

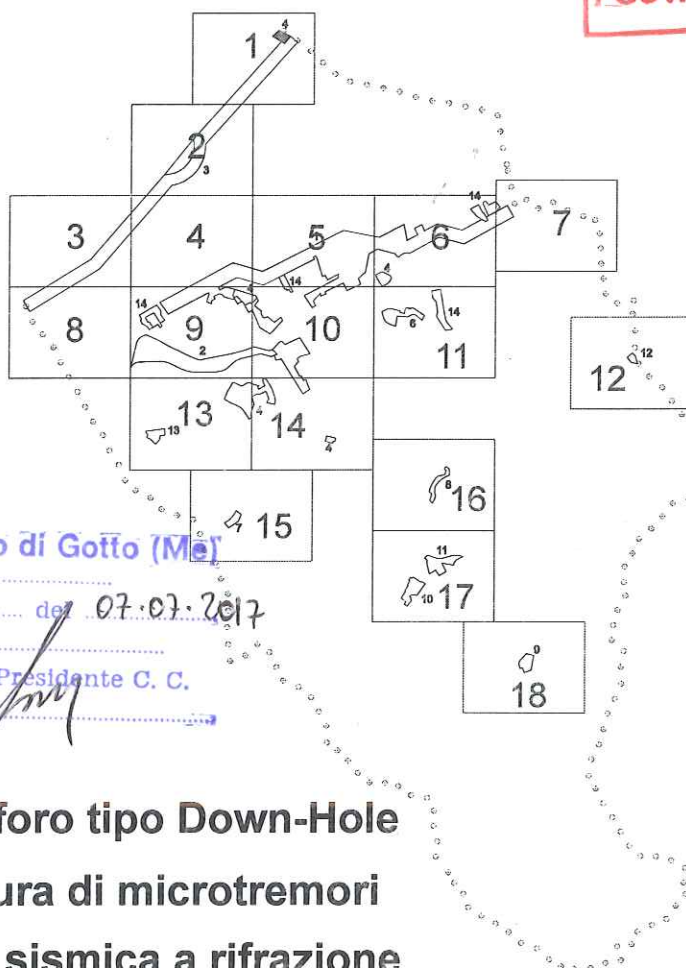
Comune di Barcellona Pozzo di Gotto (MESSINA)

STUDIO GEOLOGICO PER IL PIANO PARTICOLAREGGIATO

Indagini sismiche ed elettriche

Allegato - B

MUNICIPIO di BARCELLONA
POZZO di GOTTO
13 AGO. 1999
POSTA DI ENTRATA



Comune di Barcellona Pozzo di Gotto (Me)
ALLEGATO N. 4B
Alla delibera Consiliare N. 40 del 07.07.2017
Barcellona P. G., li
Il Segretario Generale Il Presidente C. C.

- Sismica in foro tipo Down-Hole
- Campionatura di microtremori
- Traverse di sismica a rifrazione
- Sondaggi elettrici verticali

Il Geologo
Prof. F. Lentini



1.0 - PREMESSA

A seguito dell'incarico conferitoci dal Prof. Fabio Lentini, relativamente ai Piani Particolareggiati nel Comune di Barcellona Pozzo di Gotto, è stata eseguita una serie di indagini geofisiche mirate alla caratterizzazione fisica e geosismica dei litotipi appartenenti all'area oggetto di studio.

Dalle indagini eseguite sono emerse le seguenti indicazioni qualitative e quantitative:

- *velocità sismiche trasversali e calcolo dei moduli elastici dinamici (Down - Hole);*
- *valutazione delle risposte di sito secondo la tecnica di Nakamura (Campionatura di Microtremori 3D);*
- *velocità P ed S e sismotatigrafie;*
- *resistività apparenti ed elettrostratigrafie.*

Nel corso della specifica campagna si è proceduto all'esecuzione di :

- ◇ n° 2 sondaggi di sismica in foro tipo Down - Hole ,
- ◇ n° 3 campionature di microtremori ,
- ◇ n° 46 traverse di sismica a rifrazione,
- ◇ n° 4 S.E.V. – Sondaggi Elettrici Verticali.

le cui ubicazioni sono state suggerite dalla D.L..

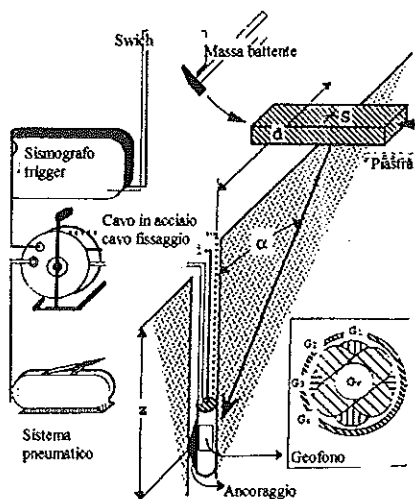
2.0 - SISMICA IN FORO TIPO DOWN - HOLE

2.1 - Premessa

Mediante questa tecnica d'indagine è possibile determinare la velocità di propagazione in senso verticale (media e d'intervallo), delle onde sismiche di compressione (P) e di quelle trasversali o di taglio (S). La metodologia down-hole, come le altre tecniche di sismica in perforo ha, rispetto alla sismica di rifrazione, il vantaggio di non aver come condizione il necessario aumento di velocità con la profondità in quanto si valutano i tempi di arrivo delle onde elastiche via via che esse penetrano negli strati più profondi senza subire fenomeni di rifrazione; quindi è sempre possibile valutare eventuali inversioni di velocità nell'ambito del pacco di litotipi incontrati nella perforazione e, inoltre, la preventiva conoscenza della stratigrafia permette di scegliere il passo di misura più idoneo a caratterizzare anche strati di ridotto spessore.

2.2 - Attrezzatura utilizzata e metodologia d'esecuzione

La tecnica Down - Hole consiste nella lettura dei tempi di propagazione delle onde longitudinali T_p e delle onde trasversali T_s tra un punto d'energizzazione prossimo alla testa del foro di sondaggio ed il geofono tridimensionale ancorato all'interno del foro mediante un dispositivo pneumatico (Vedi figura).



I modelli e gli algoritmi che saranno adottati, terranno conto di tutte quelle leggi di attenuazione ed accelerazione che contribuiscono a modificare un segnale sismico all'interno

di un mezzo qualunque. Tali modellizzazioni ed interpretazioni dei segnali restituiti dall'indagine, permetteranno di stimare le caratteristiche elasto - dinamiche della sezione in perforo investigata.

Nel caso specifico, l'energizzazione del terreno è stata effettuata mediante massa battente, così come rappresentato in figura. Al fine di facilitare la generazione di onde trasversali, per la valutazione della velocità di propagazione delle onde di taglio, il terreno è stato sollecitato tangenzialmente tramite una piastra in ferro e legno posta ad una distanza di 2 metri dall'asse del perforo, in modo da ridurre la dissipazione in fase di energizzazione.

Tale dispositivo d'energizzazione, in funzione delle modeste profondità operative (max 25 m.), si è rivelato sufficientemente valido ed ha consentito di evitare l'uso di esplosivi, trovandosi ad operare in un'area urbanizzata.

I fori di sondaggio, internamente attrezzati con tubi in P.V.C. del diametro interno di circa 80 mm. ed opportunamente cementati in modo da essere solidali con le pareti del foro, hanno ospitato il geofono tridimensionale, composto da un geofono verticale e due orizzontali, ancorato alle pareti del foro, a mezzo di un sistema pneumatico, alle varie profondità di lettura.

Il geofono tridimensionale è stato collegato ad un sismografo del tipo M.A.E. PS32 multicanale con memoria incrementale, che ha permesso di acquisire le tre componenti del segnale, rispettivamente: la componente verticale \Rightarrow traccia 1 e quelle orizzontali in inversione di fase \Rightarrow tracce 2-3. I sismogrammi così acquisiti sono stati successivamente trasferiti su dischetto magnetico per le successive fasi di elaborazione.

2.3 - Elaborazione dati

L'analisi dei risultati consente di valutare la funzione velocità sismica - profondità, sia per le onde compressive P che per le onde trasversali S ; i dati così ricavati hanno consentito di associare le velocità sismiche agli strati individuati durante l'esecuzione del sondaggio meccanico e di valutare i parametri meccanici caratteristici (Moduli Elastici Dinamici). Tale concetto, può essere sintetizzato sia fisicamente sia analiticamente da quanto segue.

Il fronte d'onda ed il relativo raggio sismico non subiranno deviazioni, per la presenza di eventuali discontinuità elastiche in profondità, in caso di incidenza normale e cioè solo quando la sorgente energizzante è molto prossima al perforo e le superfici di discontinuità sono perpendicolari all'asse del perforo stesso. In genere però la sorgente energizzante viene a trovarsi sia per motivi logistici sia perché è necessario evitare che l'onda elastica si trasmetta lungo il materiale di condizionamento, ad una distanza non trascurabile dall'asse del perforo (circa metri 2), per cui è necessario correggere i tempi di arrivo in modo da ottenere i valori che si riscontrerebbero se il percorso dei raggi sismici fosse verticale. Considerando la figura, se d è la distanza della sorgente energizzante S dall'asse del perforo, z è la profondità cui è fissato il sistema di rilevazione G ed α è l'angolo tra la congiungente $G-S$ e la verticale (corrispondente all'asse del perforo) il tempo verticale o corretto t_v , cioè il tempo di propagazione dell'onda elastica secondo l'asse del perforo, è uguale a :

$$t_v = t \cos \alpha \quad (1)$$

dove t è il tempo di ricezione del primo impulso rilevato e dove α è dato da :

$$\alpha = \arctan d/z \quad (2)$$

La correzione che si effettua è di tipo equazionale e trascura le deviazioni dei percorsi dei raggi generate dalla rifrazione lungo eventuali superfici di discontinuità, approssimando le grandezze geometriche e fisiche in gioco. Tale approssimazione è tanto più accettabile quanto più deboli sono i contrasti di velocità e quanto più prossimi all'asse del perforo, mantenendo costanti la profondità dei sensori e la sorgente energizzante.

I tempi corretti t_v vengono graficati rispetto alla profondità z in modo da individuare le dromocrone relative ai litotipi incontrati nella perforazione, determinandone le velocità e gli spessori.

Infatti, se v_j è la velocità dello strato j esimo di spessore h_j e z è la profondità del geofono, posto all'interno dello strato j esimo, il tempo verticale o corretto $t_{v(z)}$ è dato dalla seguente relazione teorica :

$$t_{v(z)} = \frac{z - \sum_{i=1}^{j-1} h_i}{V_j} + \sum_{i=1}^{j-1} \frac{h_i}{V_i} \quad (3)$$

che è l'equazione di una retta con coefficiente angolare pari all'inverso della velocità dello strato j esimo.

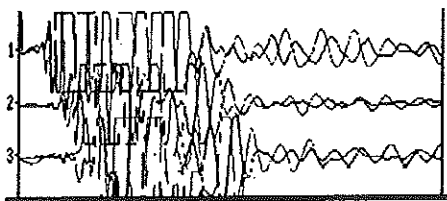
Allo scopo di avere una valutazione del grado di disomogeneità dei sismostrati riscontrati nella perforazione, si determina la *velocità intervallo* v_i cioè la velocità cui viaggierebbe il fronte d'onda, lungo l'asse verticale, tra due posizioni consecutive dell'apparato geofonico ; calcolando le distanze parziali $sz = z_n - z_{(n-1)}$, le velocità intervallo date da :

$$v_i = sz/st_v \quad (4)$$

La fase di interpretazione relativa alla lettura dei tempi di arrivo delle fasi longitudinali e trasversali, è stata eseguita utilizzando due tecniche di individuazione :

■ *inversione di fase (esempio 1) ;*

■ *particle motion (esempio 2).*



stratigrafica locale; tale corrispondenza non è sempre possibile poiché nell'ambito di uno stesso litotipo si possono avere valori di velocità delle onde sismiche e di conseguenza dei parametri elastici diversi, in funzione di svariati fattori. Inoltre l'interpretazione è tanto più precisa quanto più piccoli sono gli intervalli di lettura (steps); nel caso in esame avendo proceduto con intervalli di lettura di massimo 2 m., si è ottenuta una buon'approssimazione.

In allegato sono riportati i valori misurati e calcolati ed unitamente al tabulato dei valori interpolati per aree omogenee, sono evidenziate le dromocrone con i relativi diagrammi di velocità e le velocità intervallo.

2.5 - CORRELAZIONE CON I MODULI ELASTICI

Il calcolo dei parametri elastici è stato effettuato con i valori delle velocità delle onde P ed S ricavate dalle prospezioni sismiche in foro.

Tali parametri esprimono le caratteristiche elastiche di un corpo quando sottoposto ad uno sforzo e sono:

E (modulo di elasticità o di Young) che da una misura del rapporto sforzo-deformazione, nel caso di una semplice torsione o compressione;

σ (rapporto di Poisson) che da una misura del cambiamento geometrico in forma di un corpo elastico;

μ (modulo di rigidità) che da una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di uno sforzo tangenziale ed esprime quindi la capacità del materiale a resistere cambiando di forma e non di volume;

κ (modulo di volume o coefficiente di incompressibilità) che da una misura del rapporto sforzo-deformazione nel caso di una pressione idrostatica che produce cambiamento di volume;

λ (costante di Lamè) ha le dimensioni di uno sforzo, ma non ha un significato fisico essendo legata al modulo di rigidità dalla relazione:

$$\lambda = \kappa - 2/3 \mu.$$

Le deformazioni e le tensioni generate da una sollecitazione artificiale impulsiva sono abbastanza complesse. Tali deformazioni e tensioni trovano una intrinseca corrispondenza biunivoca con le fasi P ed S dell'input sismico. Infatti, le velocità di propagazione delle onde sismiche variano al variare delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche dei litotipi coinvolti; quindi danno informazioni sulle proprietà elastiche dei mezzi attraversati. Dal punto di vista analitico e fisico, le tensioni e le deformazioni di un qualsiasi materiale omogeneo, isotropo ed elastico seguono la *legge di Hooke*:

$$\sigma = \varepsilon E$$

nella quale:

σ = sforzo applicato

ε = deformazione prodotta

E = modulo elastico del materiale (*modulo di Young*).

Il rapporto tra sollecitazione ortogonale (trasversale o di taglio) e conseguente deformazione, definisce il *modulo elastico tangenziale* (di taglio) μ . Infine il *coefficiente di Poisson* σ che, come precedentemente detto, è definito come il rapporto tra la deformazione trasversale e quella longitudinale; tale coefficiente che, essendo un parametro che dà un criterio di valutazione delle deformazioni che può subire una roccia è ovviamente legato al grado di litificazione, alla porosità ed al grado di saturazione della roccia stessa. In linea di massima si può affermare che il coefficiente di Poisson varia da 0.2 a 0.3 per le rocce compatte; da 0.3 a 0.35 per le sabbie; e da 0.4 a 0.5 per le argille. Un'ultima costante che entra a far parte delle relazioni tra le caratteristiche elastiche e la velocità di propagazione, è la densità espressa come rapporto tra massa e volume. Pertanto, avendo determinato i valori di V_p e V_s con le prove sismiche e la densità, o peso di volume γ^l , con prove di laboratorio, è possibile calcolare i valori delle costanti elastiche che caratterizzano i terreni interessati dalle prove sismiche con le espressioni:

$$\sigma = \frac{0.5 \cdot \left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{V_p}{V_s} \right)^2 - 1}$$

$$\mu = V_s^2 \cdot \gamma$$

$$E = 2 \cdot (1 + \sigma) \cdot \mu$$

⇒ I valori dei moduli elastici dinamici calcolati, sono ascrivibili a terreni sedimentari di natura sabbioso – limoso - ghiaiosa poco addensati aventi un comportamento dinamico semi-elastico. Tali caratteristiche, confortate ampiamente dal coefficiente di Poisson, trovano riscontro con la stratigrafia litologica emersa dai sondaggi meccanici.

In riferimento alle Velocità intervallo si nota un “marker” tra 4.0 e 5.5 metri per il D.H.1, ed un “marker” tra 10.2 e 12.0 metri per il D.H.2.

Le tabelle rappresentanti i valori dei moduli elasto - dinamici sono riportate in allegato.

3.0 - RISPOSTA SISMICA DEL SITO

3.1 - Valutazione dell'effetto di amplificazione sismica locale dei siti

Uno degli aspetti fondamentali che deve essere valutato in uno studio di microzonazione è la risposta in frequenza del sito quando è sottoposto ad un input sismico.

Il comportamento dei siti è infatti inteso in termini di differente energia e/o diversa distribuzione in frequenza della stessa a causa degli effetti di amplificazione o attenuazione selettiva di determinate frequenze, in funzione delle caratteristiche fisico - geometriche degli strati attraversati da un'onda sismica.

Questo parametro è fondamentale per la scelta, in fase di progettazione, dei periodi propri di oscillazione dei manufatti, onde evitare fenomeni di risonanza suolo - struttura (casi in cui sono sufficienti basse energie per provocare danni). Il fenomeno della risonanza avviene quando un sistema oscillante riceve una perturbazione esterna con frequenza simile a quella propria; in queste condizioni l'ampiezza dell'oscillazione diventa molto grande ; pertanto, anche terremoti di bassa magnitudo possono dar luogo a notevoli danni se il periodo proprio di oscillazione della struttura è confrontabile con quello del suolo.

La caratterizzazione della risposta in frequenza dell'area in esame, quando sottoposta ad una sollecitazione sismica, è stata affrontata valutando le modificazioni che l'onda sismica subisce nel raggiungere la superficie libera del terreno, in funzione delle caratteristiche (litologia, spessore degli strati, morfologia, presenza di falde acquifere, et.) delle formazioni giacenti sul basamento, attraverso il campionamento di "microtremori", al fine di quantizzare, tramite analisi dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale, gli effetti di amplificazione sismica locale.

L'efficacia dei microtremori nella determinazione degli effetti di sito è stata comprovata da diversi studi indirizzati al confronto delle risposte spettrali ottenute dall'analisi di eventi sismici e di microtremore. Recentemente è stato dimostrato, sia sperimentalmente² che

¹ I valori del peso di volume adottati scaturiscono da analisi di laboratorio.

² Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR - RTRI 30, 1, February.

Lermo J. & Chávez -García F. : Are microtremor Useful in Site Responce Evalutation ? B.S.S.A. 84, 5, 1350-1364, Oct. 1994
Milana G., Barba S., Del Pezzo E. and Zbonelli E., 1996 ; Site response from ambient noise misurament :new perspectives from an array study in central Italy ; B.S.S.A. 86 ; 320-328

matematicamente³, che la risposta in frequenze del sito, ottenuta con il metodo dei rapporti spettrali delle componenti orizzontali del moto del suolo sulla componente verticale, è confrontabile con quella ricavata da eventi sismici.

3.2 - Descrizione del metodo

La tesi di partenza si basa sul fatto che l'energia dei microtremori consiste principalmente in onde di Rayleigh, e che l'effetto di amplificazione del sito è dovuto alla presenza in superficie di uno strato soffice sovrastante un semispazio. In queste condizioni avremmo che le quattro componenti del moto del suolo coinvolte sono: la componente del moto orizzontale e verticale nel semispazio e la componente del moto orizzontale e verticale alla superficie.

In accordo con Nakamura⁴, è possibile valutare gli effetti legati alla sorgente, $A_S(\omega)$, secondo il rapporto :

$$A_S(\omega) = \frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)} \quad (1)$$

dove

V_S = Ampiezza spettrale della componente verticale del moto del suolo alla superficie e

V_B = Ampiezza spettrale della componente verticale del moto del suolo al tetto del semi-spazio

La stima degli effetti di sito di interesse ingegneristico, $S_E(\omega)$, è data dal rapporto :

$$S_E(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \quad (2)$$

dove

$H_S(\omega)$ = Ampiezza spettrale della componente orizzontale del moto del suolo alla superficie

$H_B(\omega)$ = Ampiezza spettrale della componente orizzontale del moto del suolo alla base dello strato considerato.

Bongiovanni G., Gorelli V., Gorini A., Marucci S., Marsan P., Milana G., Zambonelli E. ; Effetti di amplificazione sismica locale nella valle dell'atemo. Un confronto tra dati sismici e dati di microtremore. (G.N.G.T.S. 1997)

³ Lachet, C & Bard P-Y (1994). Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. J. Phys. Earth, 42. 377-397, 1994.

⁴ Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR - RTRI 30, 1, February.

Al fine di compensare $S_E(\omega)$ dagli effetti legati alla sorgente, viene calcolata la funzione degli effetti di sito $S_M(\omega)$, come

$$S_M(\omega) = \frac{S_E(\omega)}{A_S(\omega)} = \frac{\left(\frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)} \right)}{\left(\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)} \right)} ; \quad \text{assumendo che} \quad \frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)} = 1^*$$

quindi la funzione degli effetti di sito, corretta dai termini della sorgente può essere scritta :

$$S_M(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}$$

Ulteriori studi⁵ hanno dimostrato, oltre alla validità di tale tecnica, che l'applicazione del metodo a dati di microtremore e a dati relativi ad eventi sismici di piccola magnitudo produce risultati coerenti in grado di fornire utili informazioni sui terreni di copertura⁶.

Inoltre, è possibile determinare la frequenza fondamentale di risonanza del sito investigato⁷.

3.3 - Sistema di acquisizione e raccolta dati

Per la valutazione dell'amplificazione sismica locale eseguita con la tecnica di Nakamura, è necessario campionare i microtremori su almeno due componenti del moto del suolo: la verticale e l'orizzontale.

* Tale assunzione è stata comprovata sperimentalmente da Nakamura in numerose misure in sismiche in profondità eseguite in fori opportunamente condizionati.

⁵ Lachet, C & Bard P-Y (1994). Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. J. Phys. Earth, 42. 377-397, 1994.

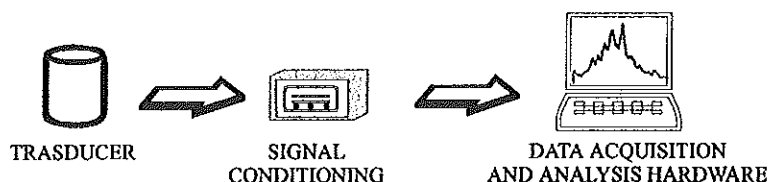
⁶ Lermo J. & Chávez-García F. : Are microtremor Useful in Site Response Evaluation ? B.S.S.A. 84, 5, 1350-1364, Oct. 1994

Milana G., Barba S., Del Pezzo E. and Zambonelli E., 1996 ; Site response from ambient noise measurement: new perspectives from an array study in central Italy ; B.S.S.A. 86 ; 320-328

Bongiovanni G., Gorelli V., Gorini A., Marucci S., Marsan P., Milana G., Zambonelli E. ; Effetti di amplificazione sismica locale nella valle dell'atemo. Un confronto tra dati sismici e dati di microtremore. (G.N.G.T.S. 1997)

⁷ Field, Clement, Jacob, Aharonian, Hough, Frieberg, Babaian, Karapetian, Hovnessian, Abramian : Earthquake Site-Response Study in Giumri (Formerly Leninakan), Armenia, Using Ambient Noise Observation ; B.S.S.A. , 85,1,349-353, Feb. 1995

Nel caso in oggetto sono stati utilizzati trasduttori del moto del suolo 3D (3 componenti), aventi periodo fondamentale di 1 s., interfacciati secondo lo schema che segue (Figura seguente) :



Inoltre, tali campionature sono state effettuate in orari poco disturbati antropicamente (traffico veicolare, industriale, ecc..) e con amplificazione opportunamente scelta al fine di aumentare il rapporto segnale - disturbo per eliminare fenomeni transienti dovuti a sorgenti antropiche nel “near - field” in modo da garantire la stabilità del segnale analizzato.

In ogni sito si è proceduto alla registrazione di una finestra temporale della durata di cinque minuti. Tale operazione è stata eseguita in 3 siti per complessivi 15 minuti di registrazione.

3.4 - Elaborazione dati

Il segnale ricavato nel dominio del tempo è stato processato nel seguente modo : Ogni serie temporale è stata corretta mediante una funzione “base - line” al fine di eliminare off - set e trend anomali, quindi è stata applicata una funzione “cosine - taper” per evitare l’insorgenza di effetti di “bordo” (anti - aliasing) ed infine è stato applicato un filtro band - pass tra 0.1 e 20 Hz.

Il segnale temporale, così processato, è stato analizzato nel dominio delle frequenze tramite la funzione F.F.T. (Fast Fourier Transform). Nella fattispecie sono state utilizzate n° 7 finestre di 40.96 secondi con sovrapposizione del 10%.

Il finestramento temporale ha lo scopo di comparare gli spettri di ogni singola finestra, mediandoli fra loro, in modo da considerare soltanto quei picchi di frequenza con carattere di ripetitività attribuibili alle caratteristiche geologiche del sito.

Inoltre, sui singoli spettri, onde evitare fluttuazioni troppo rapide del segnale, è stato applicato uno smoothing del 10% e calcolata e rappresentata la “deviazione standard”.

I risultati ottenuti (vedi allegato), mettono in evidenza le seguenti (laddove esistono), risposte di sito in frequenza:

Noise	Hz - H/Z
1	0.6 0.7
2	5.0
3	2.0 3.0

⇒ Si fa notare che per litotipi aventi un basso contrasto di rigidità, spesso possono emergere risposte in frequenza che non appaiono evidentemente marcate, soprattutto in funzione dei valori in ampiezza, i quali risultano appena sopra la soglia minima di valutazione (Amp. > 2.0).

3.5 - CALCOLO DELLA FUNZIONE DI TRASFERIMENTO (MODELLO 1D)

3.5. 1 - Premessa

I risultati ottenuti con la tecnica di Nakamura sono stati successivamente comparati con funzioni di trasferimento spettrali calcolate tramite un modello 1D.

L’operazione consiste nel calcolare lo spettro di risposta relativo ad un’onda di taglio legata alla propagazione verso l’alto, e cioè il rapporto tra l’ampiezza (misurata in termini di velocità) in superficie, rispetto a quella misurabile su un basamento rigido.

Tutto ciò presuppone una schematizzazione sia stratigrafica che geotecnica del sottosuolo, il quale deve obbedire ad una condizione fondamentale : strati omogenei e paralleli sovrastanti un semispazio elastico (bedrock).

3.5. 2. - Elaborazione dati

La modellizzazione 1D è stata eseguita in 3 punti di misura, ed in particolare sono stati utilizzati i siti relativi ai Down - Hole ed il terzo considerando dati suggeriti dalla D.L..

I modelli teorici utilizzati sono rappresentati nella tabella che segue, mentre le restituzioni grafiche sono riportate in allegato.

4.0-SISMICA A RIFRAZIONE

4.1 Premessa

Sono state eseguite una campagna di prospezioni sismiche a rifrazione nell' ambito del progetto per i piani particolareggiati dell'area di Barcellona P.G.

La finalità dello studio è stata quella di ricostruire l'andamento stratigrafico del sottosuolo con le relative velocità delle onde sismiche.

4.2-Metodo d'indagine

Sono state effettuate n°46 sondaggi sismici a rifrazione con lunghezza delle basi sismiche da 30 a 70m .

Per tutti i sondaggi, comprensivi di cronometro di andata e di ritorno, è stata scelta una spaziatura tra i geofoni da 2 metri a 5 metri in modo da ottenere un dettaglio adeguato rispetto alla superficie da indagare.

I sondaggi sono stati eseguiti con un sismografo PASI LCM-12, gestito da un microprocessore, con dodici canali di acquisizione simultanea, a risoluzione 100 microsec., 8 bits, scale dei tempi variabili e incremento di segnale variabile per ogni canale.

I geofoni utilizzati sono del tipo verticale a 10 Hz "MARK" e 4,5 Hz del tipo orizzontale.

L'energizzazione è stata ottenuta tramite mazza di 9 kg dotata di starter piezoelettrico.

Per l'elaborazione dei dati, effettuata a posteriori in studio, ci si è avvalsi dell'ausilio dell'elaboratore elettronico e del programma interpretativo "GRM" distribuito dalla CIS.

Il sottosuolo delle fasce studiate è stato esplorato per una profondità fino a 18m.

I sondaggi sismici hanno permesso la determinazione di un parametro fisico (Velocità) dei vari strati unitamente ai loro spessori e alle loro caratteristiche elastiche.

I metodi sismici consistono nella misurazione delle velocità di propagazione di onde sismiche. Con le apparecchiature usate è stato possibile ottenere i primi impulsi sufficientemente netti anche quando i rumori di fondo erano elevati. Questo per il fatto che si poteva costantemente osservare la registrazione in quanto veniva immagazzinata da una memoria elettronica e successivamente tracciata su un tubo catodico con la possibilità di discernere i segnali veri da quelli spuri.

Le misure rilevate ci hanno consentito di costruire le curve tempi distanze (Dromocrone) e determinare gli spessori dei vari strati.

Il metodo sismico a rifrazione sfrutta la propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo.

Condizione necessaria perchè si abbia rifrazione delle onde elastiche è una variazione della velocità delle medesime con la profondità in modo uniforme o discontinuo.

L'aumento discontinuo è particolarmente significativo per individuare le superfici limite fra due unità litologiche differenti.

4.3-Analisi dei risultati

Per l'interpretazione dei sondaggi, abbiamo riportato in un diagramma i tempi di percorrenza (ordinate) impiegati dai fronti d'onda sulle distanze (ascisse) dal punto d'impatto ai geofoni.

Le curve così ottenute sono diverse in dipendenza dello spessore dei terreni di copertura e della natura dei materiali attraversati. I dati ottenuti hanno permesso di diagnosticare delle successioni di litotipi che molto chiaramente sono evidenziate nelle sezioni stratigrafiche interpretative allegate.

Modello 1

substratum P-velocity and S-velocity:

1600, 650

substratum density (gm/cc):

2.2

number of layers:

1

Incidence angle from the vertical (deg):

0

layers parameters (6F10.4):

Thick	Pvel	Svel	Dens	Qp	Qs
80.0	900.	350.	1.8000	10.000	5.000

Modello 2

substratum P-velocity and S-velocity:

1600, 650

substratum density (gm/cc):

2.1

number of layers:

2

Incidence angle from the vertical (deg):

0

layers parameters (6F10.4):

Thick	Pvel	Svel	Dens	Qp	Qs
9.00	750.	250.	1.9500	10.000	5.000
11.0	900.	400.	2.08500	15.000	10.000

Modello 3

substratum P-velocity and S-velocity:

1600, 650

substratum density (gm/cc):

2.2

number of layers:

1

Incidence angle from the vertical (deg):

0

layers parameters (6F10.4):

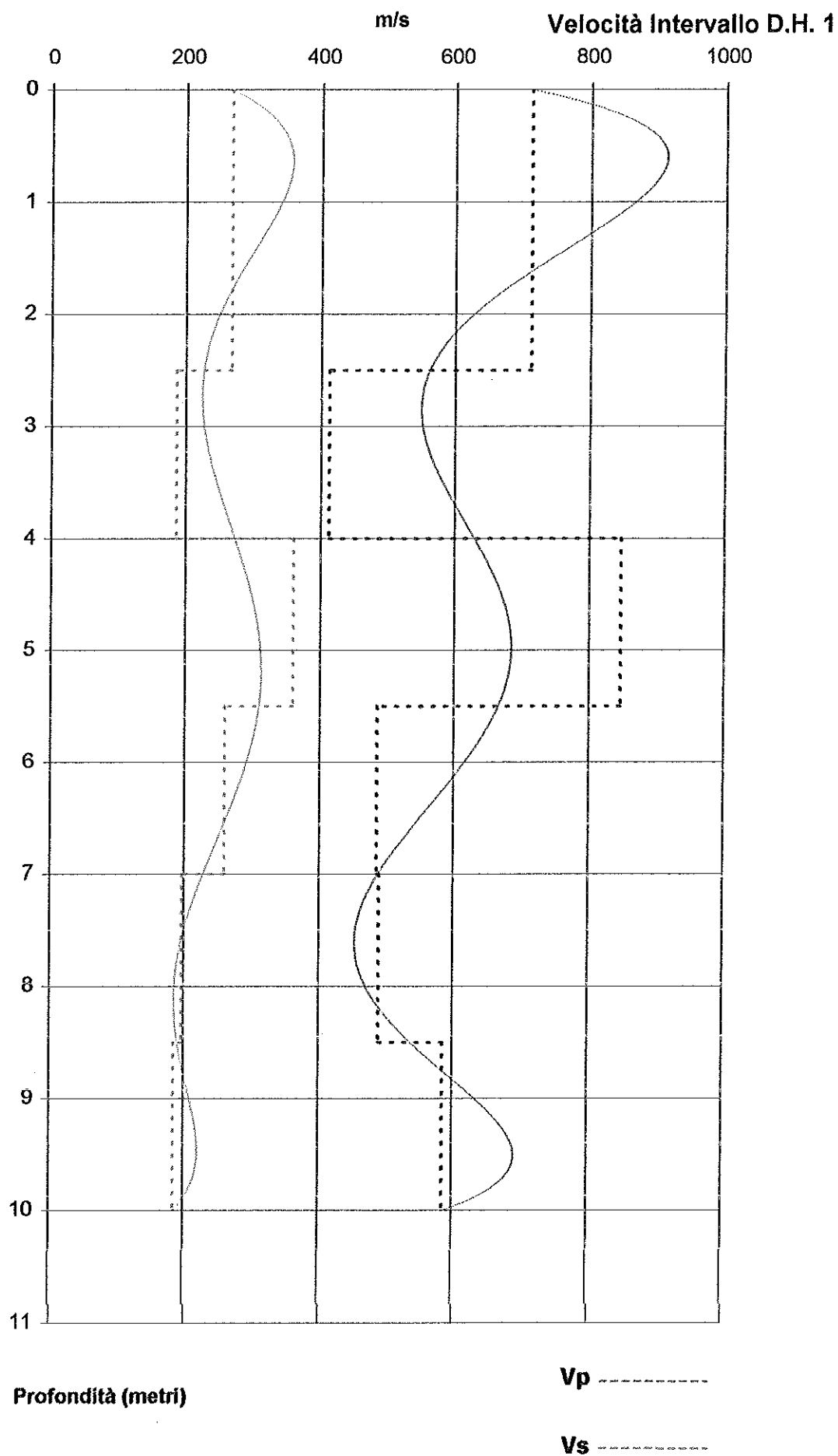
Thick	Pvel	Svel	Dens	Qp	Qs
35.0	900.	350.	1.8500	10.000	5.000

I modelli 1D calcolati mostrano un buon accordo con i valori ricavati sperimentalmente relativamente alle frequenze, mentre sottostimano le ampiezze per basso contrasto di impedenza sismica

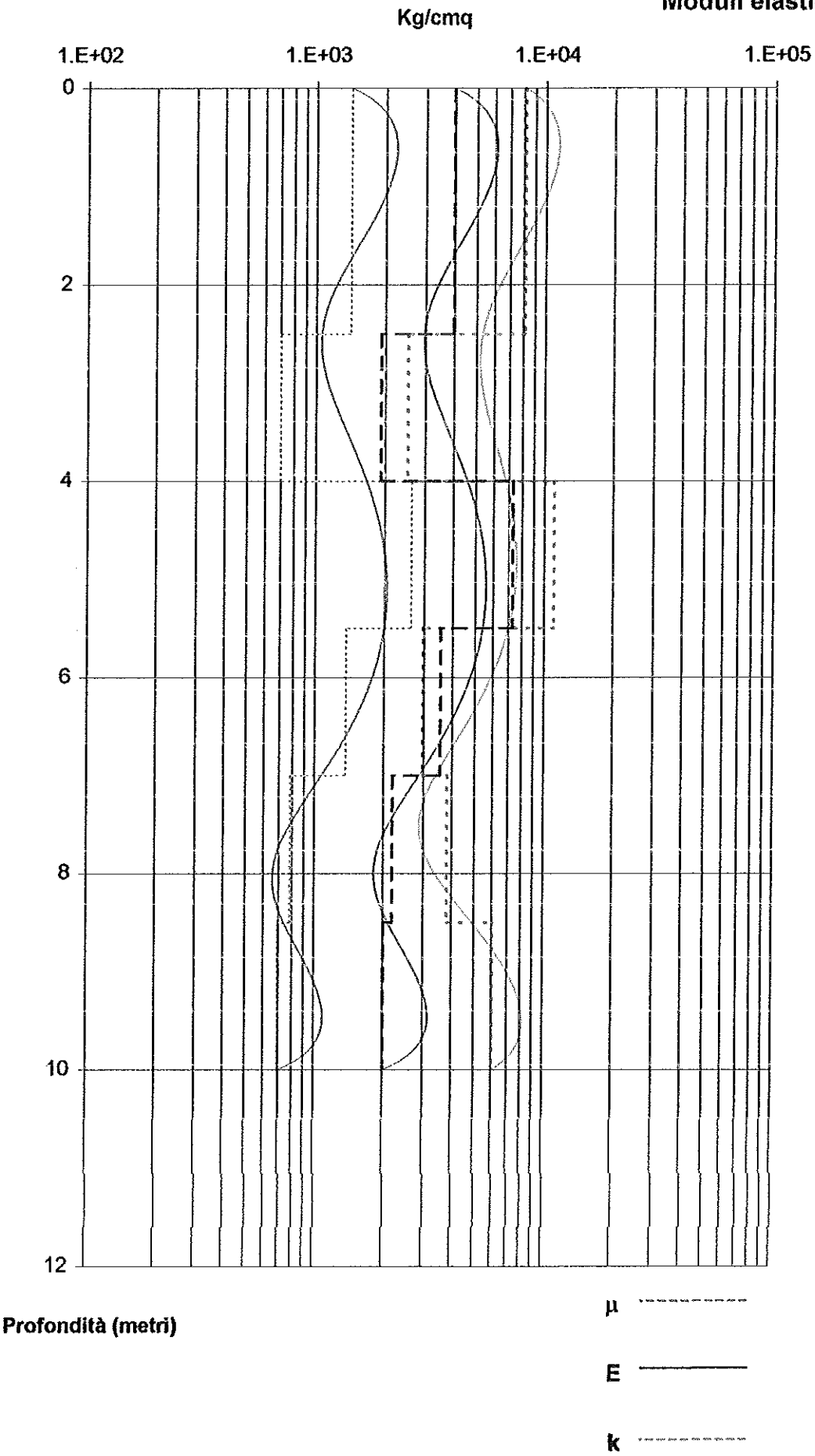
I TECNICI :

