



# COMUNE DI L'AQUILA

SETTORE RICOSTRUZIONE PUBBLICA



## LAVORI DI CONSOLIDAMENTO E RECUPERO DI PALAZZO MARGHERITA IN PIAZZA PALAZZO – L'AQUILA

### Progetto preliminare

**Responsabile del Settore Ricostruzione Pubblica**

Dott. Ing. Mario DI GREGORIO

**Responsabile Unico del Procedimento**

Dott. Ing. Mario DI GREGORIO

**Progettazione Preliminare:**

Geom. Carlo Cafaggi

P.I. Livio Stefanucci

Arch. Federica Sulpizio

Ing. Emanuela Ferrini

Geom. Stefano Graziani

Ing. Giuseppina Ambrosio

Serie: Rilievo geometrico e analisi del danno	Data: <b>Giugno 2012</b>
Oggetto: <b>R.6 – Relazione geologica e fondazioni</b>	



## Consorzio per la Sperimentazione Edilizia – (AQ)

INDAGINE PER LA RISTRUTTURAZIONE DI PALAZZO MARGHERITA  
DANNEGGIATO DAL SISMA DEL TERREMOTO AQUILANO DEL 2009

**L'Aquila**

### PROVE CON DILATOMETRO SISMICO (SDMT)



**SDMT**

*L'Aquila, 23 e 24 Febbraio, 2011*

### **INDICE**

1.	INTRODUZIONE .....	2
2.	DESCRIZIONE DELLE ATTREZZATURE E MODALITÀ DI PROVA .....	5
3.	GRAFICI DEI PARAMETRI INTERPRETATI .....	8
4.	TABULATI MISURE SISMICHE (Vs) .....	13
5.	SISMOGRAMMI .....	18







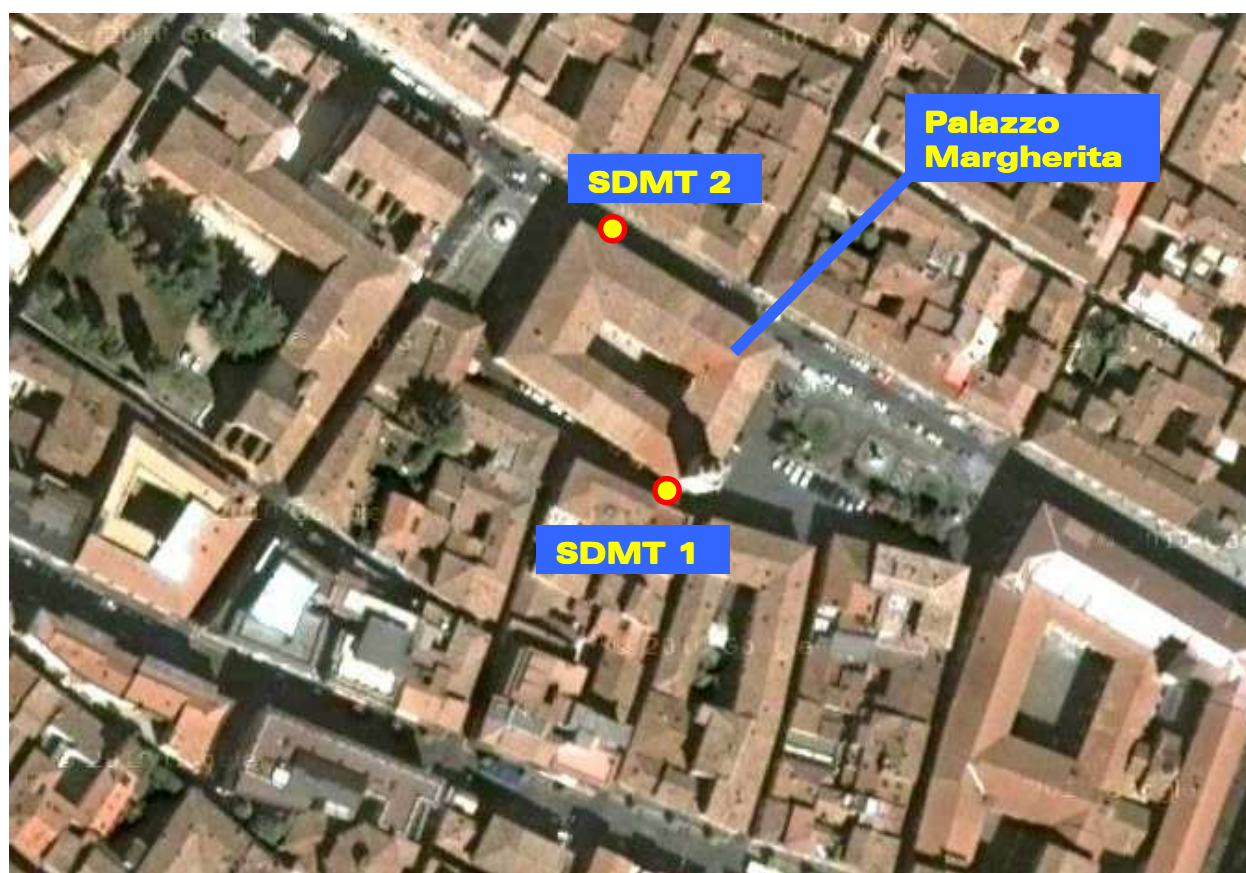


Fig. 2 – Ubicazione delle prove dilatometriche sismiche SDMT

Nella planimetria della fig. 2 è riportata l'ubicazione, in pianta, delle prove dilatometriche sismiche. Le prove sono state eseguite lungo le due vie che corrono parallele all'edificio. Le posizioni relative tra i punti prova e l'edificio possono essere valutate visivamente osservando le foto dei piazzamenti del camion penetrometrico.

## Note alle prove

- Tutte le verticali sono state eseguite all'interno di fori di sondaggio riempiti con ghiaietto. Ciò perché il sito è costituito da terreni non penetrabili dal dilatometro per sola spinta statica, pur utilizzando un penetrometro zavorrato da 24 ton di peso.
- Le prove SDMT hanno una diversa quota relativa. Per la corretta sovrapposizione dei profili di Vs è necessario quindi tener conto della quota boccaforo relativa.
- Il profilo di Vs della verticale SDMT 2 ha alcune lacune nella sua parte più superficiale, e appare più "ballerino" della SDMT 1. La presenza di alcuni elementi strutturali rigidi prossimi alla superficie, e vicini alla sorgente sismica di prova, causano infatti una serie di riflessioni che "sporcano" il segnale sismico diretto, al punto da renderlo non correttamente interpretabile. Uno di questi elementi strutturali è il profondo pozzetto del tombino visibile nelle foto 5 e 6. Un altro elemento disturbante è probabilmente costituito dalla linea fognaria che corre lungo il centro della strada. Anche la parete dell'edificio parallela al camion, che giunge fin sotto il piano stradale, può dar luogo a riflessioni dell'onda generata dal martello energizzatore, influenzando la risposta dello strumento che rileva la propagazione dell'onda di taglio.

## Foto ubicazioni prove



Foto 1 - Postazione SDMT 1  
(Via delle Aquile)



Foto 2 - Postazione SDMT 1  
(Via delle Aquile)



Foto 3 - Postazione SDMT 2  
(Via A. Bafile)



Foto 4 - Postazione SDMT 2  
(Via A. Bafile)



Foto 5 - Postazione SDMT 2  
Tombino (Via A. Bafile)



Foto 6 - Postazione SDMT 2  
Pozzetto del tombino (Via A. Bafile)

## **2. DESCRIZIONE DELLE ATTREZZATURE E MODALITÀ DI PROVA**



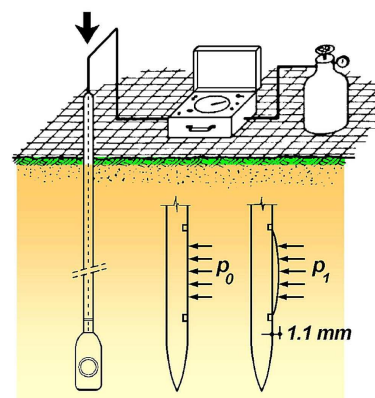
## **DESCRIZIONE DELLA PROVA DILATOMETRICA (DMT)**

Il dilatometro piatto è una lama di acciaio avente dimensioni  $95 \times 200 \times 15$  mm, con il bordo inferiore affilato. Su una faccia è montata una membrana metallica circolare espandibile.

La lama viene fatta avanzare nel terreno verticalmente agendo su una batteria di aste.

Un cavo elettropneumatico collega la lama con la centralina in superficie.

Ad intervalli regolari (generalmente ogni 20 cm) la penetrazione viene arrestata e viene immessa aria compressa, facendo dilatare la membrana contro il terreno. Ad ogni profondità vengono rilevati due valori di pressione:



$p_o$  = pressione necessaria per controbilanciare la pressione del terreno ed iniziare il movimento della membrana (pressione di distacco o *lift-off*);

$p_1$  = pressione necessaria per ottenere una dilatazione del centro della membrana contro il terreno di 1.1 mm.

L'attrezzatura e le metodologie di misura utilizzate sono conformi alle raccomandazioni contenute nei documenti ASTM, Eurocode 7 e ISSMGE TC16 sotto referenziati.

I due valori di pressione determinati  $p_o$  e  $p_1$  vengono elaborati ottenendo i tre "parametri indice":

$I_d$	Indice di materiale
$K_d$	Indice di spinta orizzontale
$E_d$	Modulo dilatometrico

Dai parametri indice  $I_d$ ,  $K_d$ ,  $E_d$ , applicando le correlazioni usuali (TC16, 2001), vengono ricavati i parametri:

$M$	Modulo edometrico (terreni sia coesivi che granulari)
$c_u$	Coesione non drenata (terreni coesivi)
$K_o$	Coefficiente di spinta a riposo (terreni coesivi)
$OCR$	Grado di sovraconsolidazione (terreni coesivi)
$\Phi$	Angolo di attrito (terreni incoerenti)

Per maggiori dettagli sulla prova e sulla interpretazione si rinvia ai documenti sotto elencati.

In particolare i parametri geotecnici interpretati sono stati ottenuti utilizzando la tabella 1 del Report TC16 sotto referenziato.

---

### **Riferimenti bibliografici**

ASTM D6635-01 (2002) "Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer". Book of Standards Vol. 04.09, 14 pp.

Eurocode 7, (1997) "Geotechnical Design. Part 3 : Design assisted by field tests, "Flat Dilatometer Test (DMT), 8pp."

