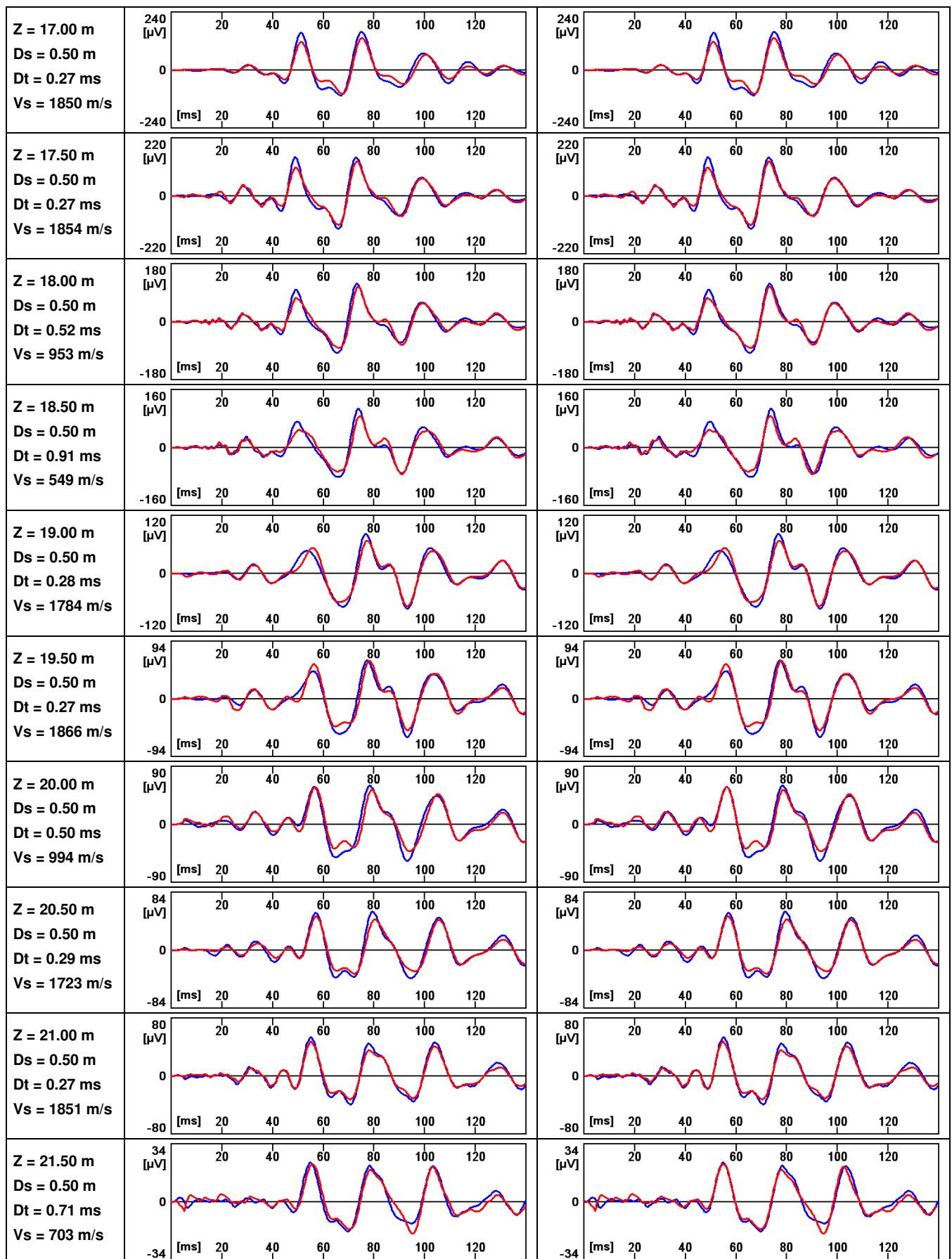
REGISTRATI

RIFASATI



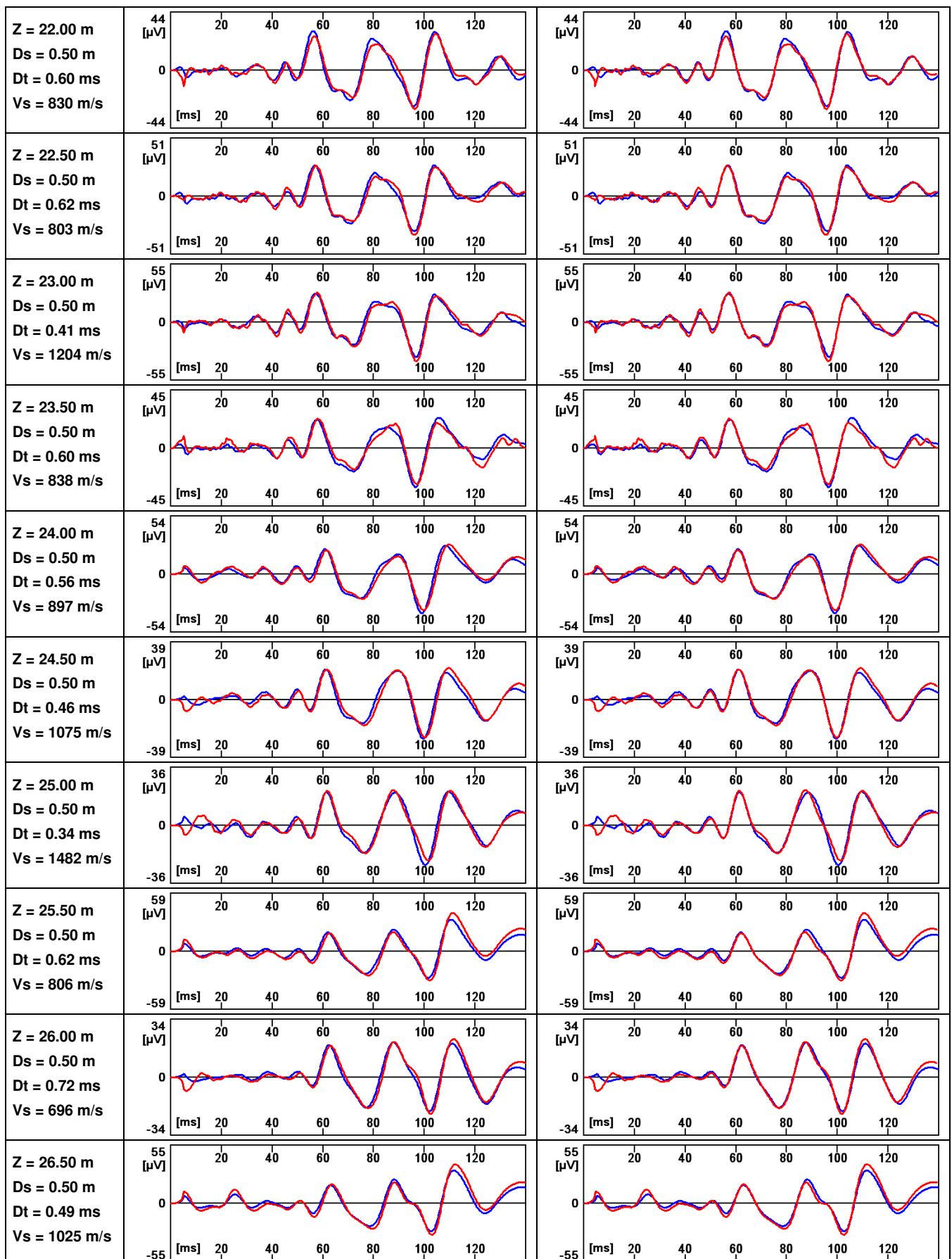
REGISTRATI

RIFASATI



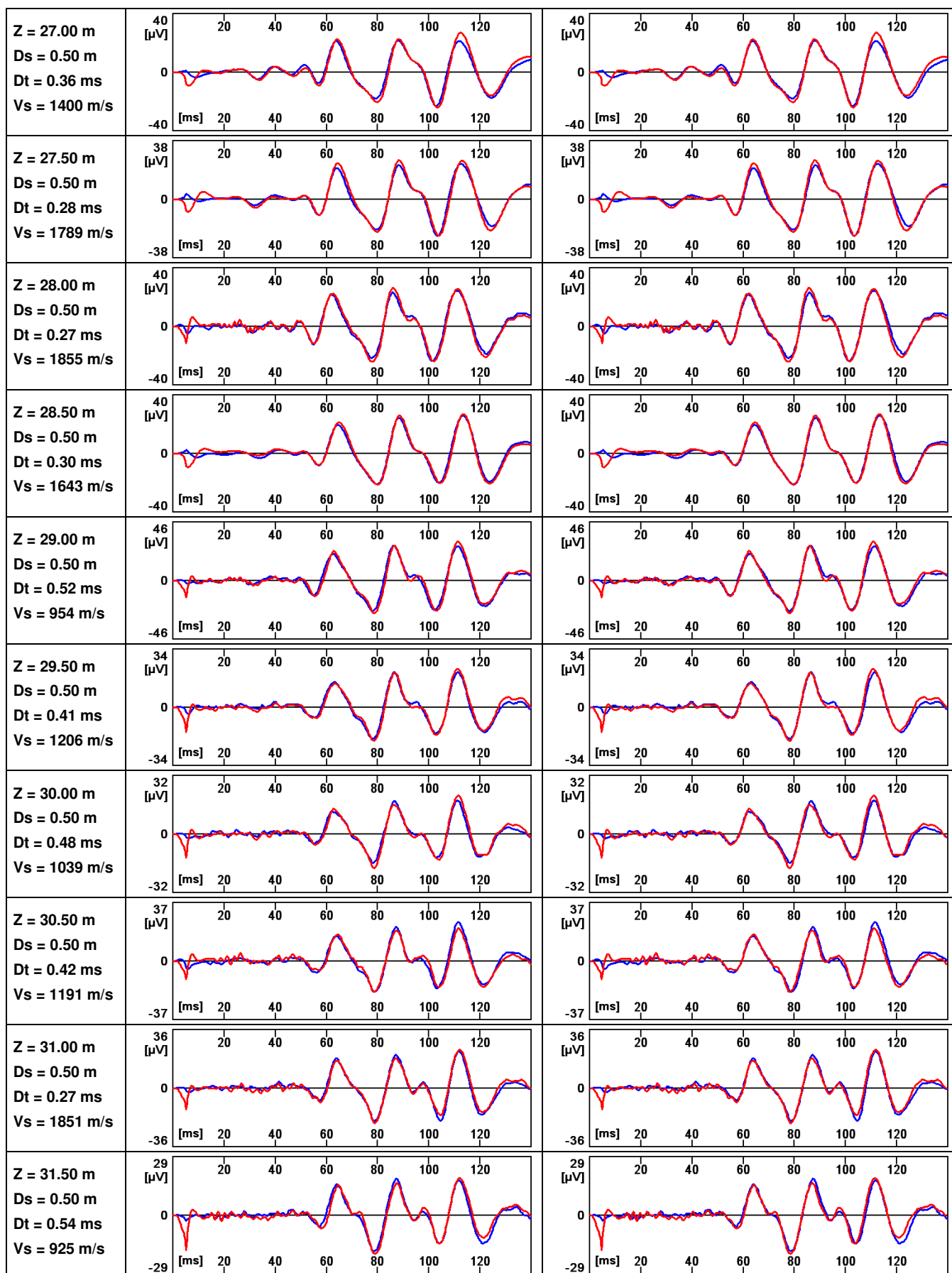
REGISTRATI