Dott. Giuseppe Coco

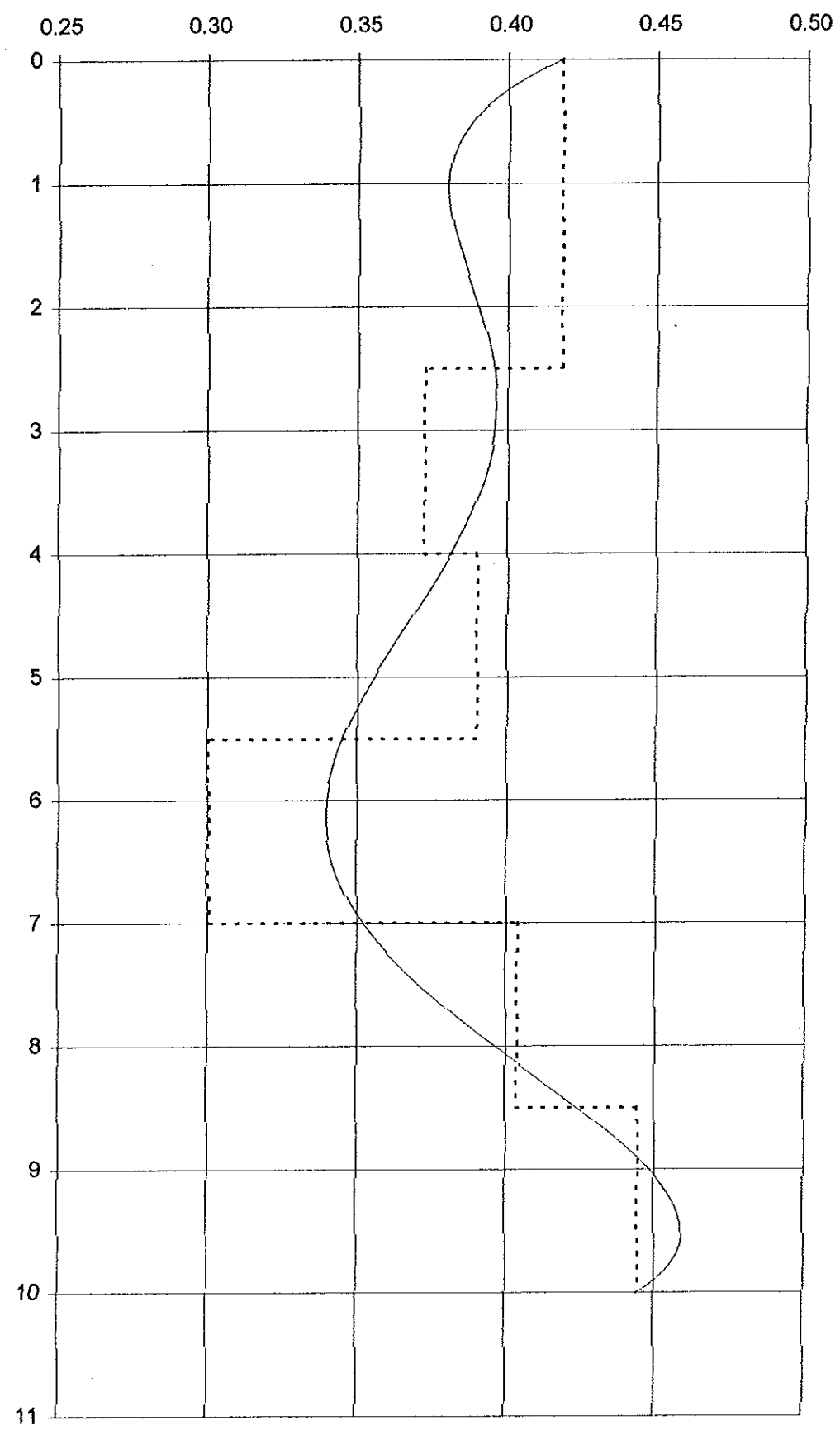
Dott. Mauro Corrao



Moduli elastici D.H.1

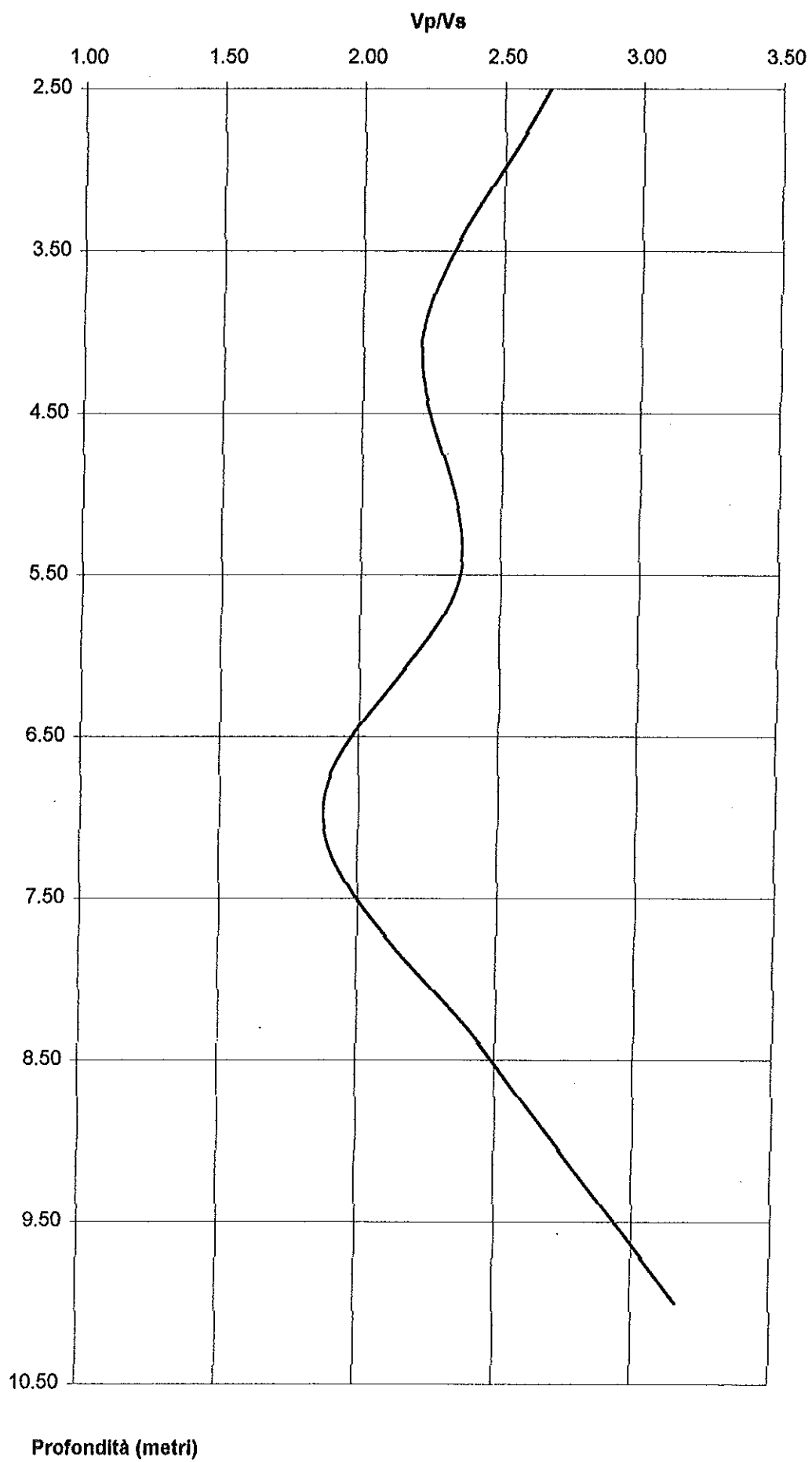


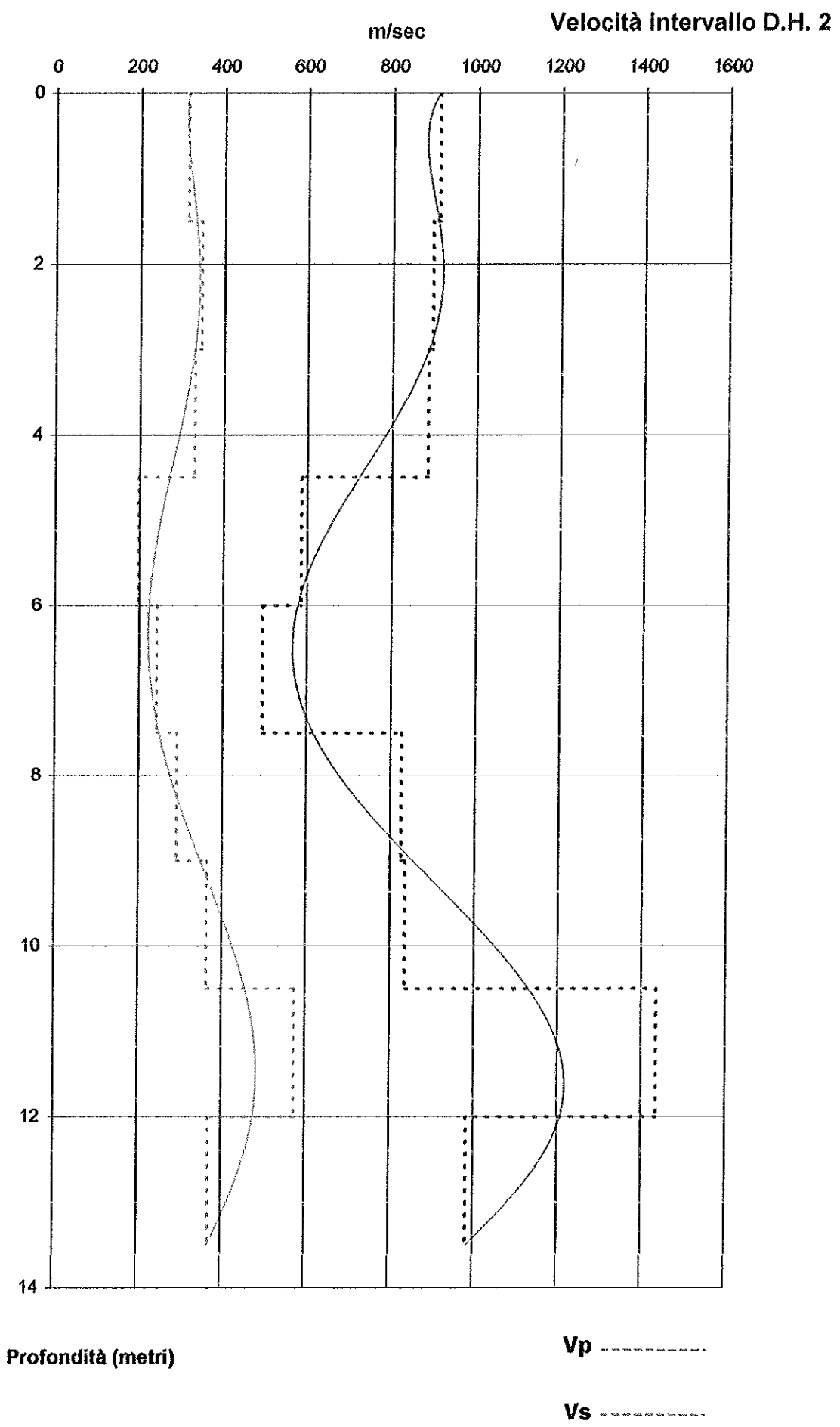
σ Coefficiente di Poisson D.H. 1



Poisson

Profondità (metri)





Moduli elastici D.H.2

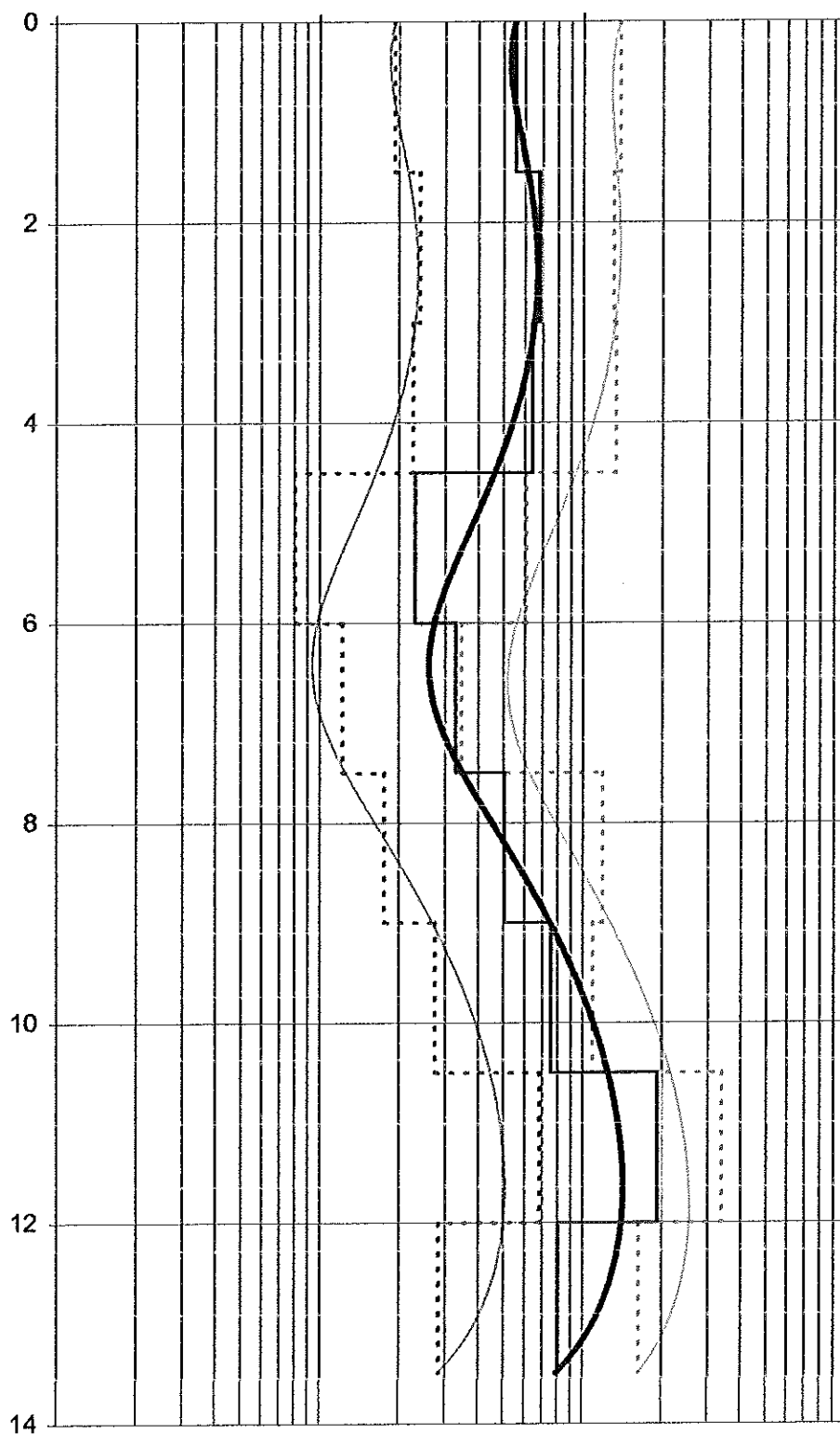
Kg/cmq

1.E+02

1.E+03

1.E+04

1.E+05



μ - - - - -

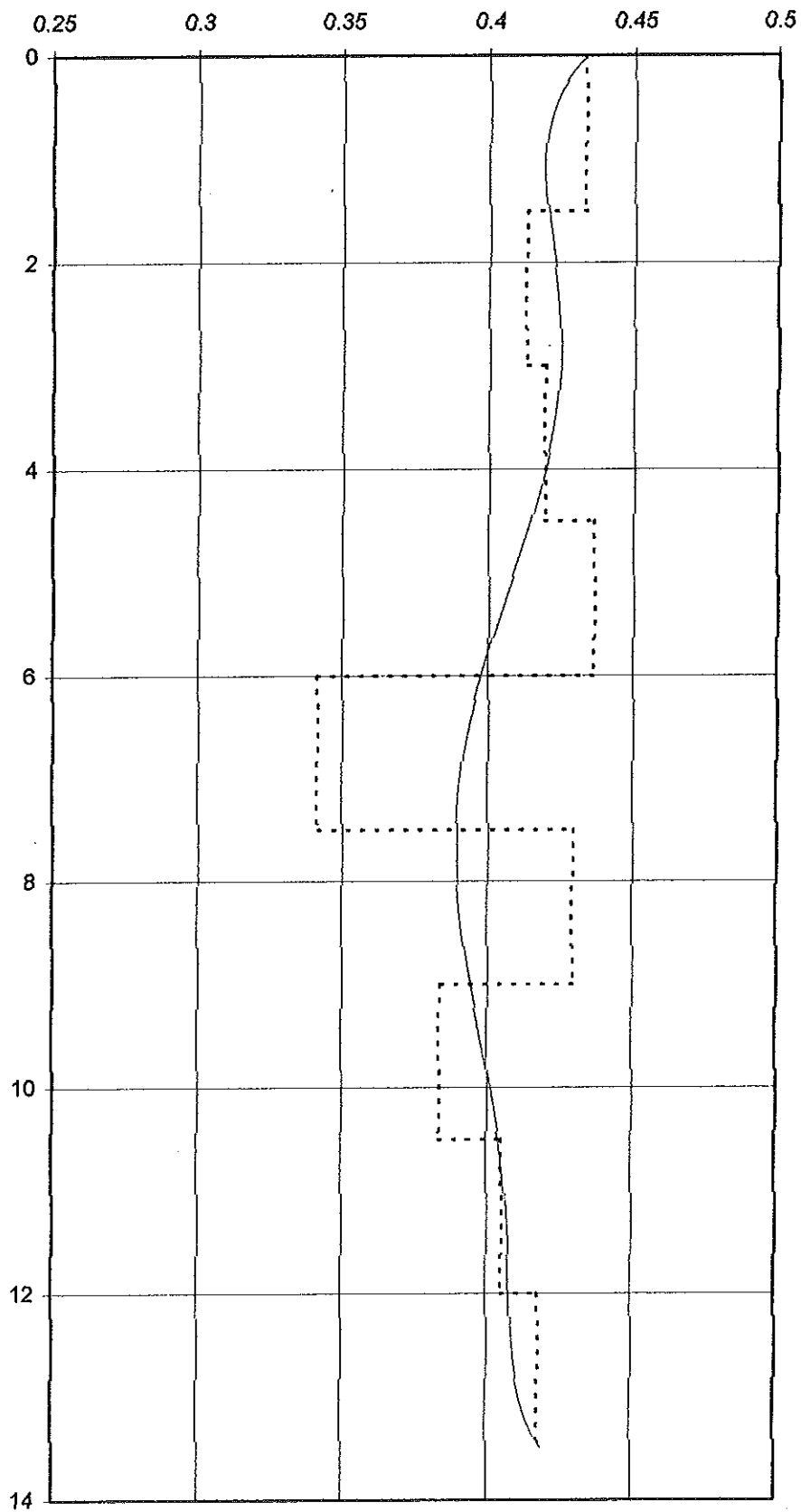
E ———

k

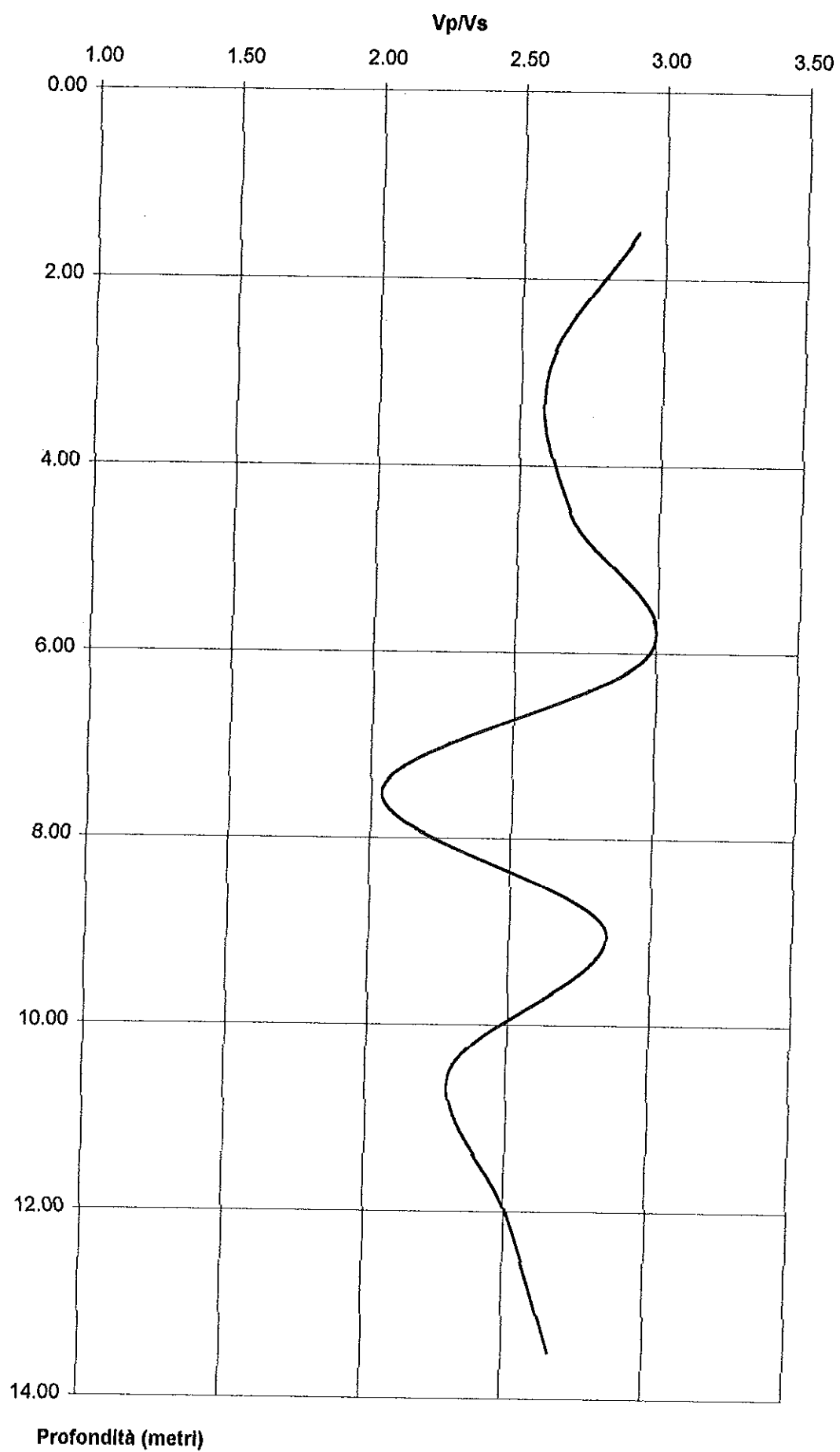
Profondità (metri)

Coefficiente di Poisson D.H.2

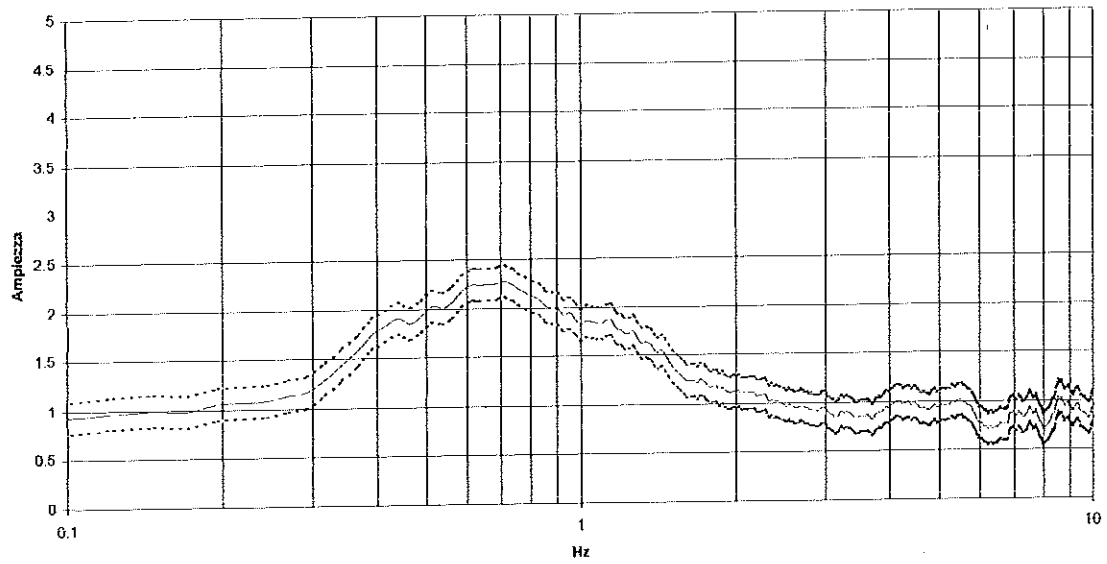
σ



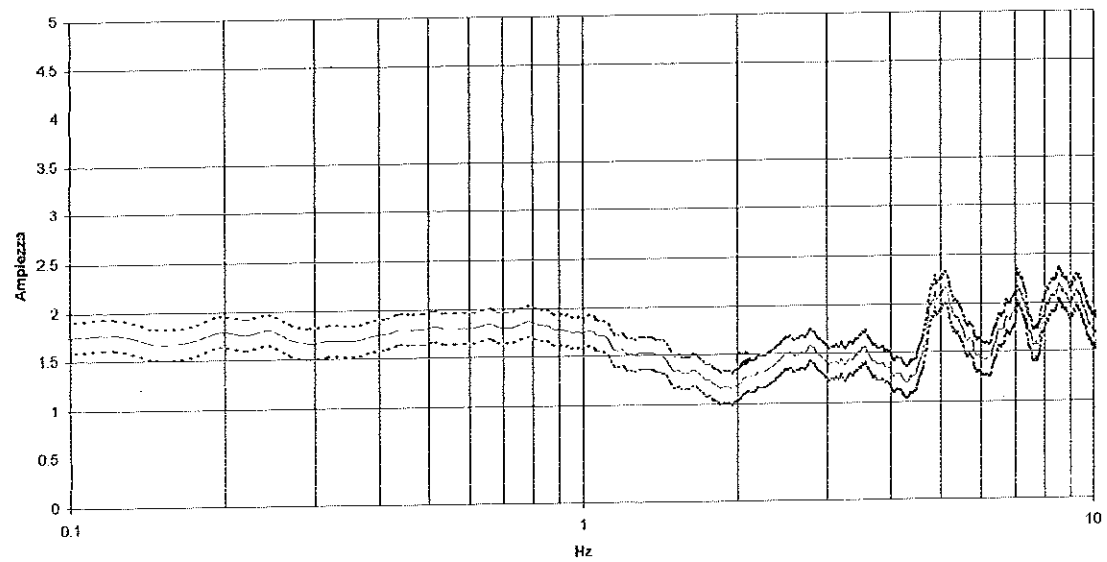
Profondità (metri)



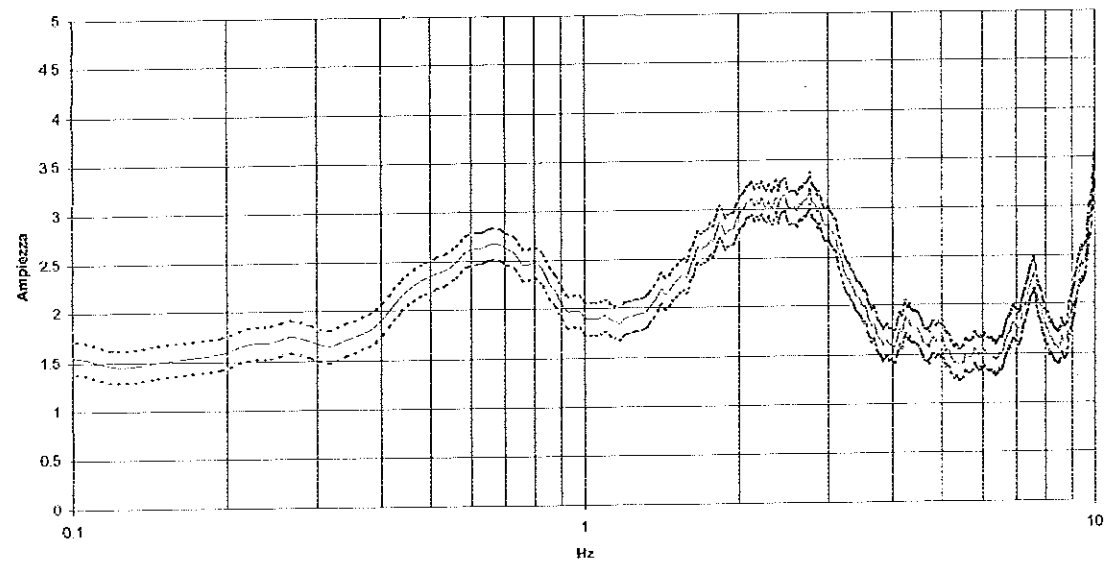
Rapporto spettrale H/V N.1



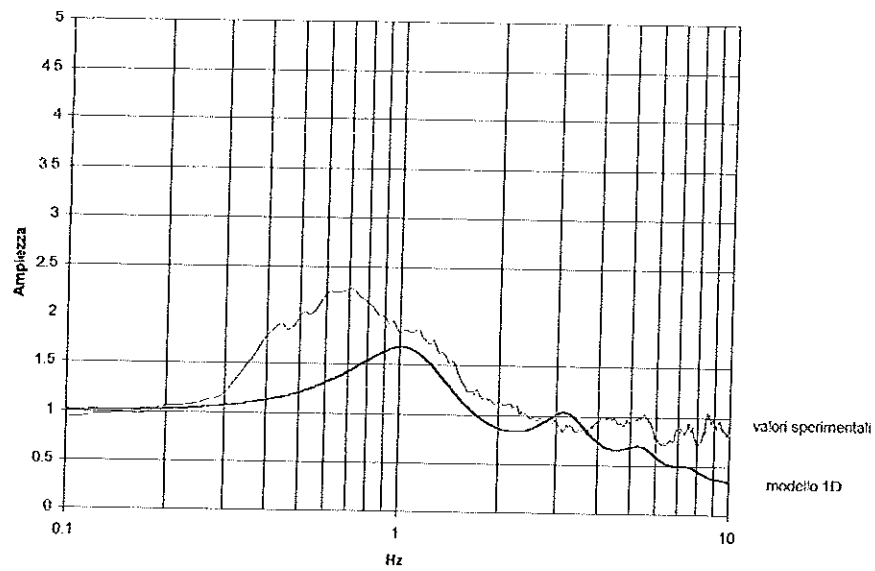
Rapporto spettrale H/V N.2



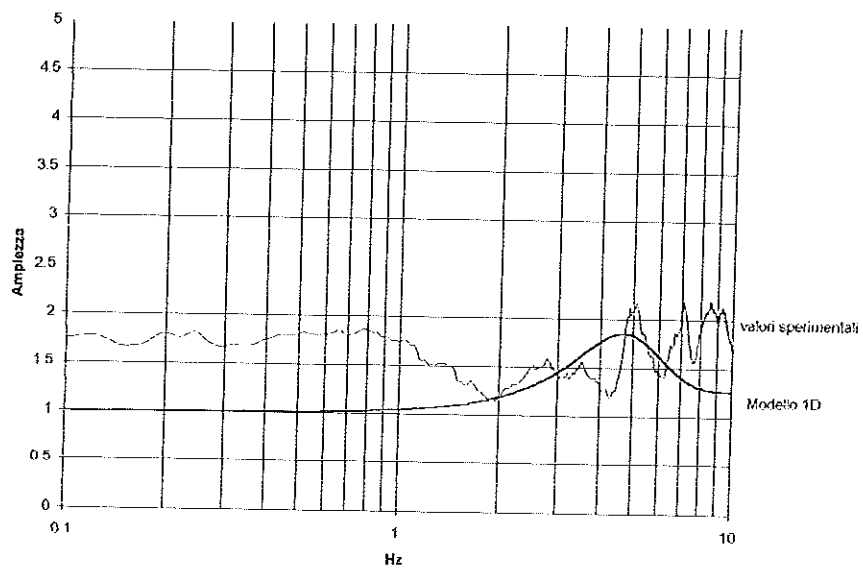
Rapporto spettrale H/V N.3



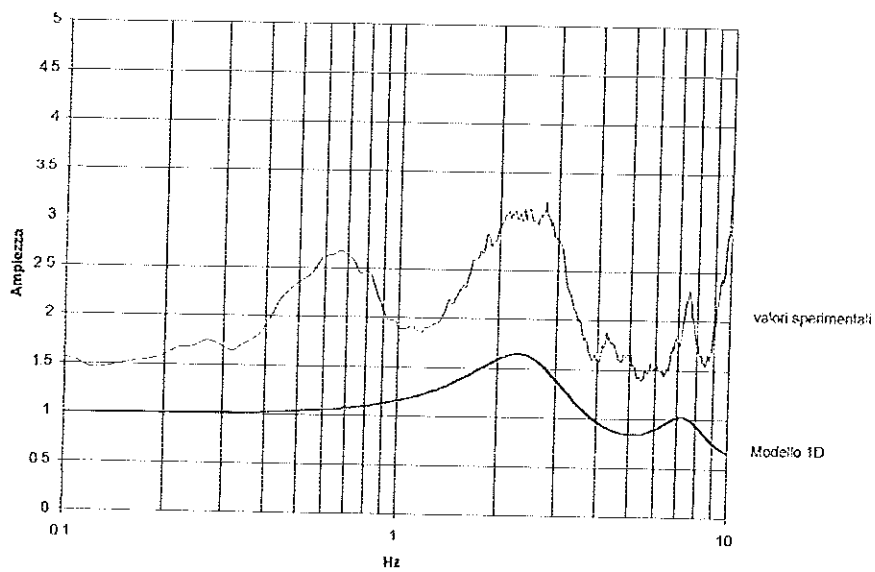
Rapporto spettrale N.1



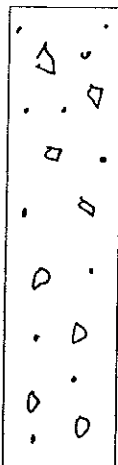
Rapporto spettrale H/V N.2



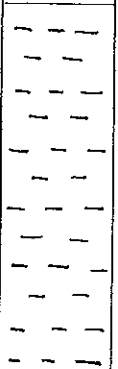
Rapporto spettrale H/V N.3



Legenda



ALLUVIONI



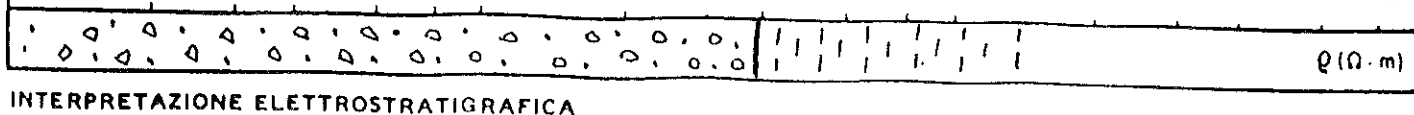
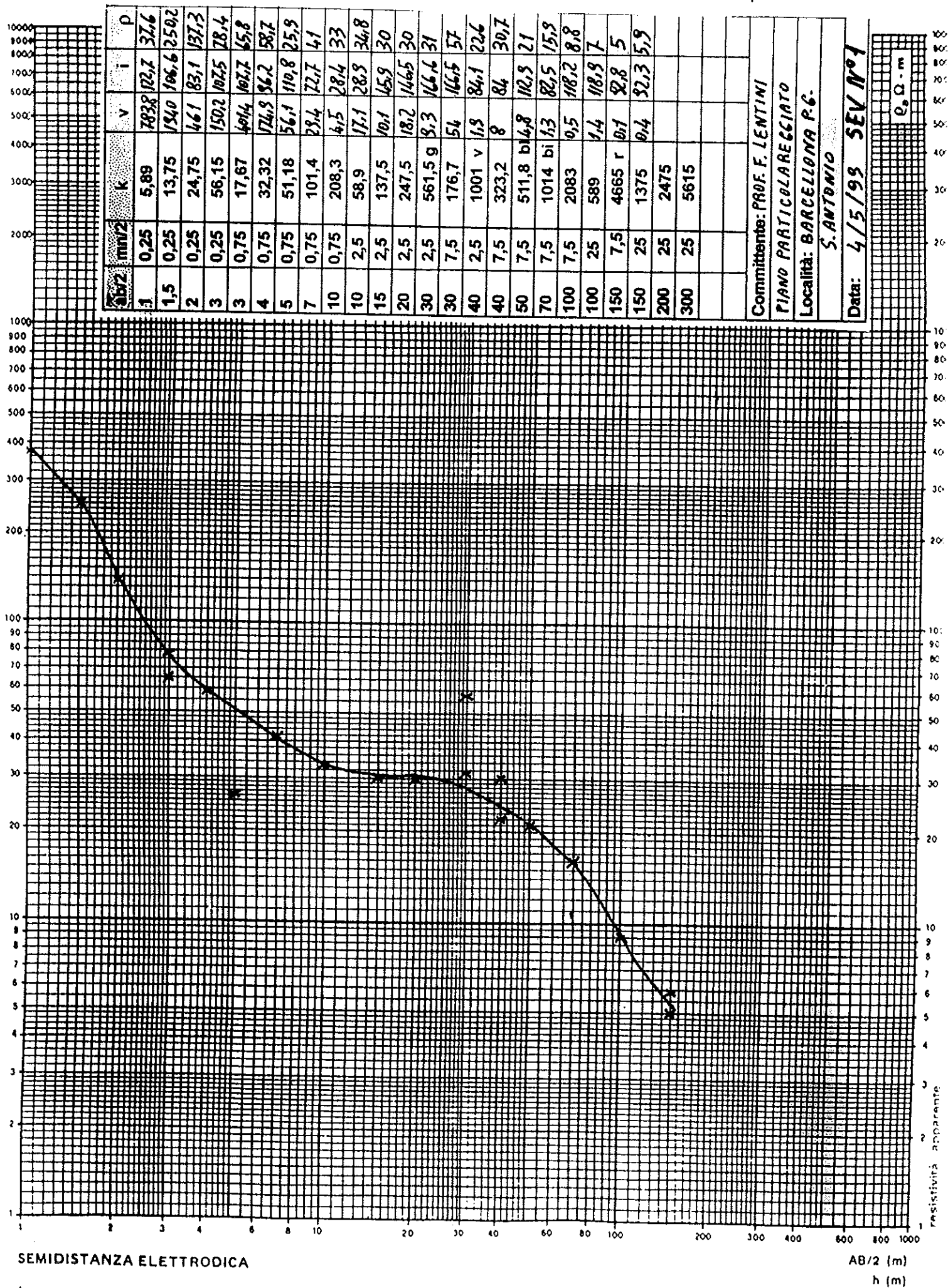
ARGILLE AZZURRE

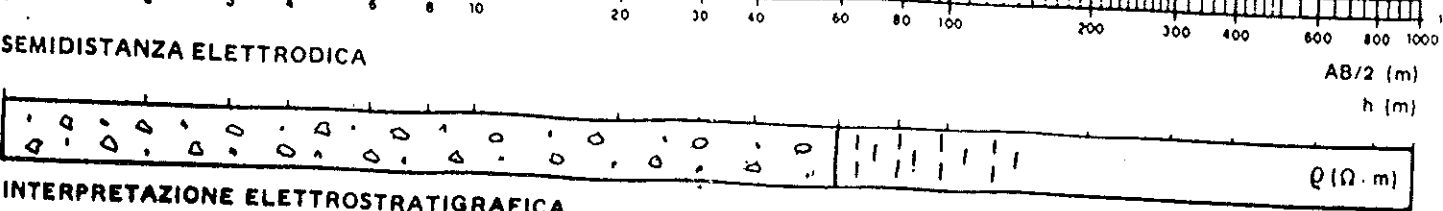
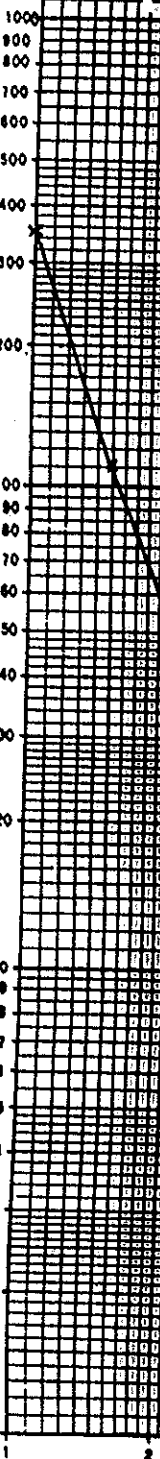
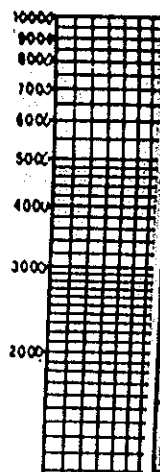
Sondaggi elettrici verticali

Comm: PROF. F.LENTINI

Oggetto:
Piano particolareggiato del comune di Barcellona P.G.