TC16 (2001) "The DMT in Soil Investigations", A Report by the ISSMGE Committee TC16, 41 pp. (Italian version [www.marchetti-dmt.it/docfiles/tc16\\_it.doc](http://www.marchetti-dmt.it/docfiles/tc16_it.doc))

## **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.

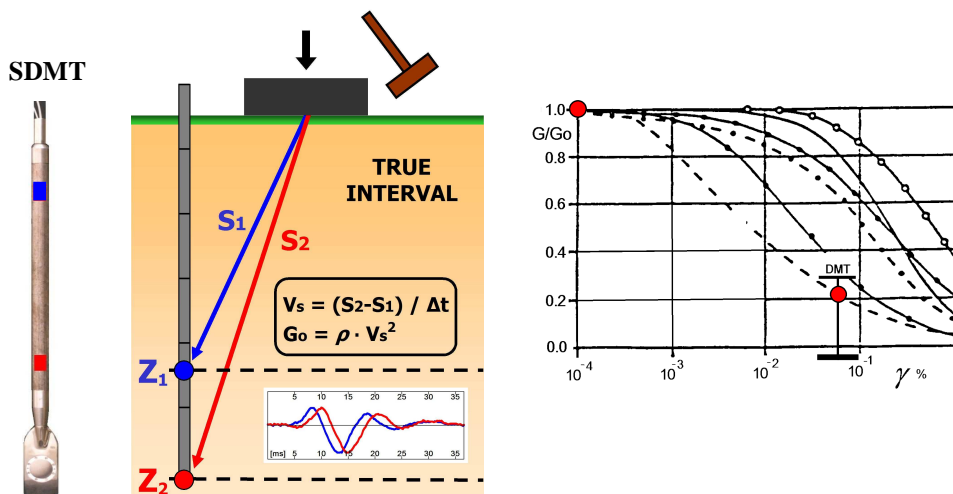
La configurazione della prova è “true interval” a due ricevitori. Tale configurazione evita i problemi connessi con la possibile inesatta determinazione dello zero dei tempi dall’impatto - talora riscontrati nella configurazione “pseudo interval” con un solo ricevitore. Inoltre la coppia di sismogrammi 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.



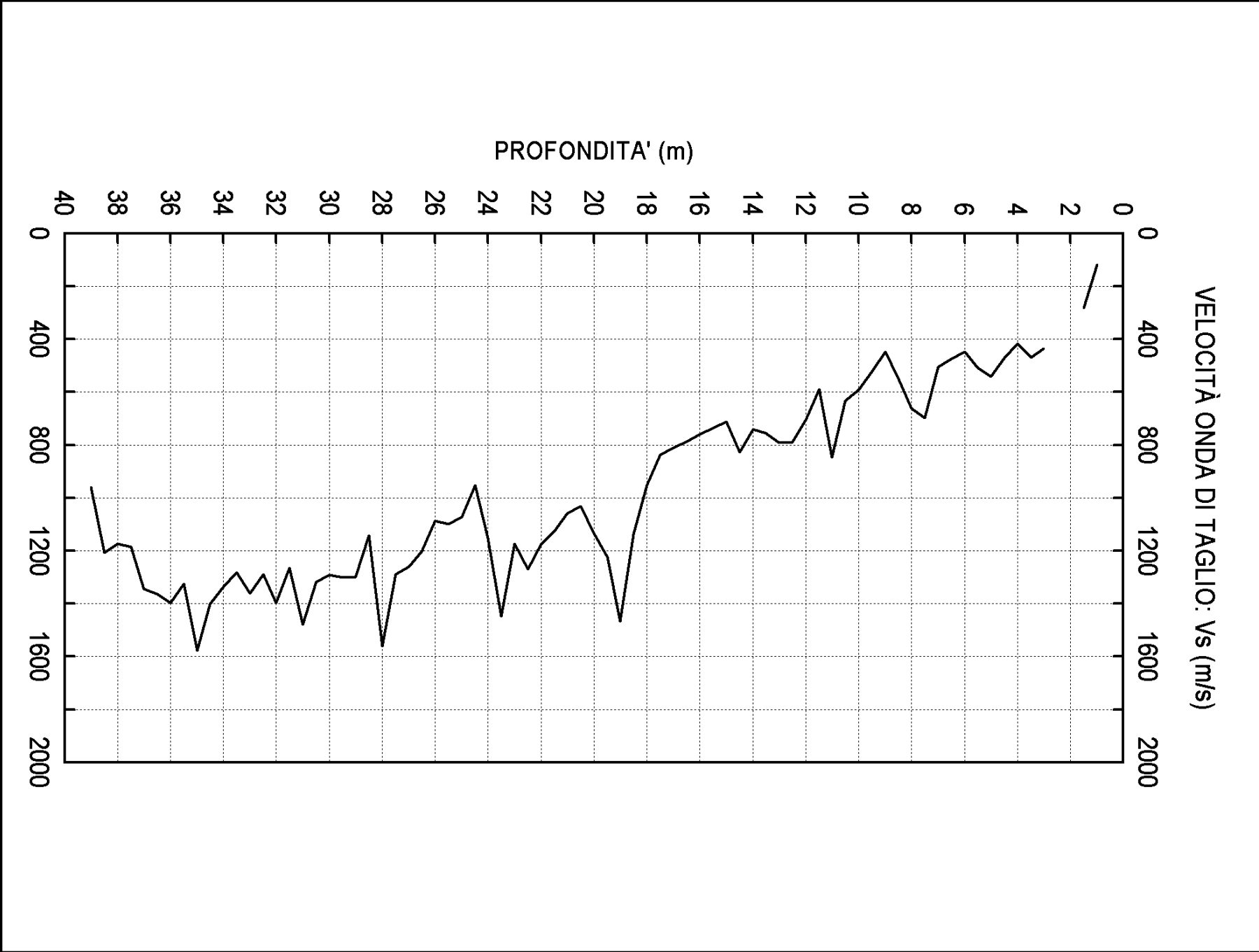
Il penetrometro impiegato è un tre assi, pesante 24 ton. Impiega aste maggiorate per applicare **20 ton** di spinta senza instabilità laterale

### **Riferimenti bibliografici**

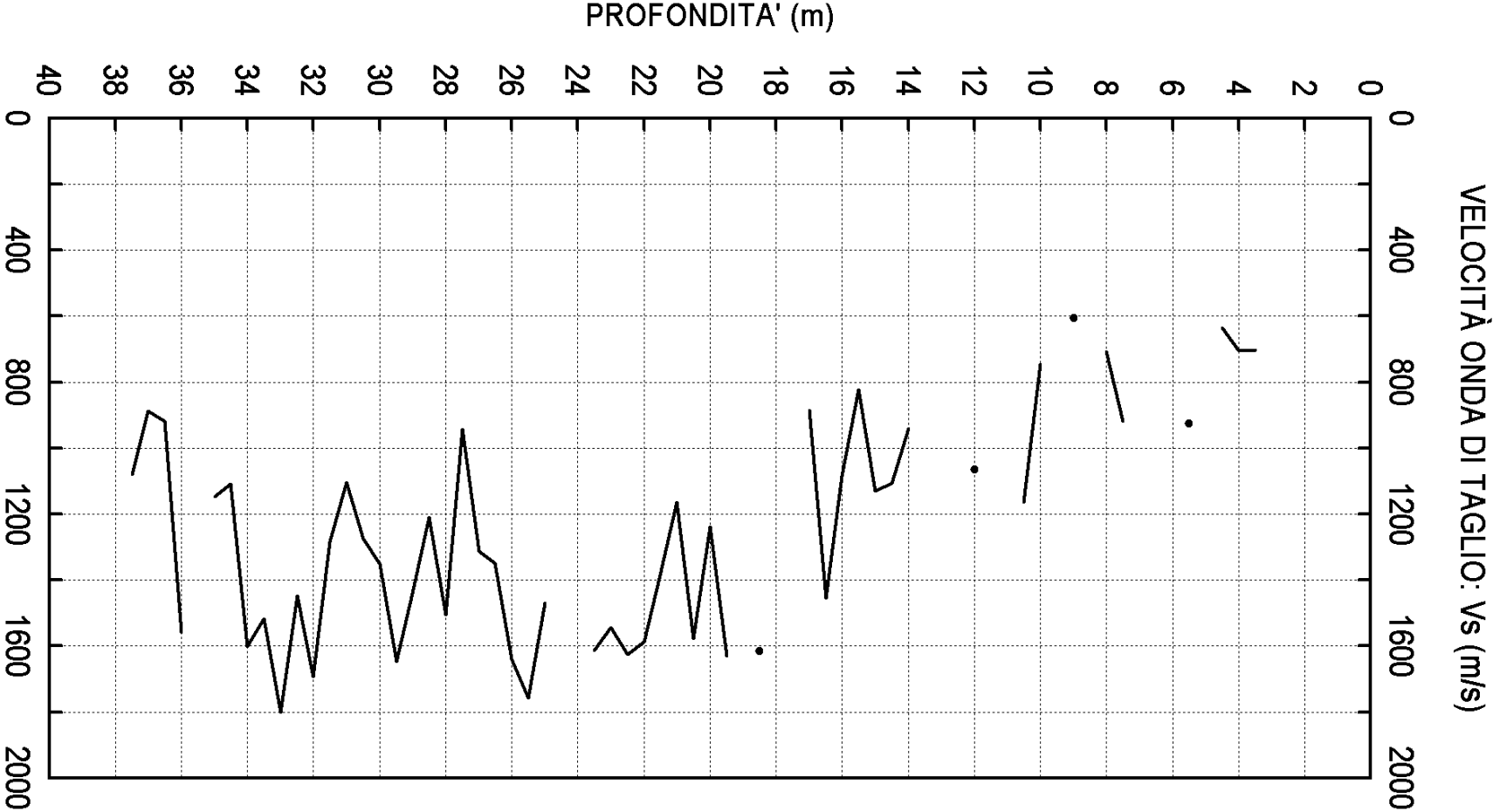
- Protezione Civile - Gruppo di Lavoro (2008) "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Prova DMT pp. 391-397; Prova SDMT pp. 397-405.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2009) "Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14 gen 2008". Circolare 2 Feb 2009. GU N.47 del 26.2.09.
- Totani et al. (2009) "Vs measurements by Seismic Dilatometer (SDMT) in non-penetrable soils" Proc. 17<sup>th</sup> 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