RIFASATI



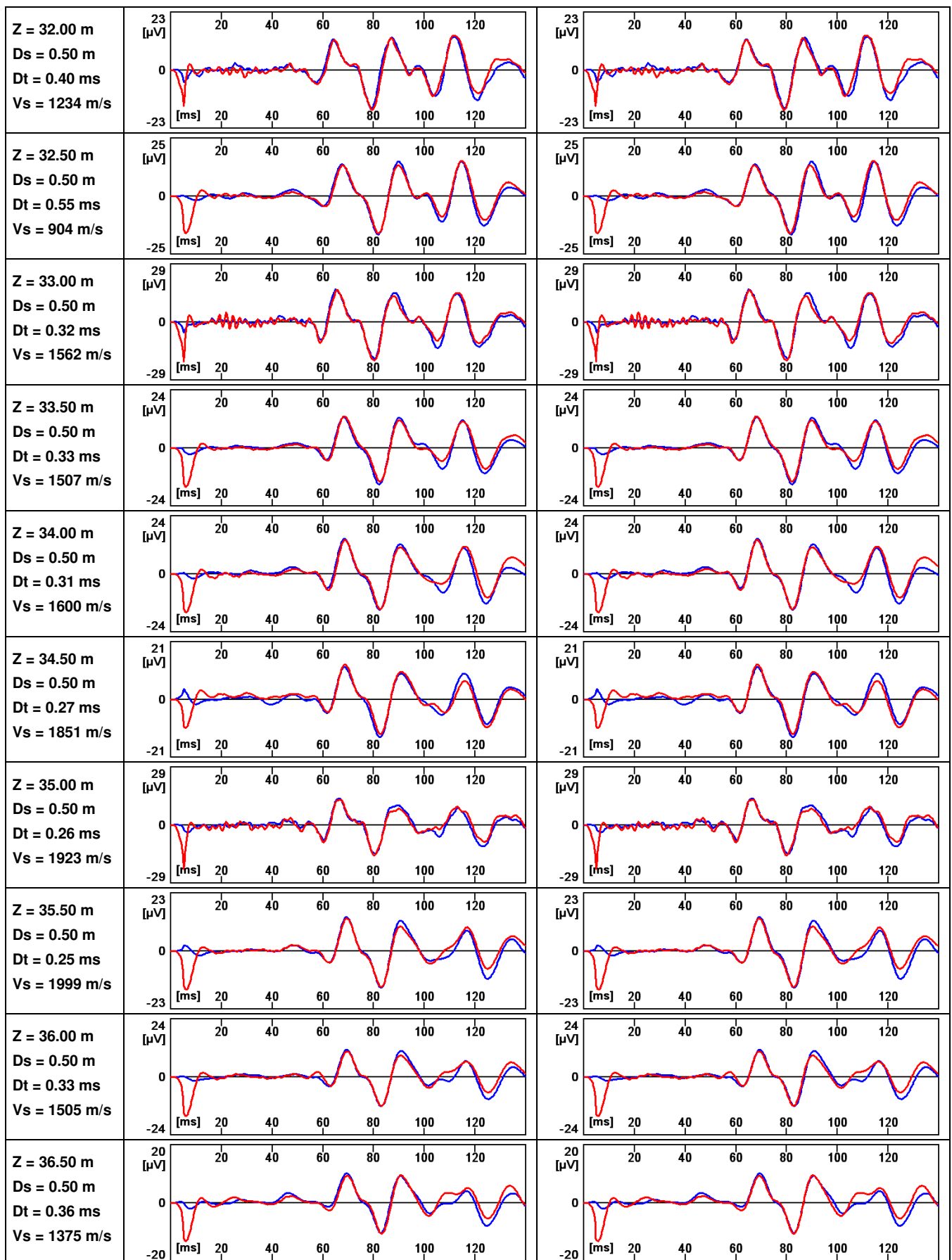
REGISTRATI

RIFASATI



REGISTRATI

RIFASATI



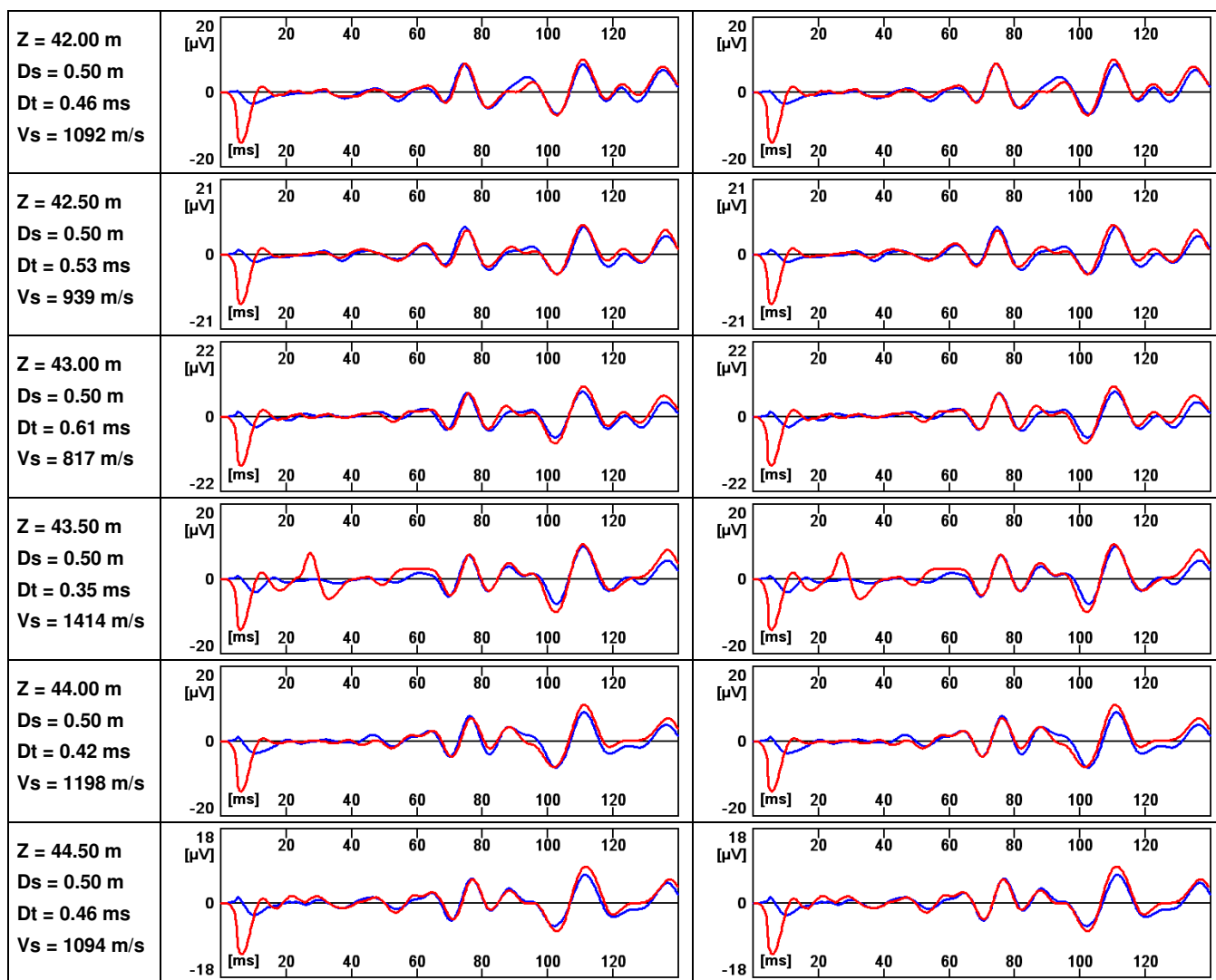
REGISTRATI

RIFASATI



REGISTRATI

RIFASATI



Il Responsabile Tecnico

(P.I. M. Emiliani)

Il Presidente

(Prof. Ing. D. Galeota))

ALLEGATO 3

Risultati misure di rumore sismico

AQ_CENTRO, CENTRO F17

Strumento: TEP-0129/01-10

Inizio registrazione: 02/03/11 15:39:48 Fine registrazione: 02/03/11 16:09:48

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibili

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)