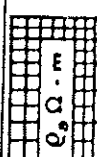
10/05/99

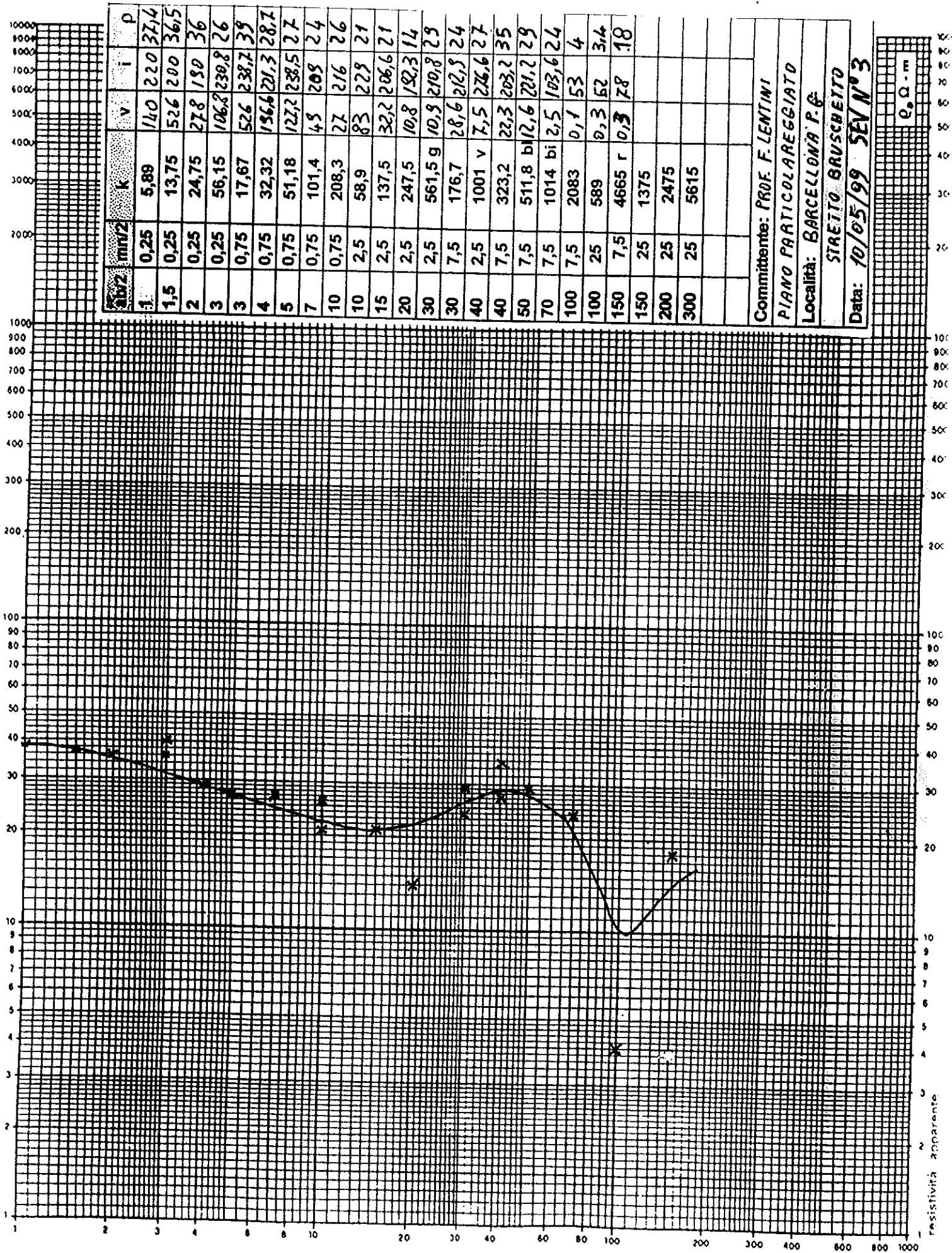




AB/2	mm/2	k	v	i	p
1	0,25	5,89	1195	20,5	343
1,5	0,25	13,75	138,8	17,8	101
2	0,25	24,75	39	18,9	51
3	0,25	56,15	19,5	33,3	32,8
3	0,75	17,67	64	33,4	33,8
4	0,75	32,32	20,8	21,1	31,8
5	0,75	51,18	20,6	33,1	31,8
7	0,75	101,4	25,4	7,5	34
10	0,75	208,3	11,3	59,3	39
10	2,5	58,9	40,8	60	40
15	2,5	137,5	1,3	3	59
20	2,5	247,5	15,5	65,4	58
30	2,5	561,5	5,4	47,7	63
30	7,5	176,7	19,1	47,9	70
40	2,5	1001	1	15,9	62
40	7,5	323,2	4,4	15,7	90
50	7,5	511,8	10	16,8	66
70	7,5	1014	2	33,7	60
100	7,5	2083	2,3	119,5	40
100	25	589	10,6	124	50
150	7,5	4665	r		
150	25	1375			
200	25	2475			
300	25	5615			

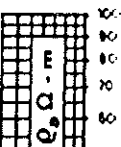
Committente: PROF. F. LENTINI
 PIANO PARTICOLAREGGIATO
 Località: BARCELLONA P.G.
 S. ANDERA (OSPEDALE NUOVO)
 Data: 4/5/99 SEV N°2





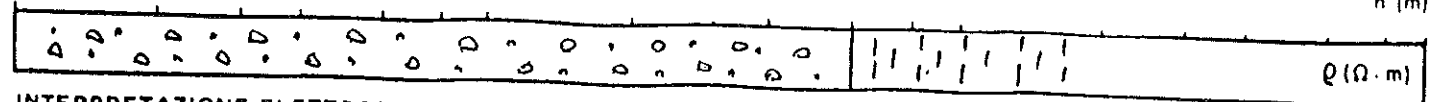
AB/2	mm/2	k	v	i	p
1	0,25	5,89	14,0	220	37,4
1,5	0,25	13,75	52,6	200	36,5
2	0,25	24,75	27,8	190	36
3	0,25	56,15	106,2	239,8	26
3	0,75	17,67	52,6	238,7	39
4	0,75	32,32	156,6	21,3	28,7
5	0,75	51,18	127,2	238,5	27
7	0,75	101,4	45	209	24
10	0,75	208,3	27	216	26
10	2,5	58,9	83	229	21
15	2,5	137,5	32,2	206,6	21
20	2,5	247,5	10,8	192,3	14
30	2,5	561,5	10,9	210,8	29
30	7,5	176,7	28,6	212,3	24
40	2,5	1001	7,5	226,6	27
40	7,5	323,2	22,3	203,2	35
50	7,5	511,8	12,6	211,2	29
70	7,5	1014	2,5	103,6	24
100	7,5	2083	0,1	53	4
100	25	589	0,3	52	3,4
150	7,5	4665	0,3	78	18
150	25	1375			
200	25	2475			
300	25	5615			

Committente: **PROF. F. LENTINI**
 PIANO PARTICOLAREGGIATO
 Località: **BARCELLONA P.G.**
STRETTO BRUSCHETTO
 Data: **10/05/99** **SEN N°3**



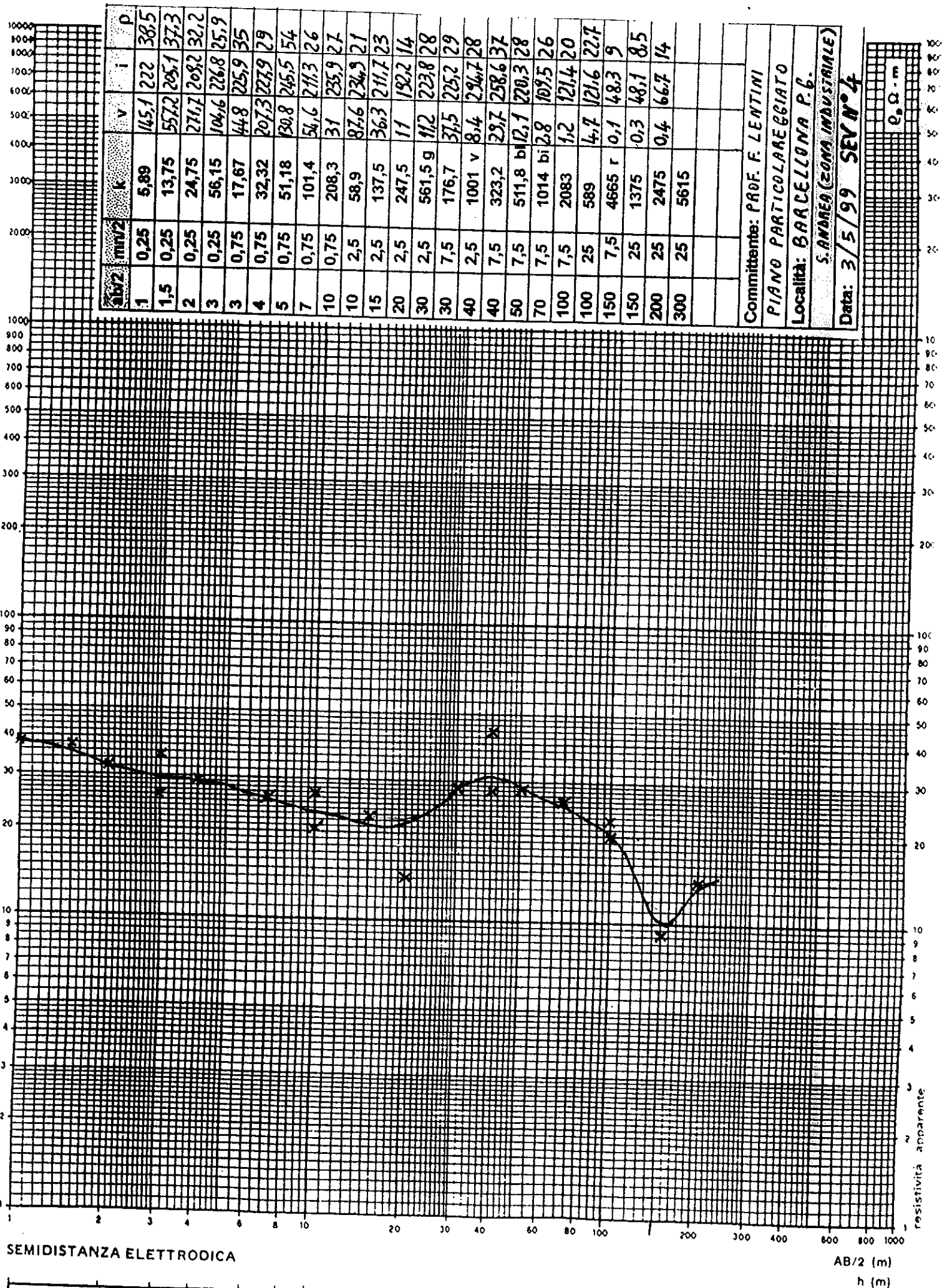
SEMIDISTANZA ELETTRODICA

AB/2 (m)
h (m)



$\rho_a (\Omega \cdot m)$

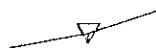
INTERPRETAZIONE ELETTROSTRATIGRAFICA



SEMIDISTANZA ELETTRODICA

INTERPRETAZIONE ELETTROSTRATIGRAFICA

LEGENDA



Tempi dei primi arrivi ai geofoni



Profilo topografico



Distanza dalla superficie topografica del limite di strato all'involuppo degli archi

2500 m/s

Velocita' sismica dello strato in metri al secondo

PROSPEZIONE SISMICA

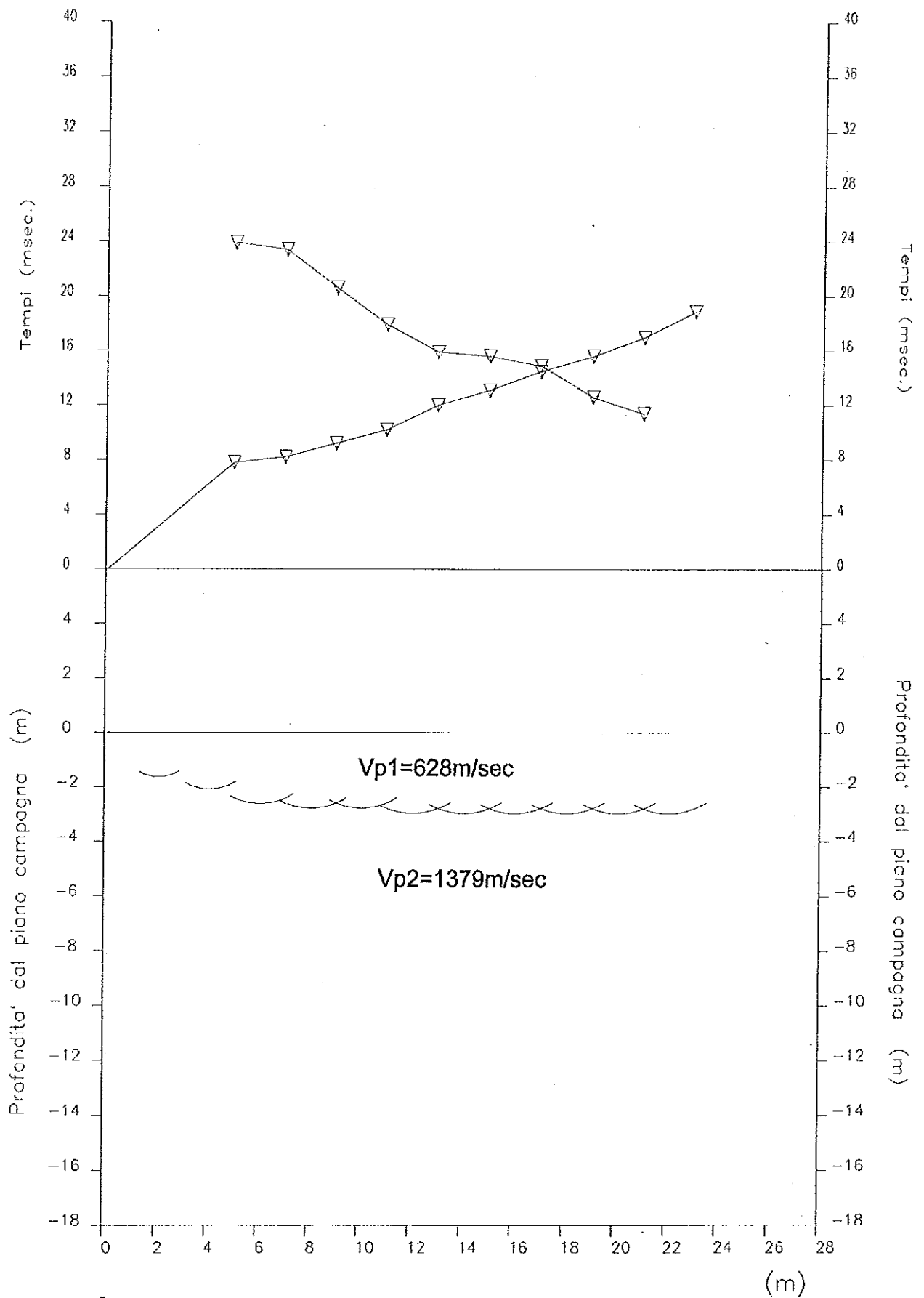
Comm: PROF. F.LENTINI

Oggetto:

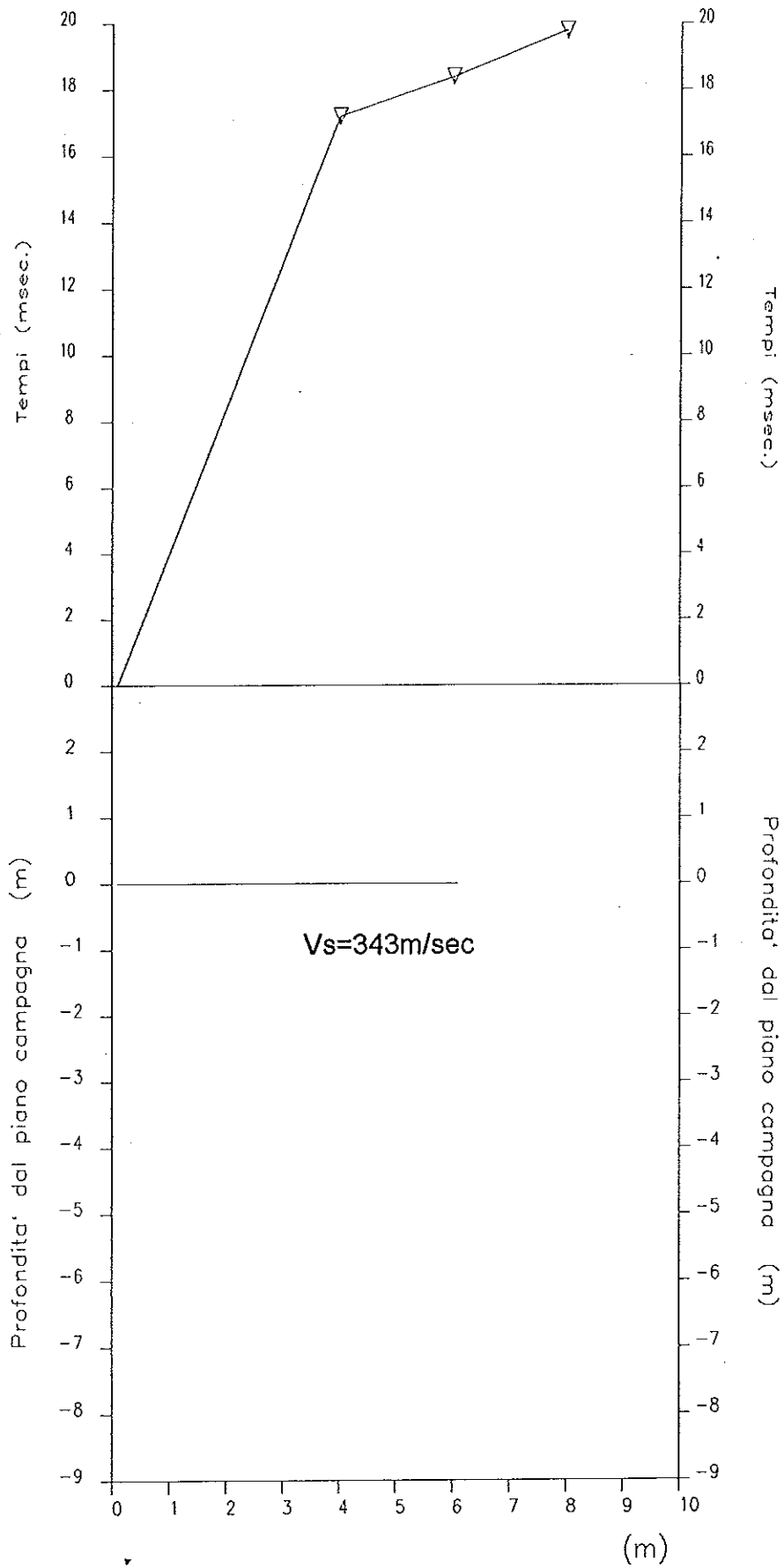
Piano particolareggiato del comune di Barcellona P.G.