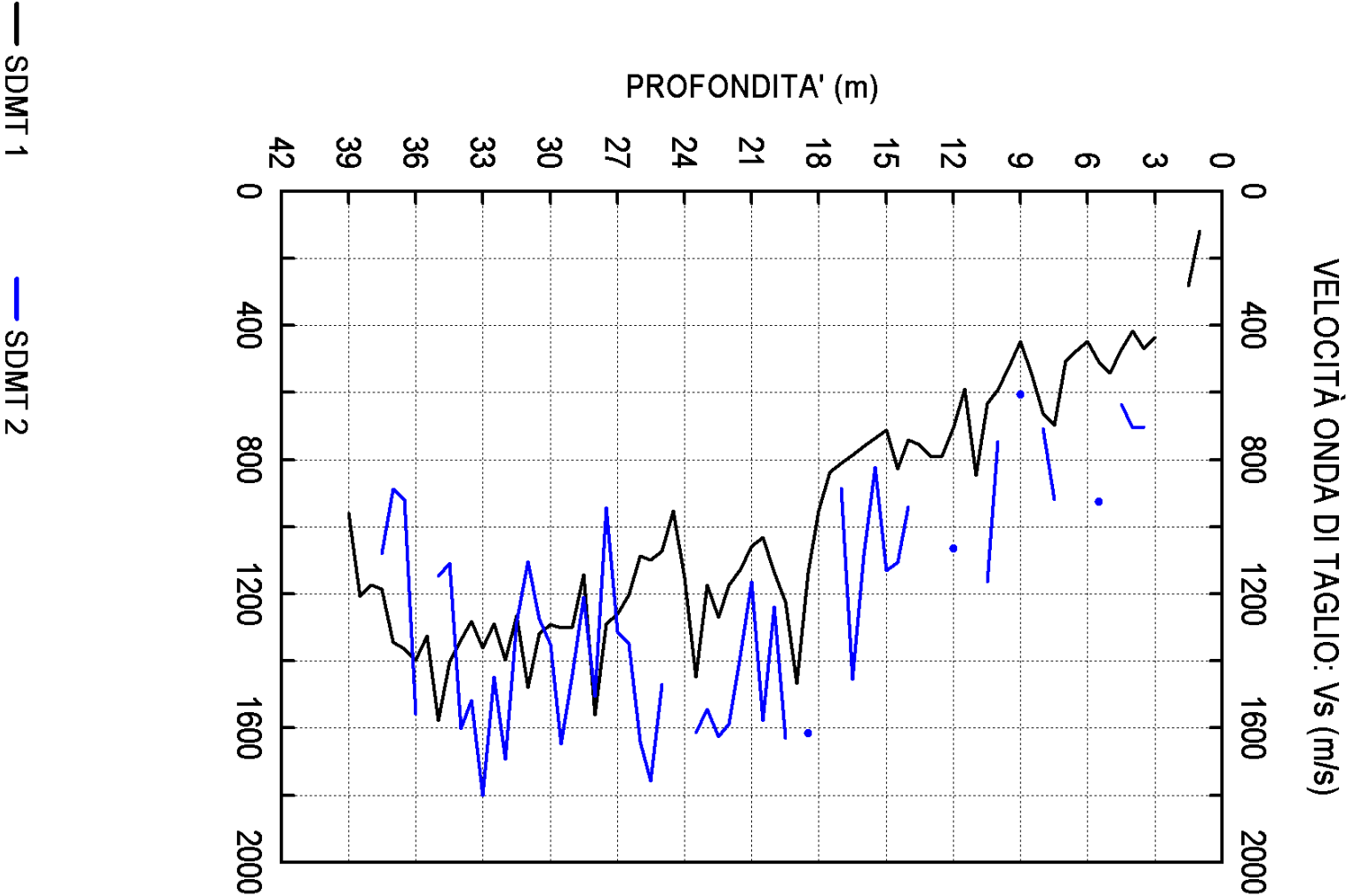
### **3. GRAFICI DEI PARAMETRI INTERPRETATI**

PROVA CON DILATOMETRO SISMICO ( S D M T )





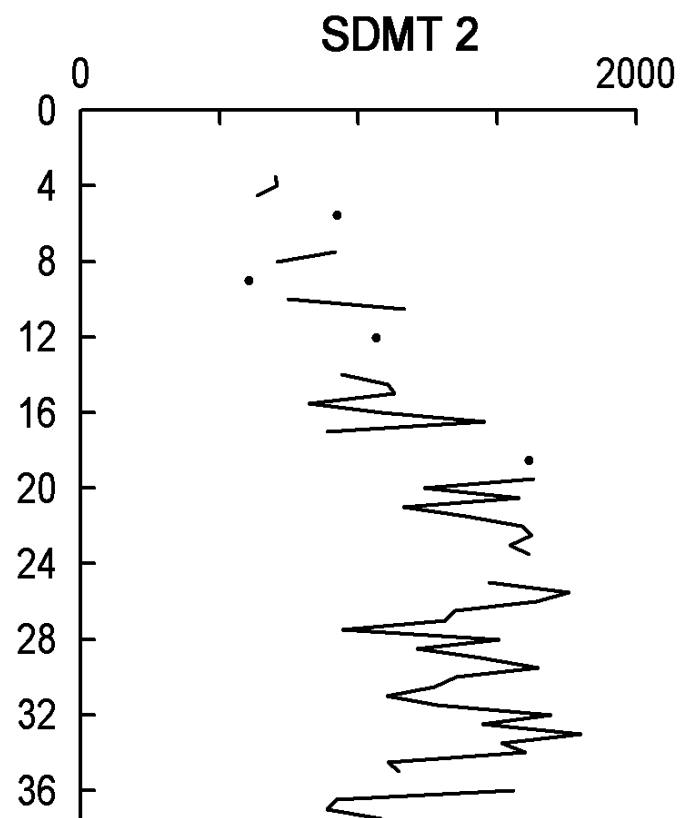
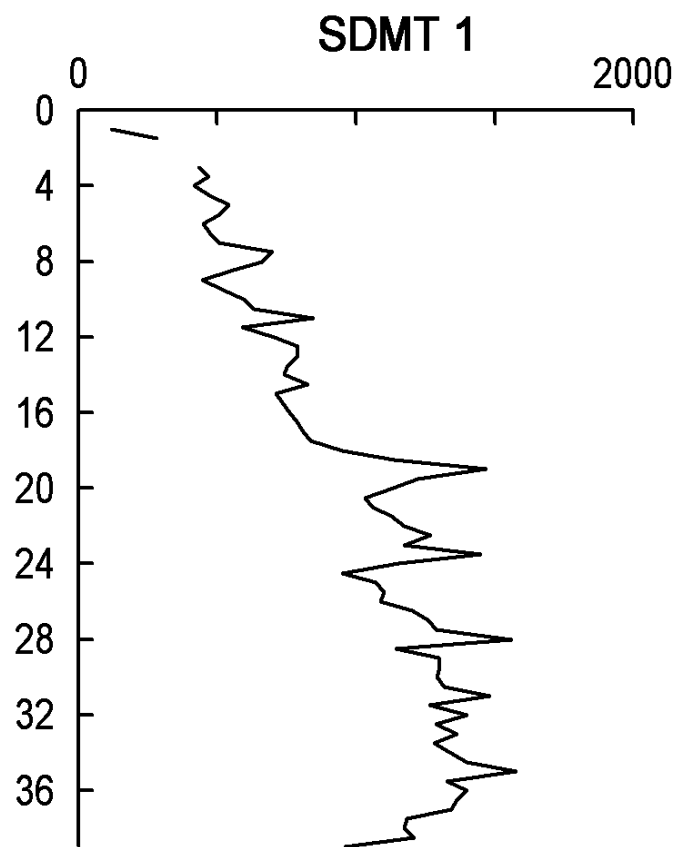




Studio Prof. Marchetti Srl  
Ristrutturazione Palazzo Margherita

Università L'Aquila - DISAT  
L'Aquila

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



#### **4. TABULATI MISURE SISMICHE ( $V_s$ )**



## SDMT 1 - Tabulato: Vs (ripetibilità)

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

Z	Vs	Ripetibilità Vs	Coeff. Var
[m]	[m/s]	[m/s]	[%]
1.00	119	113,120,125	4.15
1.50	283	260,286,291,296	4.91
3.00	435	435,437,433	0.38
3.50	470	481,467,461	1.78
4.00	417	419,419,414	0.57
4.50	472	488,462,467	2.39
5.00	541	535,541,546	0.83
5.50	509	497,511,518	1.72
6.00	449	446,449,452	0.55
6.50	474	474,477,470	0.61
7.00	506	506,510,502	0.65
7.50	698	698,698,698	0.00
8.00	662	659,662,664	0.31
8.50	547	537,552,552	1.29
9.00	448	440,454,449	1.30
9.50	522	532,515,519	1.39
10.00	593	597,590,591	0.52
10.50	634	638,640,628,632	0.76
11.00	847	872,867,802	3.76
11.50	590	564,606,600	3.14
12.00	705	702,707,707	0.34
12.50	790	780,792,799	0.99
13.00	791	782,795,795	0.78
13.50	756	719,774,776	3.49
14.00	741	740,744,740	0.26
14.50	828	823,844,816	1.44
15.00	713	680,709,750	4.03
16.00	761	730,783,771	2.98
16.50	787	785,782,795	0.71
17.00	811	790,822,820	1.81
17.50	837	838,858,815	2.10
18.00	952	956,950,950	0.30
18.50	1138	1138,1132,1145	0.47
19.00	1468	1478,1457	0.72
19.50	1224	1236,1209,1226	0.91
20.00	1135	1122,1128,1154	1.22
20.50	1033	1080,1011,1009	3.20
21.00	1059	1003,1057,1117	4.40
21.50	1128	1154,1107,1124	1.72
22.00	1174	1193,1163,1167	1.13
22.50	1269	1231,1252,1323	3.10
23.00	1174	1078,1219,1226	5.81
23.50	1447	1341,1519,1482	5.30
24.00	1153	1212,1094	5.12
24.50	952	852,954,1010,991	6.41

25.00	1072	1110,1025,1082	3.30
25.50	1100	1097,1120,1084	1.35
26.00	1088	1128,1054,1082	2.80
26.50	1203	1180,1154,1276	4.36
27.00	1261	1232,1192,1359	5.65
27.50	1289	1313,1243,1310	2.51
28.00	1561	1501,1553,1628	3.34
28.50	1143	1140,1152,1138	0.54
29.00	1298	1279,1299,1315	1.13
29.50	1300	1268,1335,1292,1303	1.85
30.00	1292	1332,1273,1271	2.19
30.50	1318	1242,1335,1378	4.31
31.00	1480	1318,1512,1609	8.17
31.50	1266	1337,1205,1257	4.29
32.00	1398	1387,1410	0.82
32.50	1289	1281,1332,1255	2.48
33.00	1362	1464,1315,1306	5.32
33.50	1282	1378,1245,1222	5.36
34.00	1338	1276,1454,1400,1222	6.95
34.50	1401	1242,1464,1497	8.08
35.00	1577	1479,1613,1639	4.45
35.50	1326	1387,1224,1368	5.49
36.00	1398	1397,1394,1403	0.27
36.50	1364	1397,1423,1271	4.87
37.00	1344	1263,1372,1397	4.33
37.50	1185	1122,1260,1174	4.80
38.00	1173	1063,1250,1205	6.79
38.50	1208	1315,1188,1122	6.63
39.00	960	982,1013,884	5.73