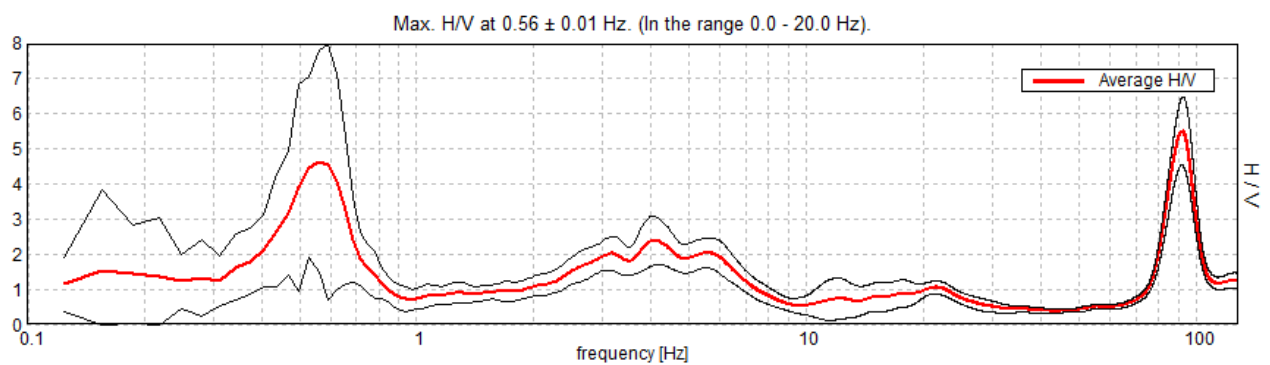
Freq. campionamento: 256 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

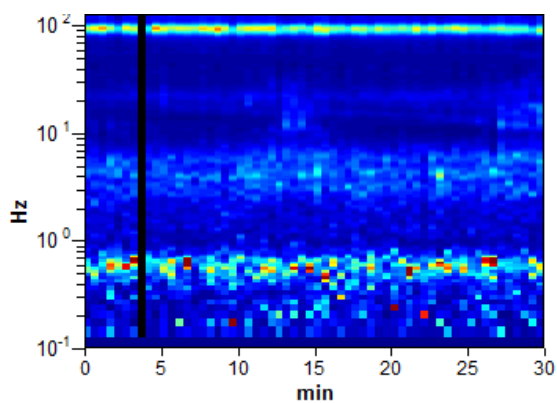
Tipo di lisciamento: Konno & Omachi window

valore b: 40

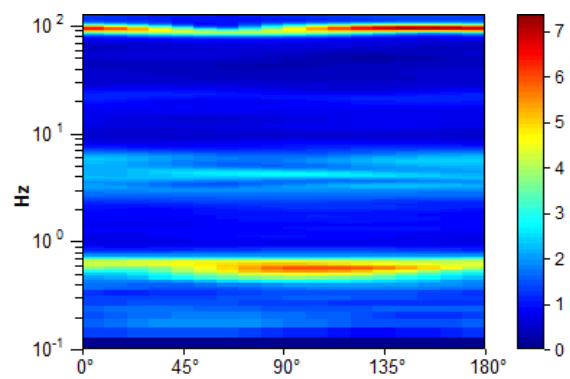
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



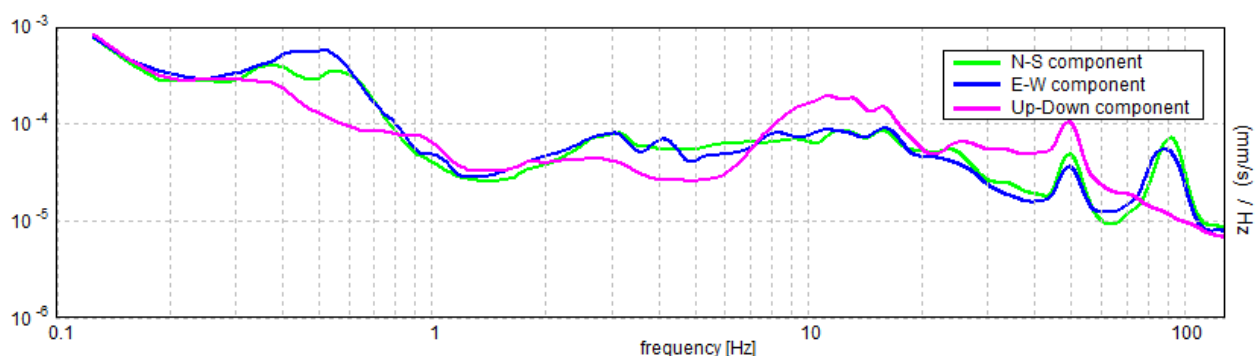
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.56 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.56 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$995.6 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 6 volte su 28		NO

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.406 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.64 > 2$	OK	

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00533 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.003 < 0.08438$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.5684 < 2.0$	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
σ_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 σ_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