21/05/99

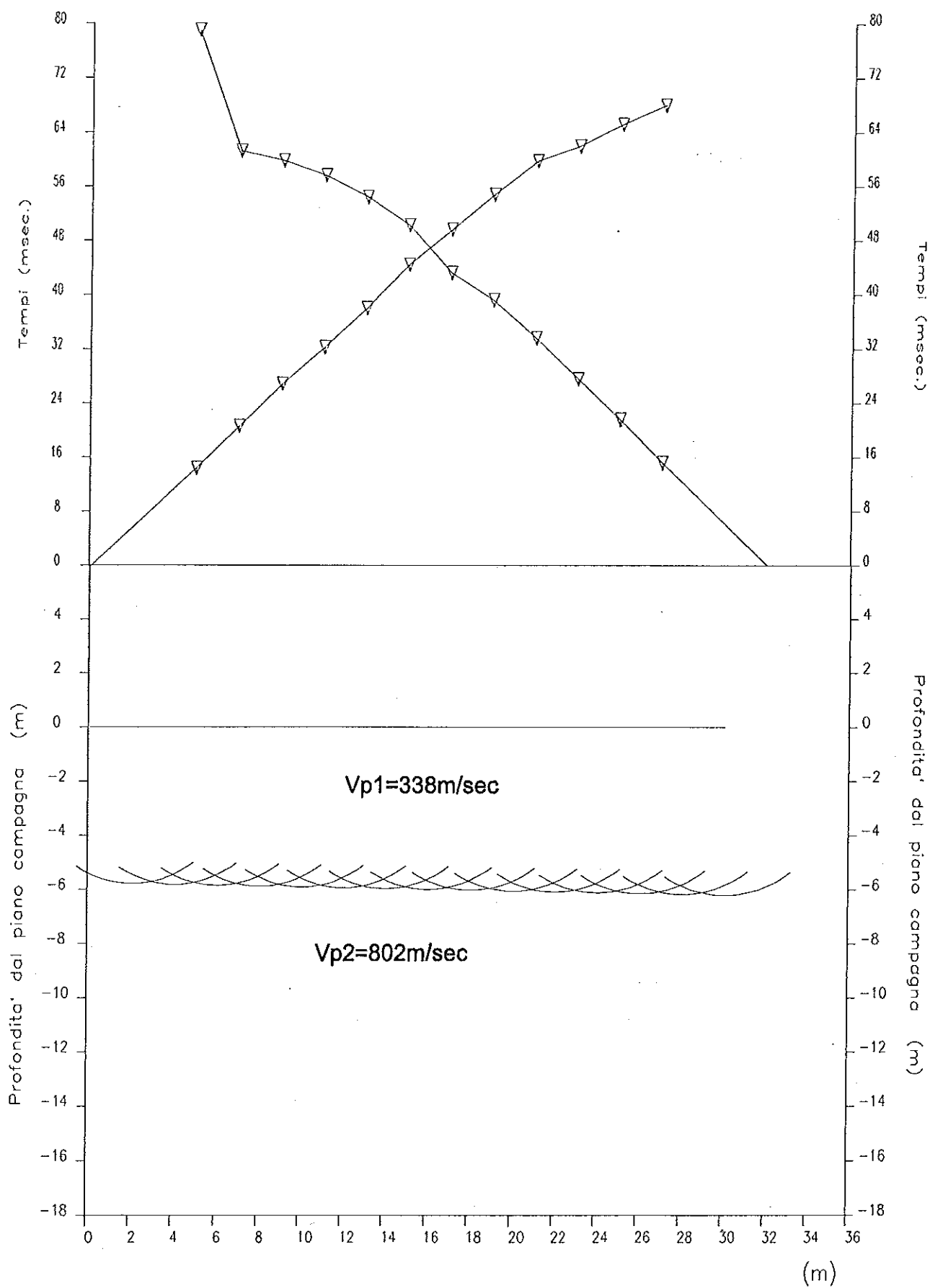
BASE SISMICA N°1



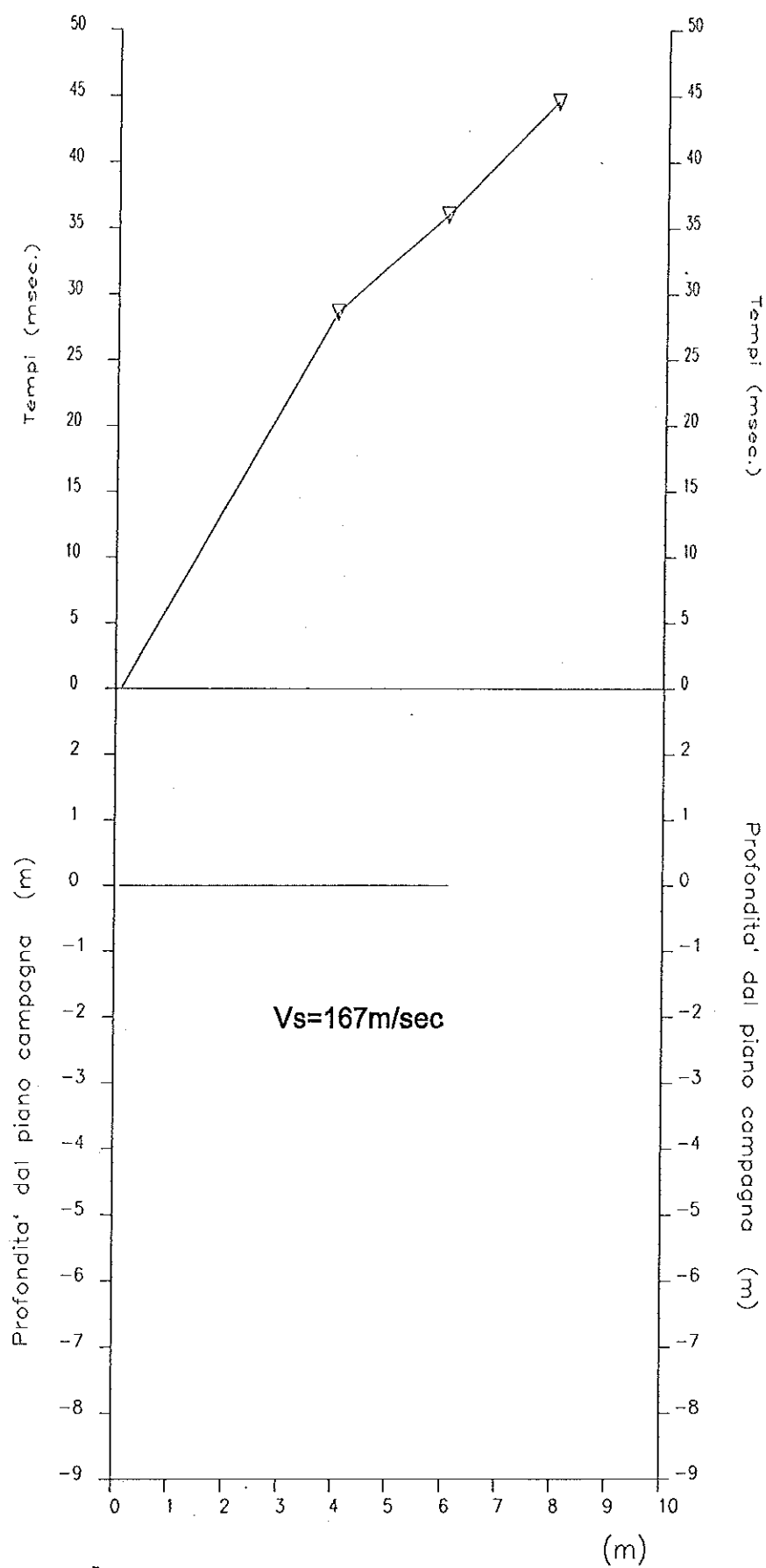
BASE SISMICA N°1S



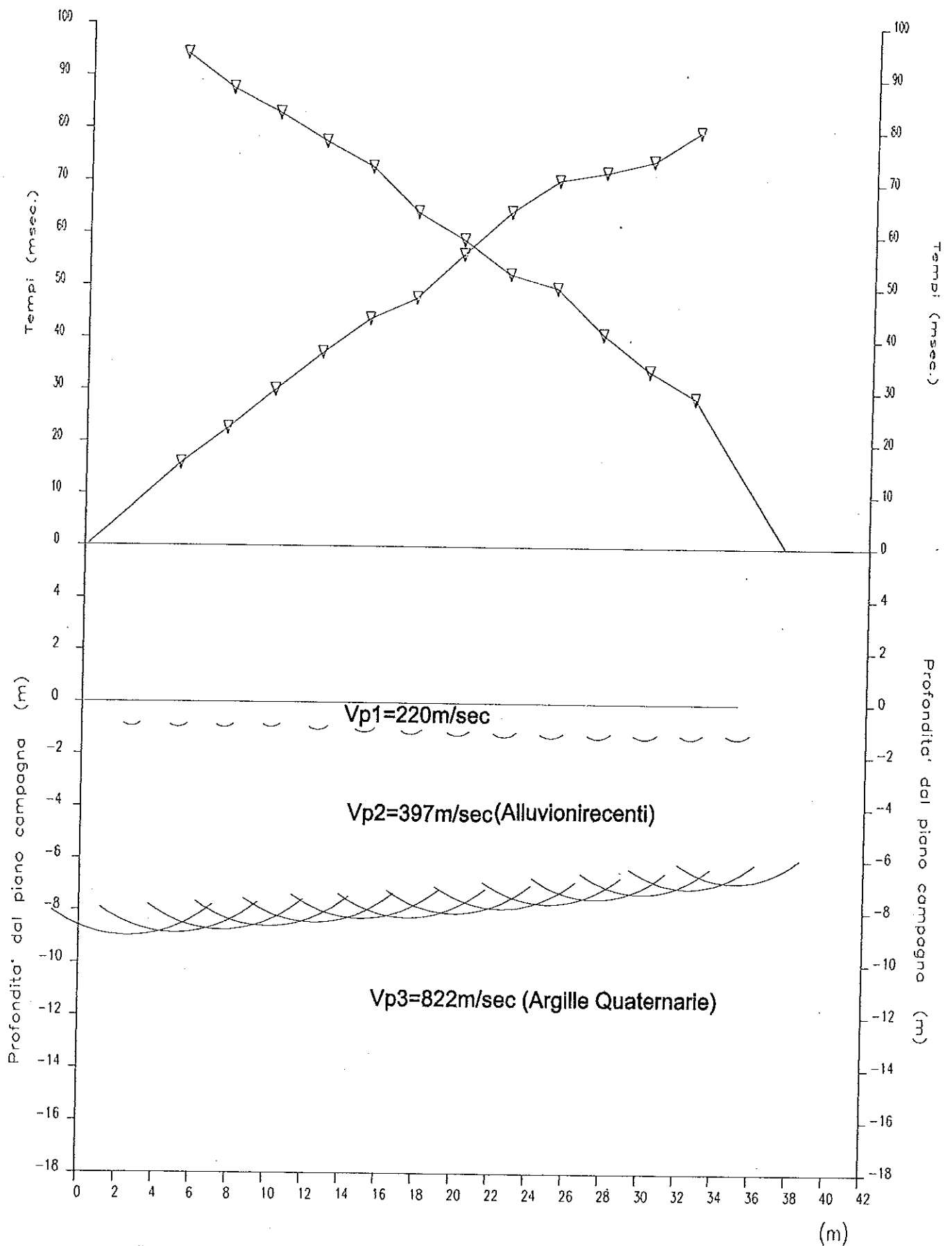
BASE SISMICA N°2



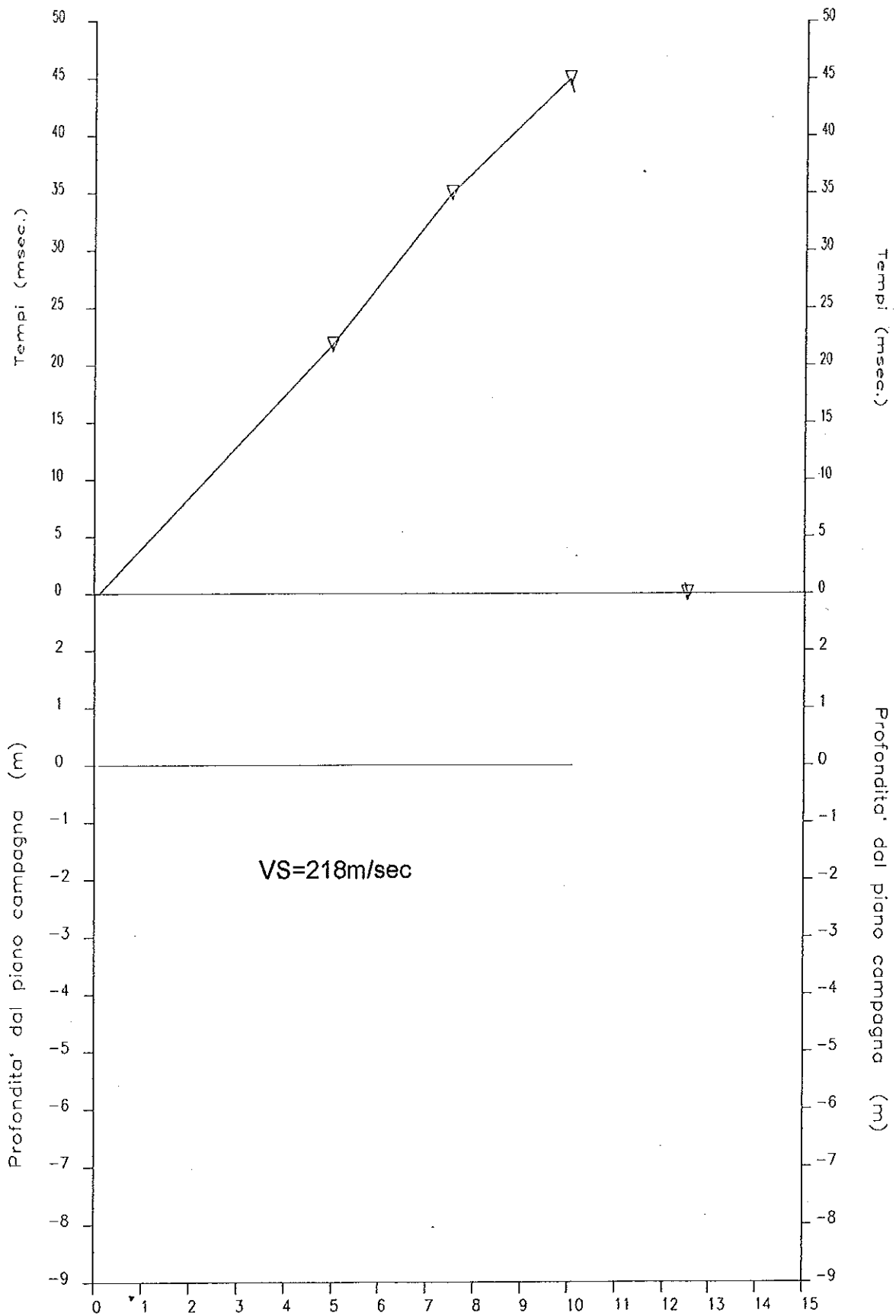
BASE SISMICA N°2S



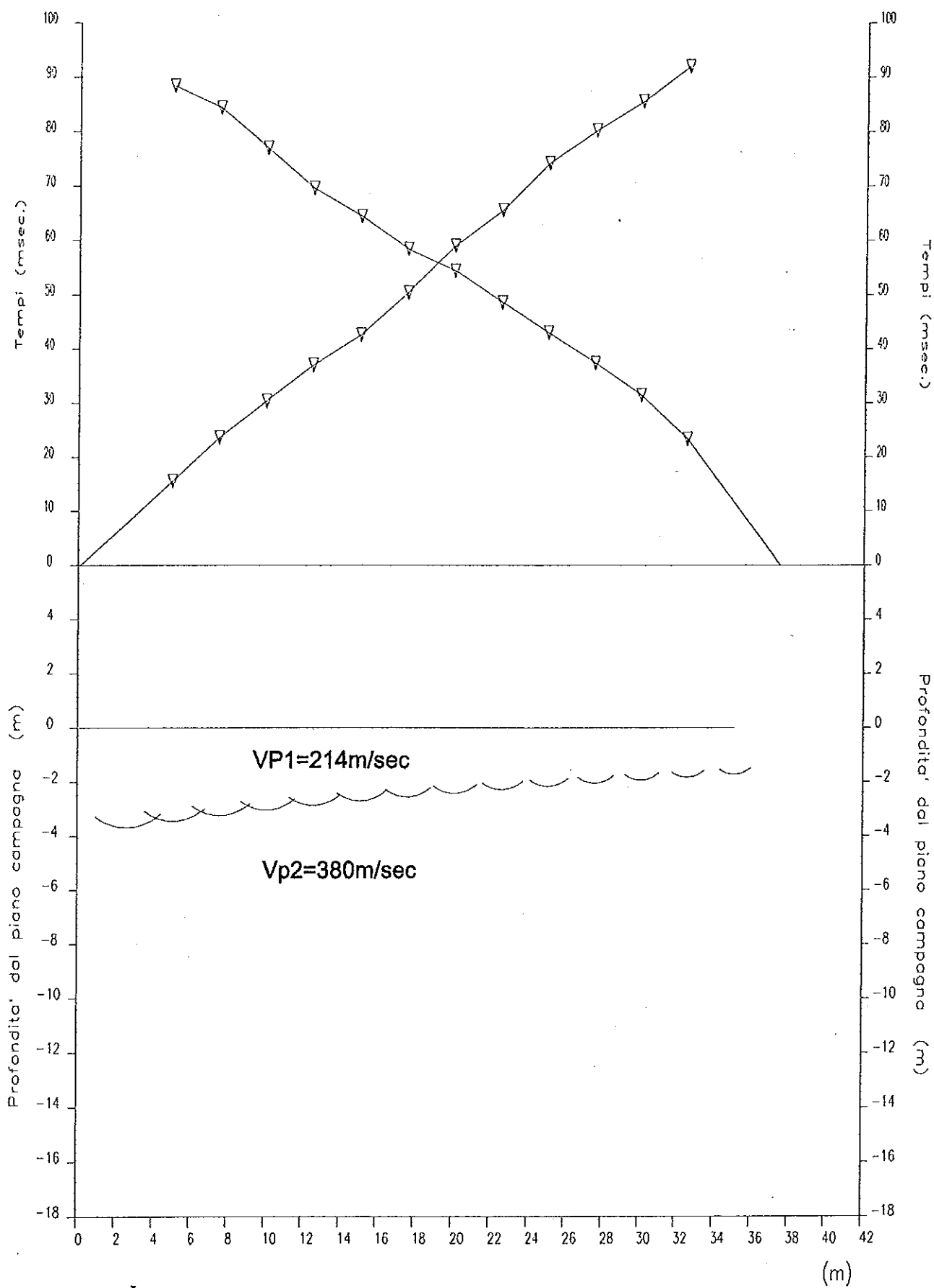
BASE SISMICA N°3



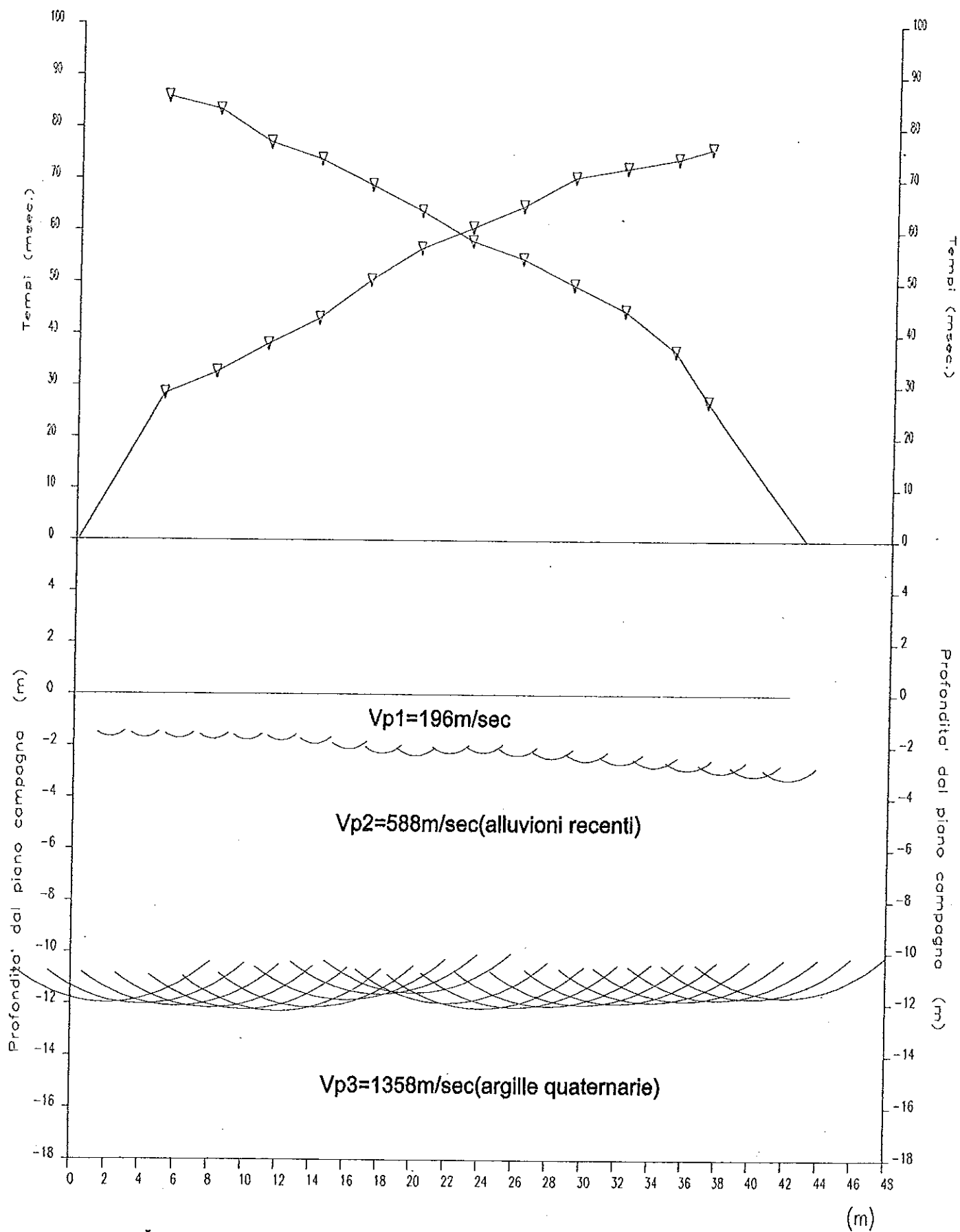
BASE SIMICA N°3S



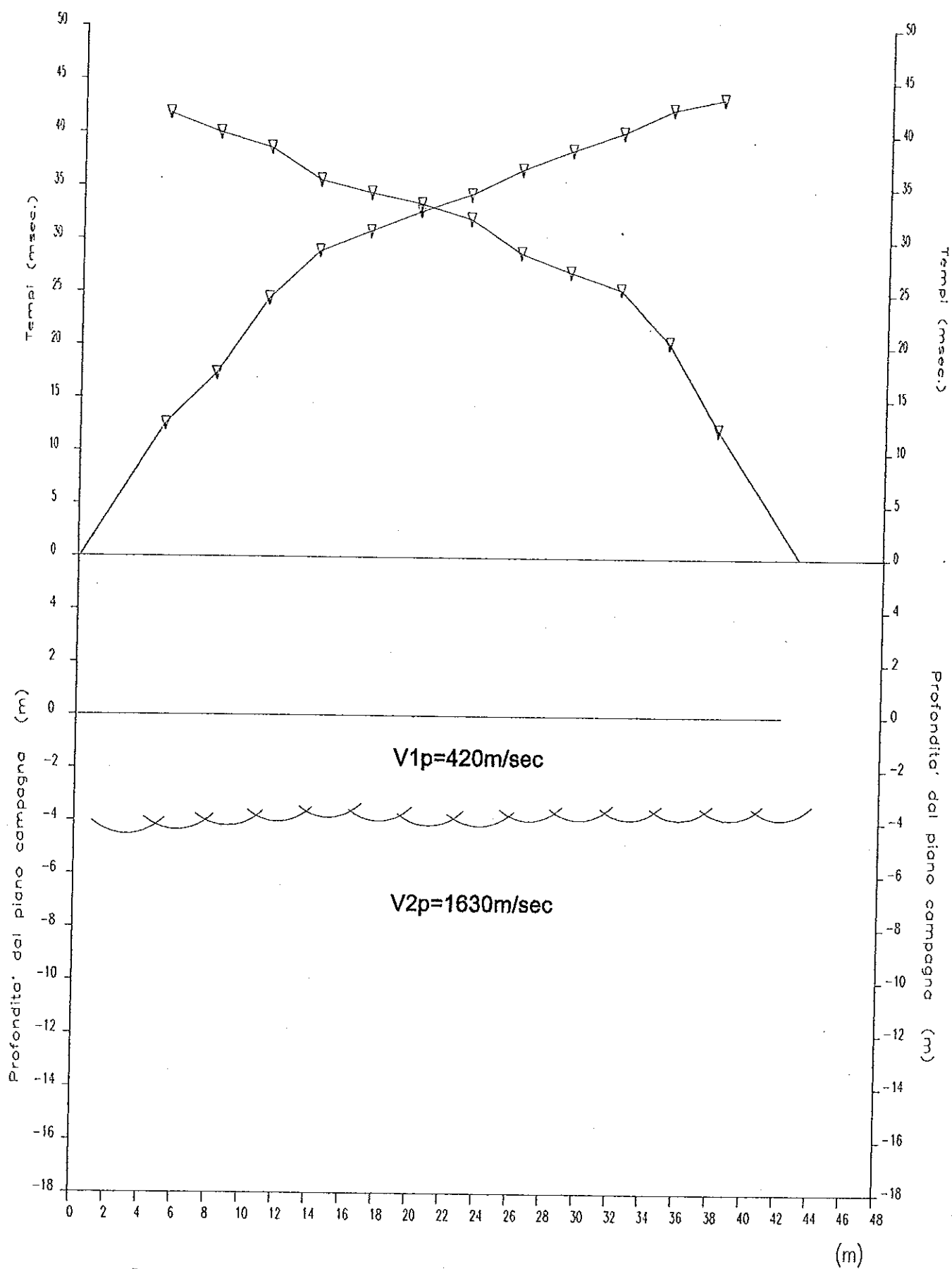
BASE SISMICA N°4



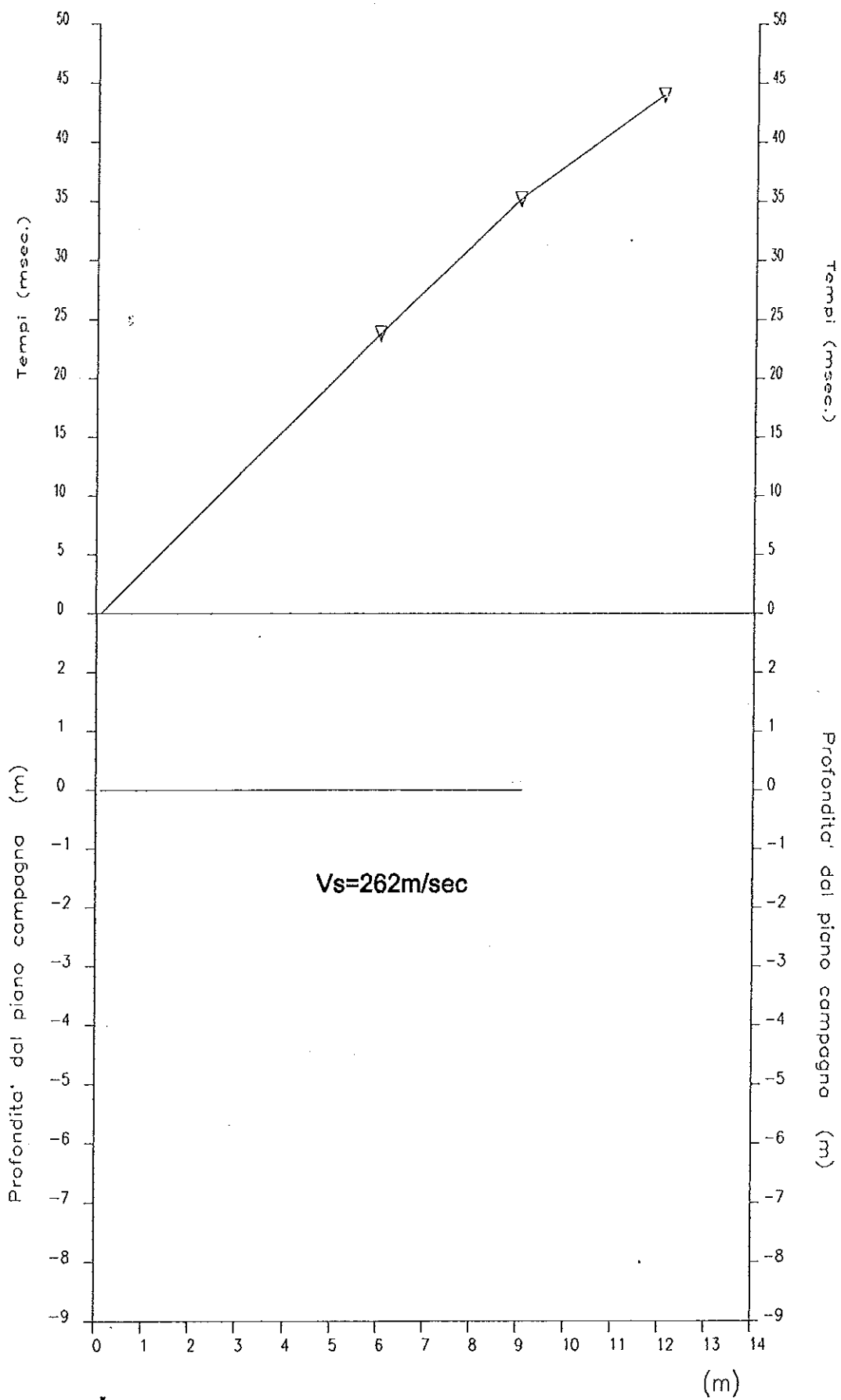
BASE SISMICA N°5



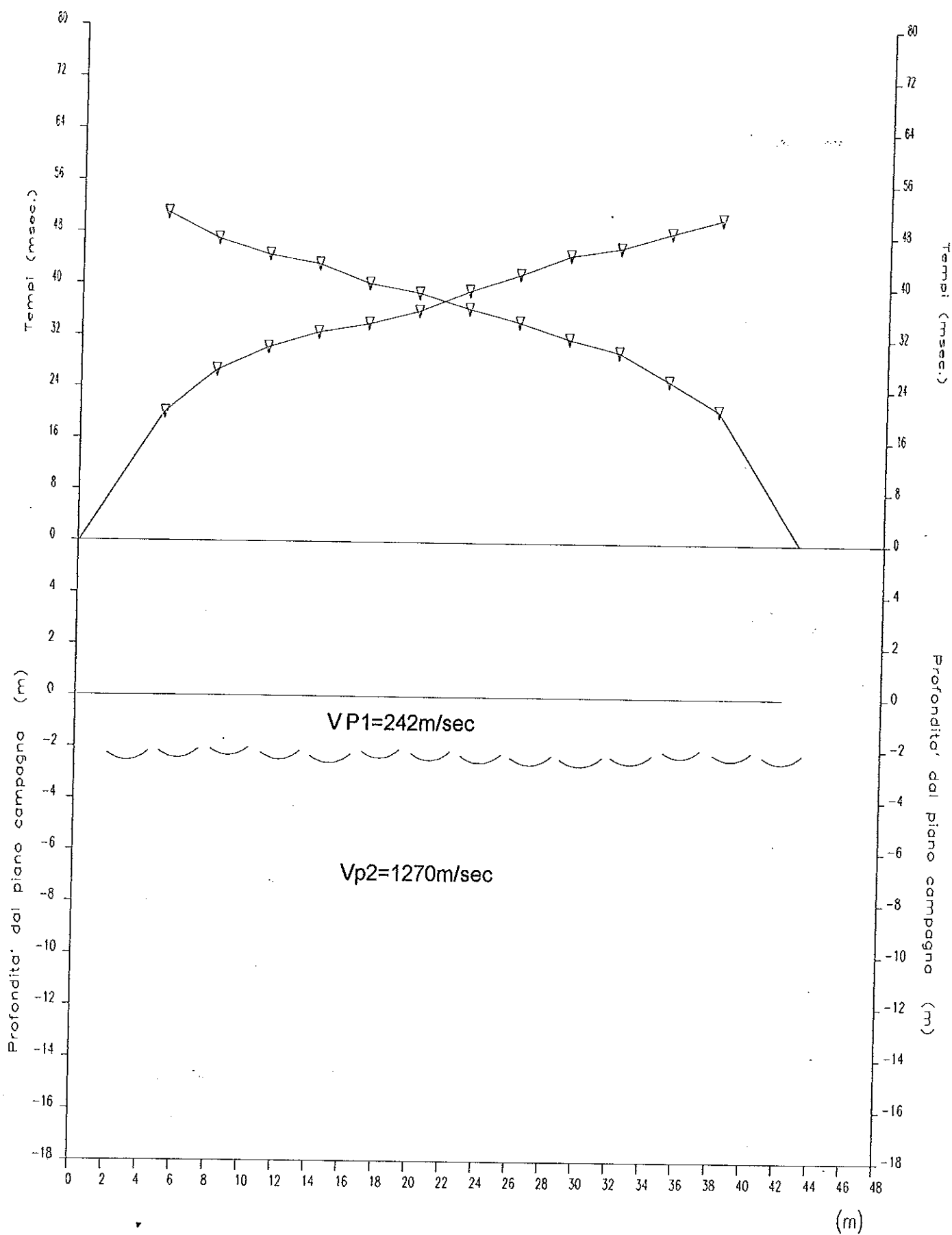
BASE SISMICA N°6



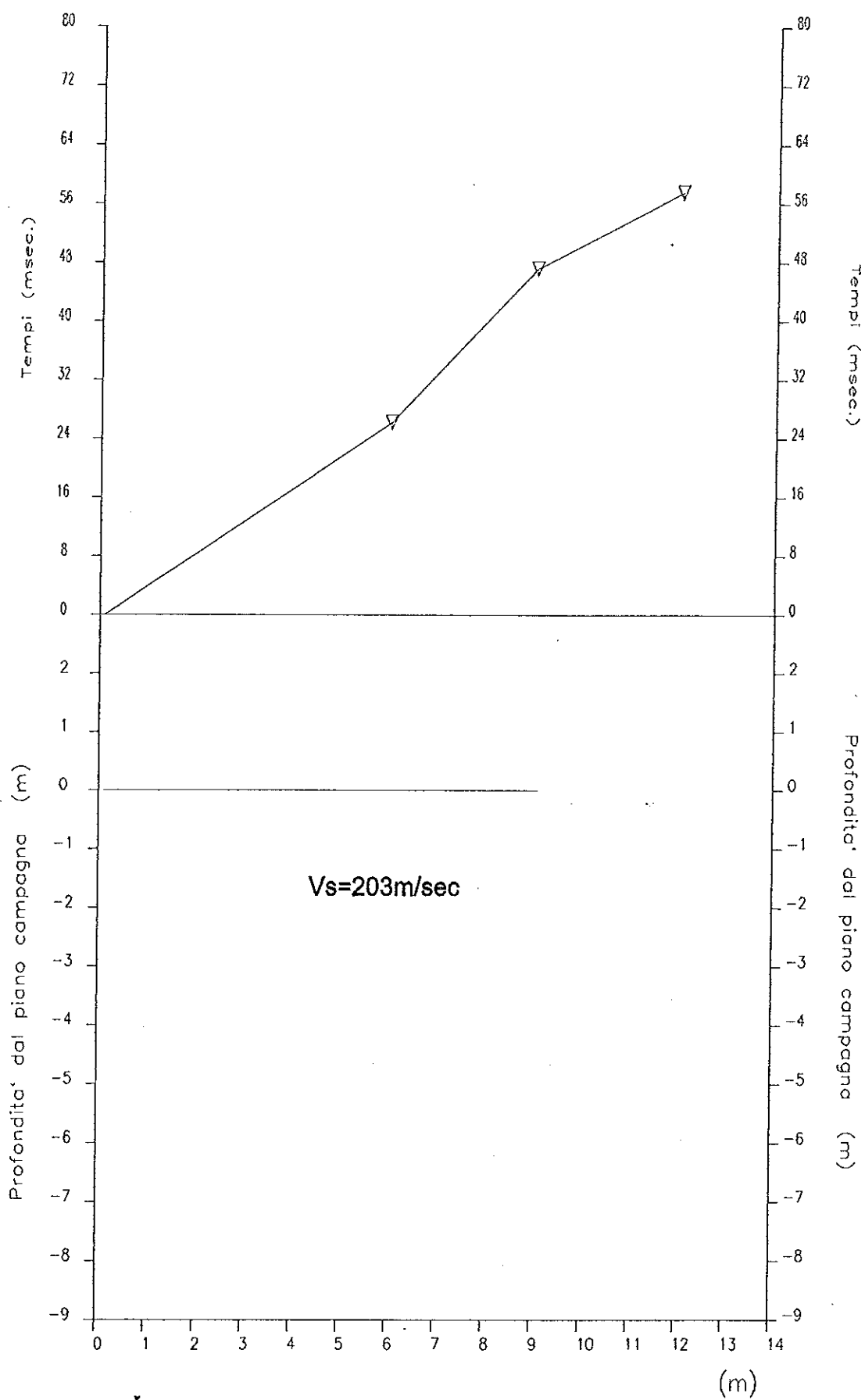
BASE SISMICA N° 6S



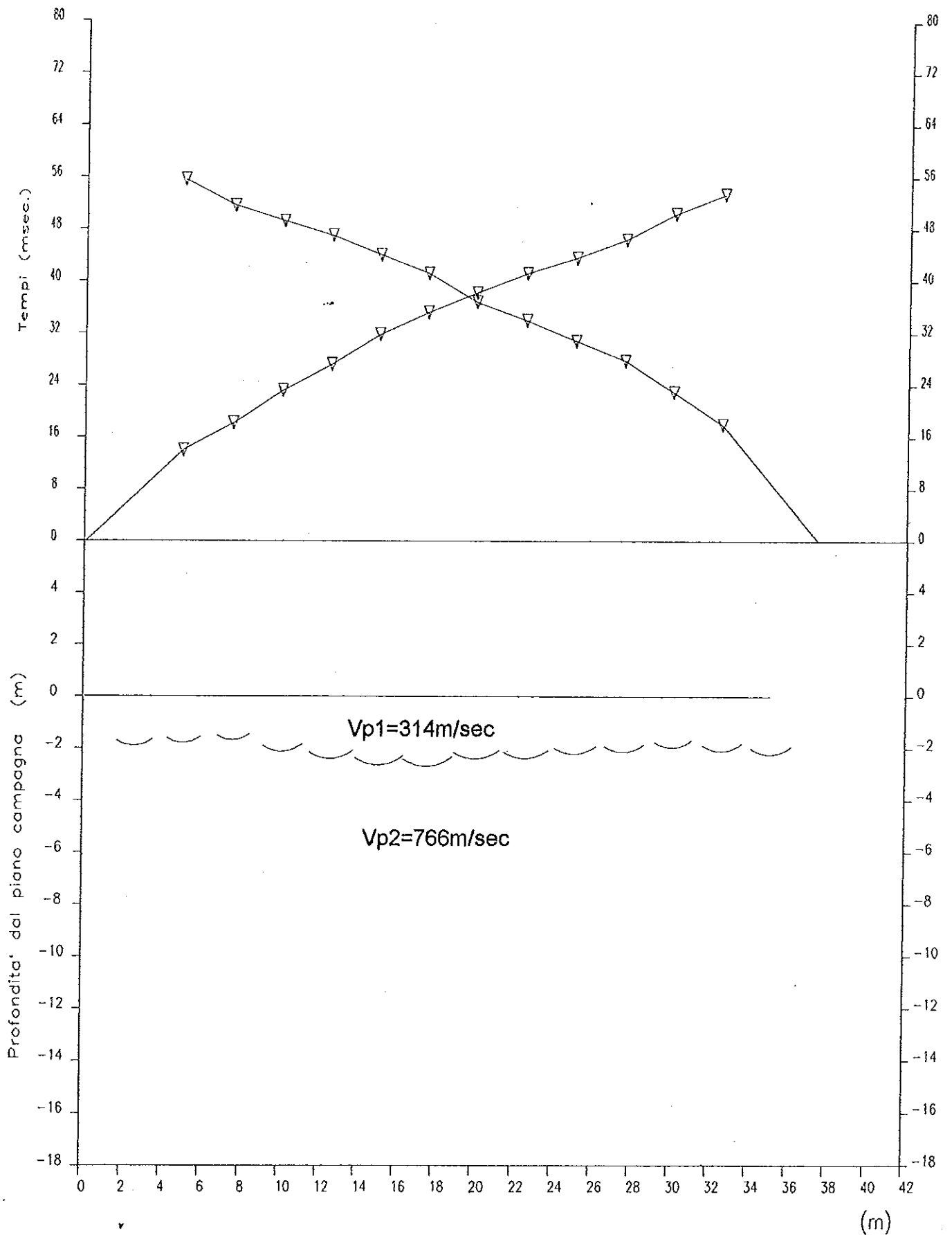
BASE SISMICA N°7



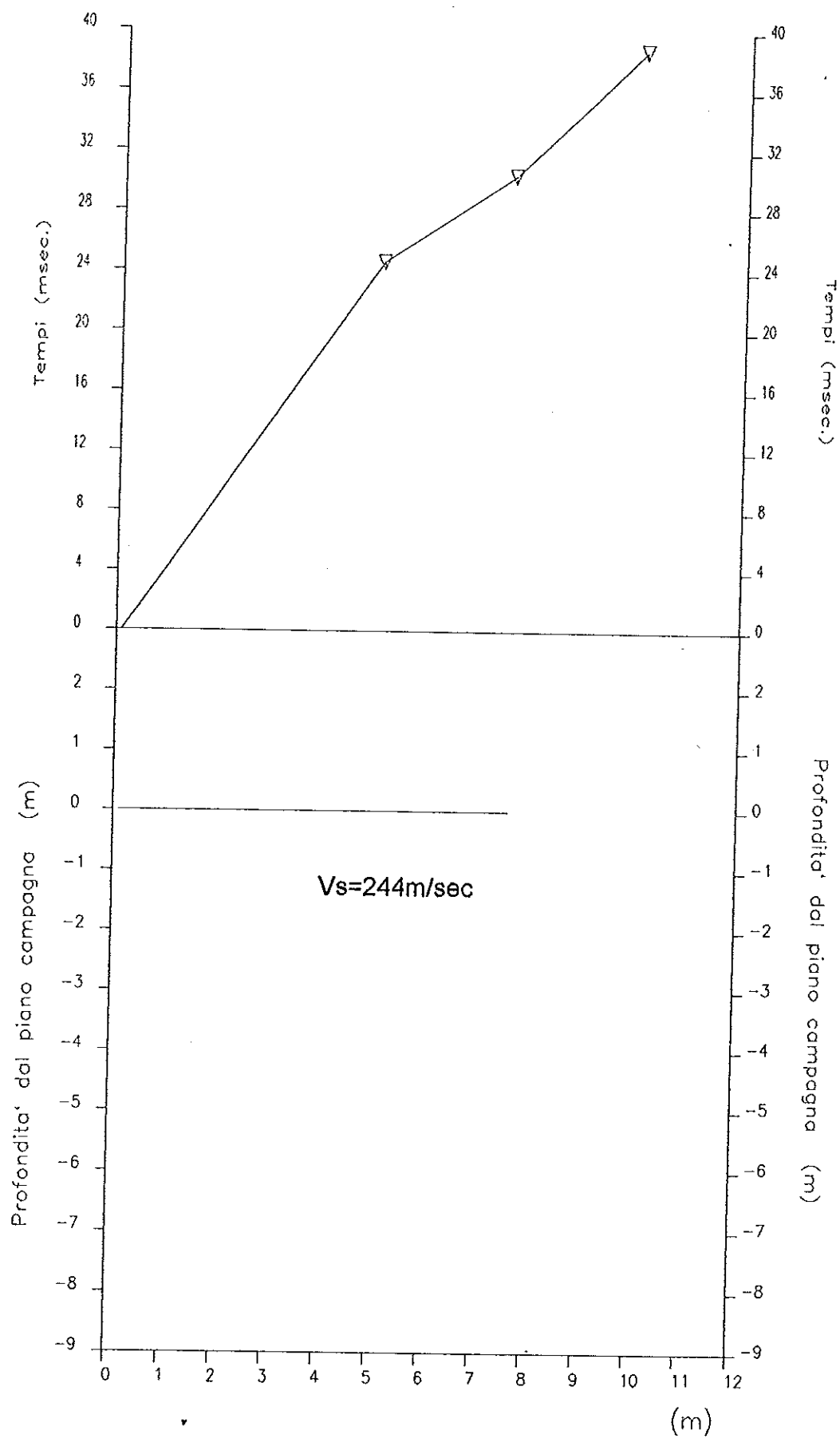