## SDMT 2 - Tabulato: Vs (ripetibilità)

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

Z	Vs	Ripetibilità Vs	Coeff. Var
[m]	[m/s]	[m/s]	[%]
3.50	702	750,679,712,669	4.52
4.00	706	570,843	19.33
4.50	635	646,624	1.73
5.50	924	924	0.00
7.50	918	973,864	5.94
8.00	708	732,660,724,715	3.99
9.00	605	605	0.00
10.00	747	711,783	4.82
10.50	1165	1165	0.00
12.00	1063	1063	0.00
14.00	941	941	0.00
14.50	1106	1106	0.00
15.00	1130	907,1223,1259	13.99
15.50	822	858,878,730	7.98
16.00	1085	1038,817,1361,1123	17.95
16.50	1454	1511,1574,1467,1419,1297	6.43
17.00	886	886	0.00
18.50	1614	1767,1460	9.51
19.50	1631	1474,1901,1519	11.75
20.00	1238	1001,1474	19.10
20.50	1577	1670,1176,1558,1591,1889	14.66
21.00	1163	1195,998,1297	10.67
21.50	1384	1111,1393,1426,1608	12.85
22.00	1587	1789,1617,1356	11.22
22.50	1625	1625	0.00
23.00	1544	1591,1558,1482	2.96
23.50	1614	1708,1519	5.86
25.00	1469	1419,1519	3.40
25.50	1757	1844,1728,1699	3.57
26.00	1639	1878,1779,1559,1567,1413	10.19
26.50	1350	1497,1591,1303,1008	16.52
27.00	1312	1298,1326	1.07
27.50	944	826,1076,942,930	9.41
28.00	1506	1244,1878,1350,1551	16.04
28.50	1210	1338,919,1374	17.07
29.00	1440	1426,1454	0.97
29.50	1648	1822,1475	10.53
30.00	1352	1120,1447,1112,1728	18.92
30.50	1275	1076,1303,1447	11.98
31.00	1103	1260,1168,1054,930	11.21
31.50	1285	1375,1195	7.00
32.00	1693	1652,1689,1738	2.08
32.50	1447	1447	0.00
33.00	1800	1728,1914,1758	4.53
33.50	1517	1239,1512,1800	15.10

34.00	1601	1433,1769	10.49
34.50	1108	1108	0.00
35.00	1147	1108,1088,1245	6.08
36.00	1559	1559	0.00
36.50	919	919	0.00
37.00	887	887	0.00
37.50	1081	972,908,1362	18.56



## **5. SISMOGRAMMI**

**(registrati e rifasati secondo il ritardo calcolato)**

### **Legenda**

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

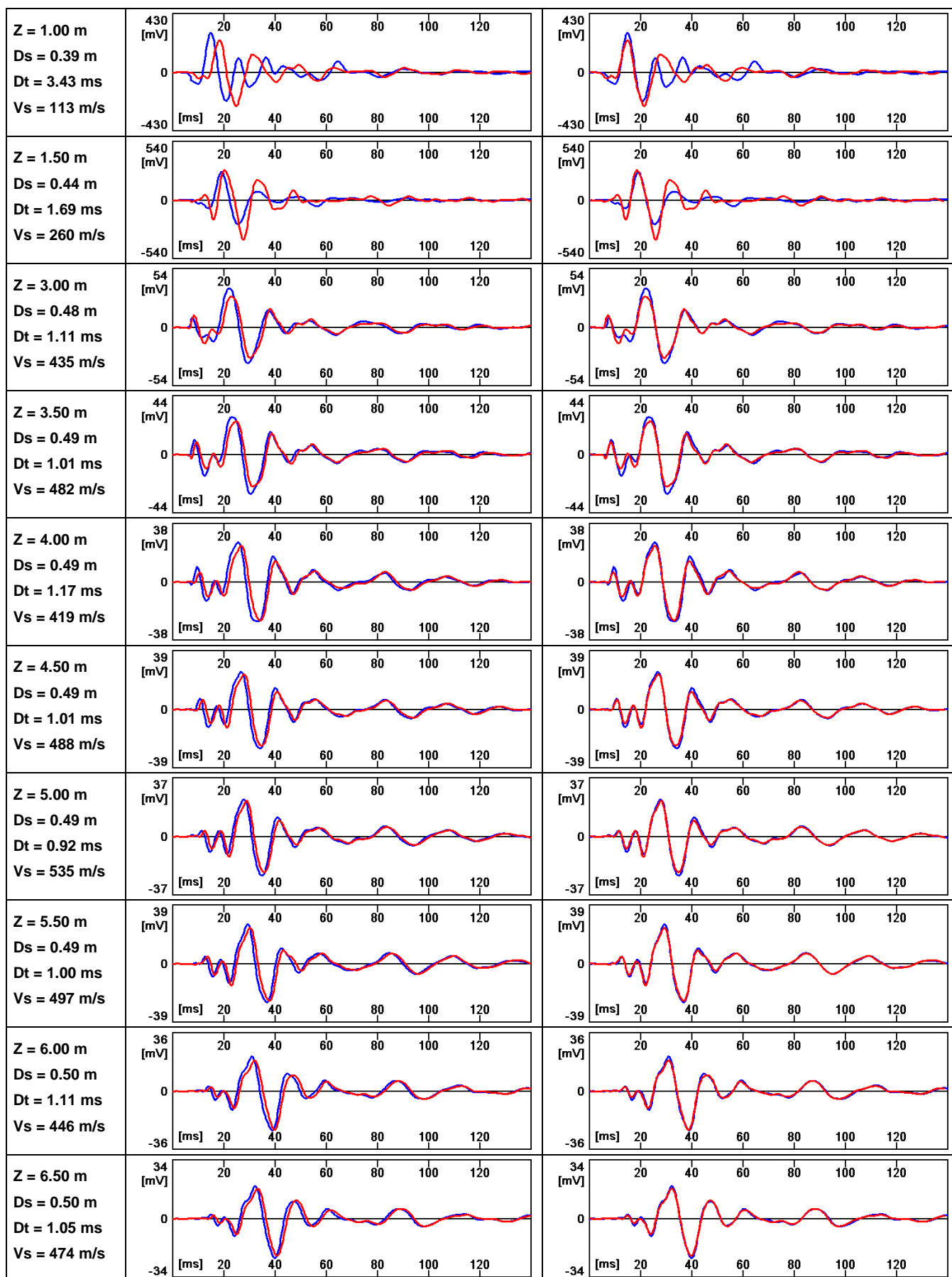
$D_s$  (m) = differenza di percorso dalla sorgente ai due ricevitori