AQ_CENTRO, CENTRO F17

Strumento: TEP-0129/01-10

Inizio registrazione: 02/03/11 15:39:48 Fine registrazione: 02/03/11 16:09:48

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

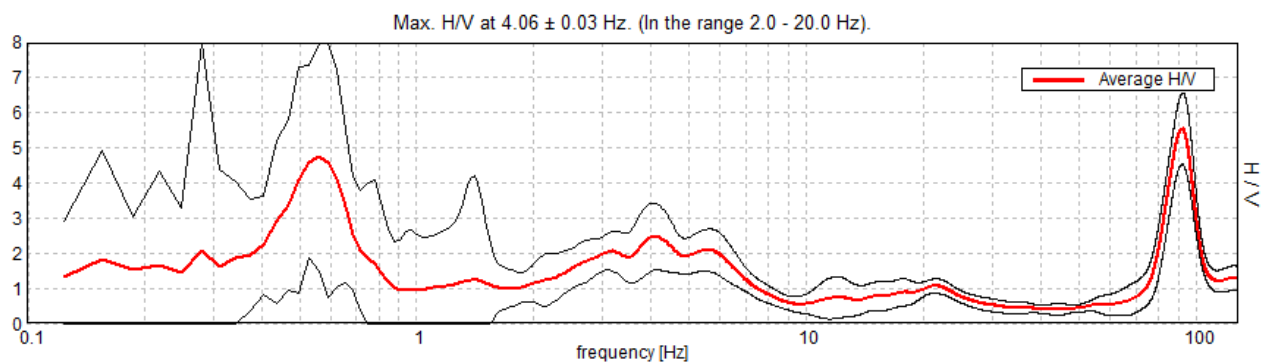
Freq. campionamento: 256 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

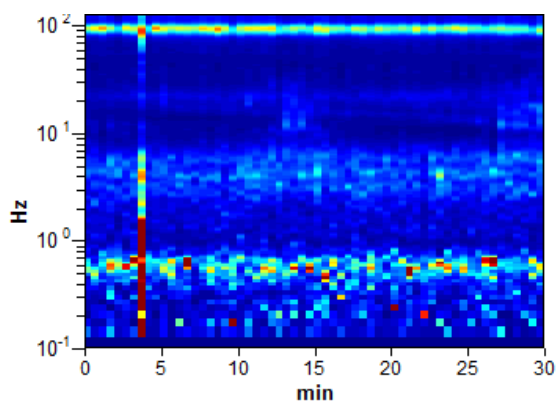
Tipo di lisciamento: Konno & Omachi window

valore b: 40

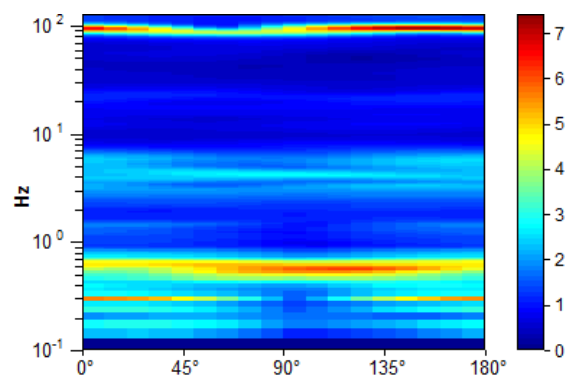
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



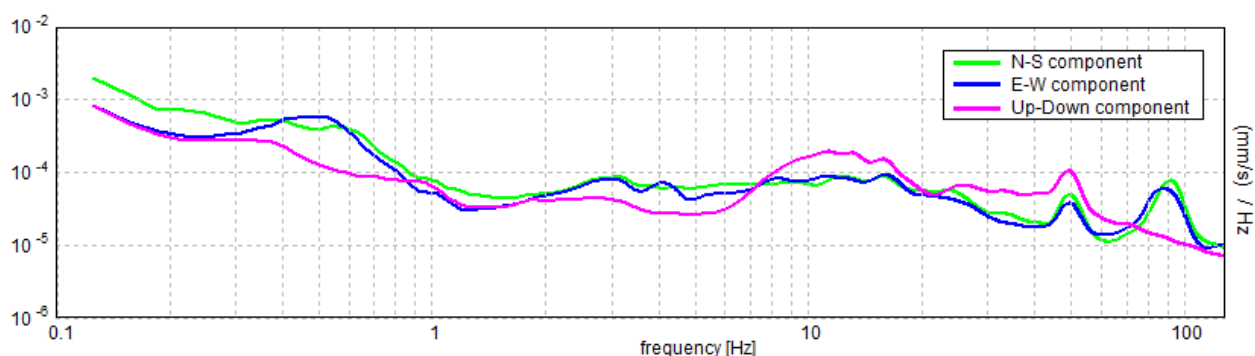
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 4.06 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 2.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.06 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$7312.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 196	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.156 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.46 > 2$	OK	

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00362 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01471 < 0.20313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4727 < 1.58$	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
σ_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 σ_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

AQ_CENTRO, CENTRO F18

Strumento: TEP-0129/01-10

Inizio registrazione: 02/03/11 16:16:10 Fine registrazione: 02/03/11 16:46:11

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)