BASE SISMICA N°75



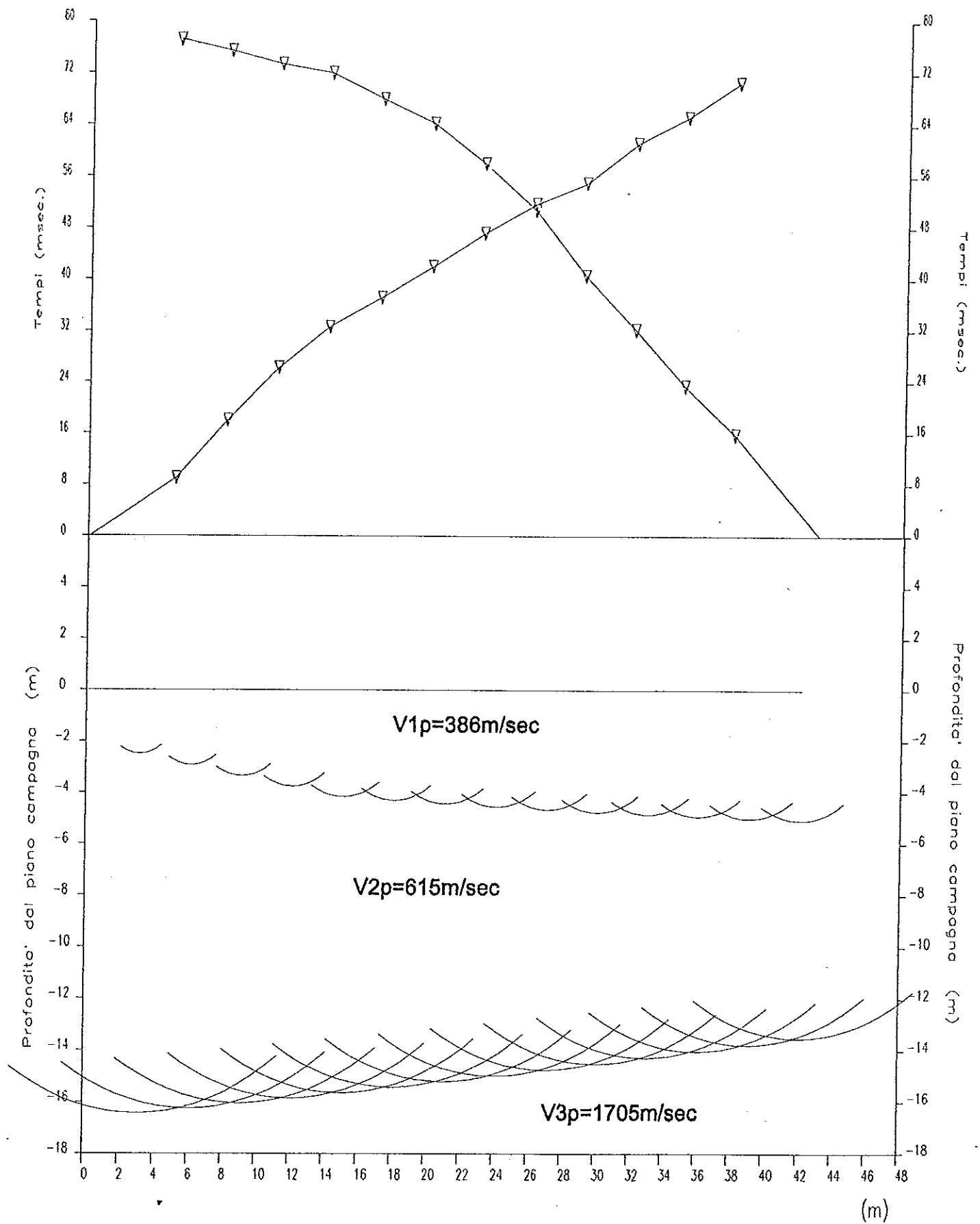
BASE SISMICA N°8



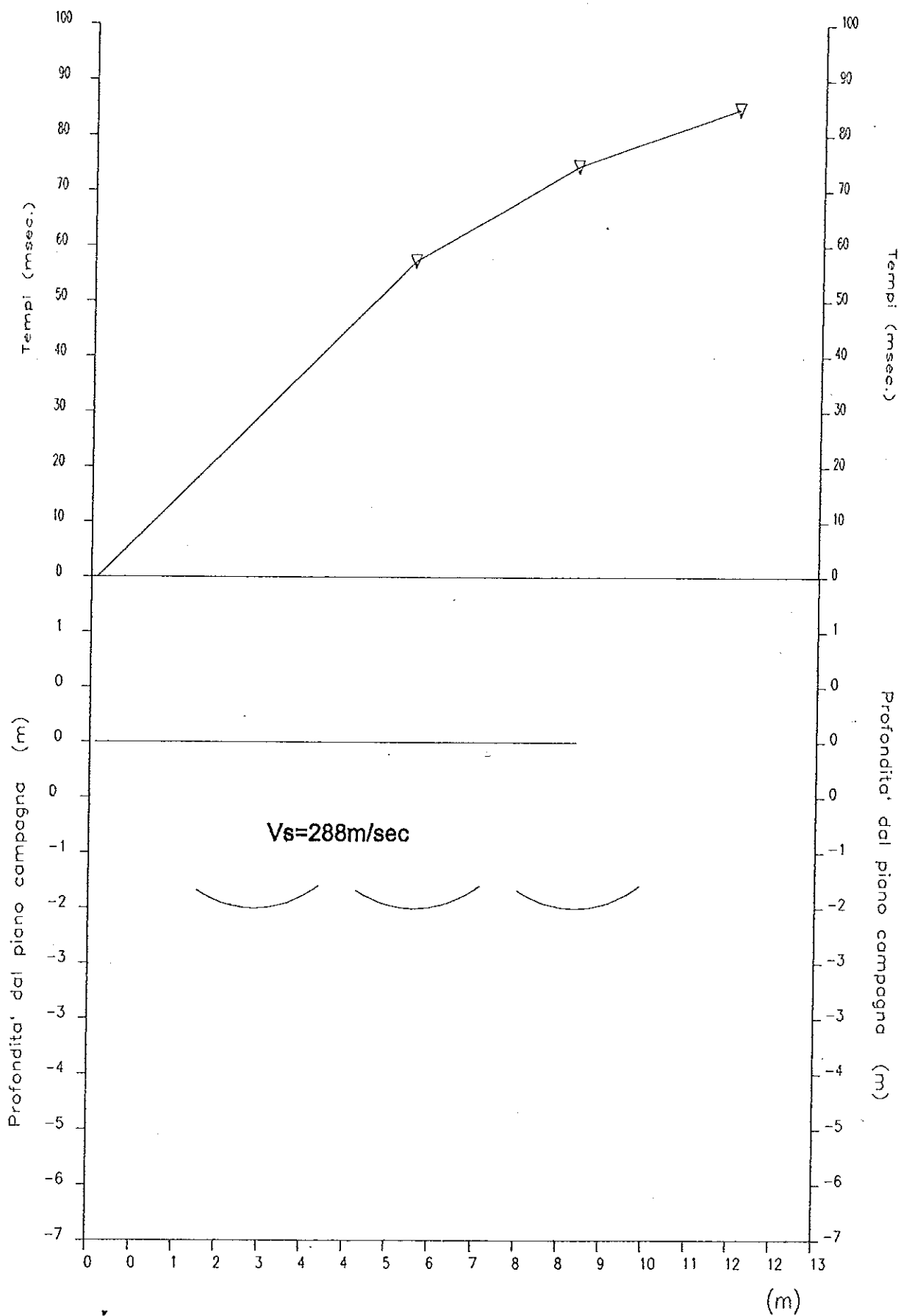
BASE SISMICA N°8S



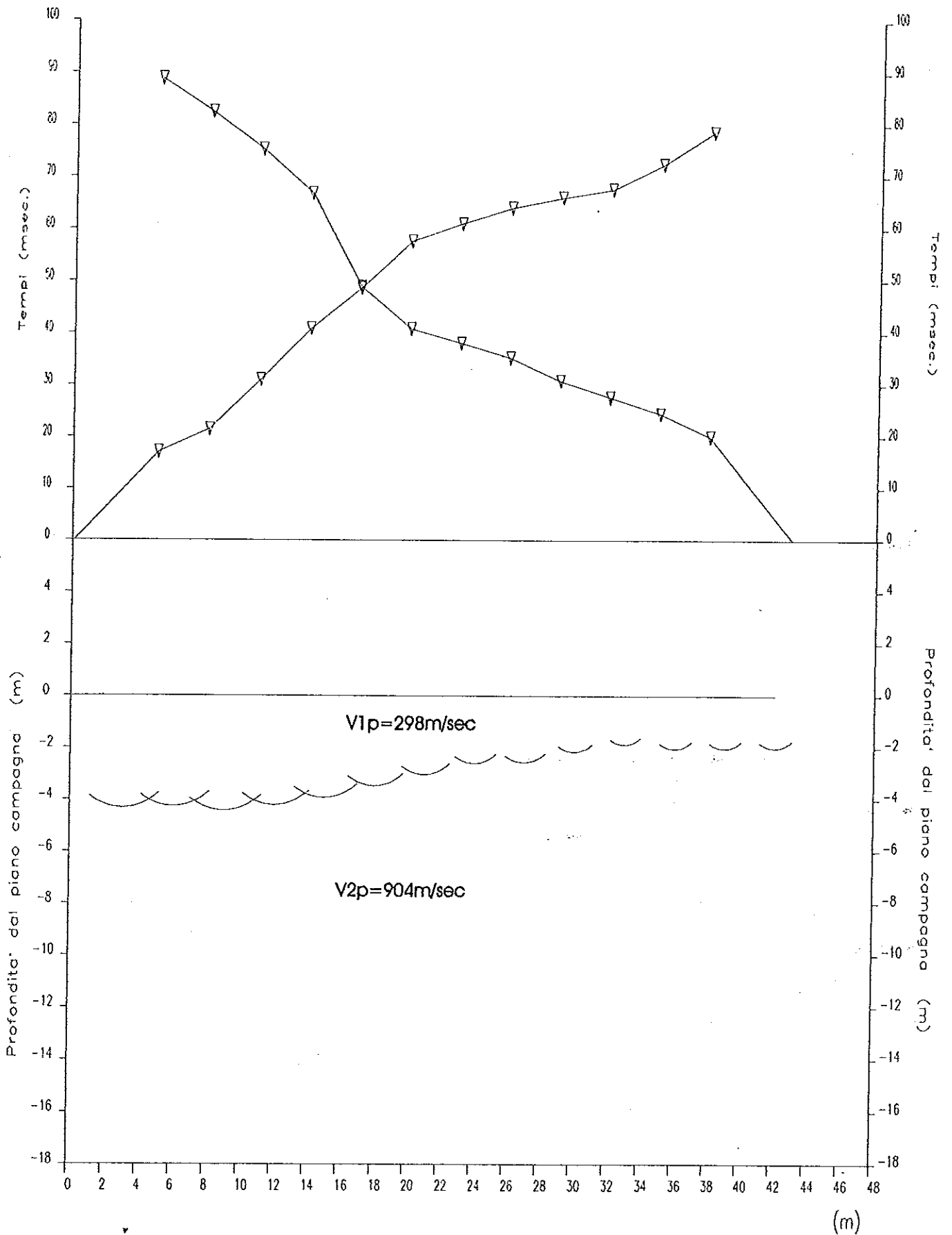
BASE SISMICA N°9



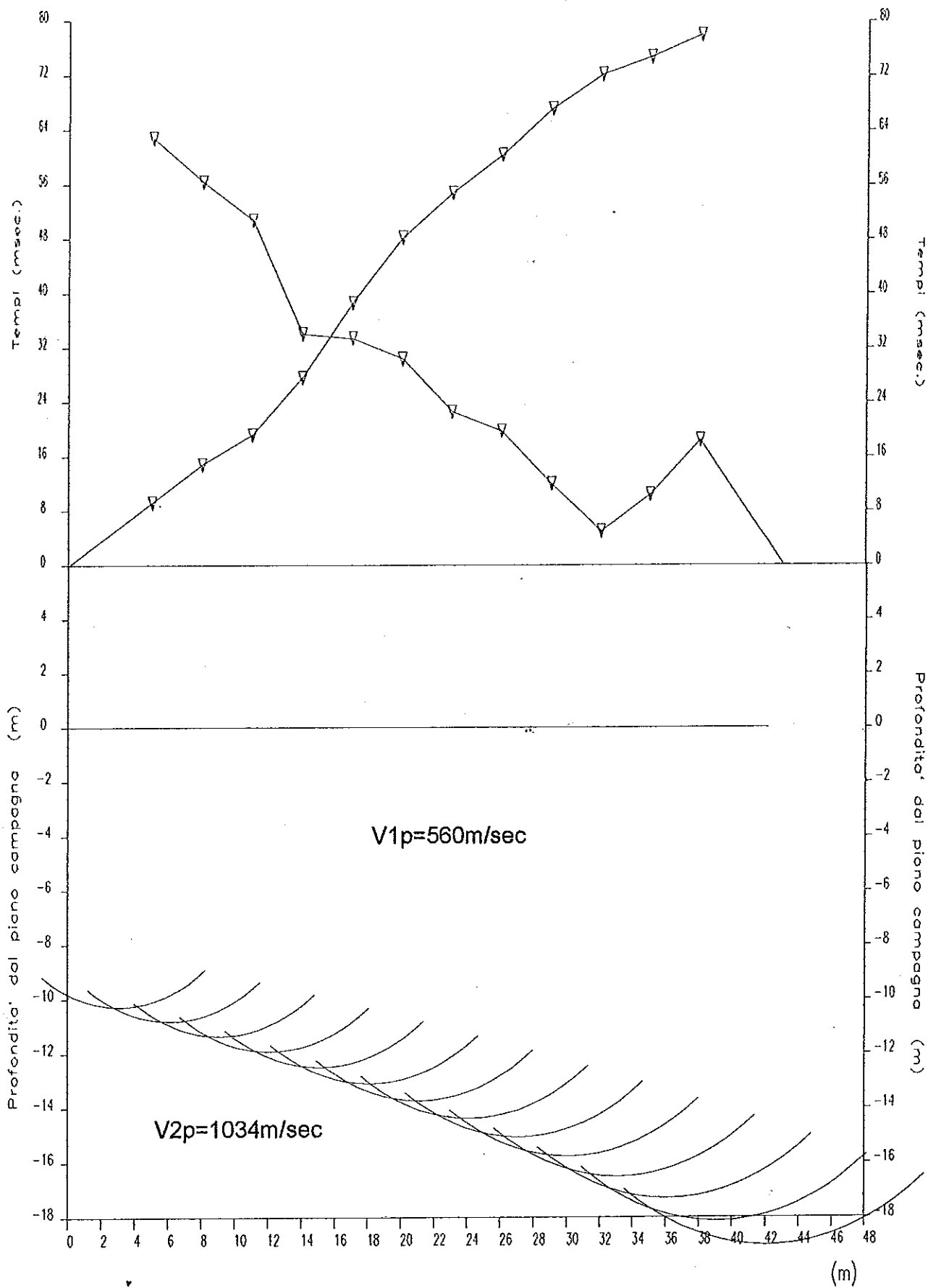
BASE SISMICA N°9S



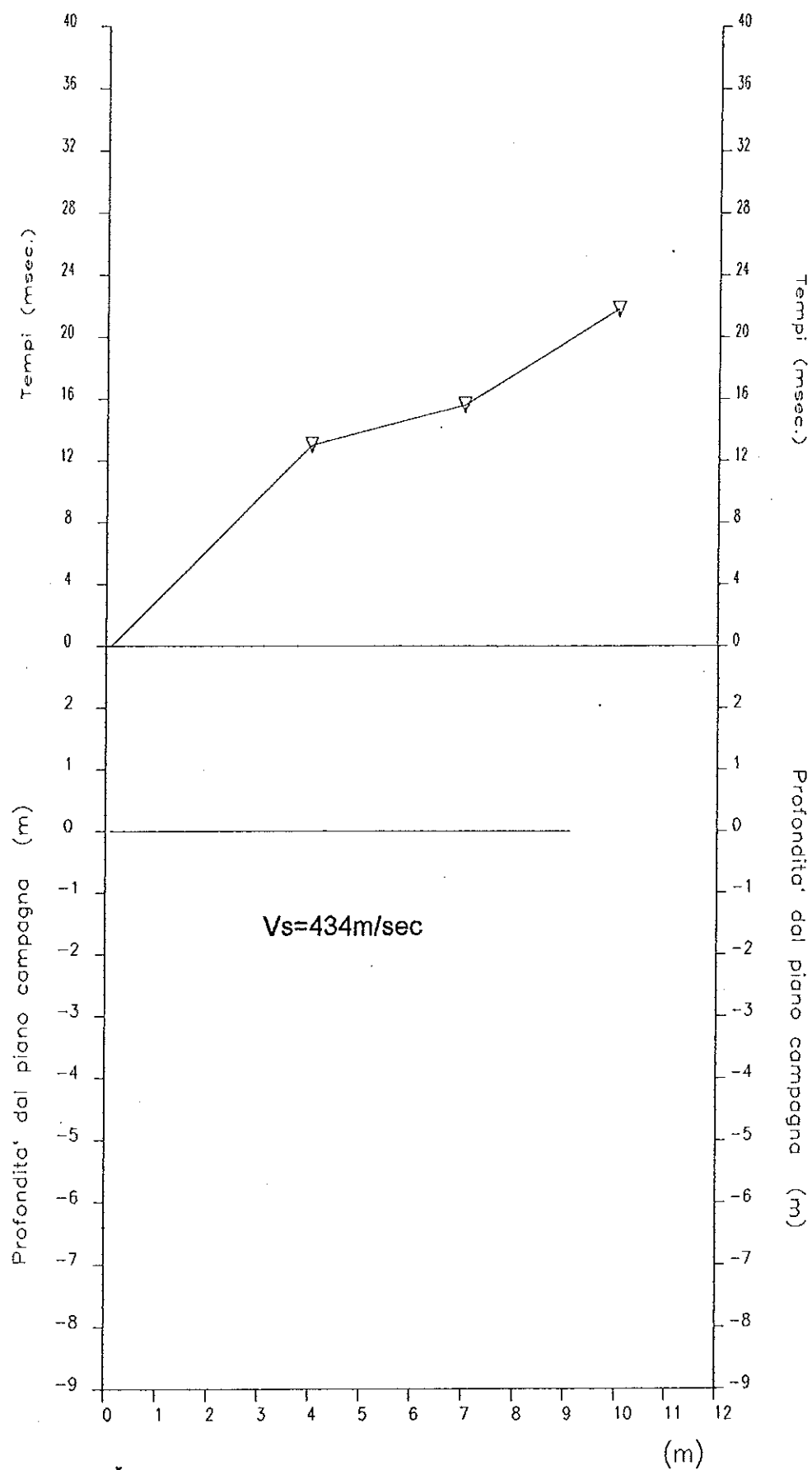
BASE SISMICA N°10



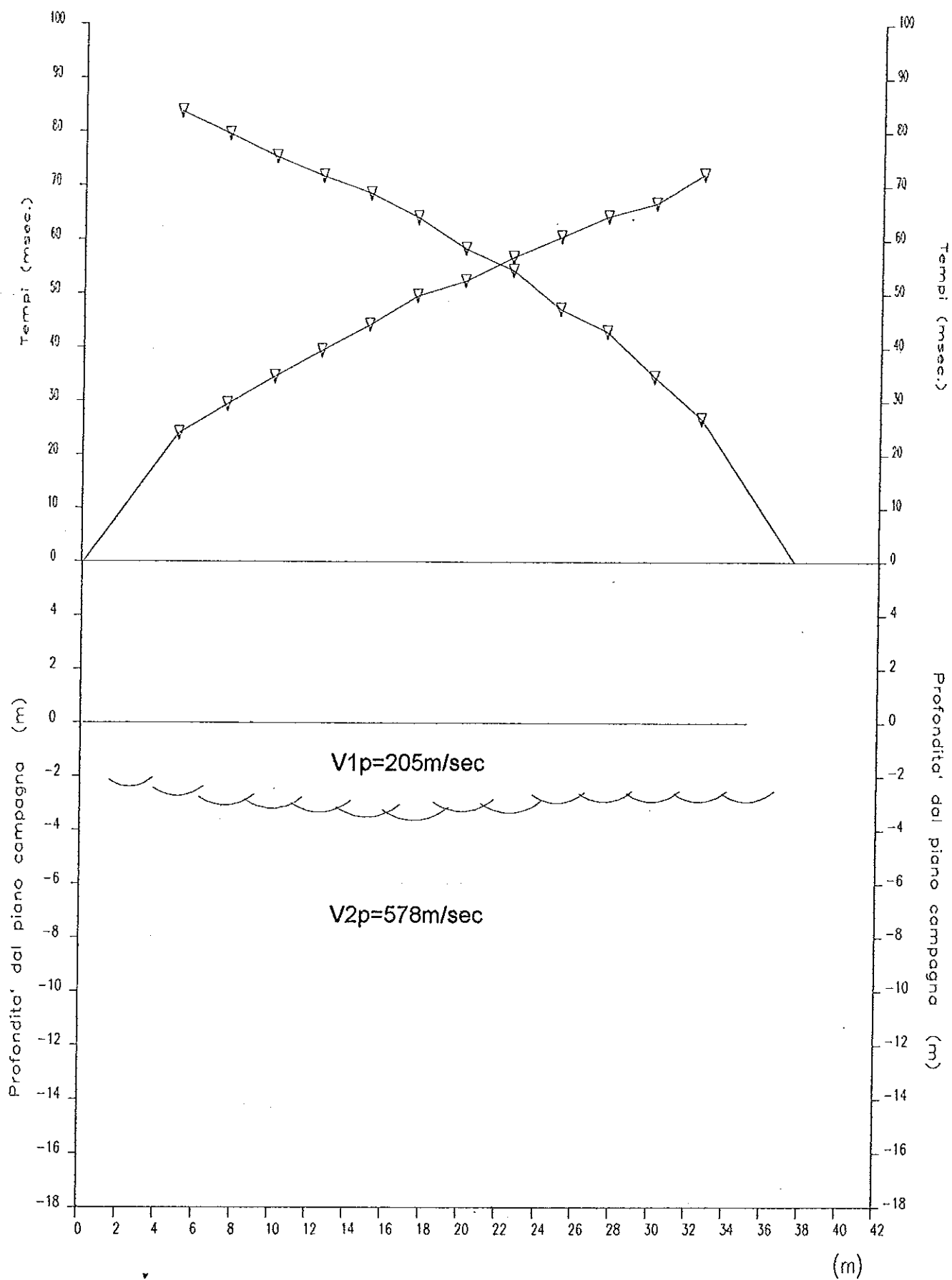
BASE SISMICA N°11



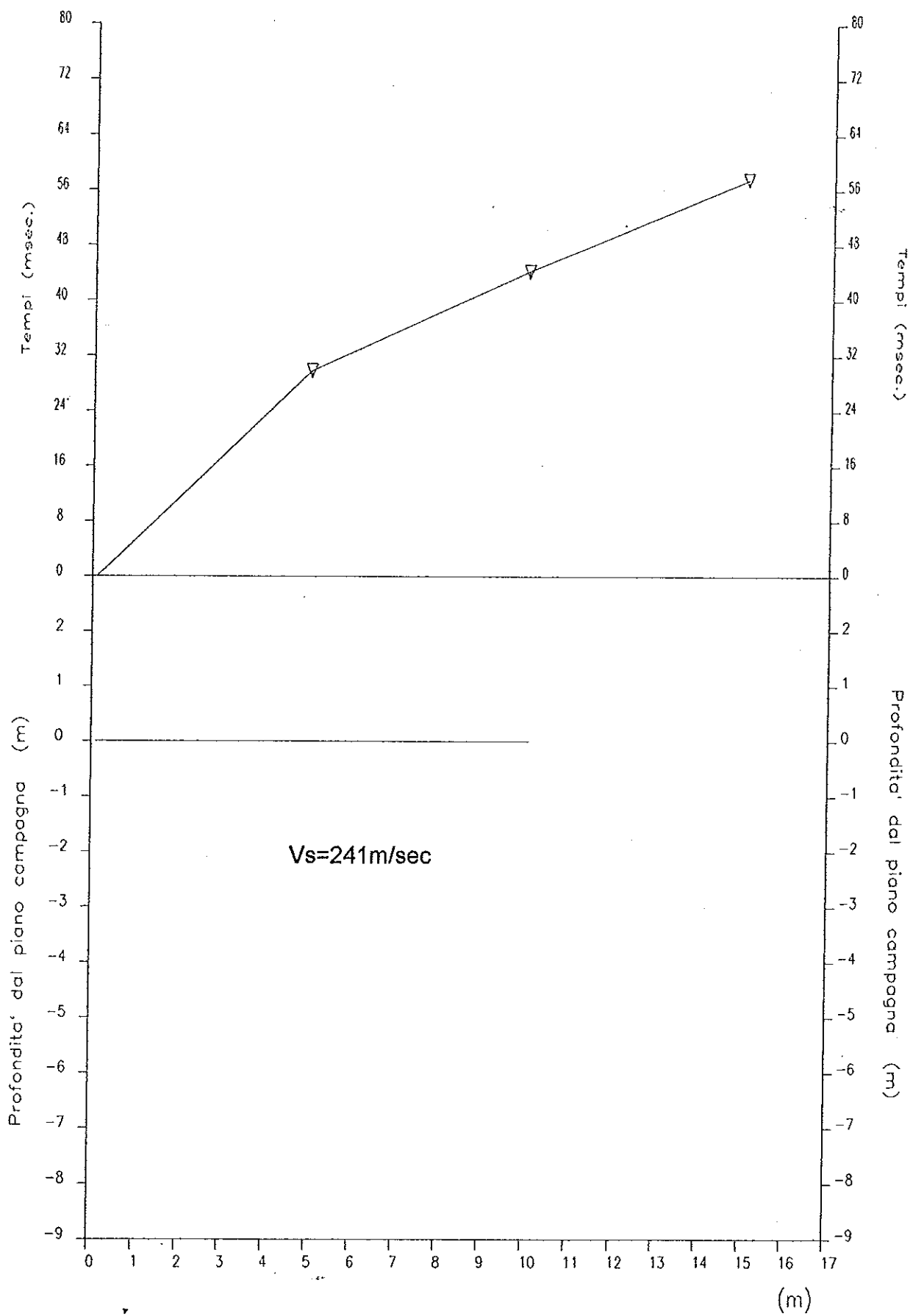
BASE SISMICA N°11S



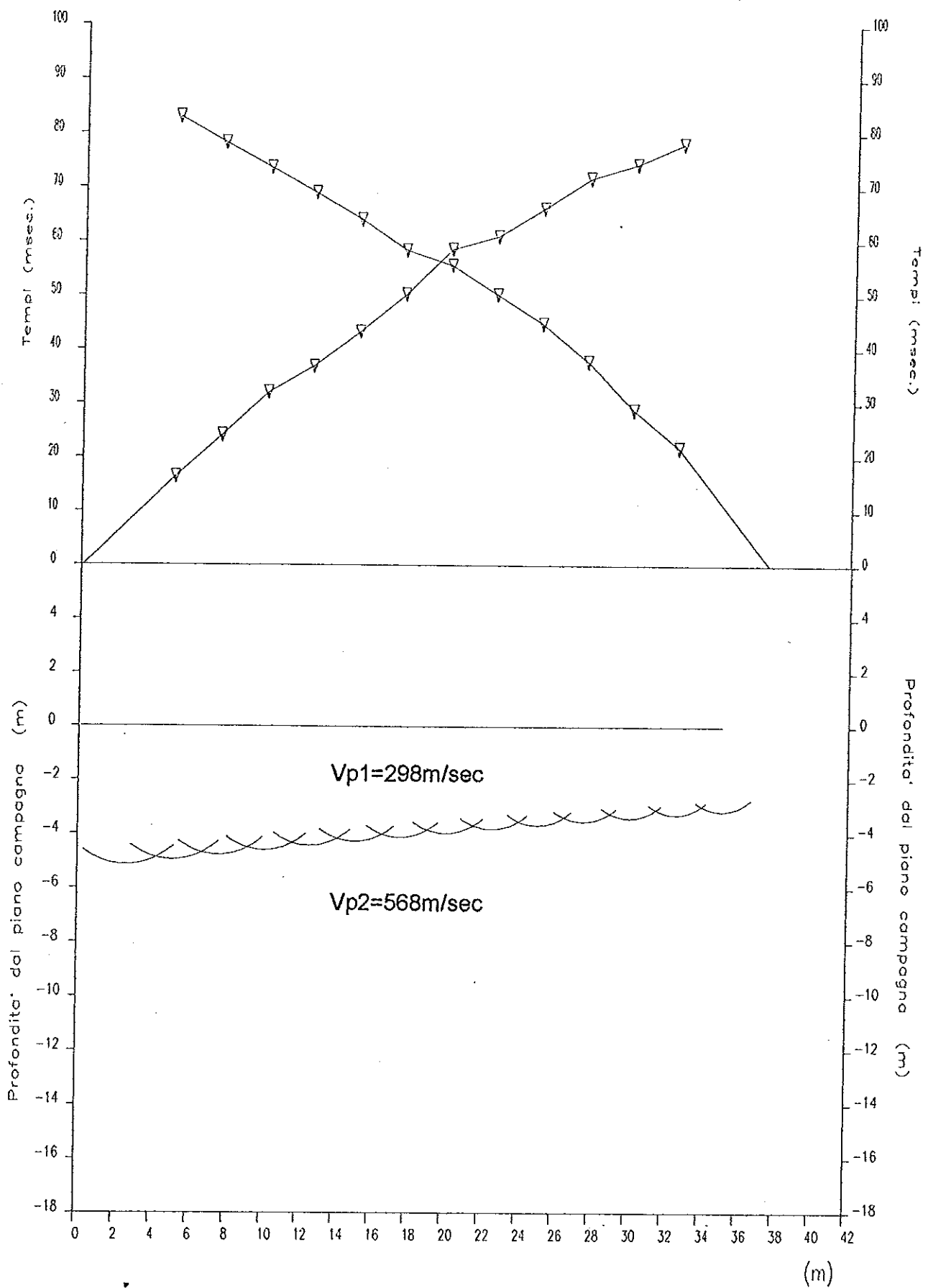
BASE SISMICA N°12



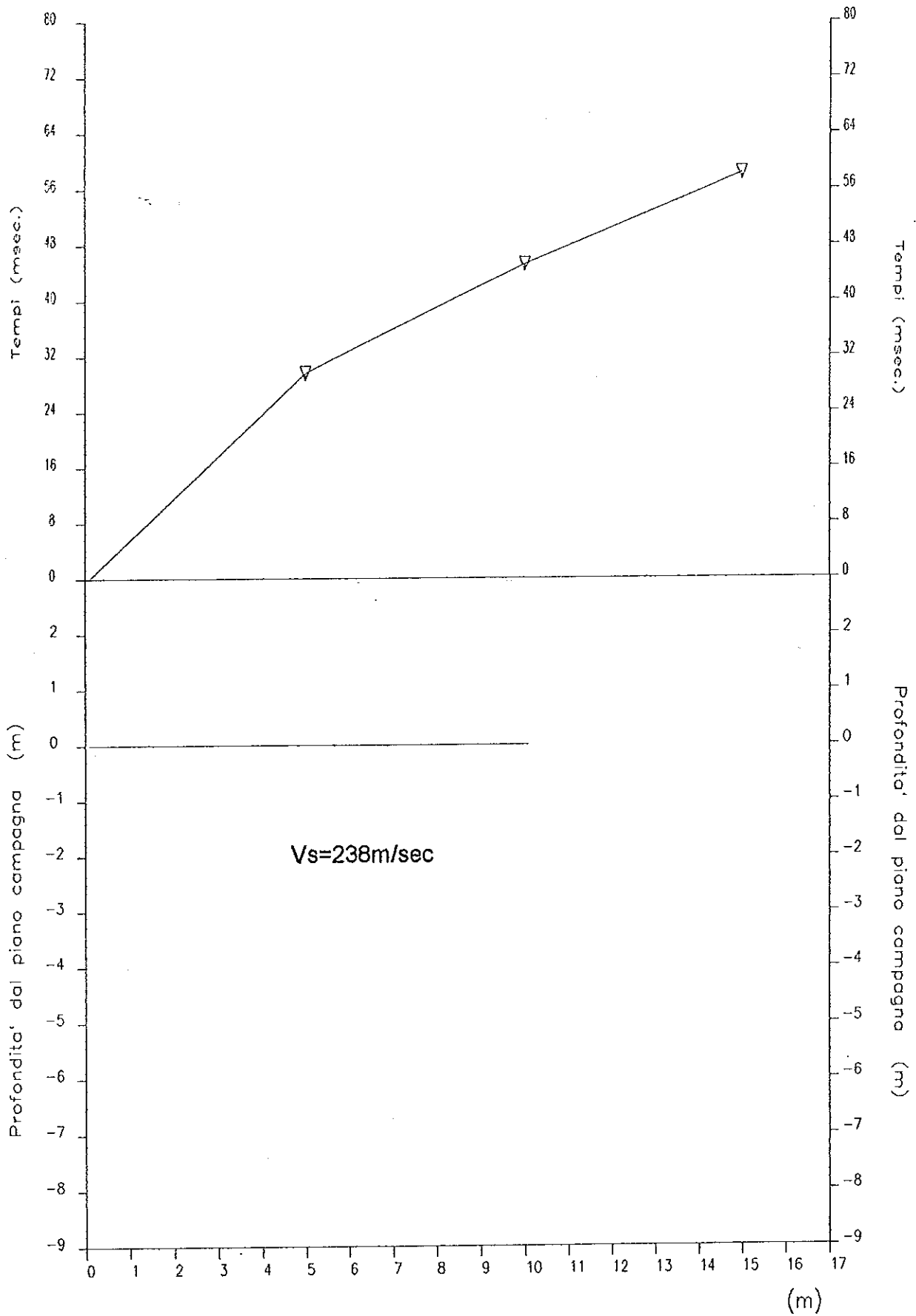
BASE SISMICA N°12S



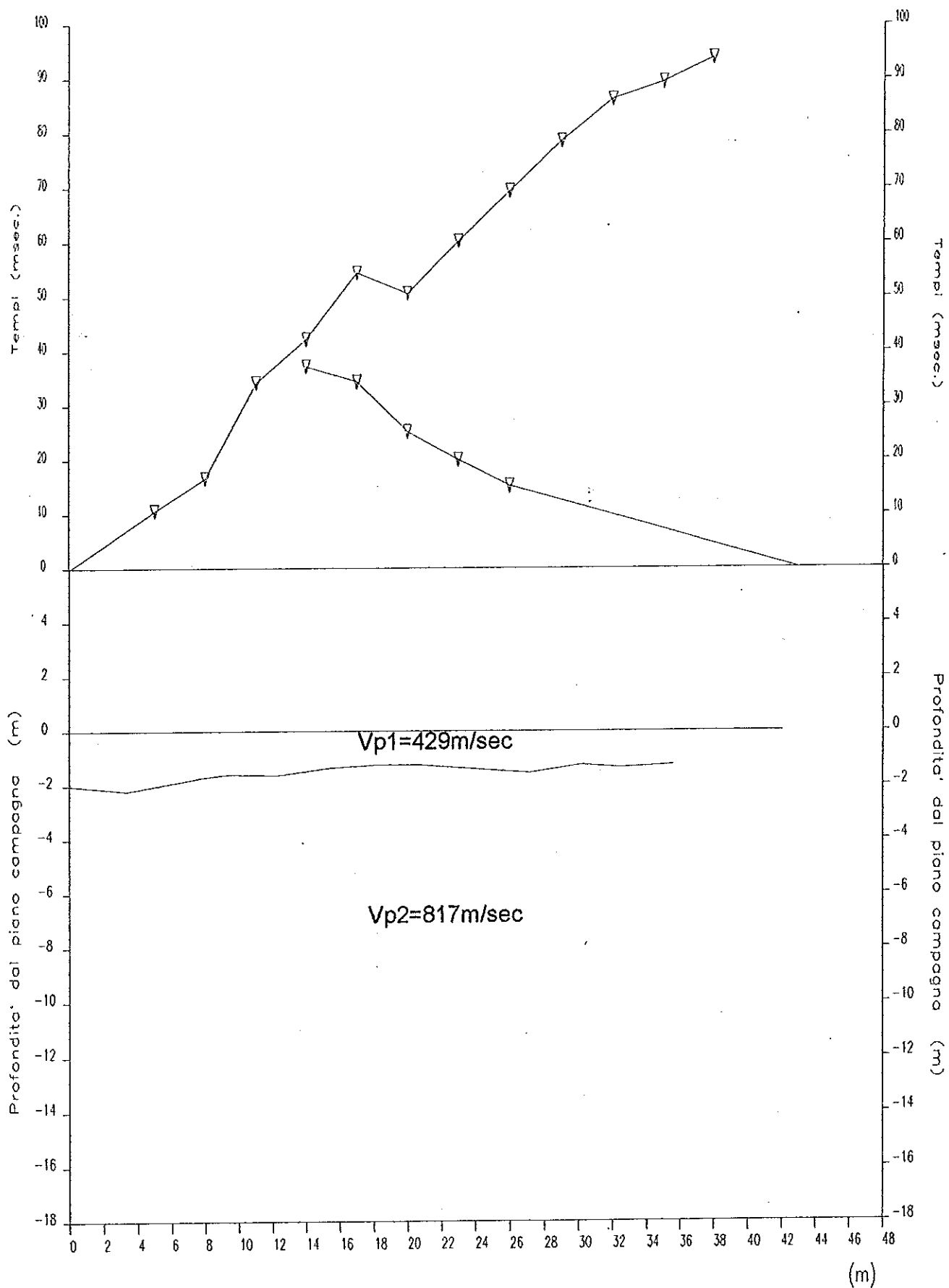
BASE SISMICA N°13



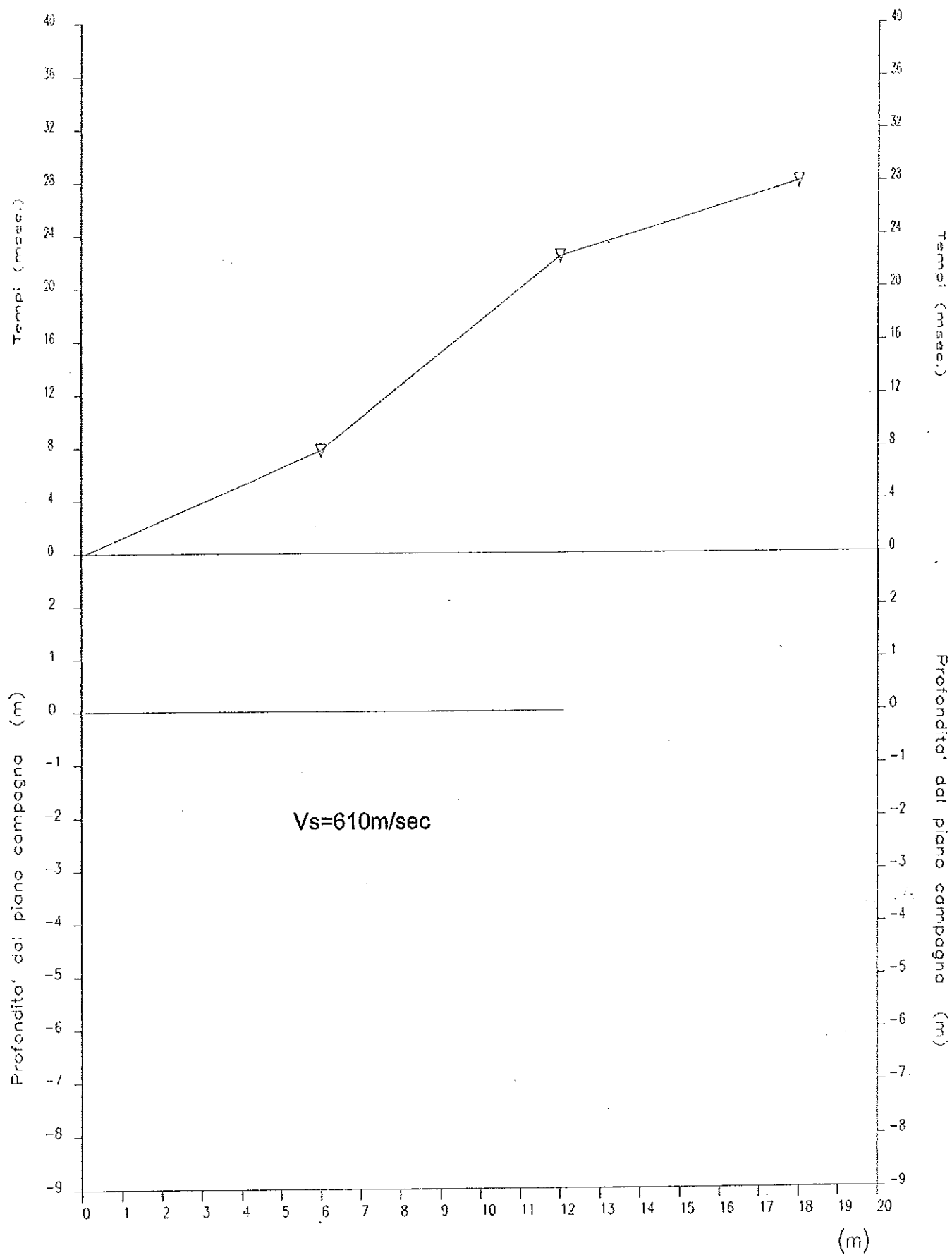
BASE SISMICA N°13S