$D_t$  (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

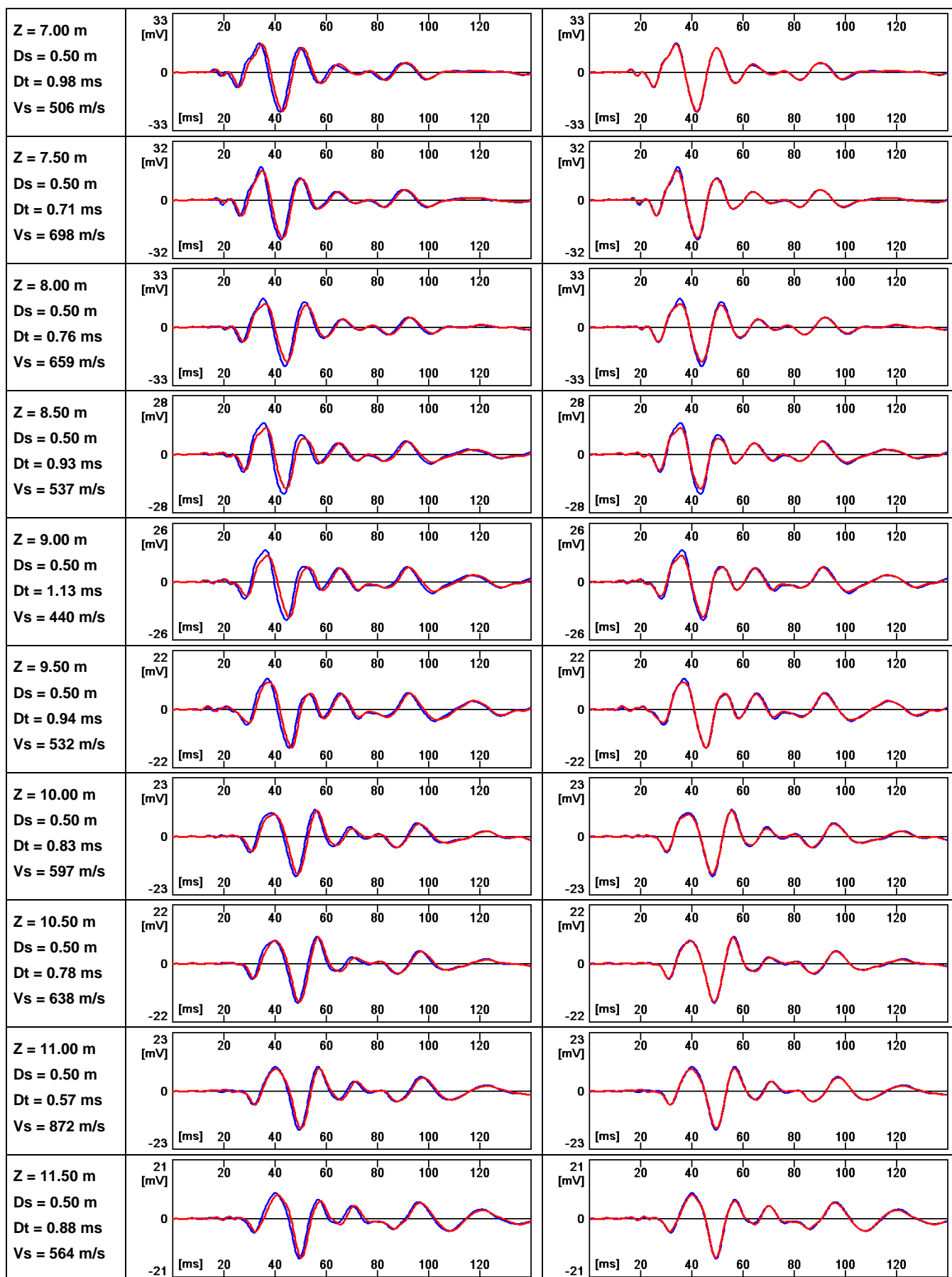
## REGISTRATI

## RIFASATI



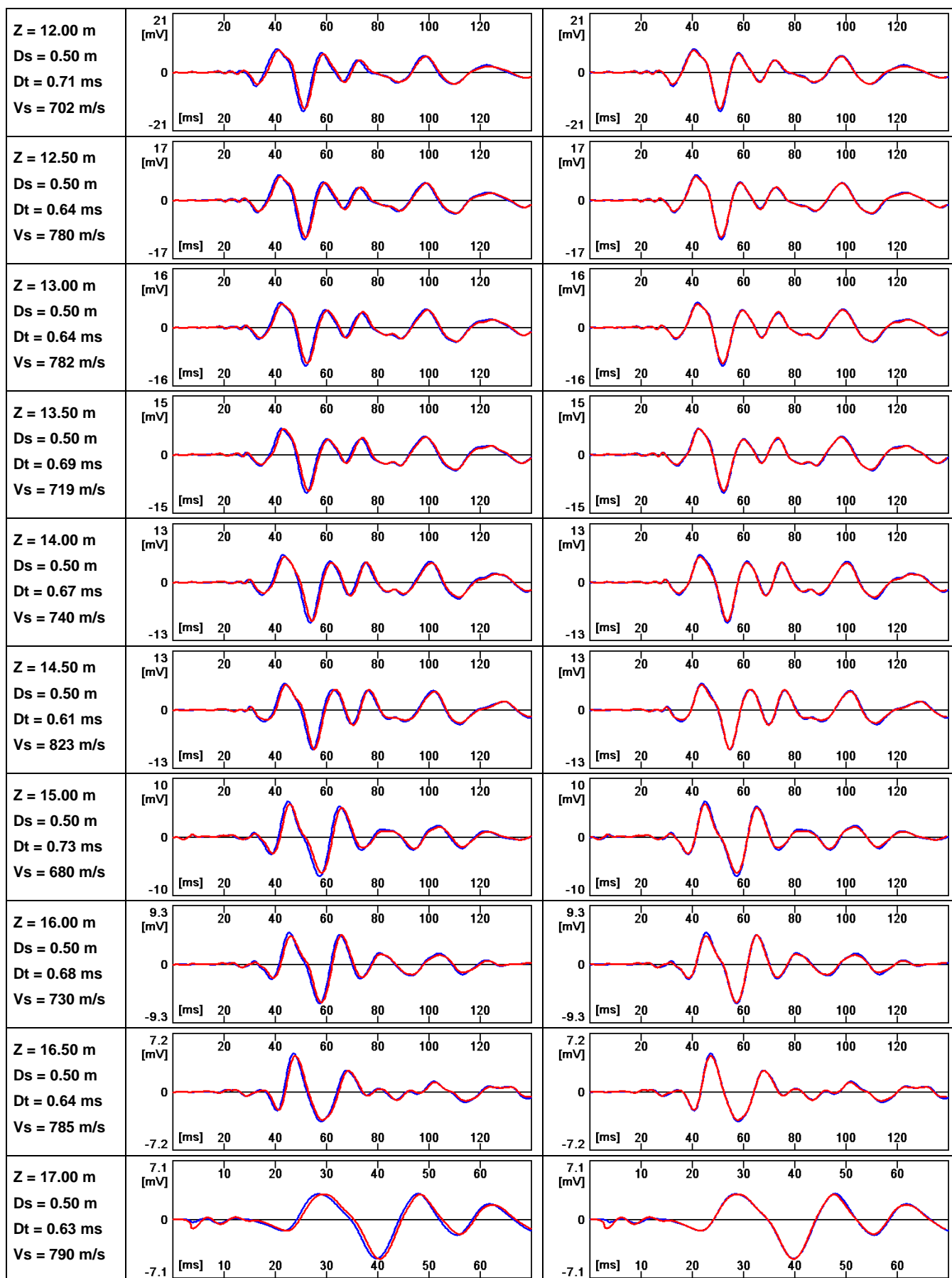
## REGISTRATI

## RIFASATI



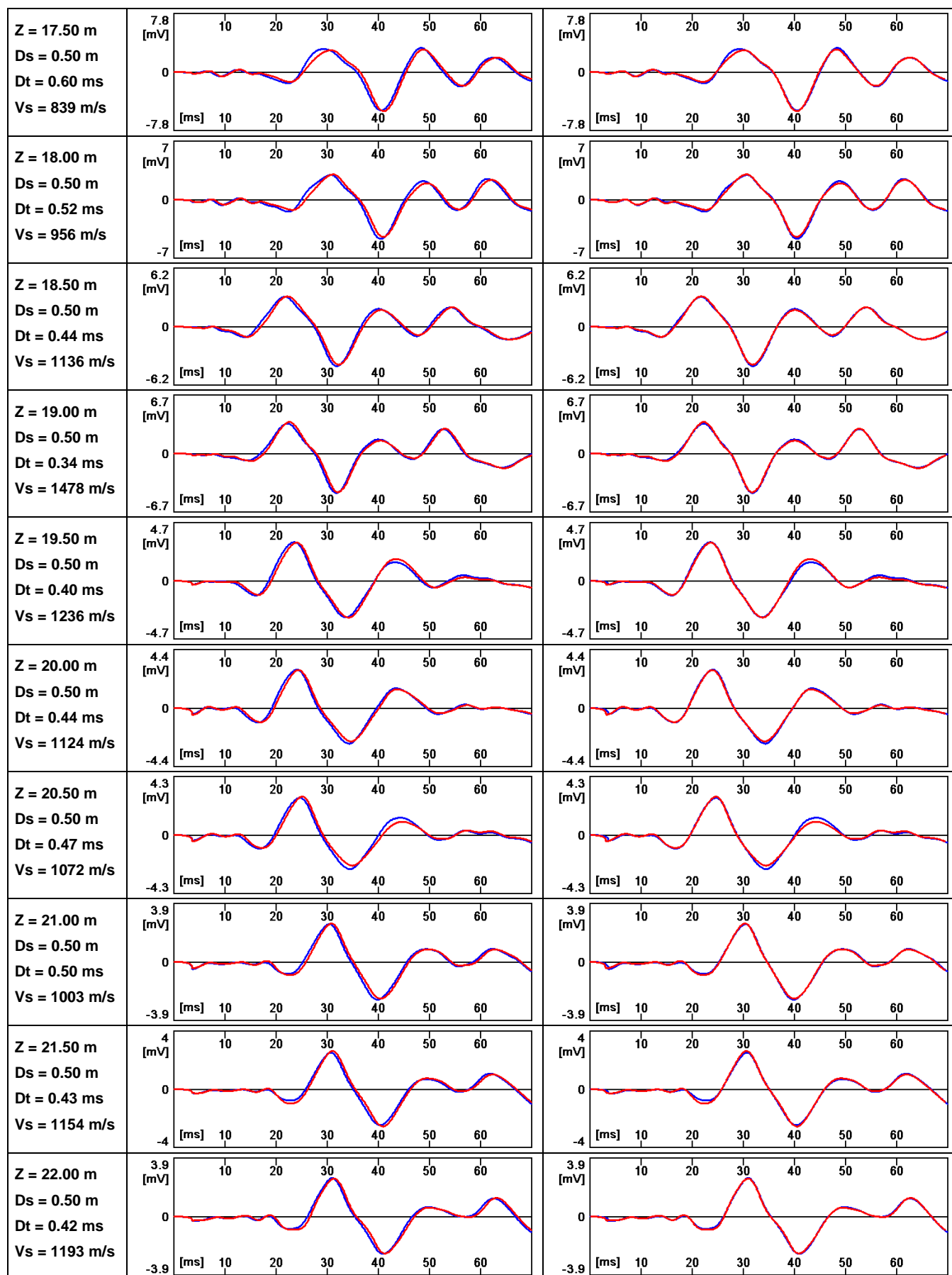