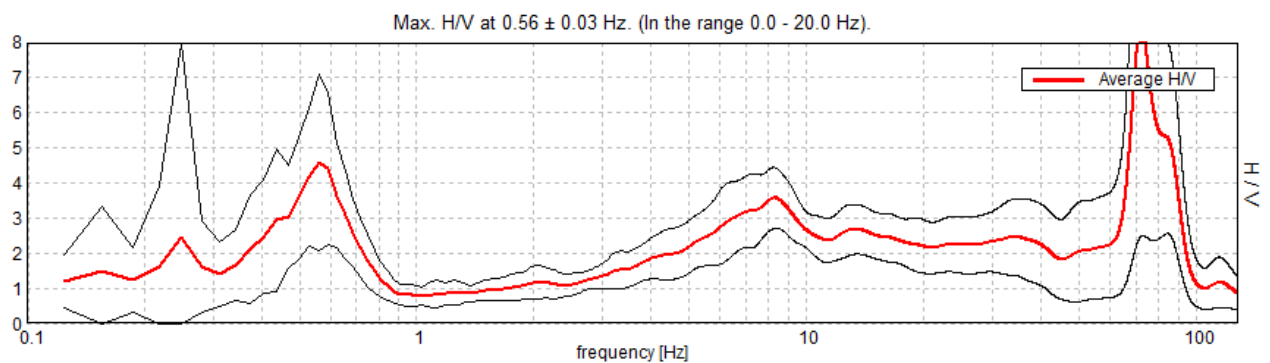
Freq. campionamento: 256 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

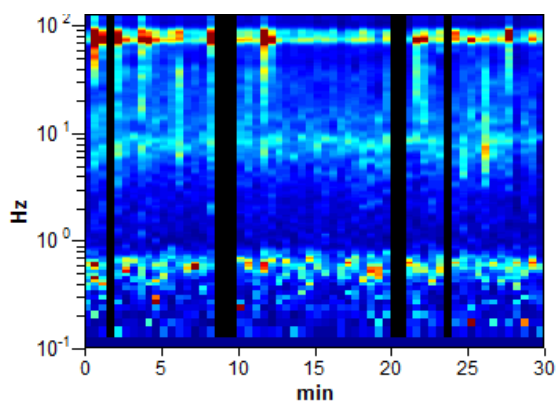
Tipo di lisciamento: Konno & Omachi window

valore b: 40

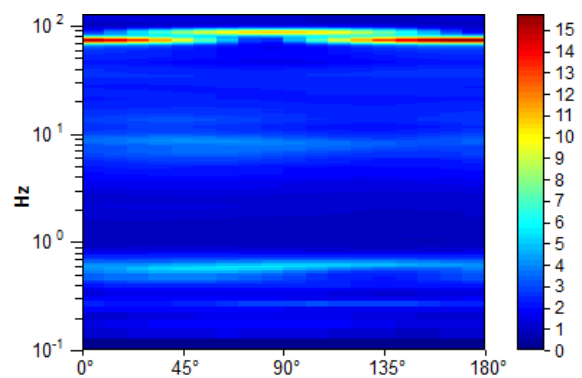
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



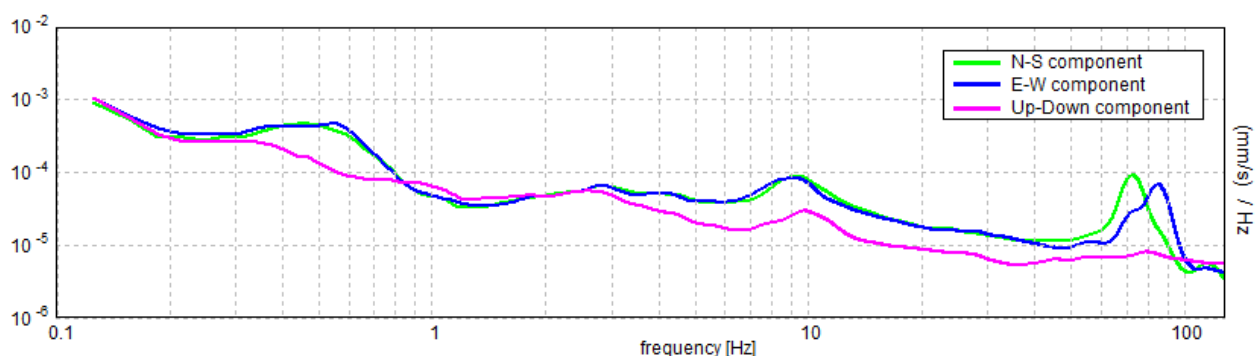
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.56 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.56 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$894.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 3 volte su 28		NO

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.375 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.58 > 2$	OK	

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02427 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01365 < 0.08438$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.2381 < 2.0$	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
σ_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 σ_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

AQ_CENTRO, CENTRO F18

Strumento: TEP-0129/01-10

Inizio registrazione: 02/03/11 16:16:10 Fine registrazione: 02/03/11 16:46:11

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 87% tracciato (selezione manuale)