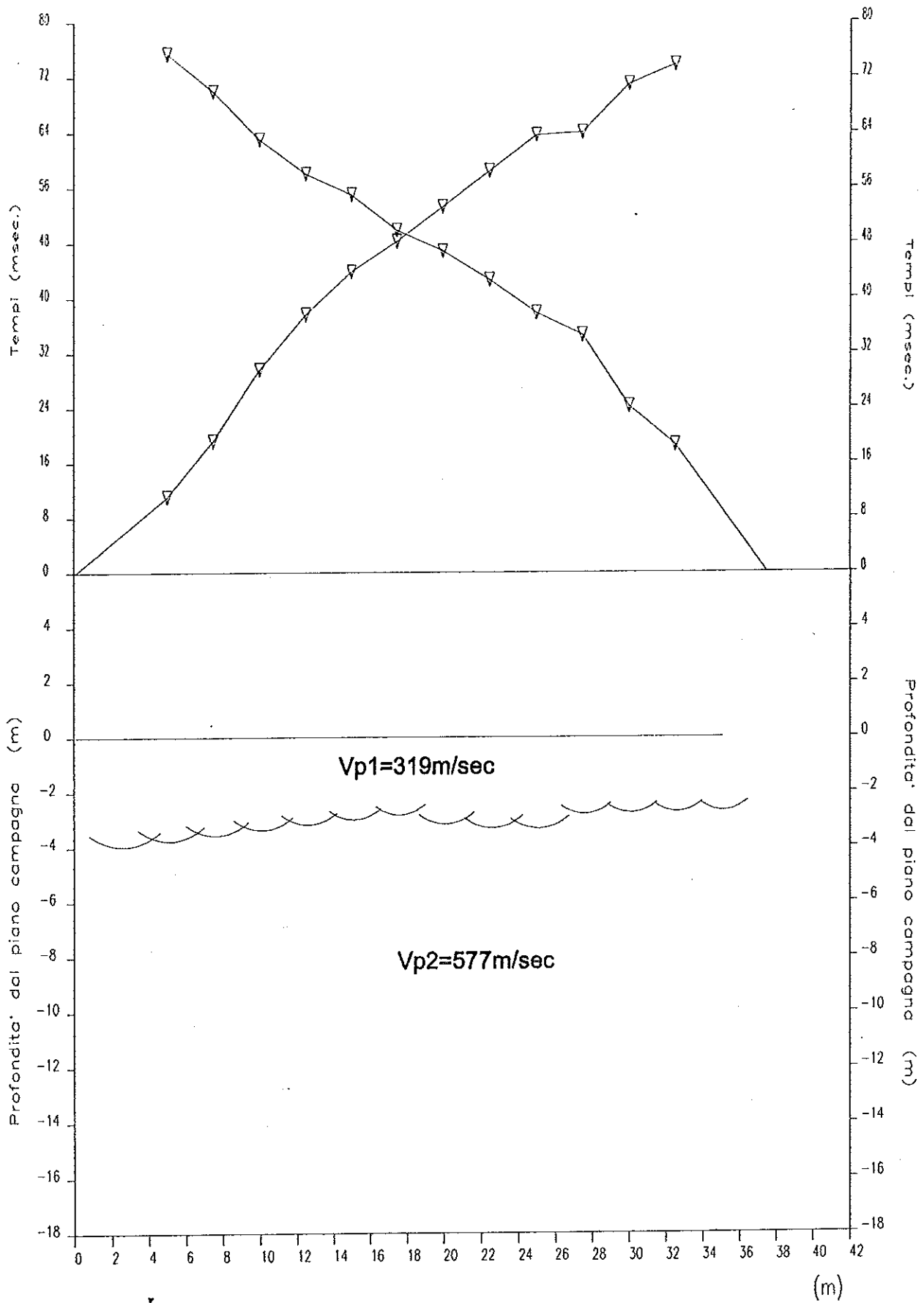
BASE SISMICA N°14



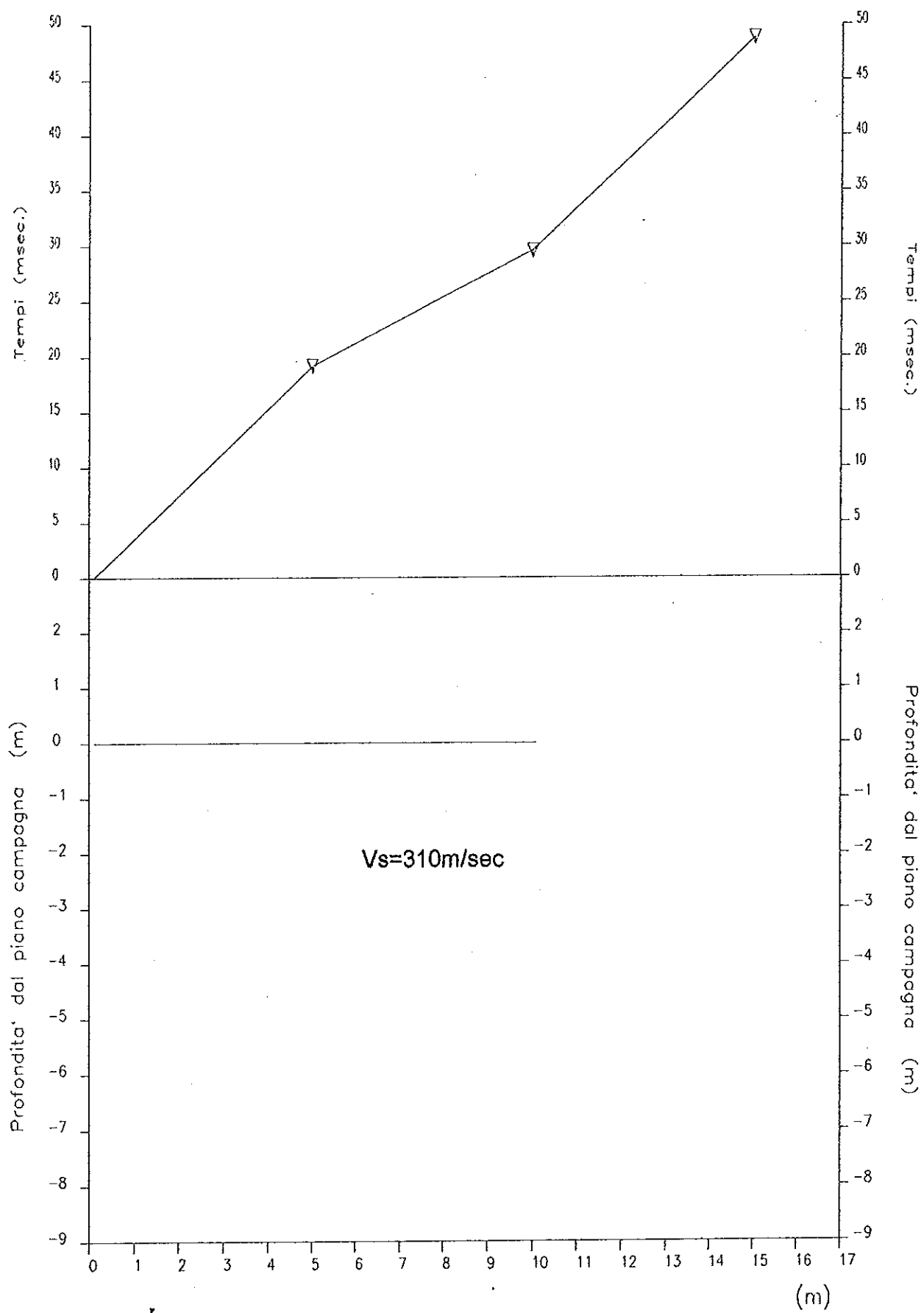
BASE SISMICA N°14S



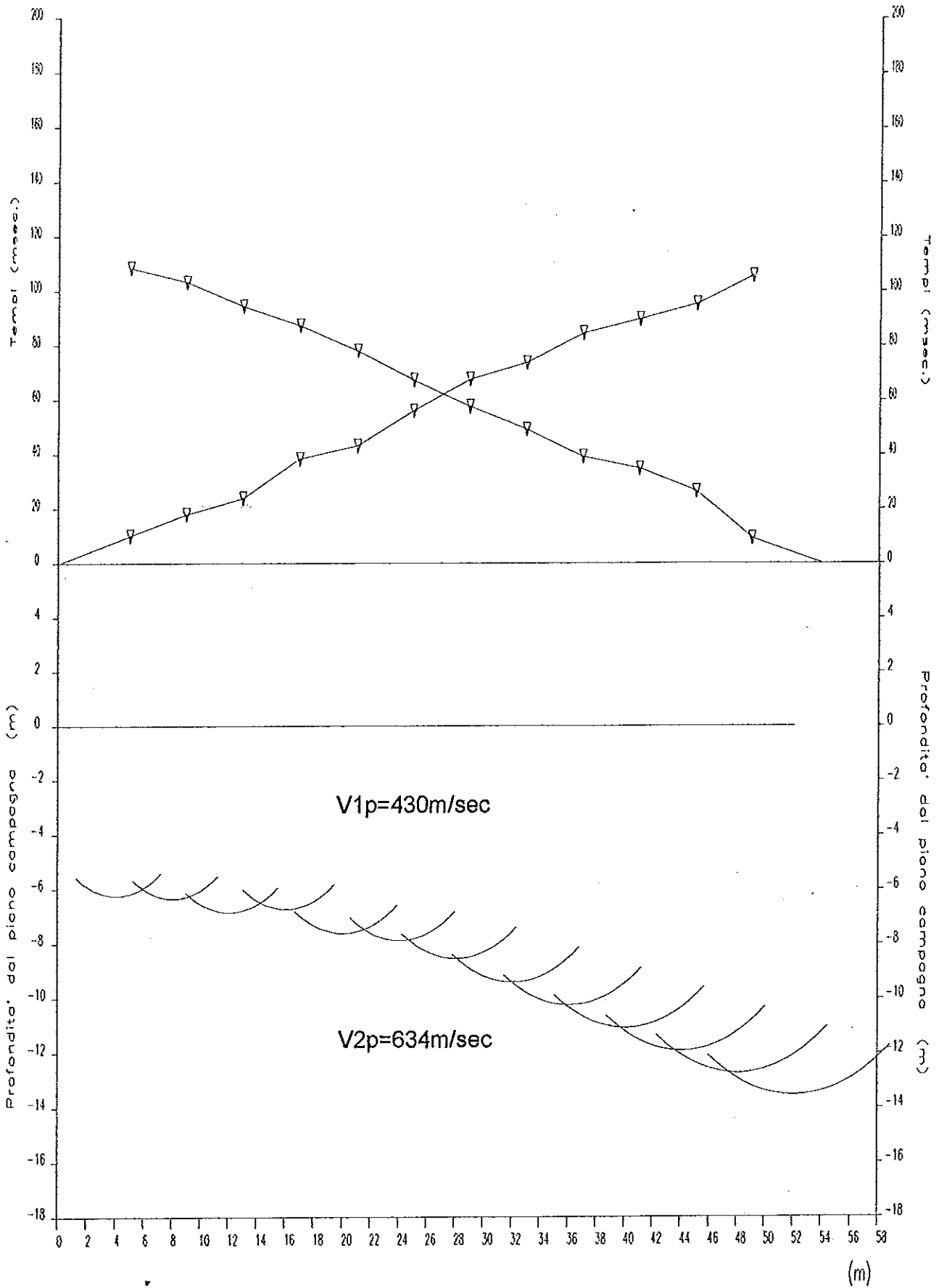
BASE SISMICA N° 15



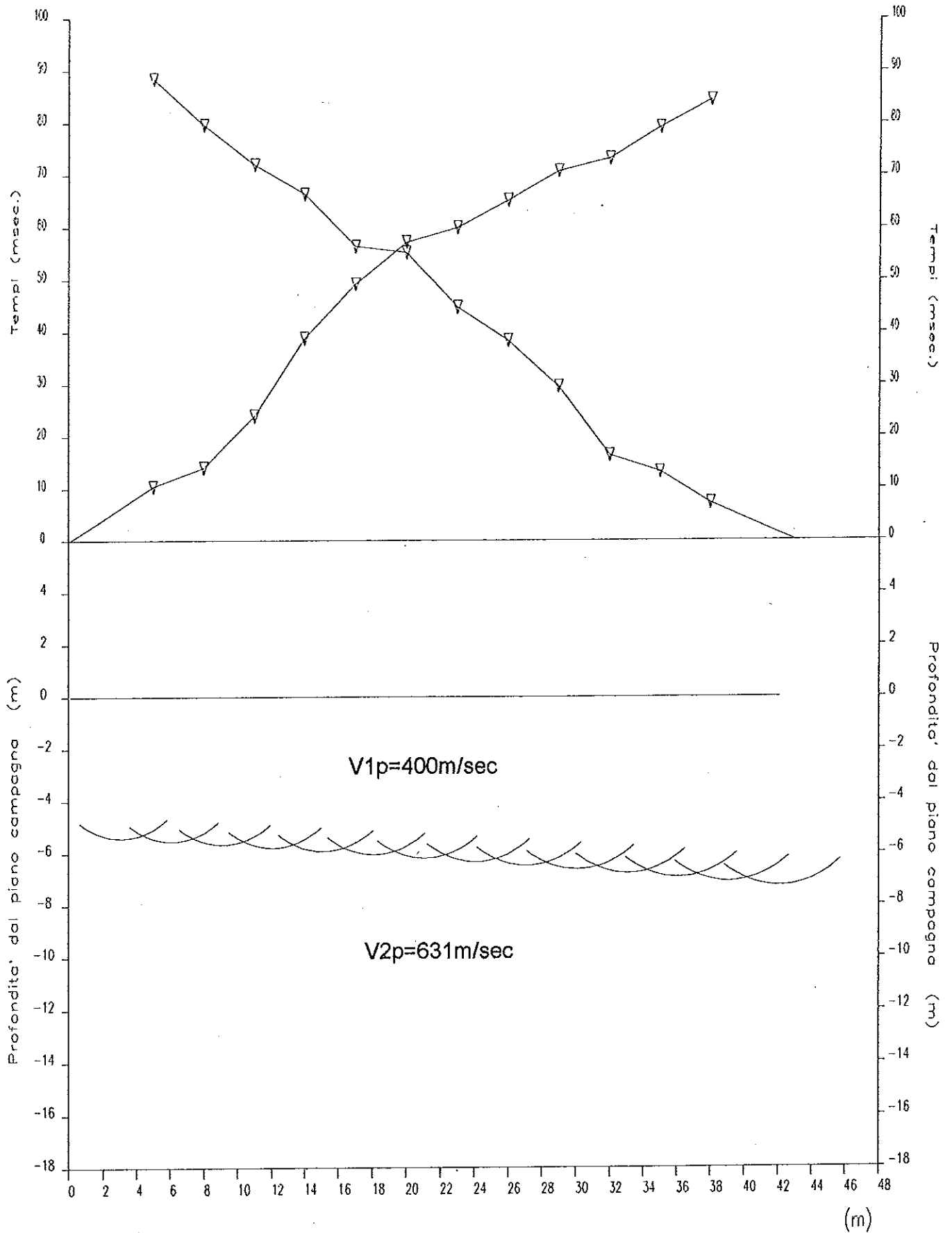
BASE SISMICA N°15S



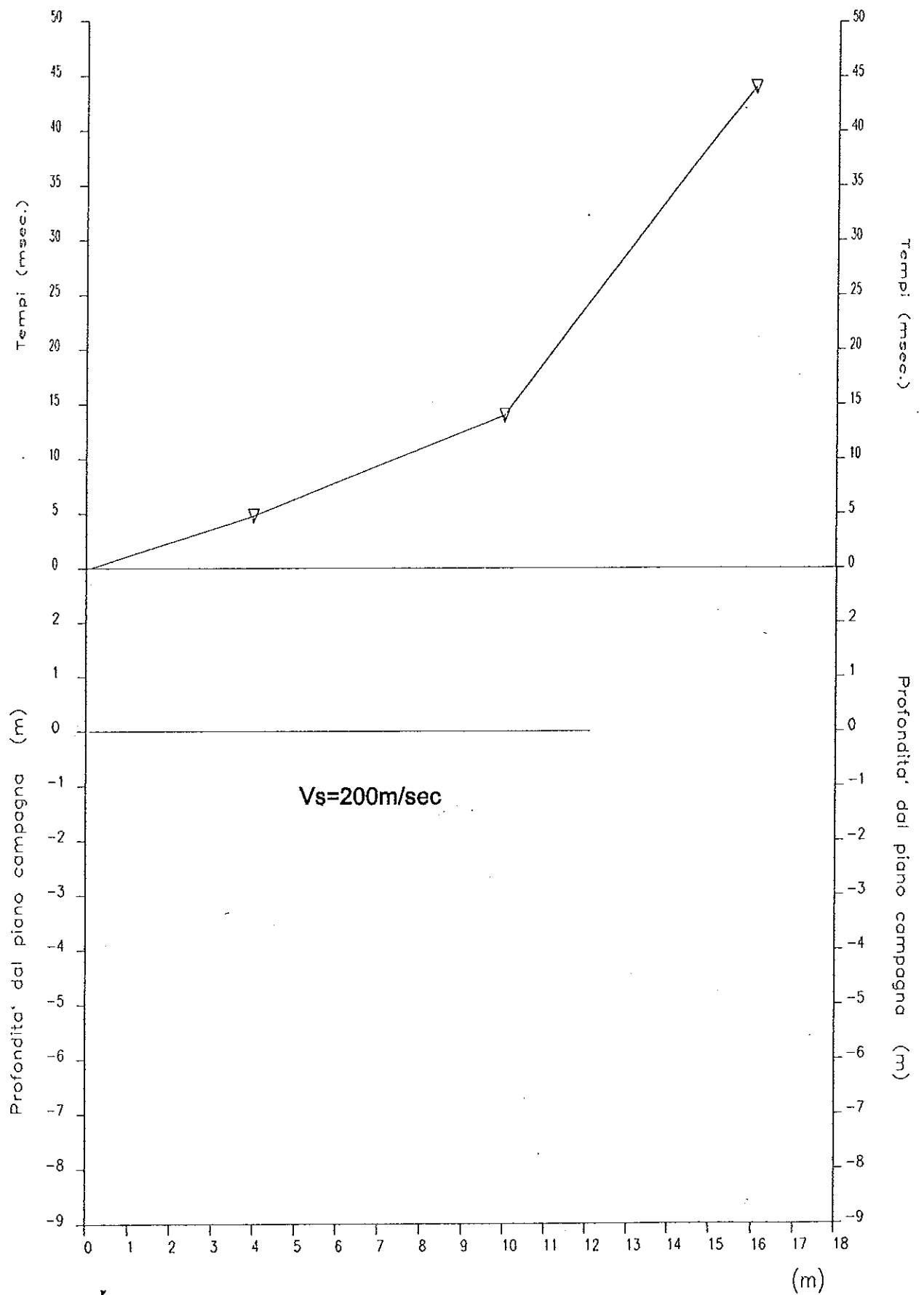
BASE SISMICA N°16



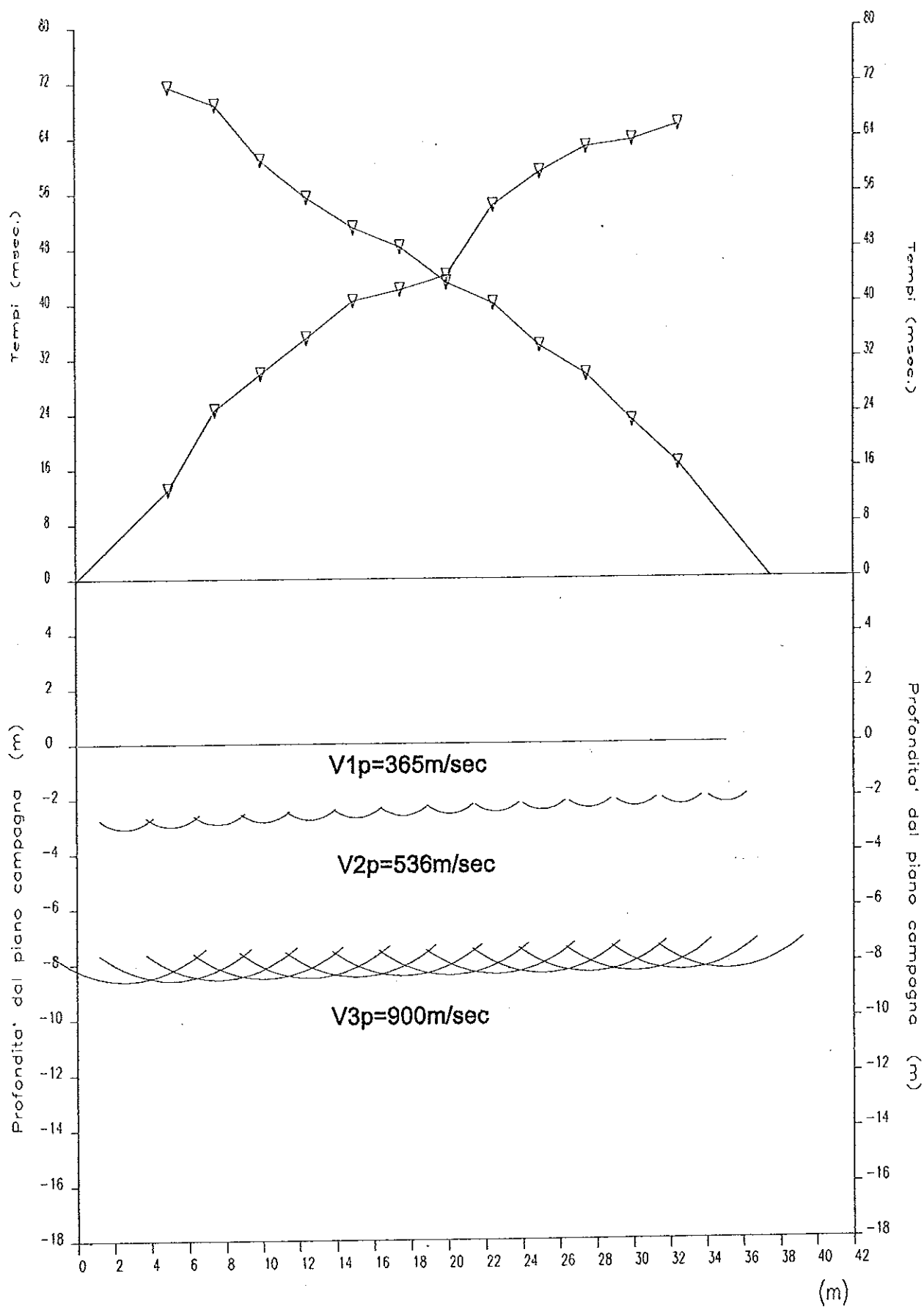
BASE SISMICA N°17



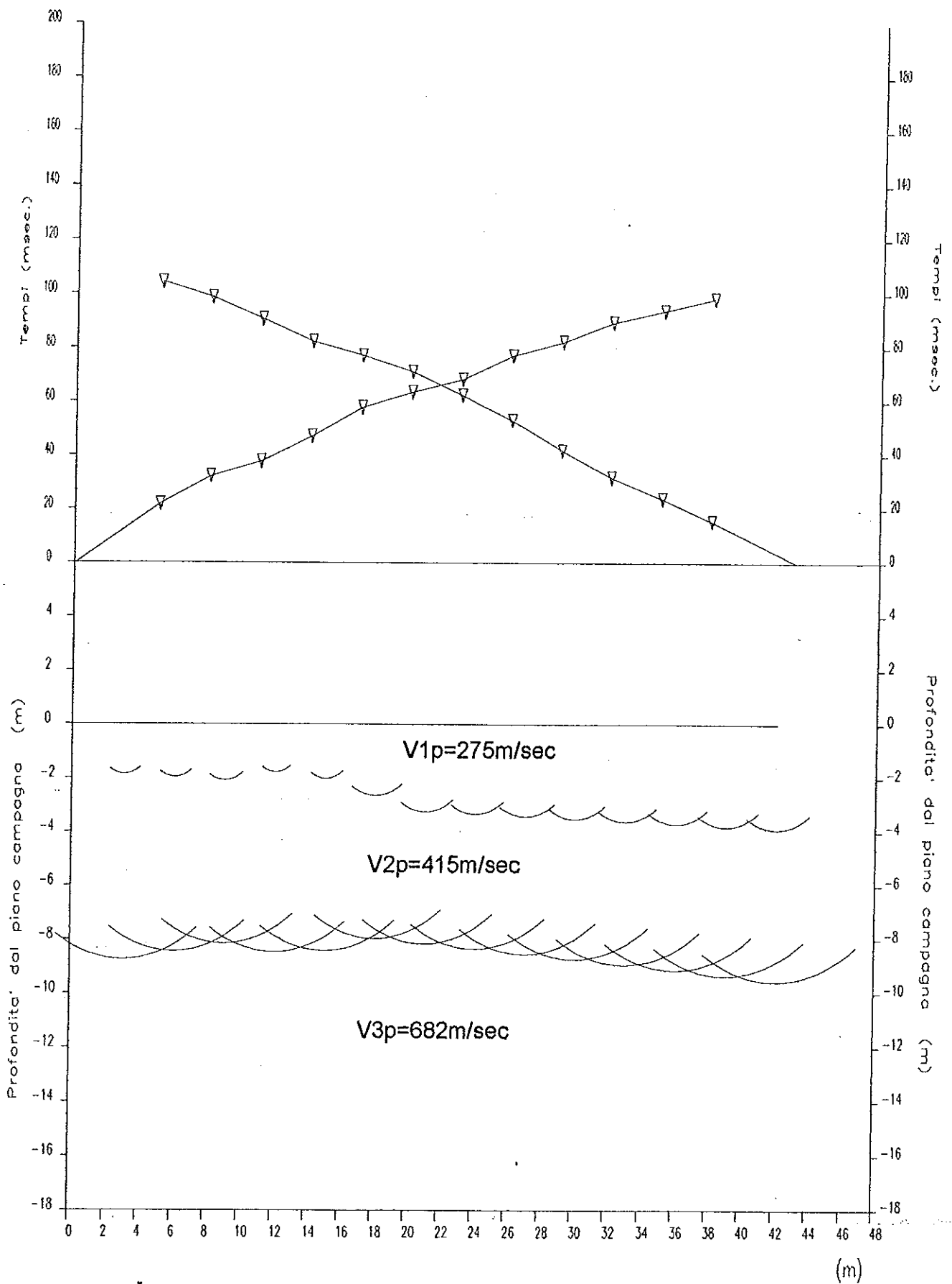
BASE SISMICA N°17S



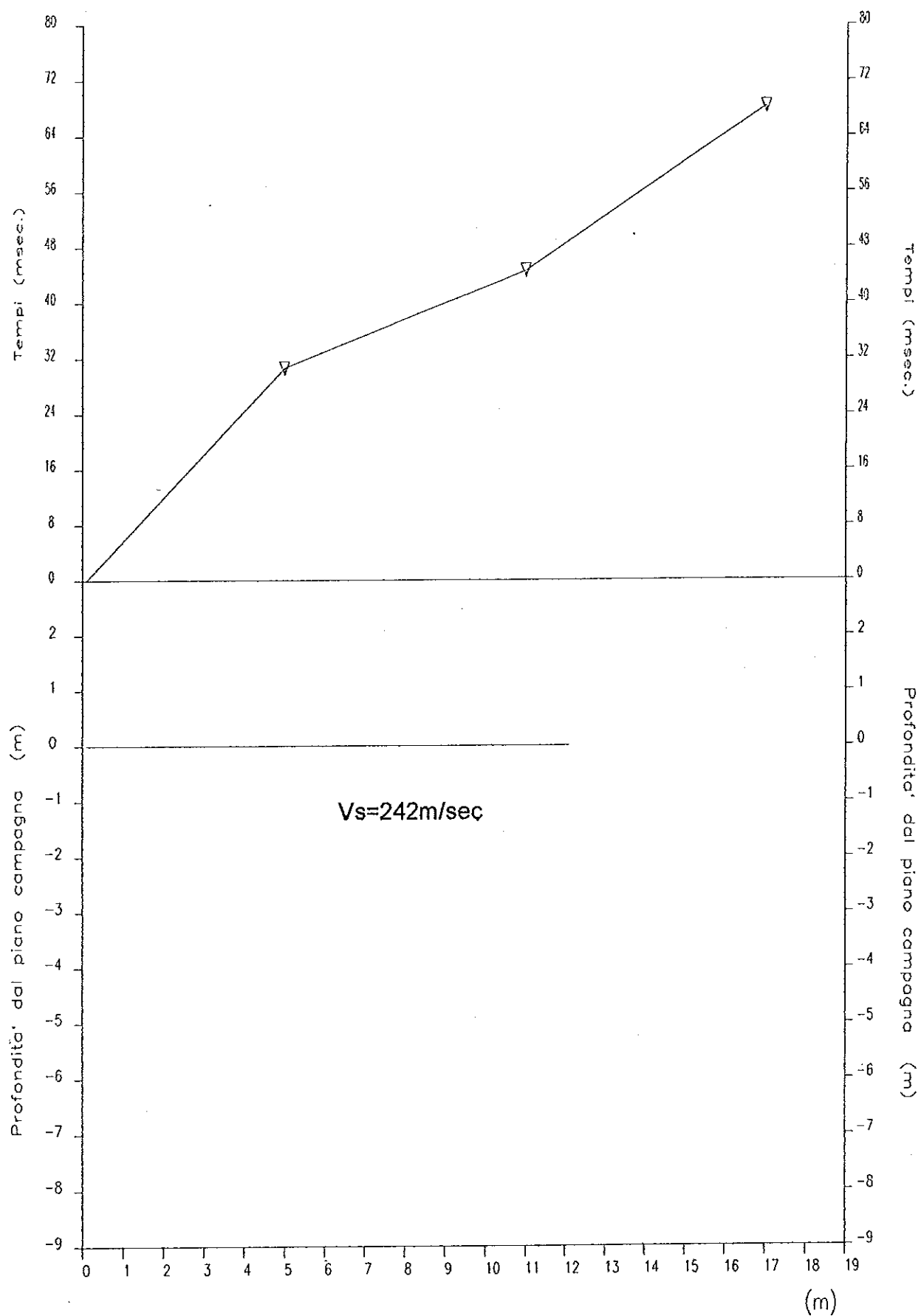
BASE SISMICA N°18



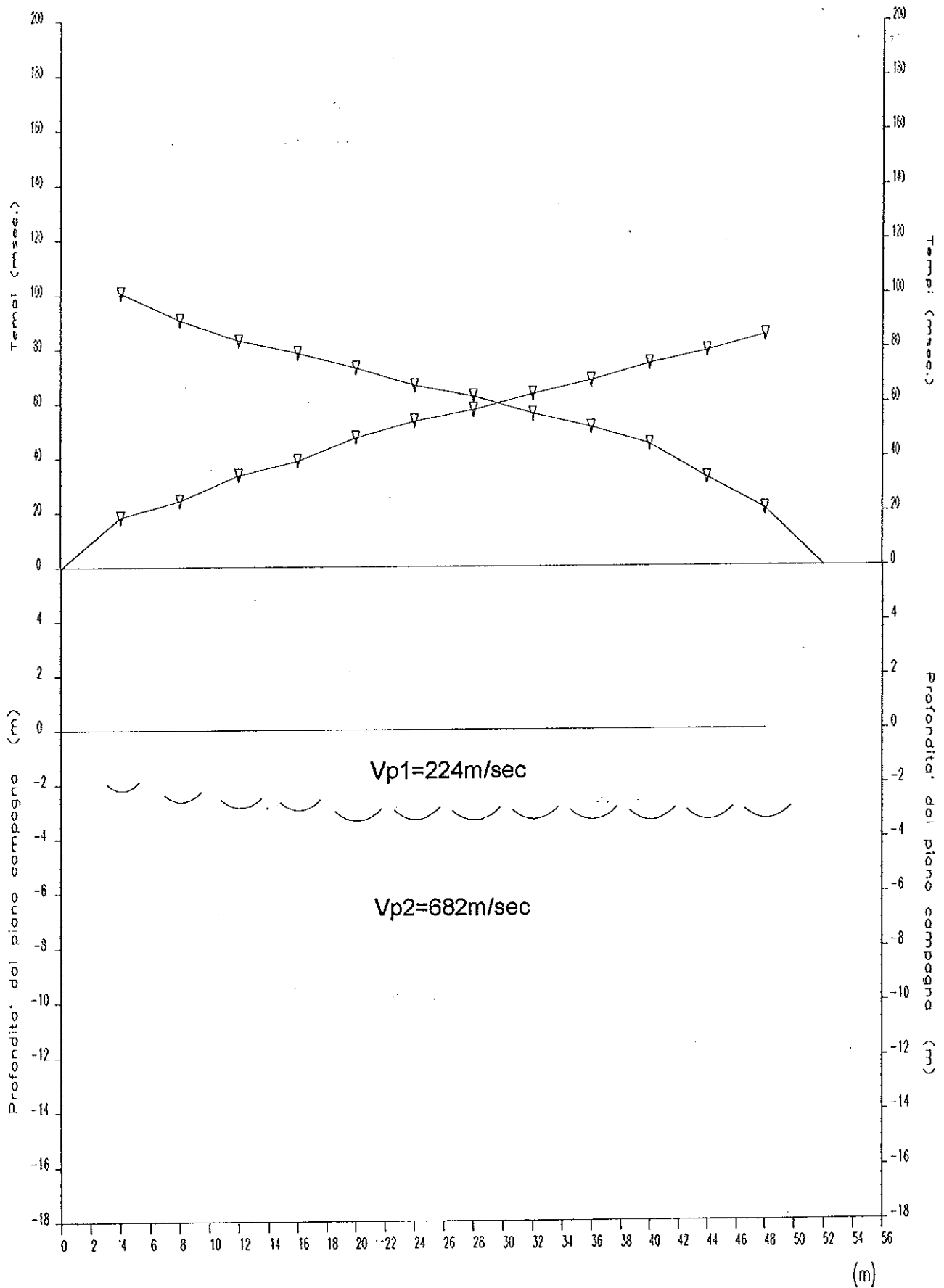
BASE SISMICA N°19



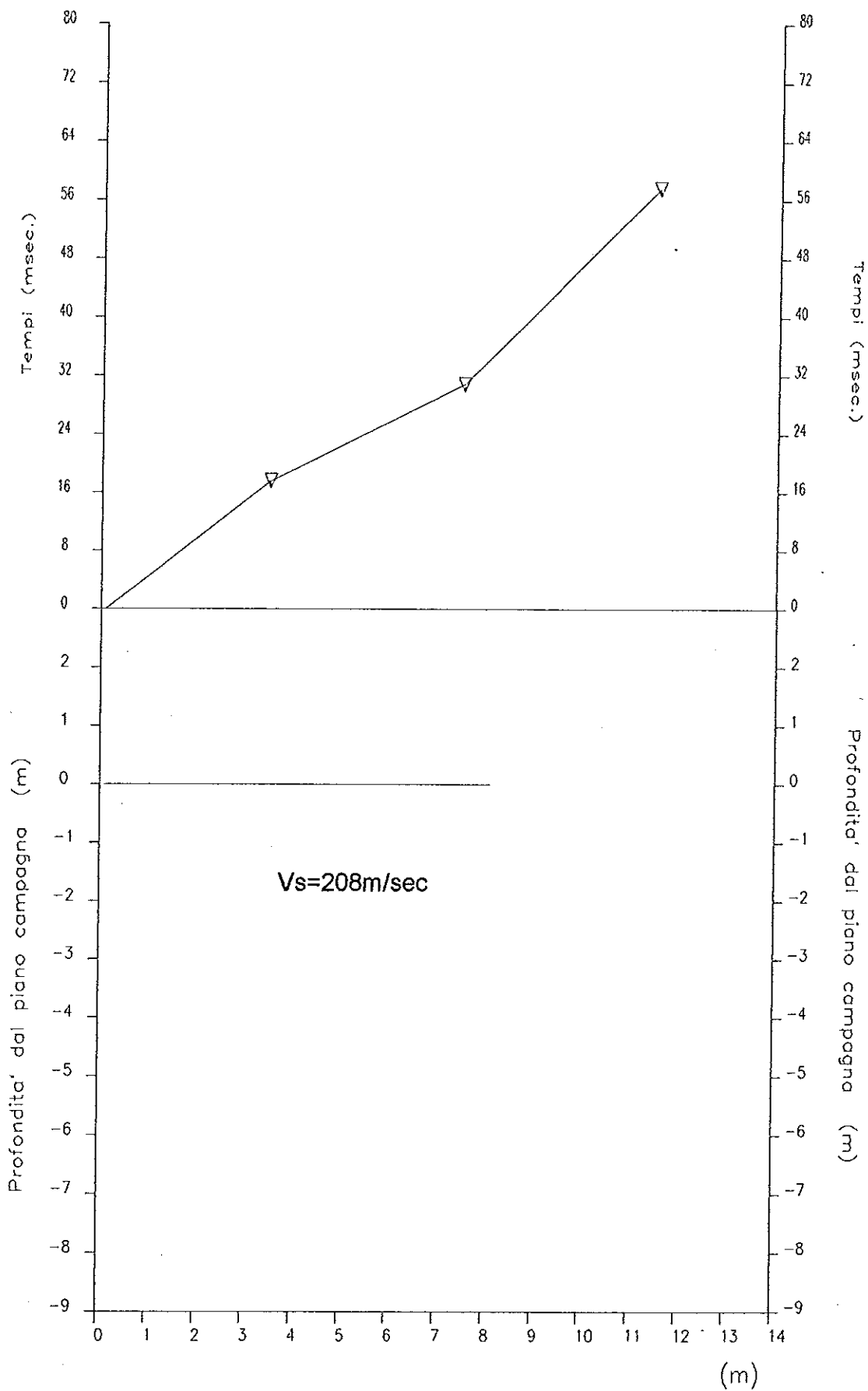
BASE SISMICA 19S



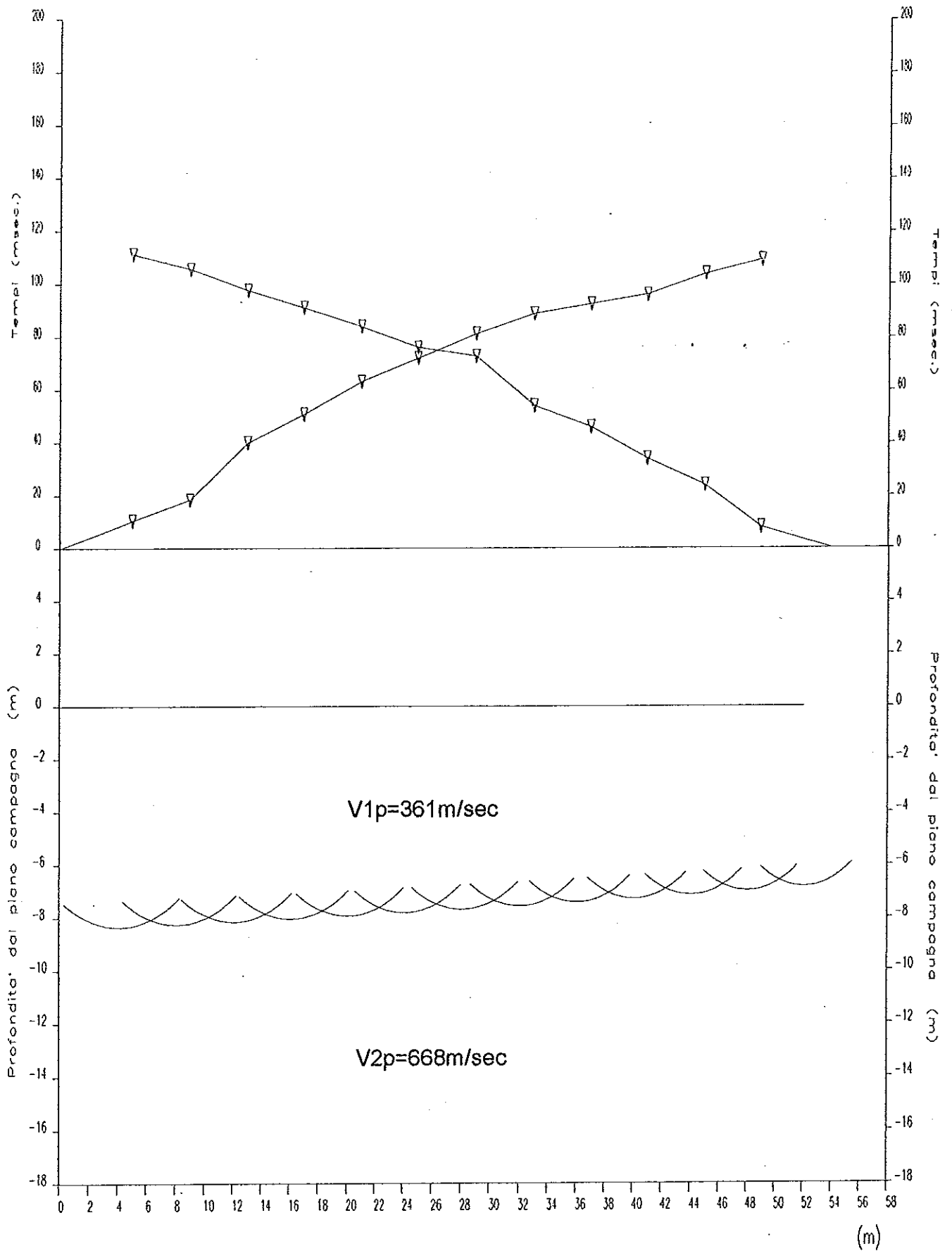
BASE SISMICA N°20