## REGISTRATI

## RIFASATI



## REGISTRATI

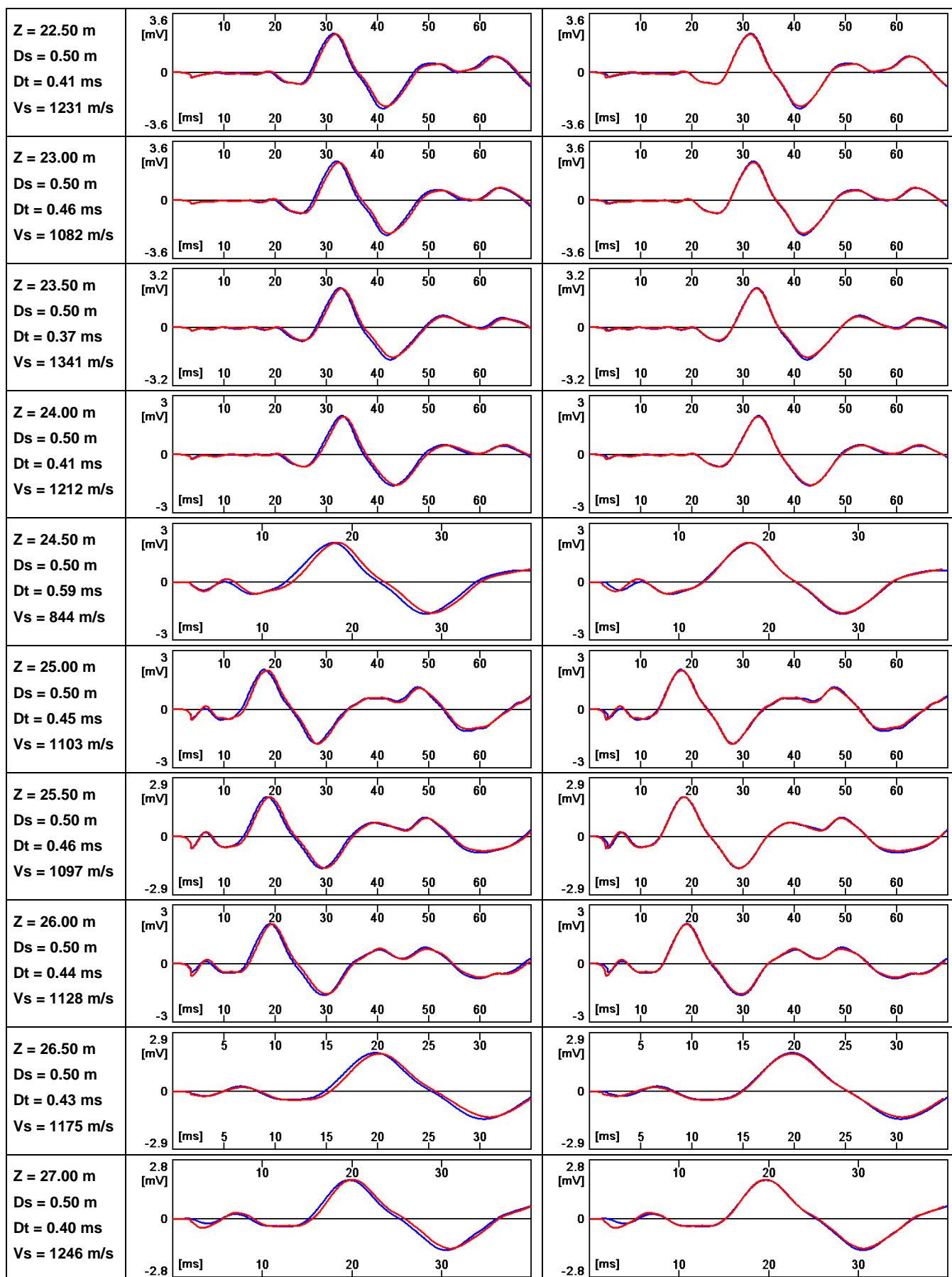
## RIFASATI





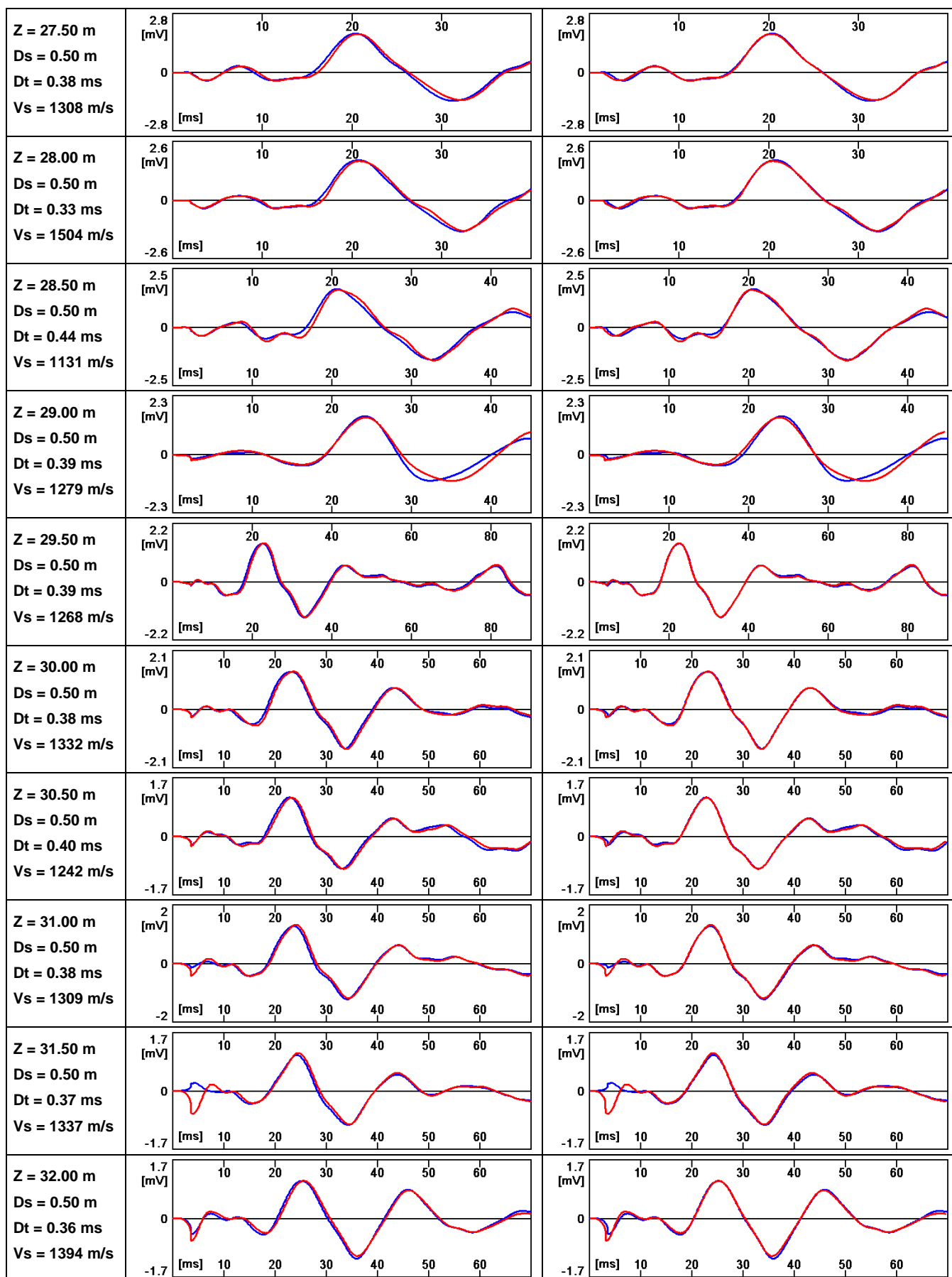
## REGISTRATI

## RIFASATI



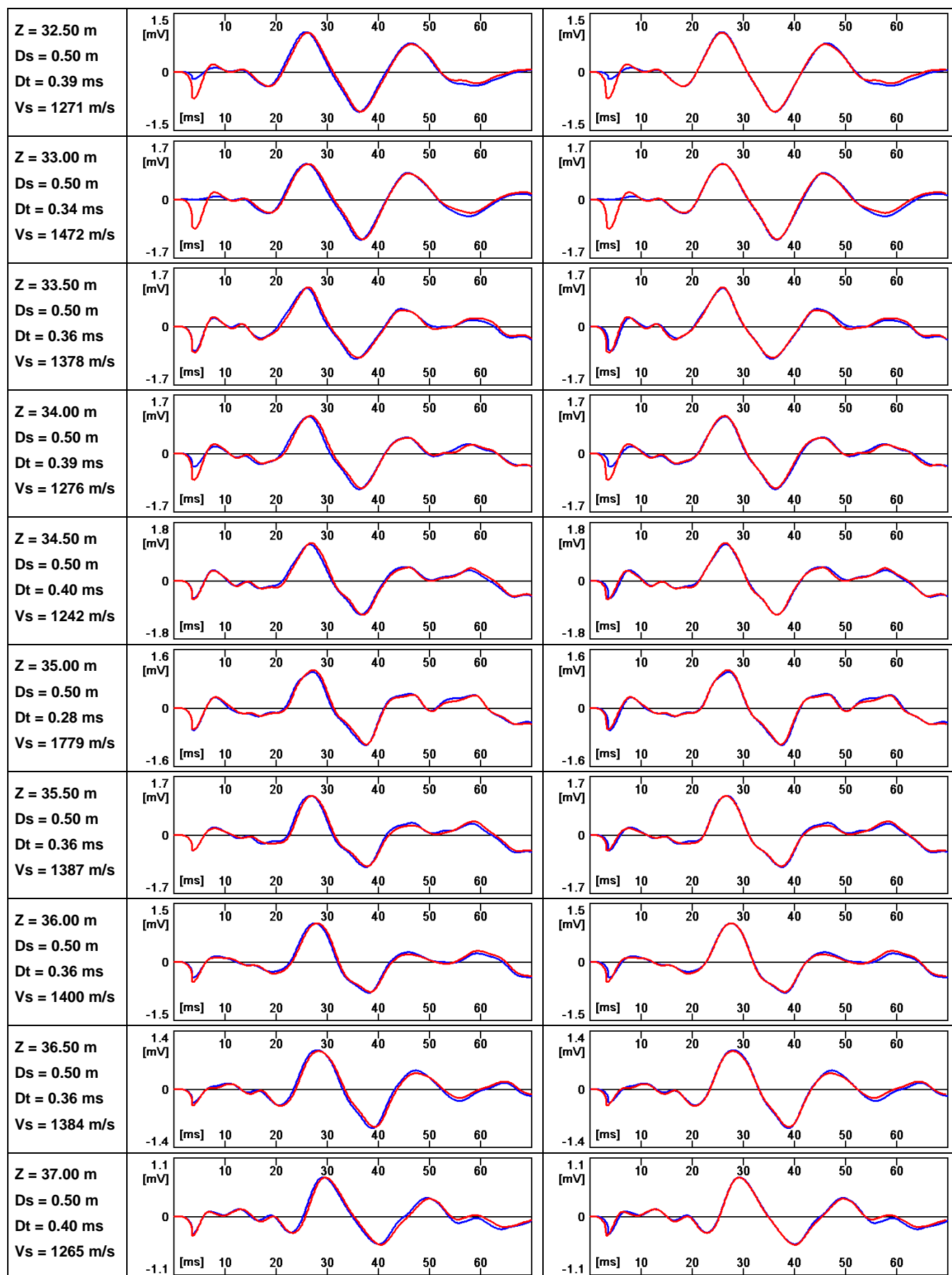