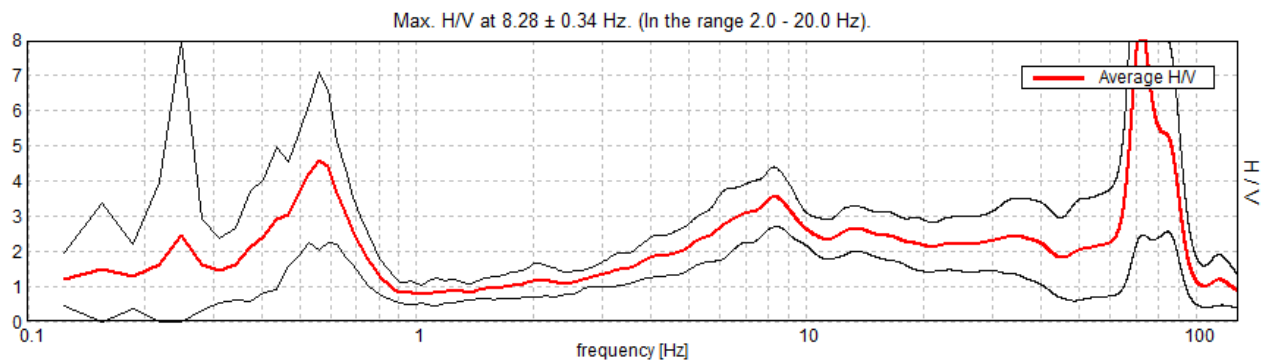
Freq. campionamento: 256 Hz

Lunghezza finestre: 30 s

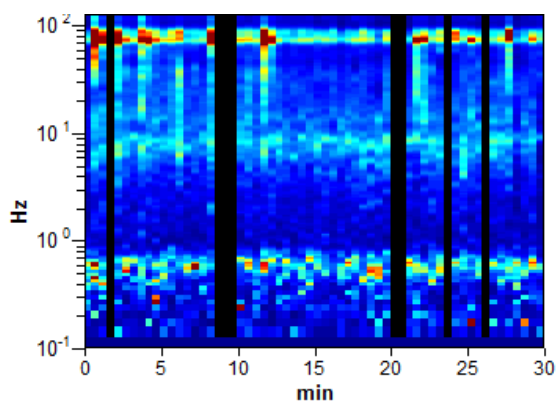
Tipo di lisciamento: Konno & Omachi window

valore b: 40

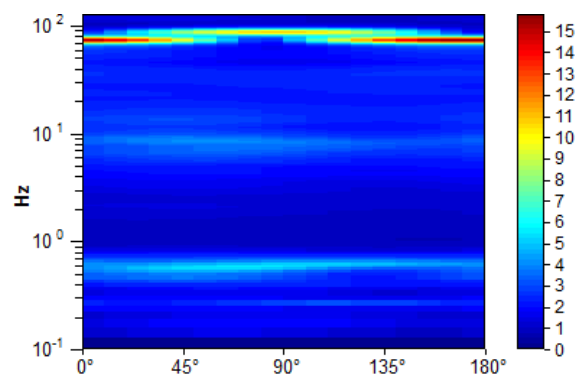
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



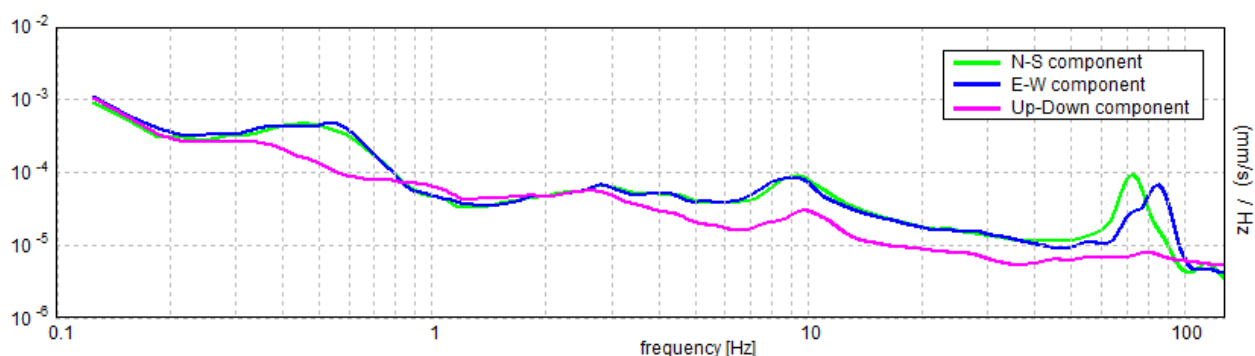
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 8.28 ± 0.34 Hz (nell'intervallo 2.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$8.28 > 0.33$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$12918.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 398	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.875 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$3.54 > 2$	OK	

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01999 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.16555 < 0.41406$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4209 < 1.58$	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
σ_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 σ_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