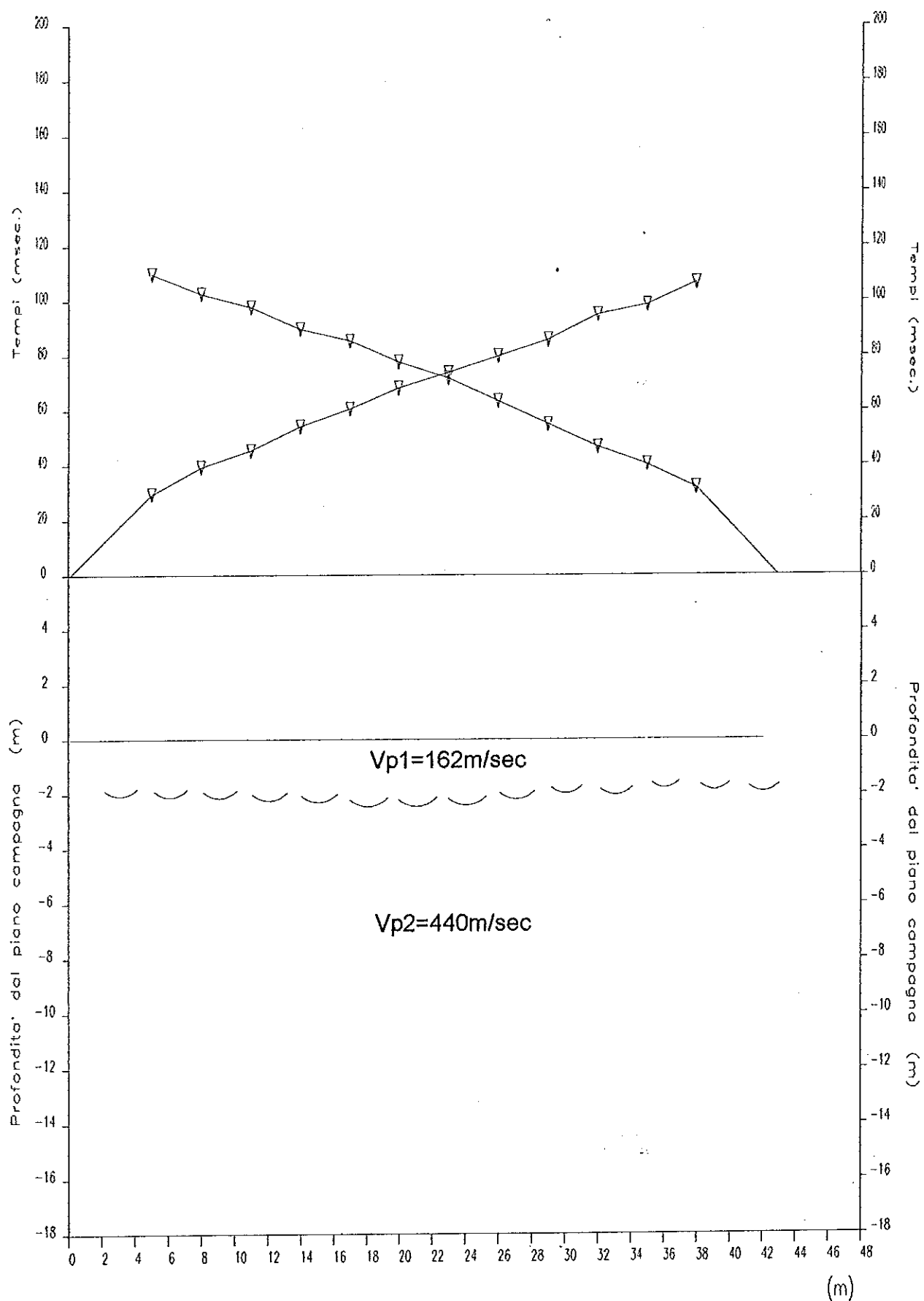
BASE SISMICA N°20S



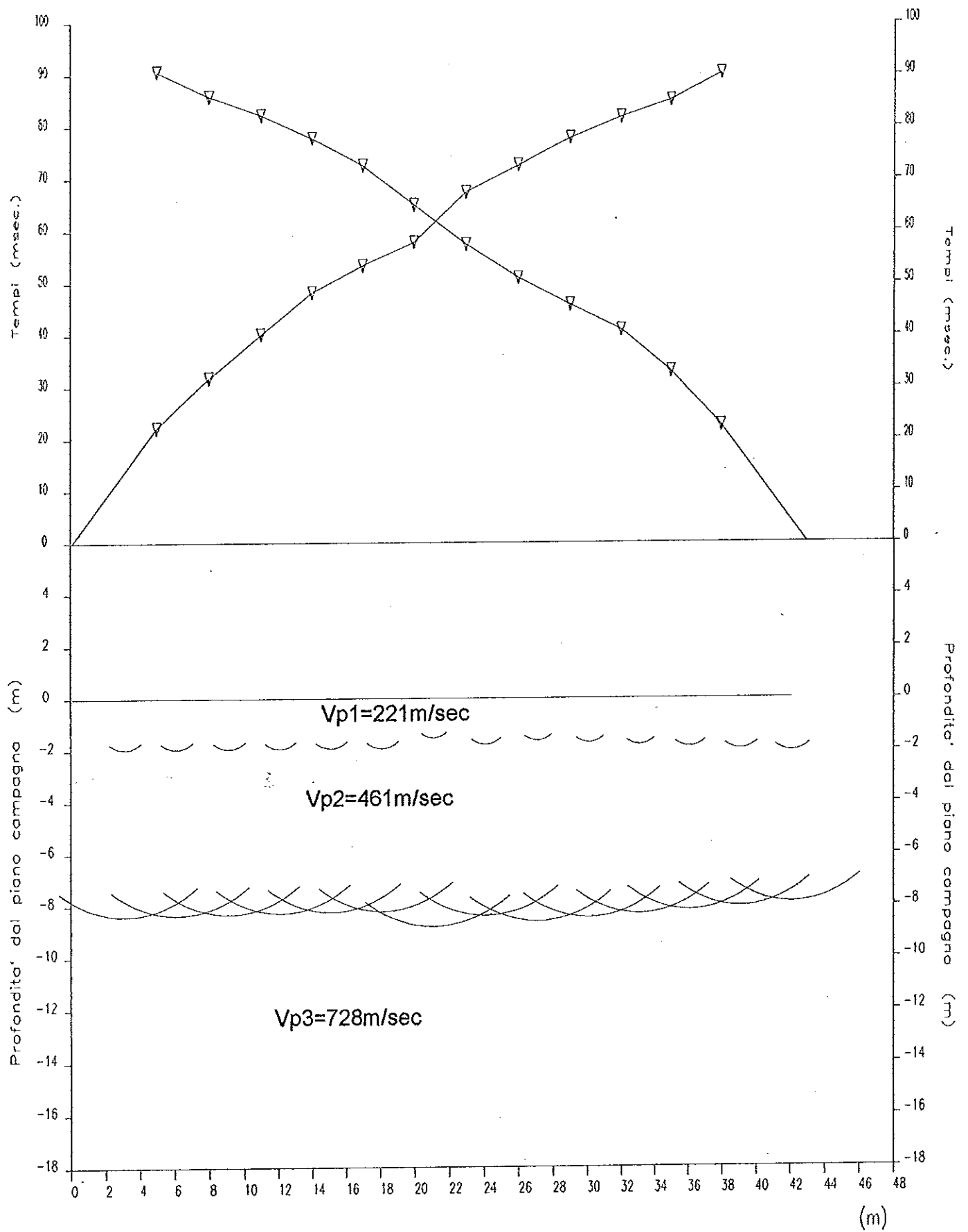
BASE SISMICA N°21



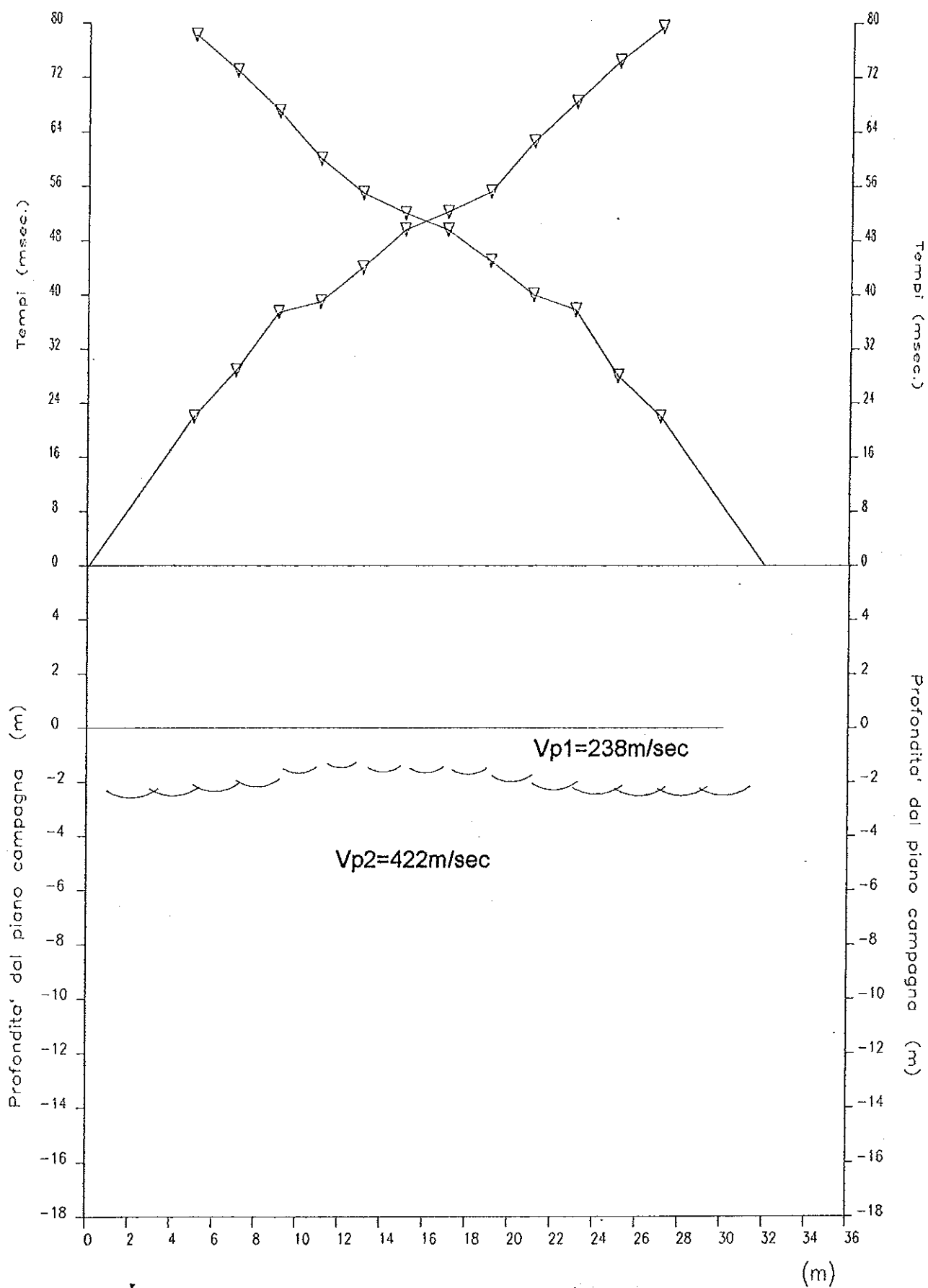
BASE SISMICA N°22



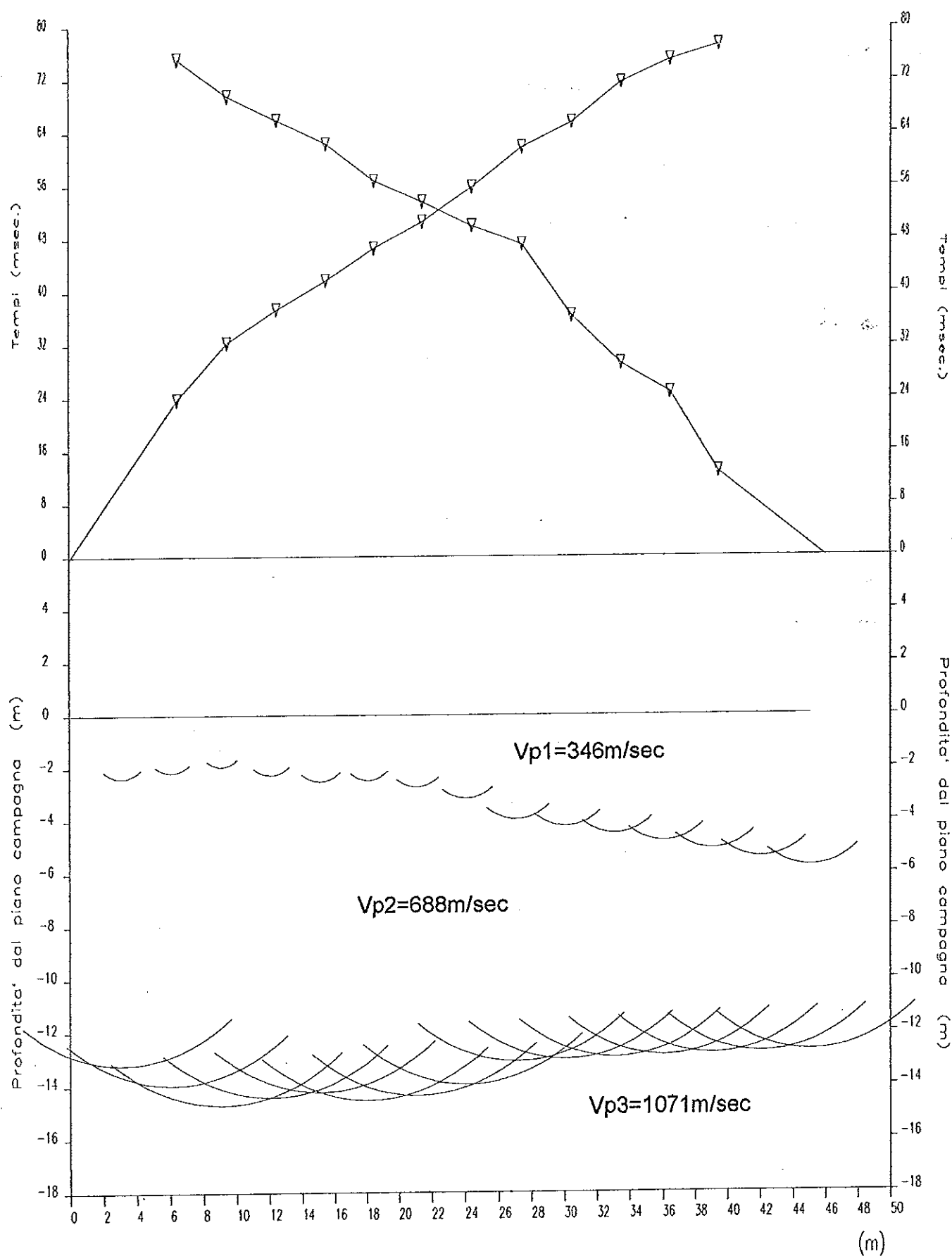
BASE SISMICA N°23



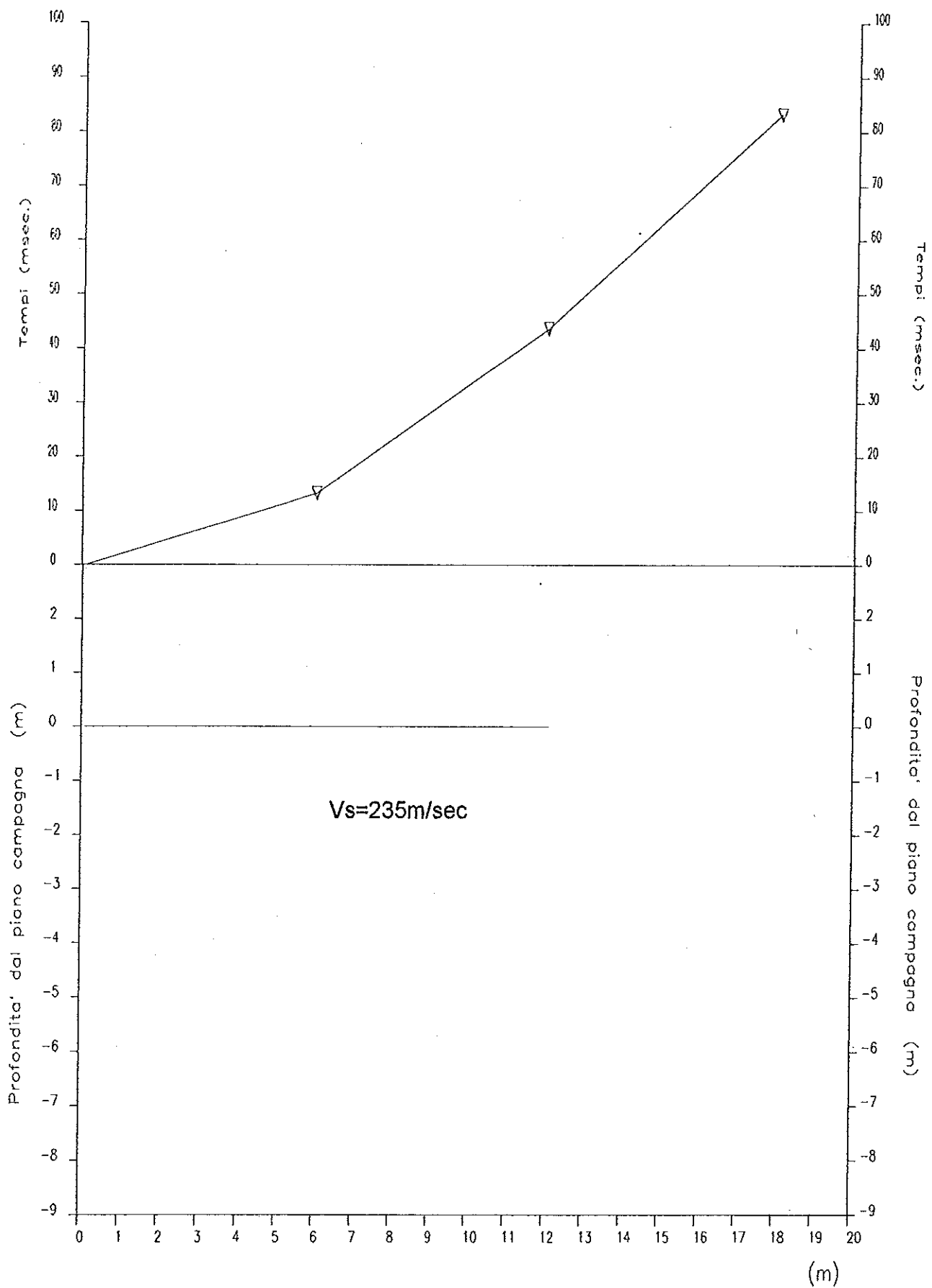
BASE SISMICA N°24



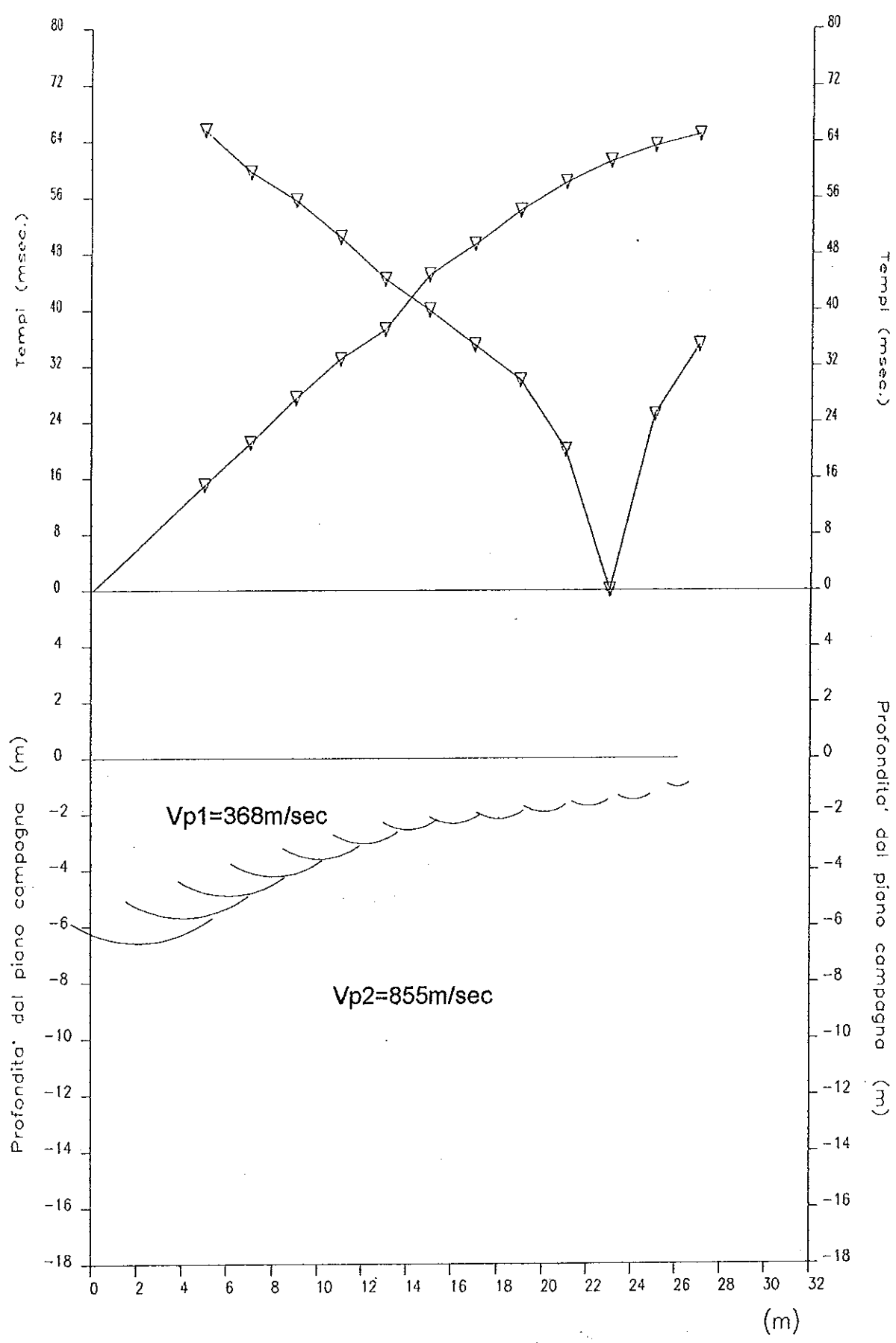
BASE SISMICA N°25



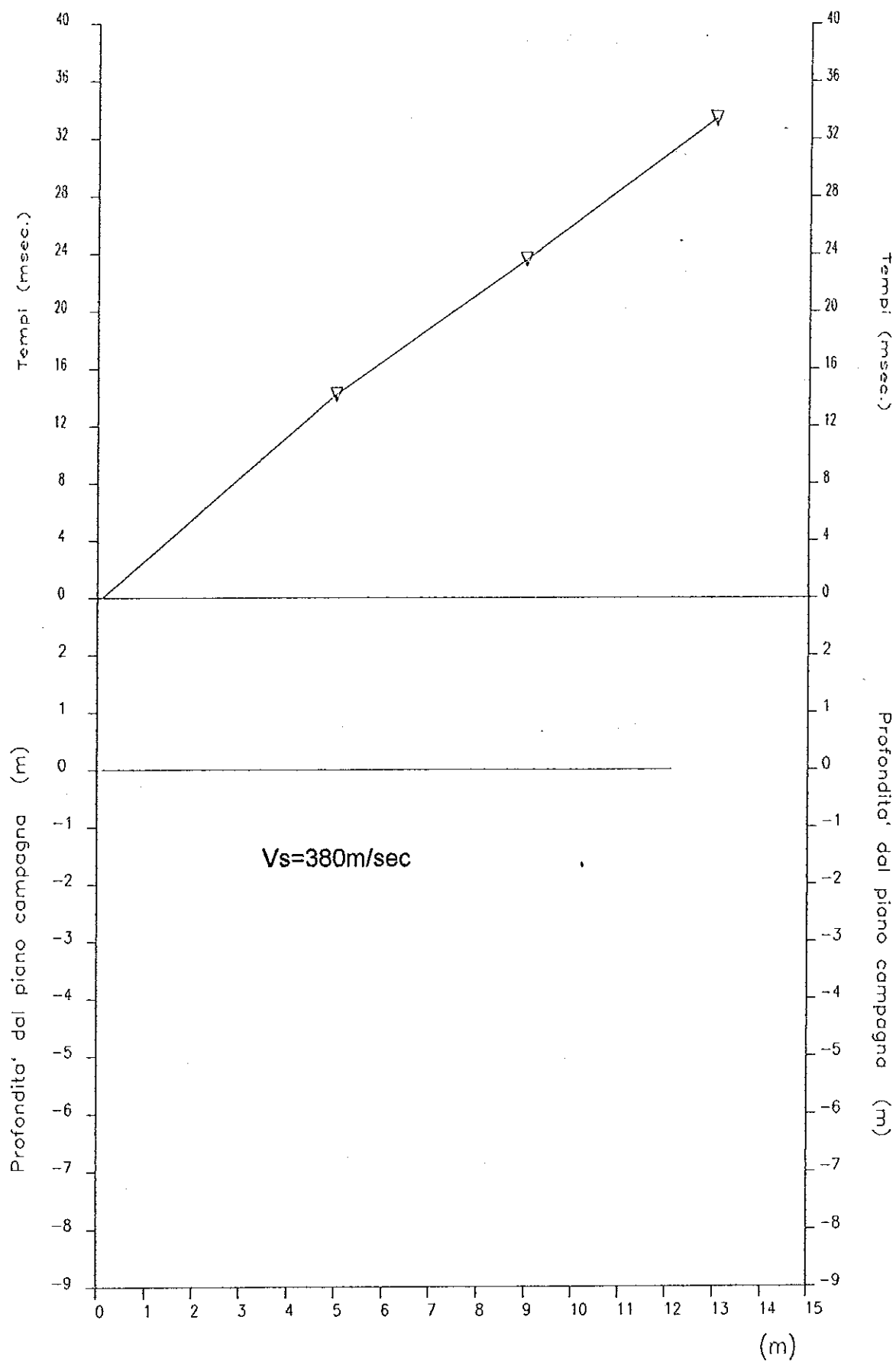
BASE SISMICA N°25S



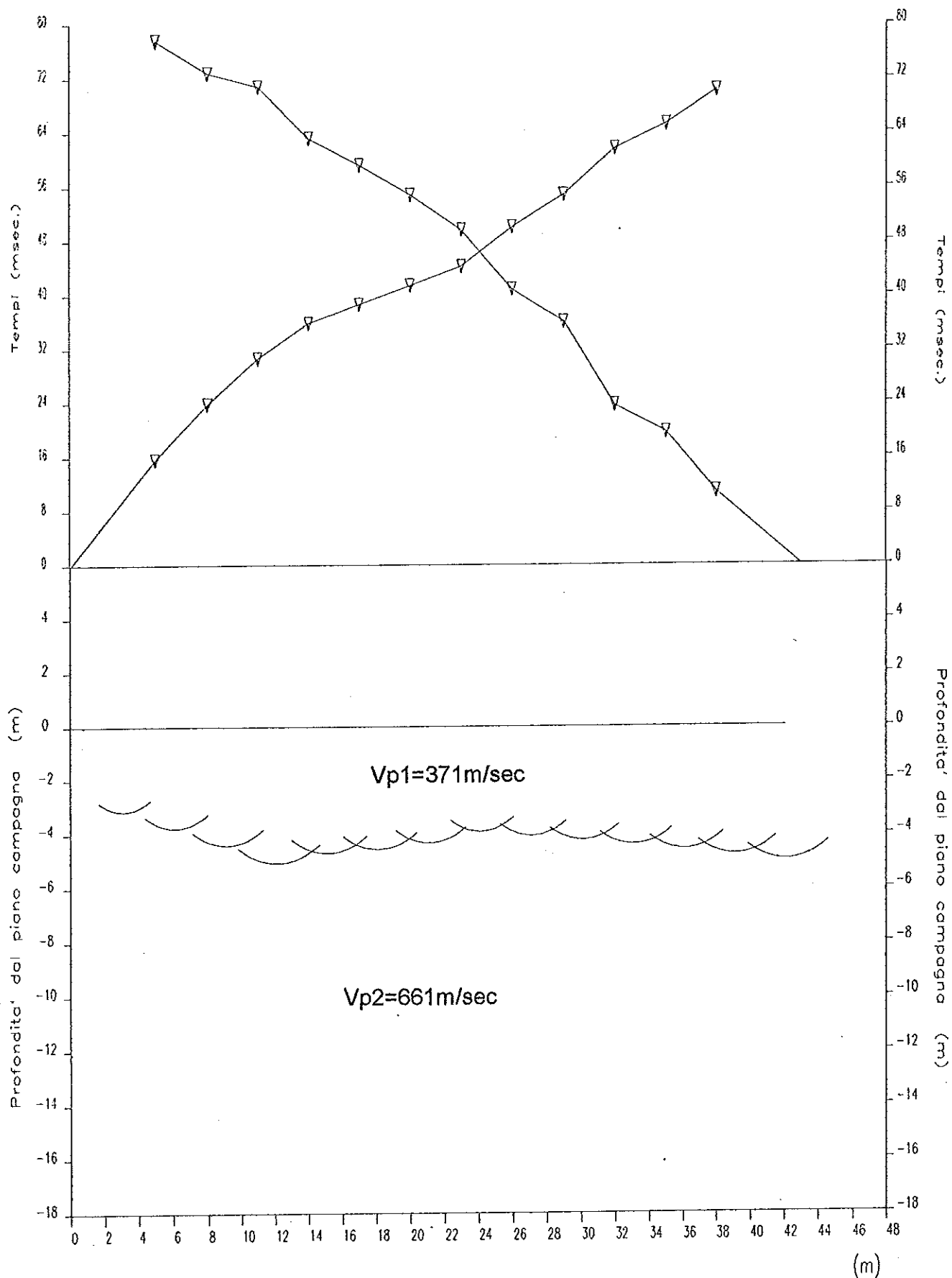
BASE SISMICA N° 26



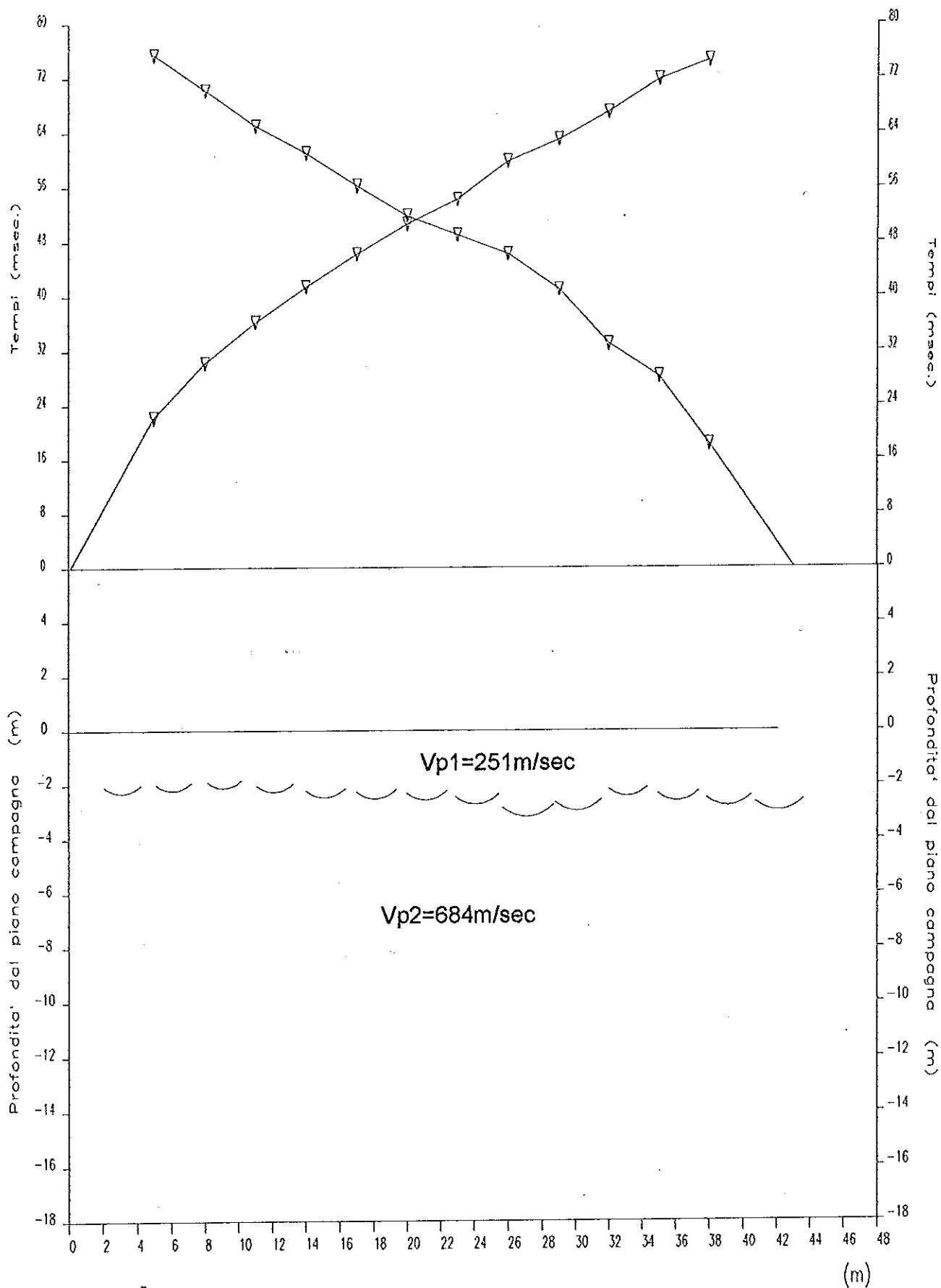
BASE SISMICA N°26S



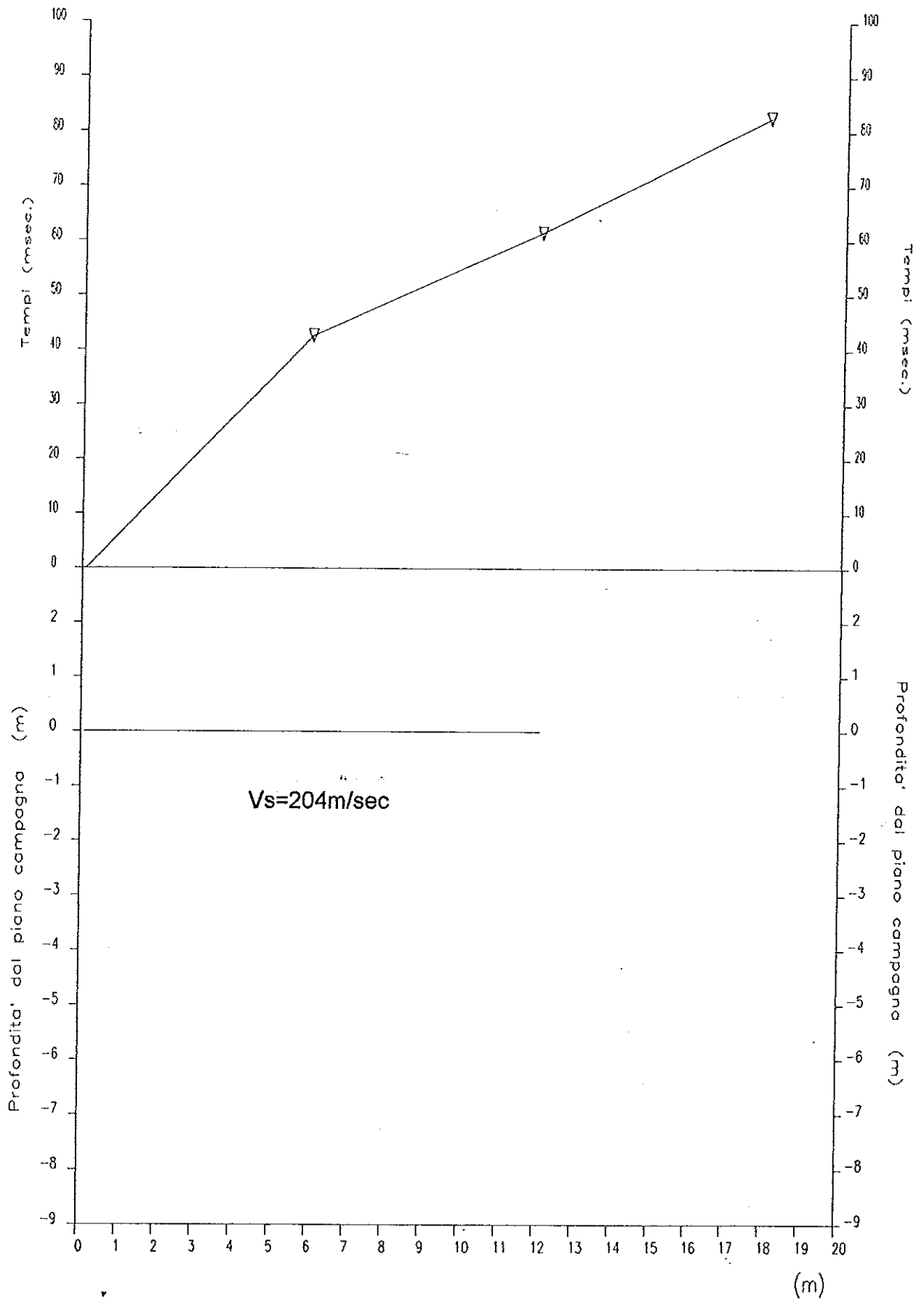
BASE SISMICA N°27



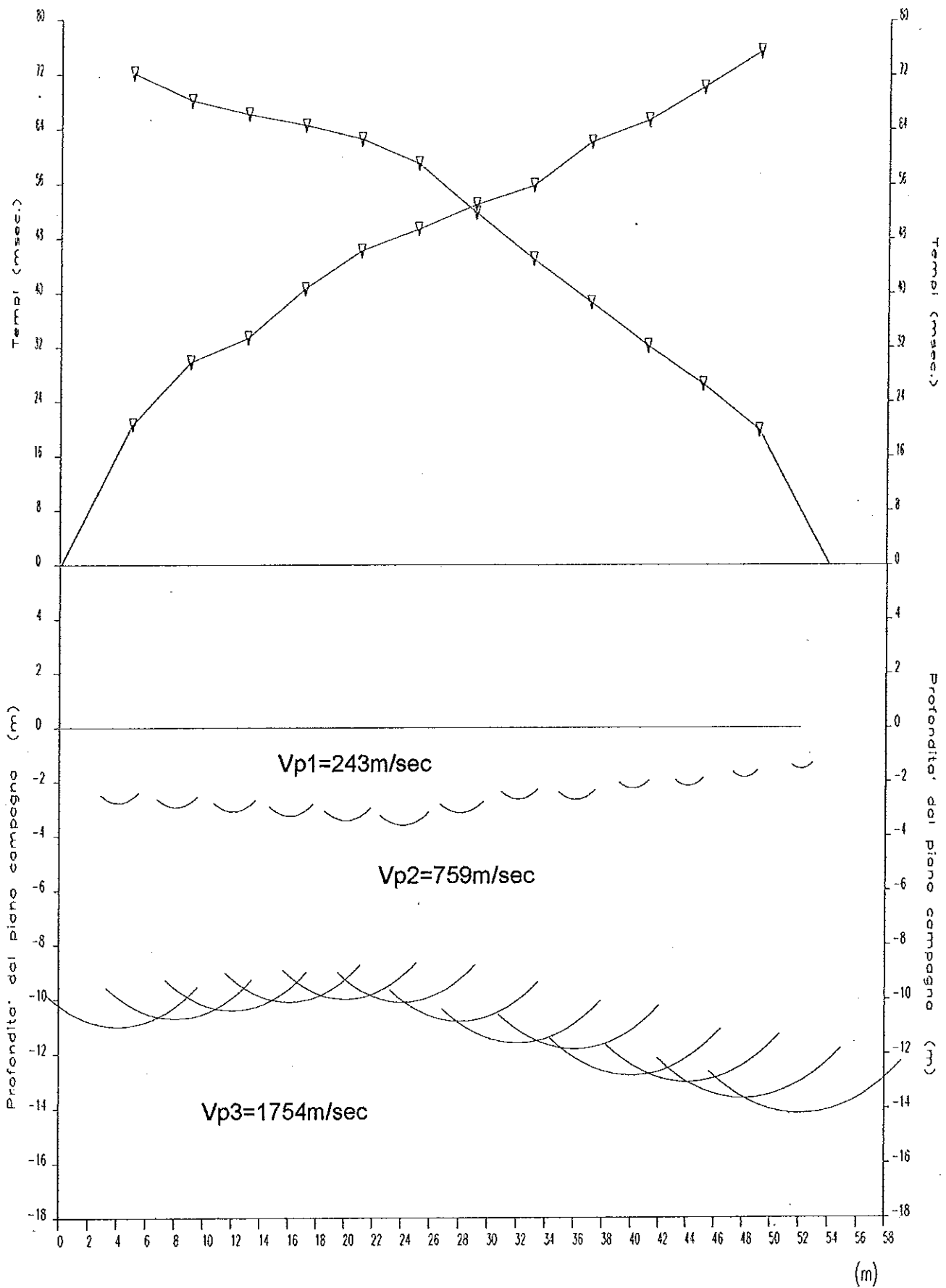
BASE SISMICA N°28



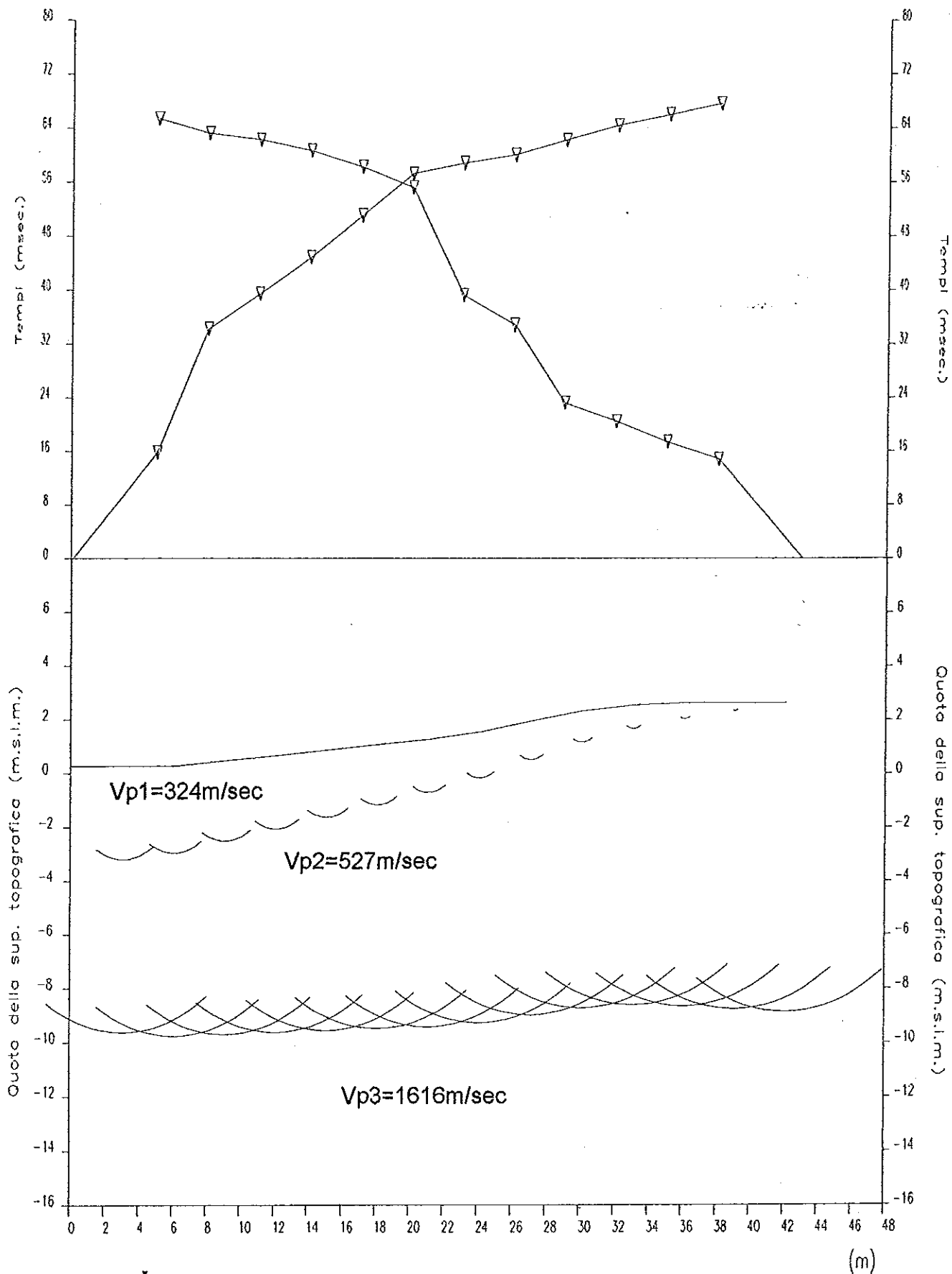