## REGISTRATI

## RIFASATI



## REGISTRATI

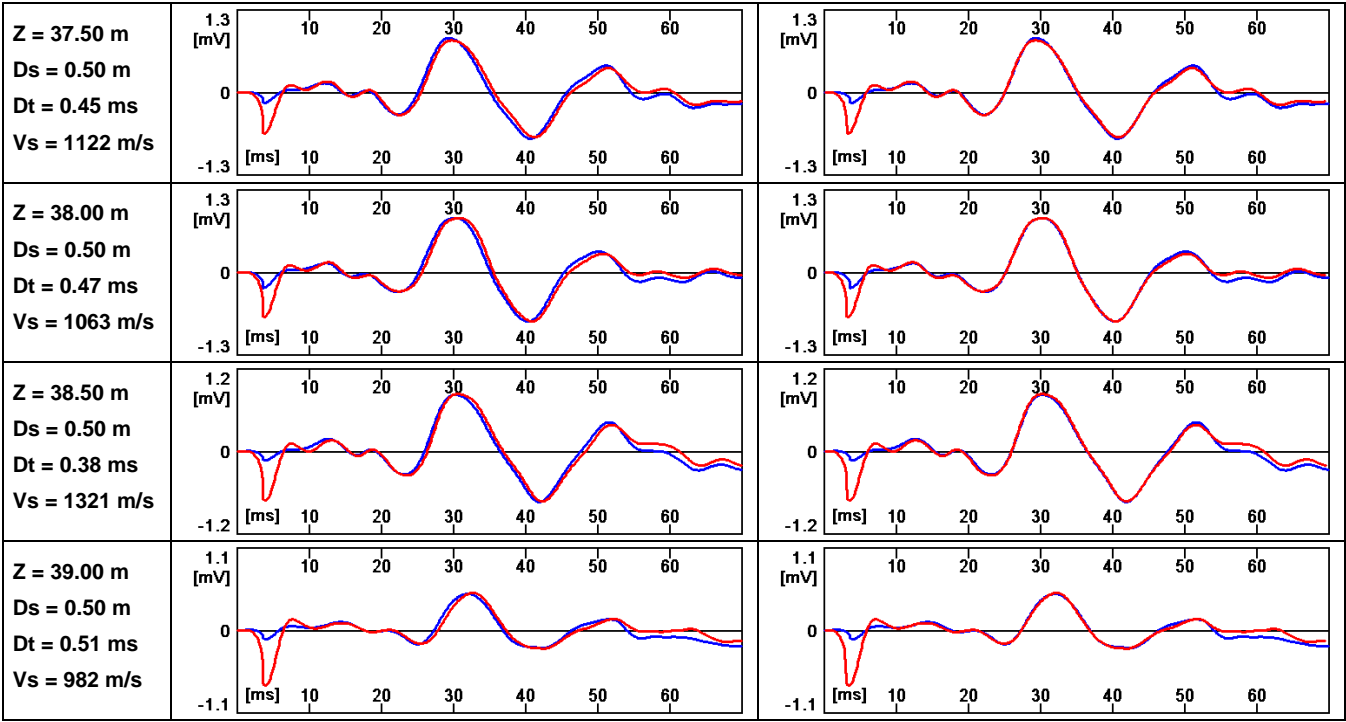
## RIFASATI



SDMT 1 - Vs

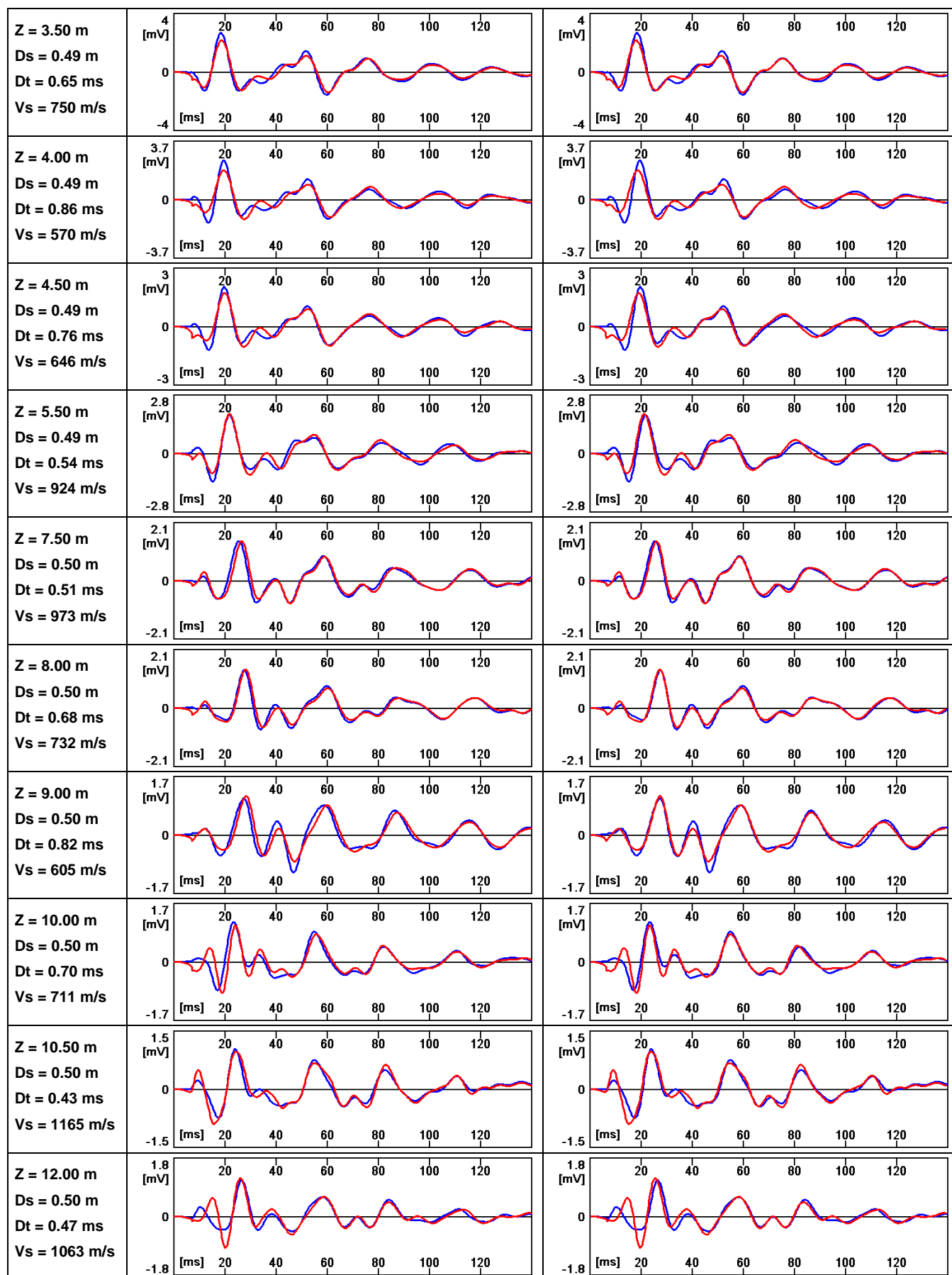
REGISTRATI

RIFASATI



## REGISTRATI

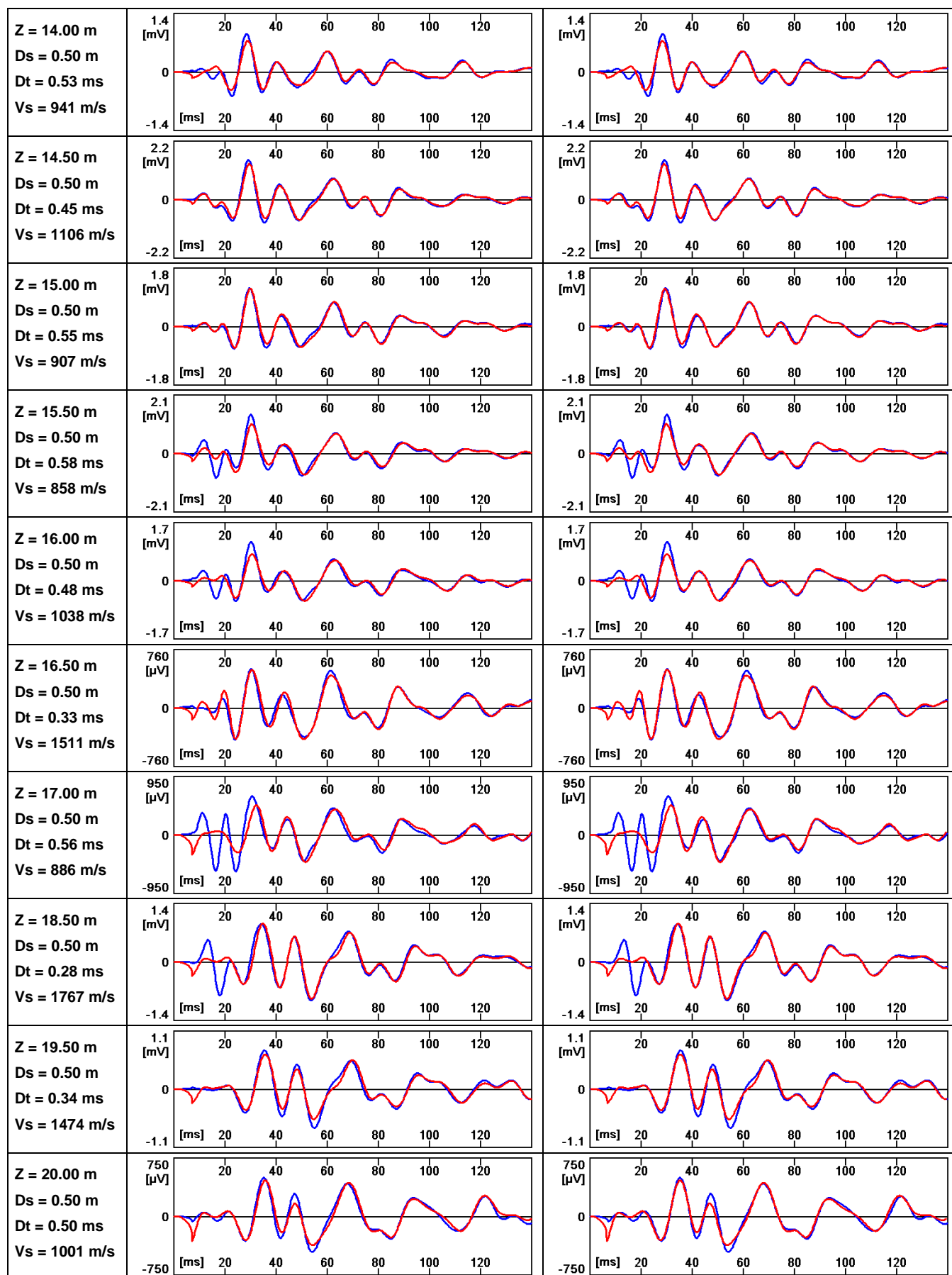
## RIFASATI





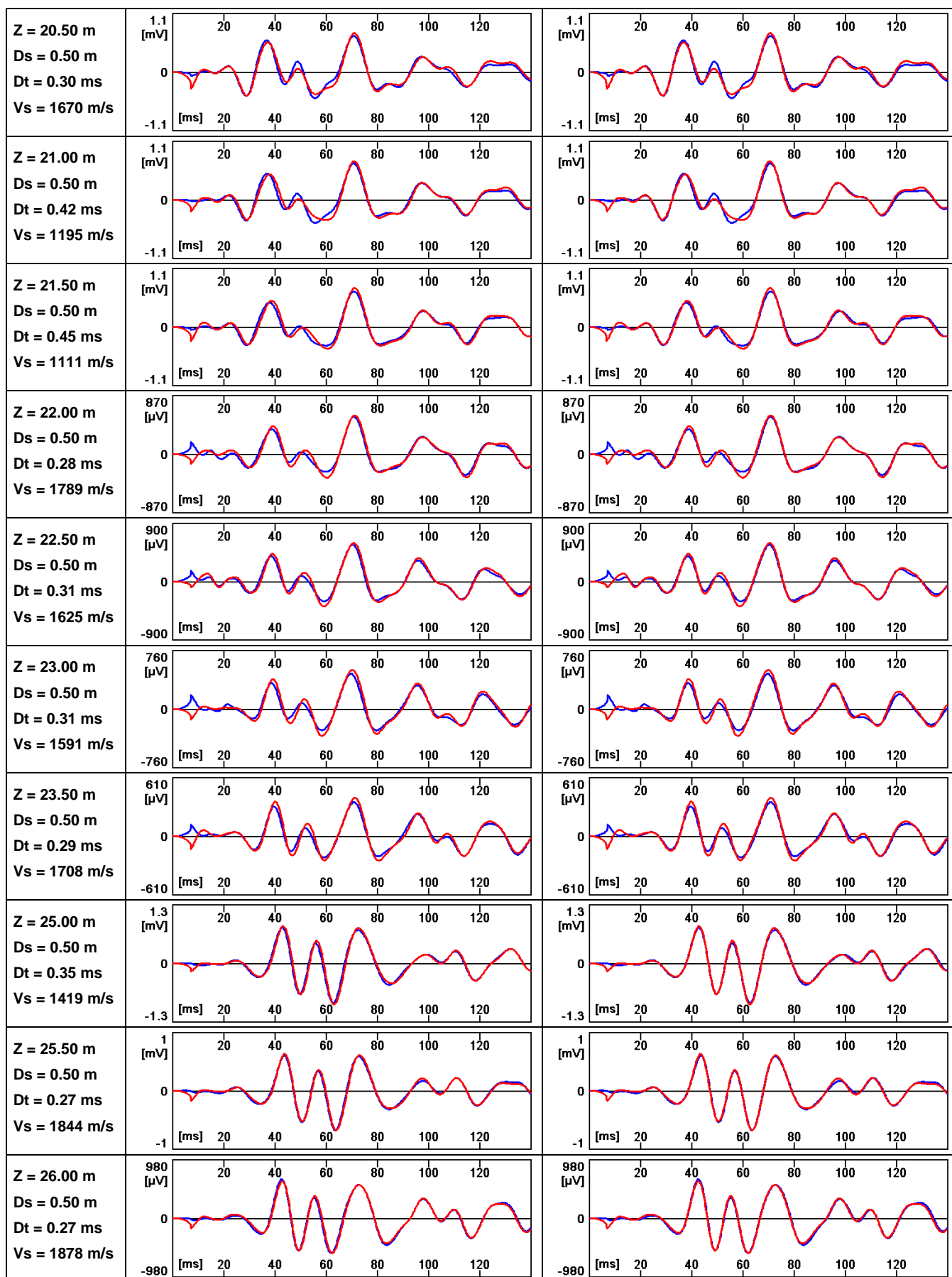
## REGISTRATI

## RIFASATI



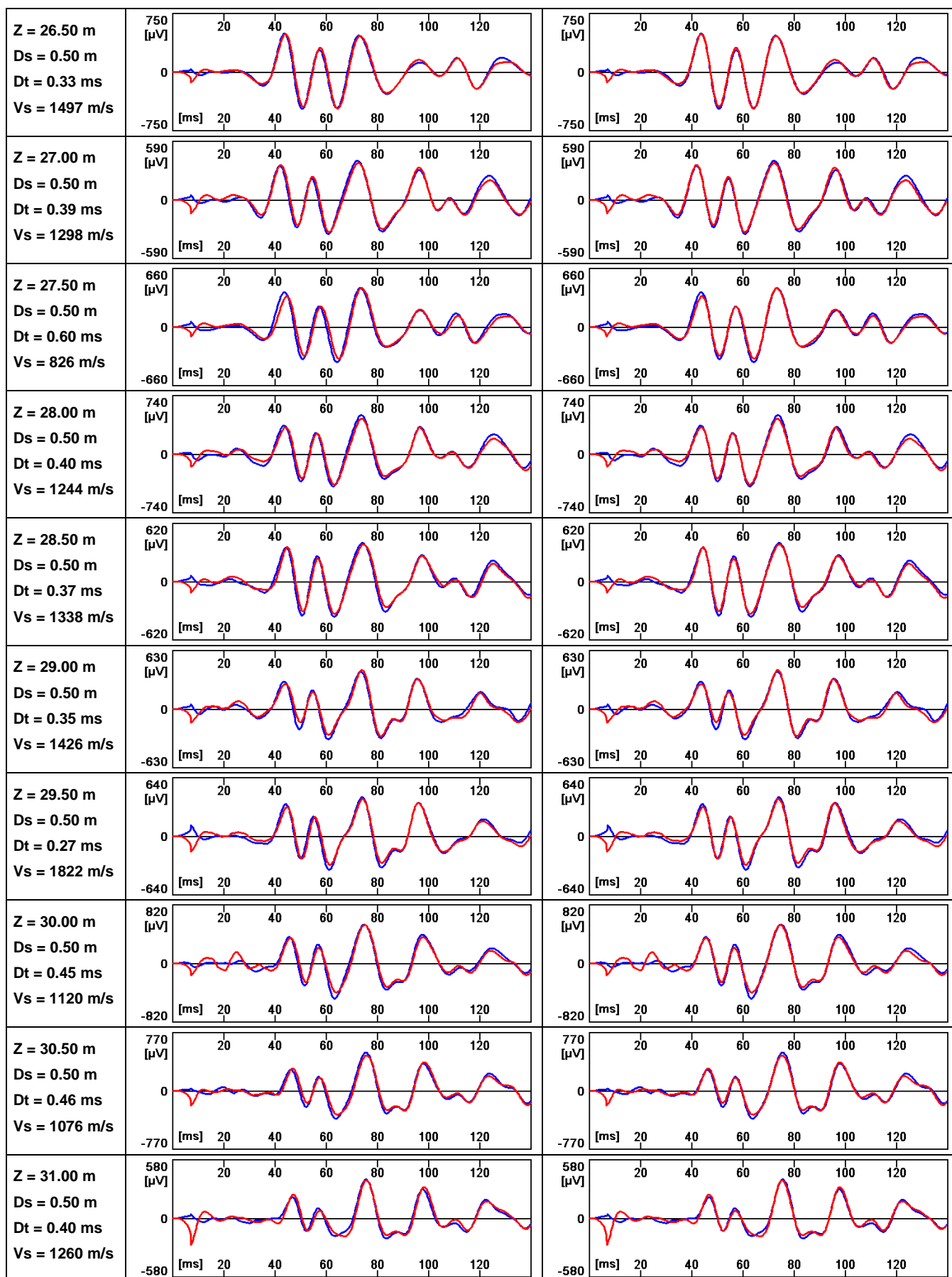
## REGISTRATI

## RIFASATI



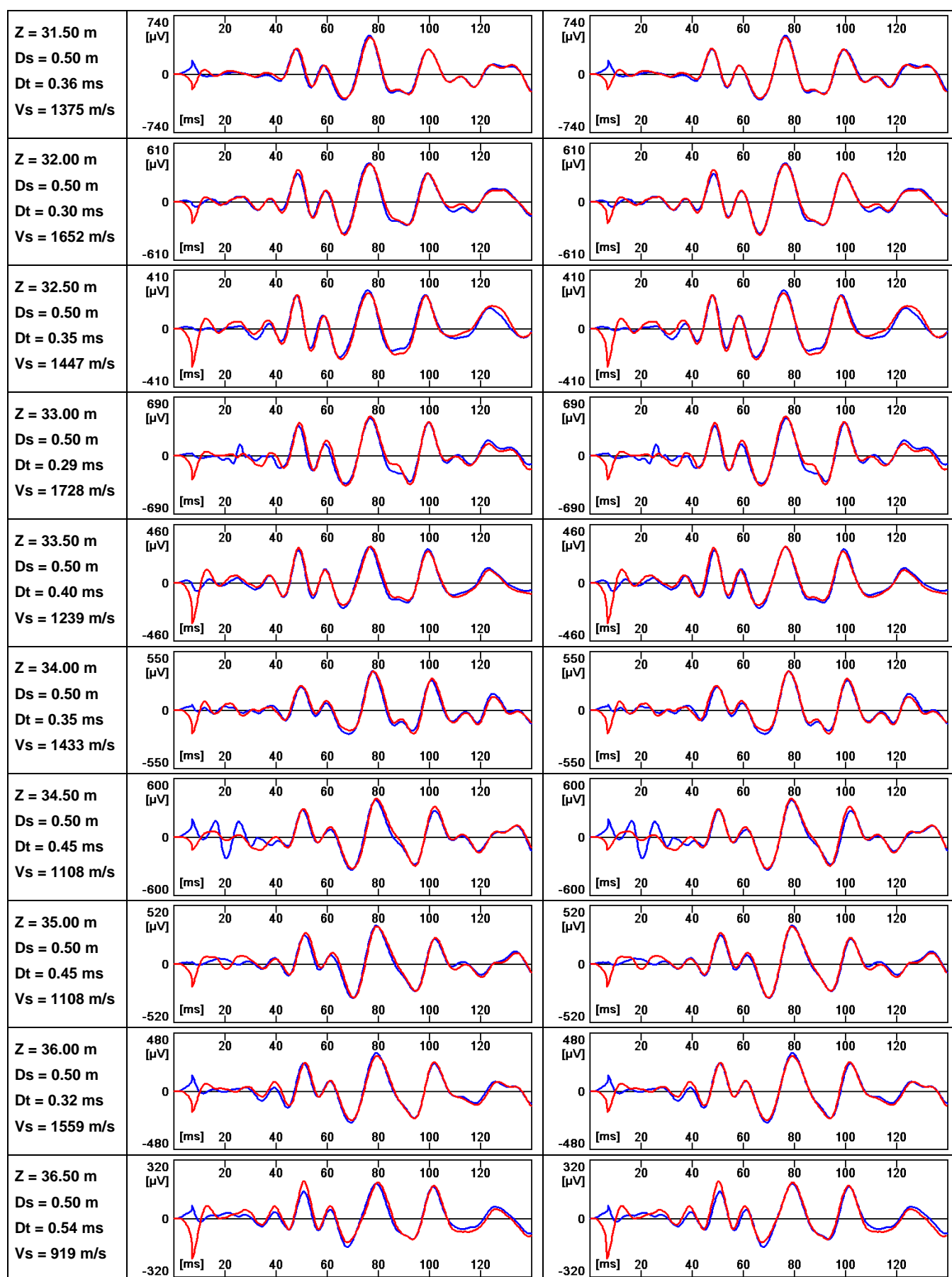
## REGISTRATI

## RIFASATI



## REGISTRATI

## RIFASATI



SDMT 2 - Vs

REGISTRATI

RIFASATI