BASE SISMICA N°285



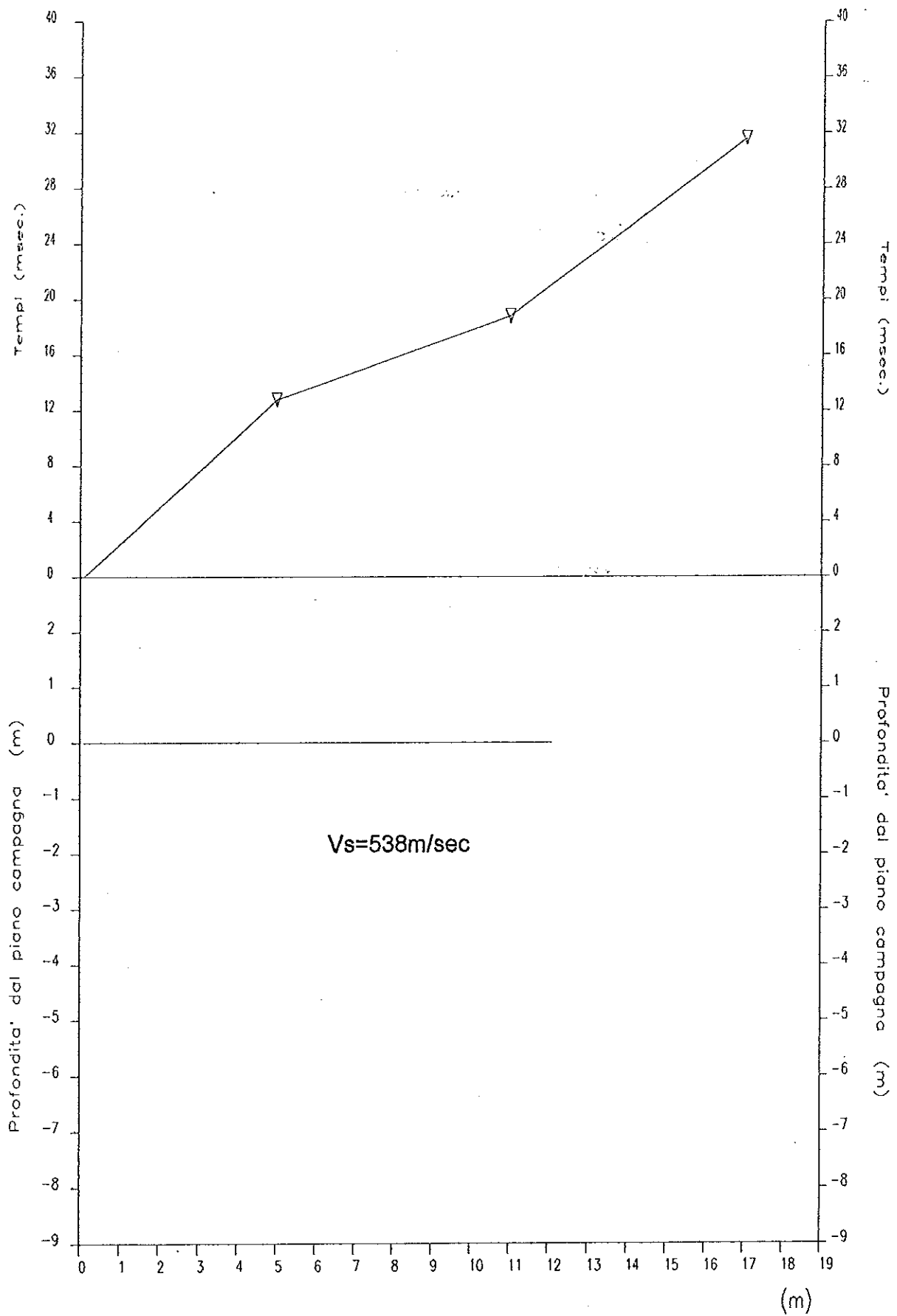
BASE SISMICA N°29



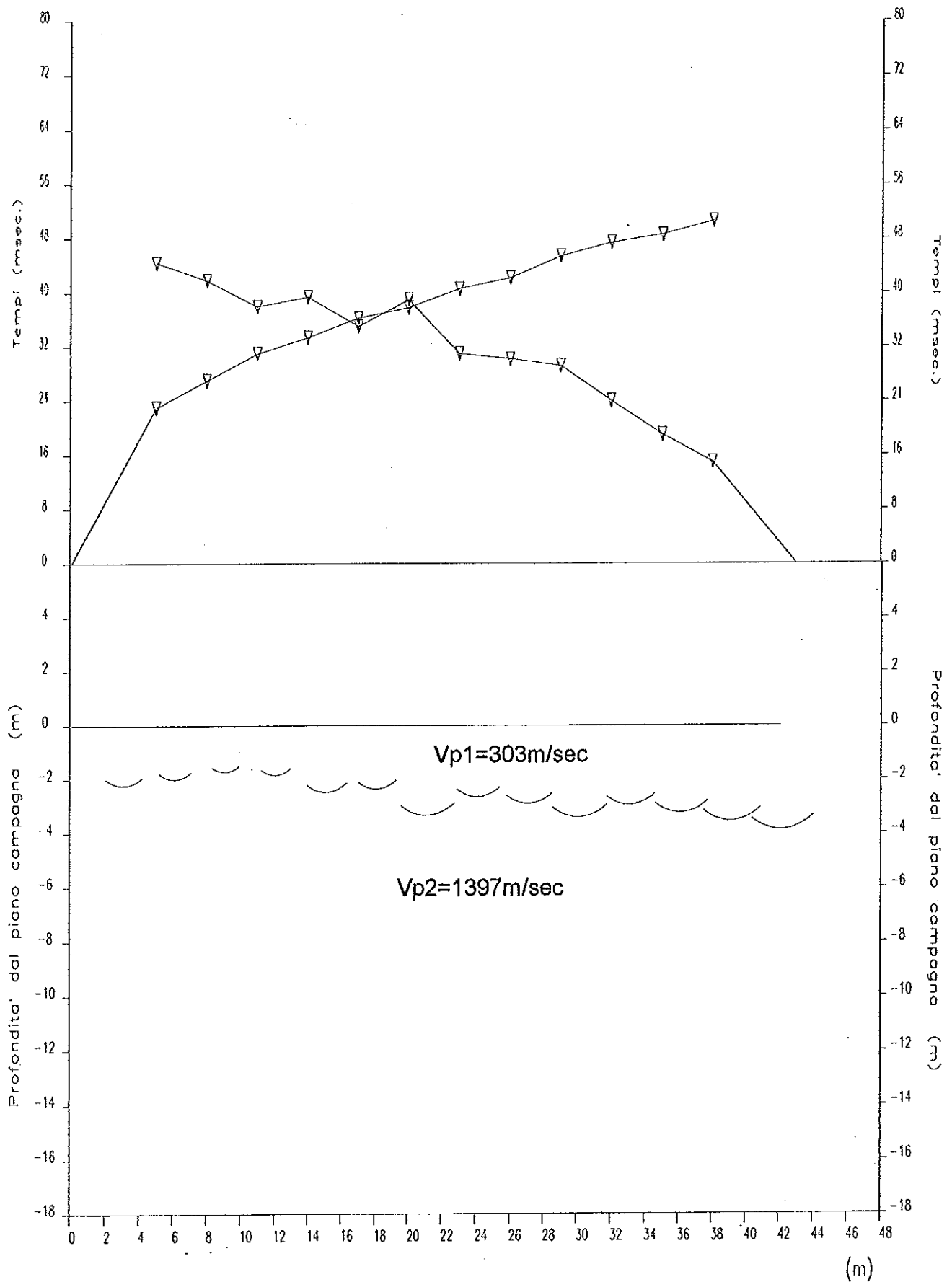
BASE SISMICA N°30



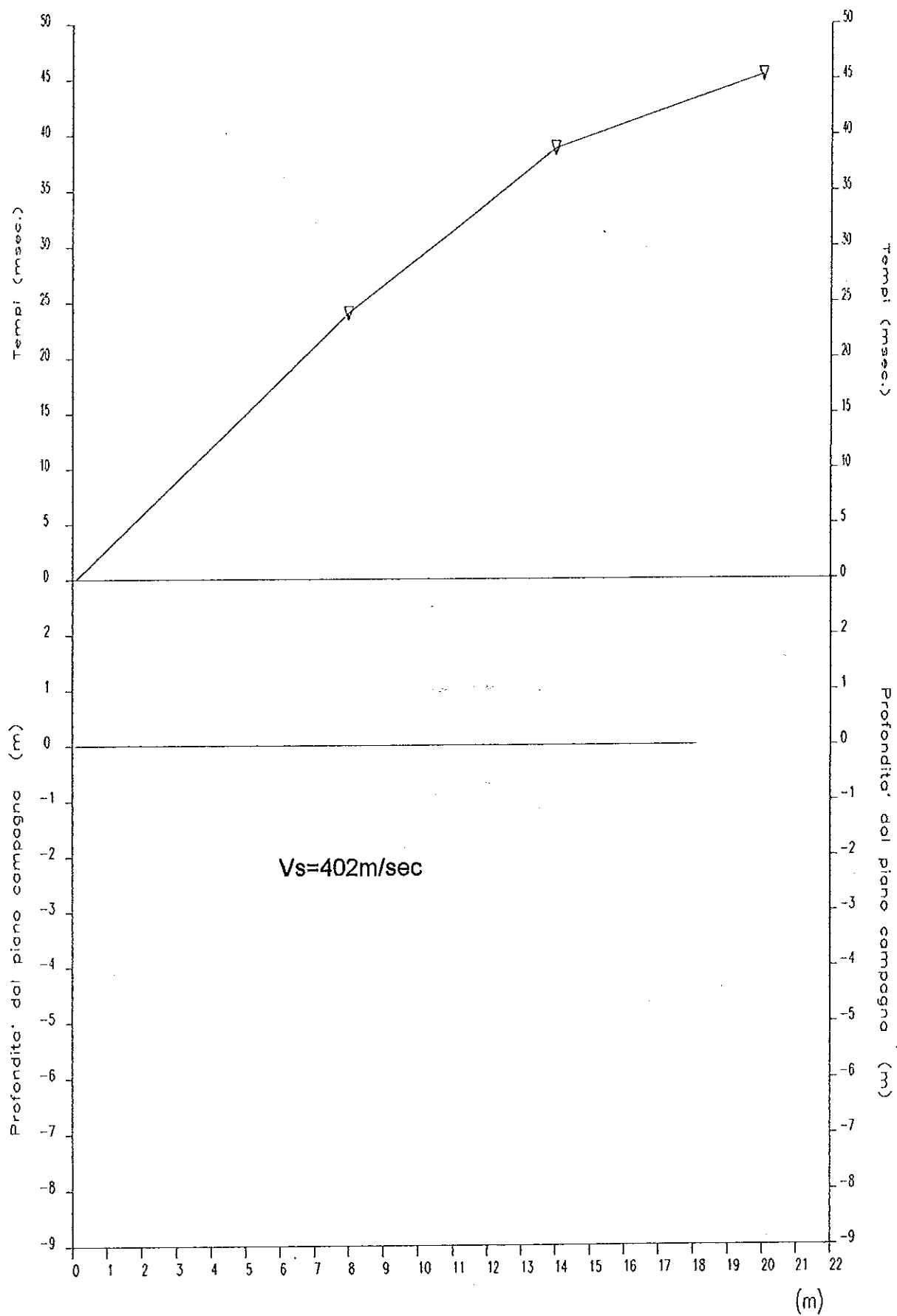
BASE SISMICA N°30S



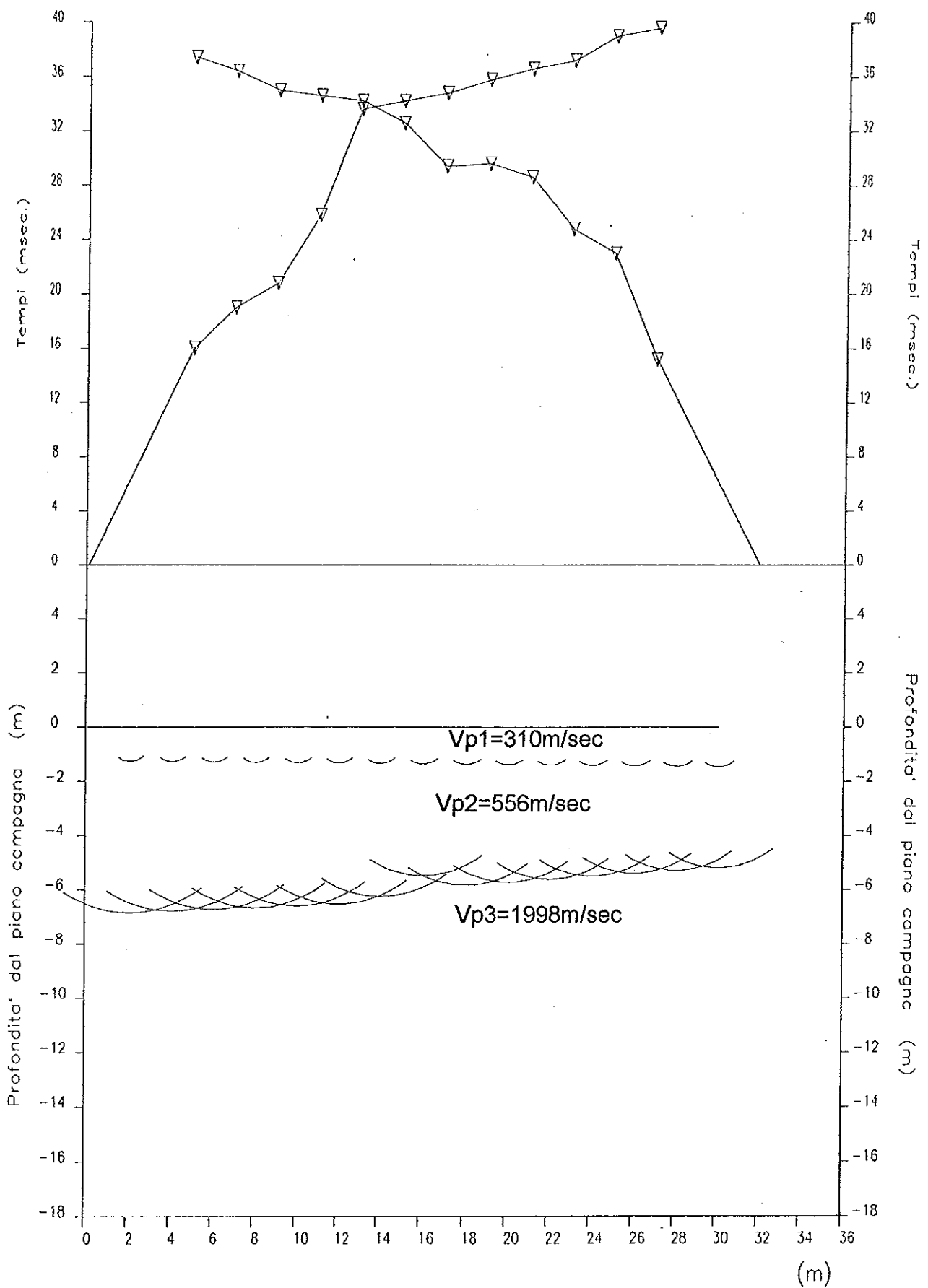
BASE SISMICA N°31



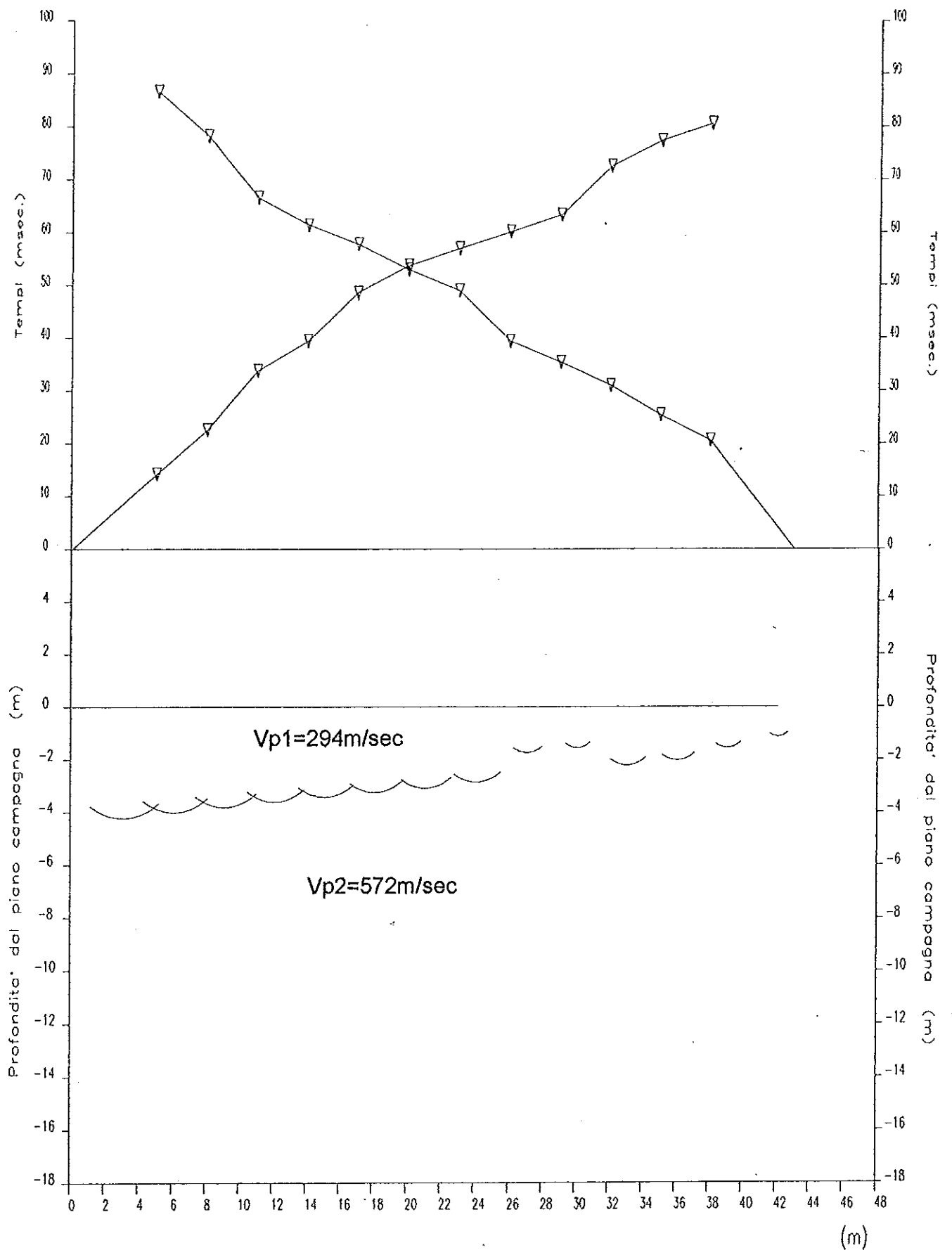
BASE SISMICA N°31S



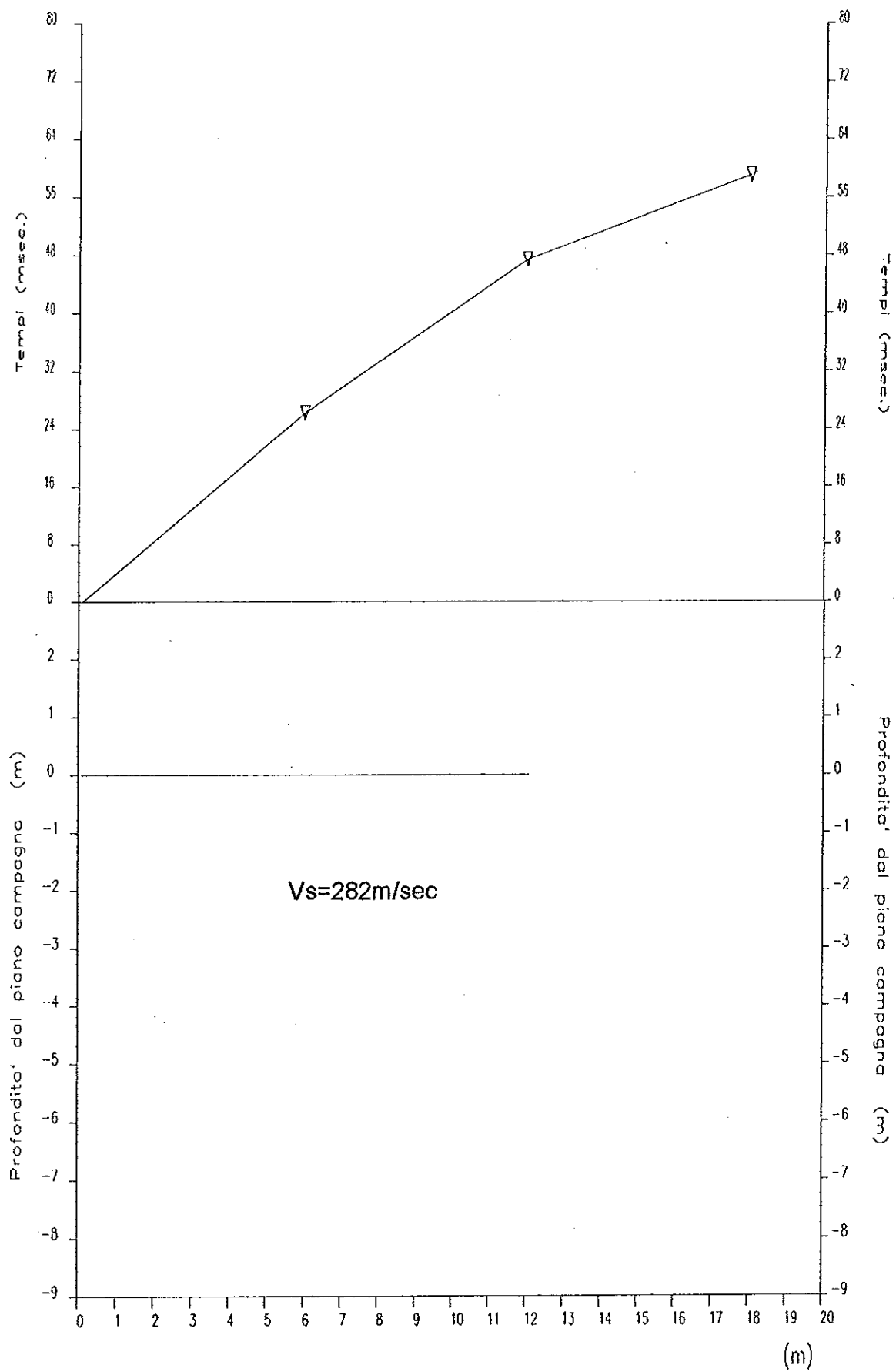
BASE SISMICA N°32



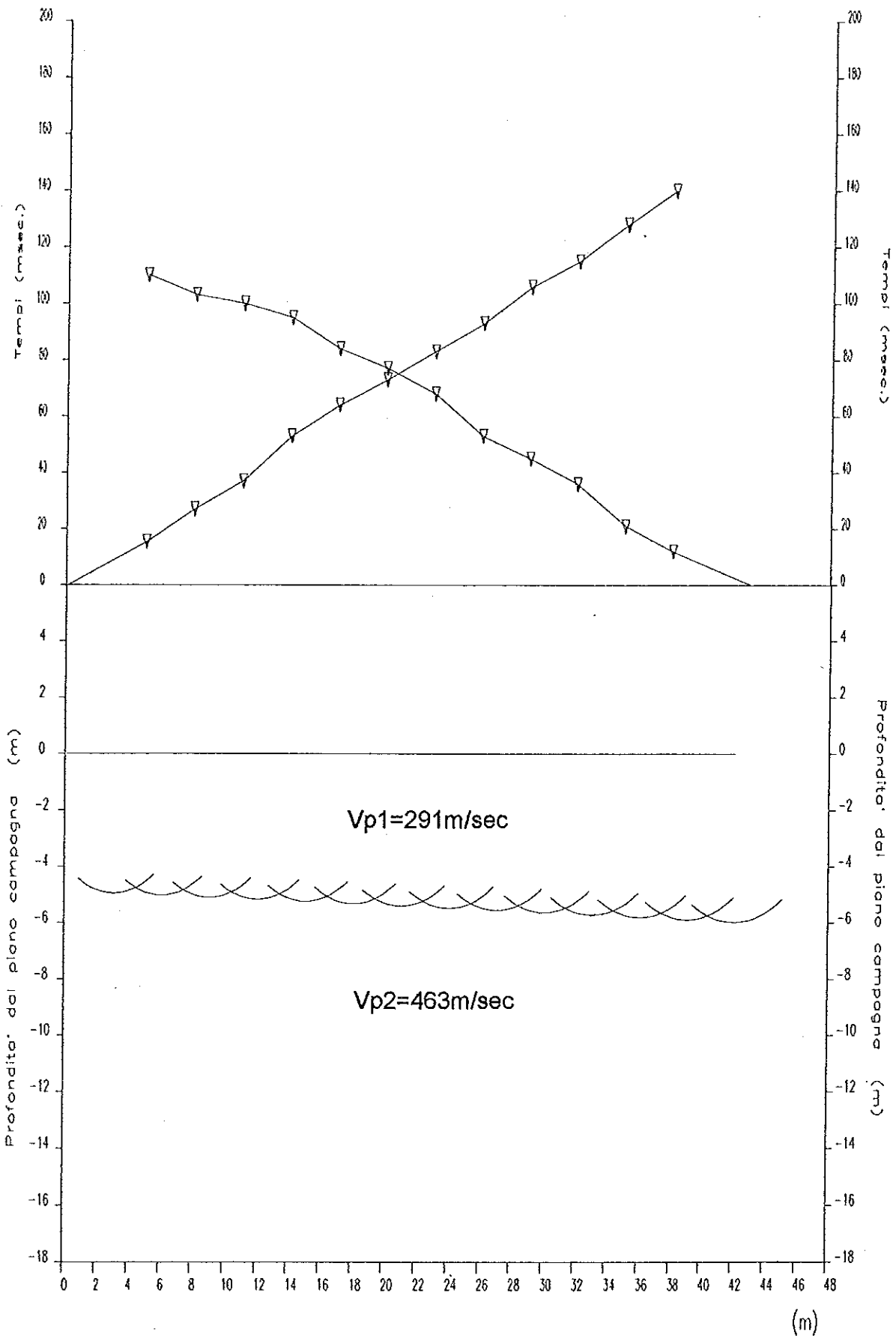
BASE SISMICA N°33



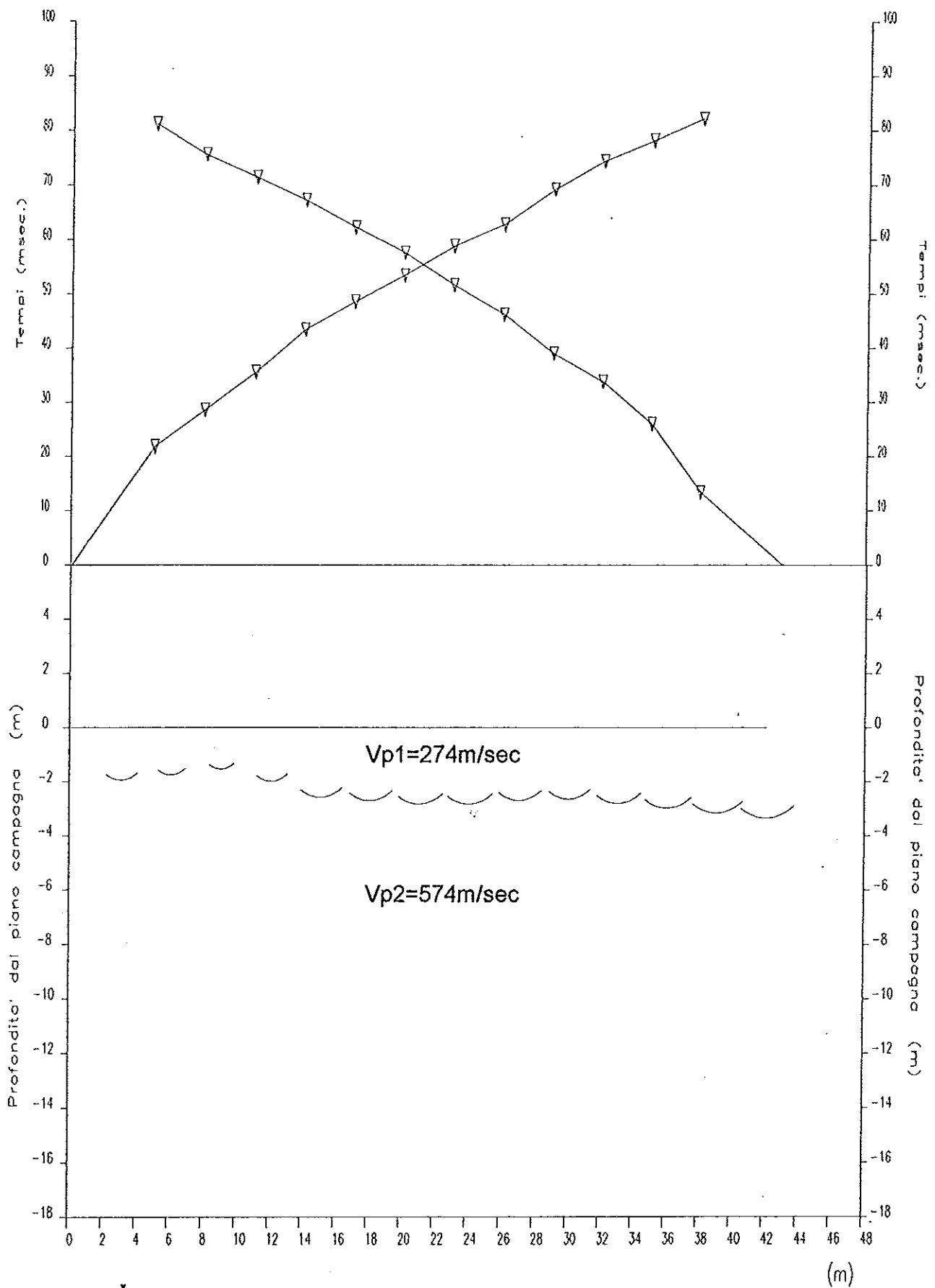
BASE SISMICA N°33S



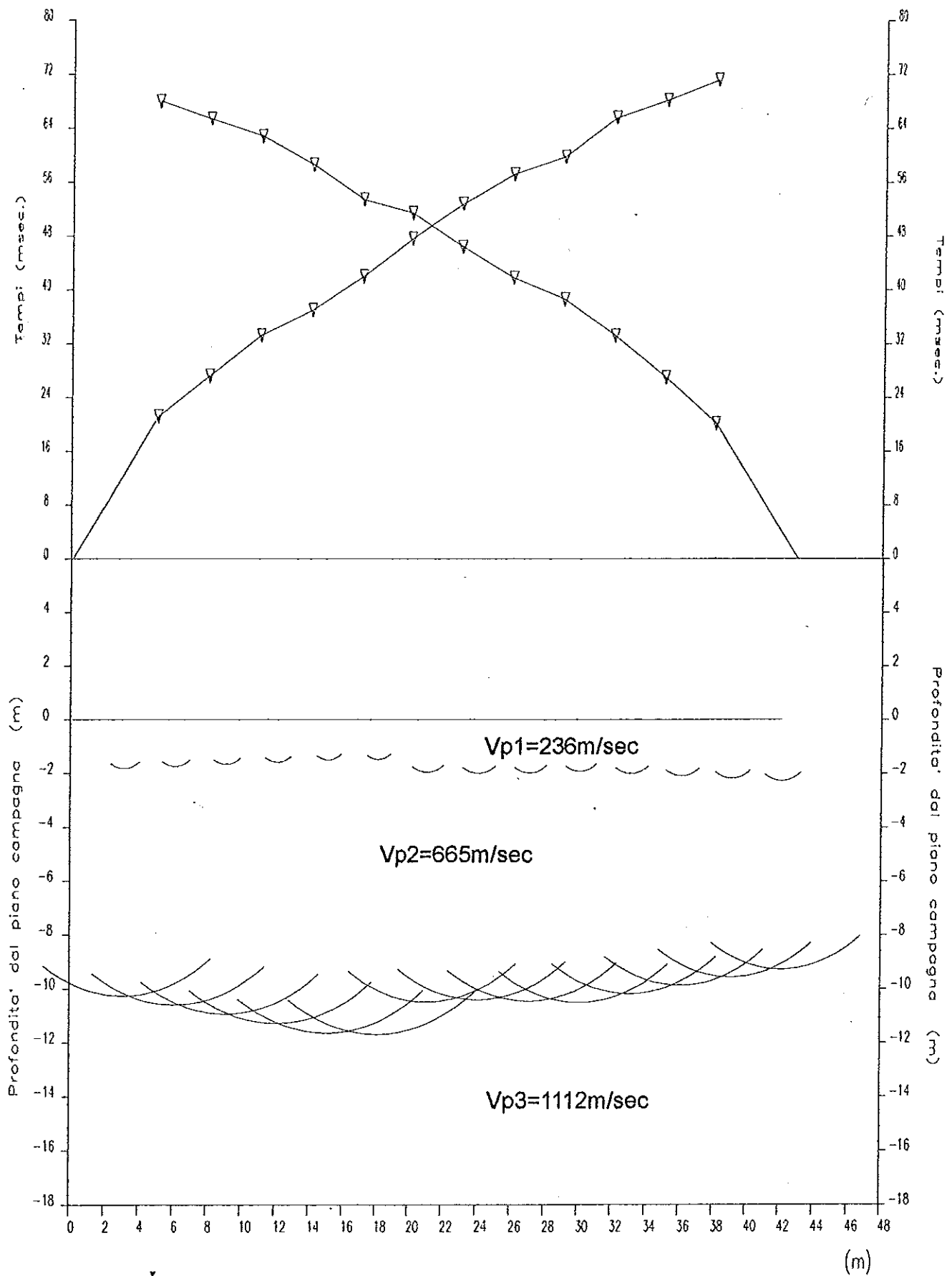
BASE SISMICA N°34



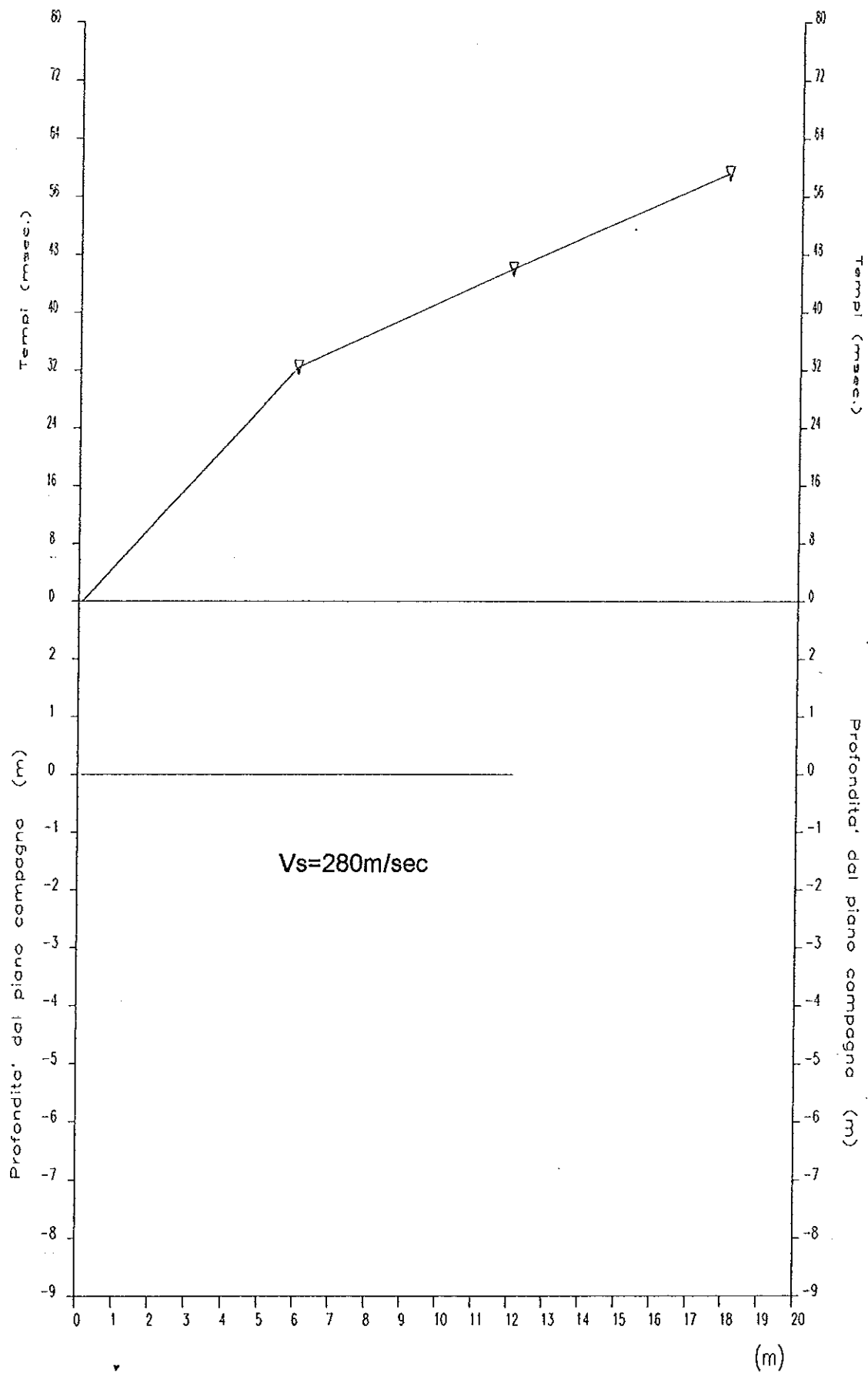
BASE SISMICA N°35



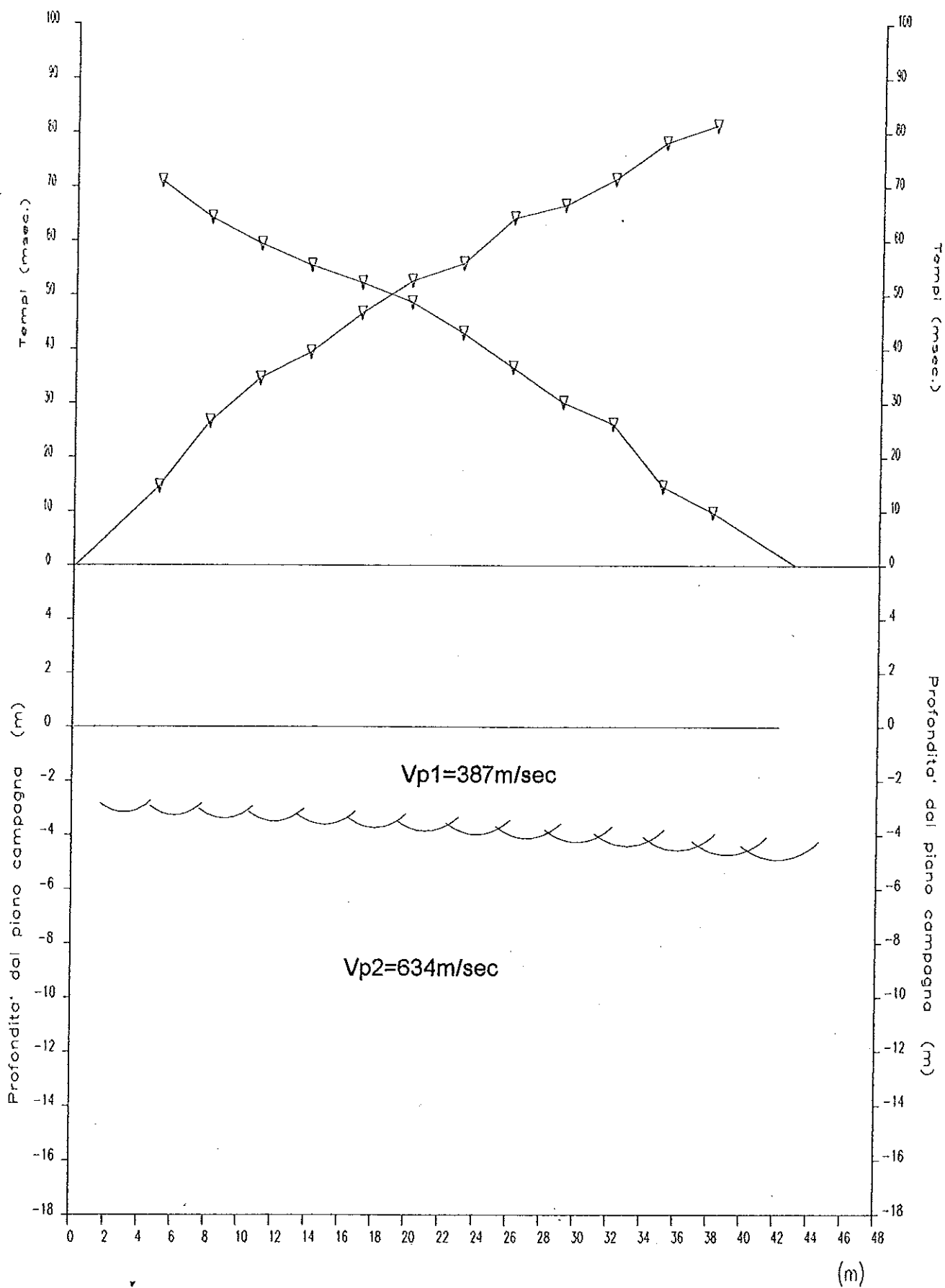
BASE SISMICA N°36



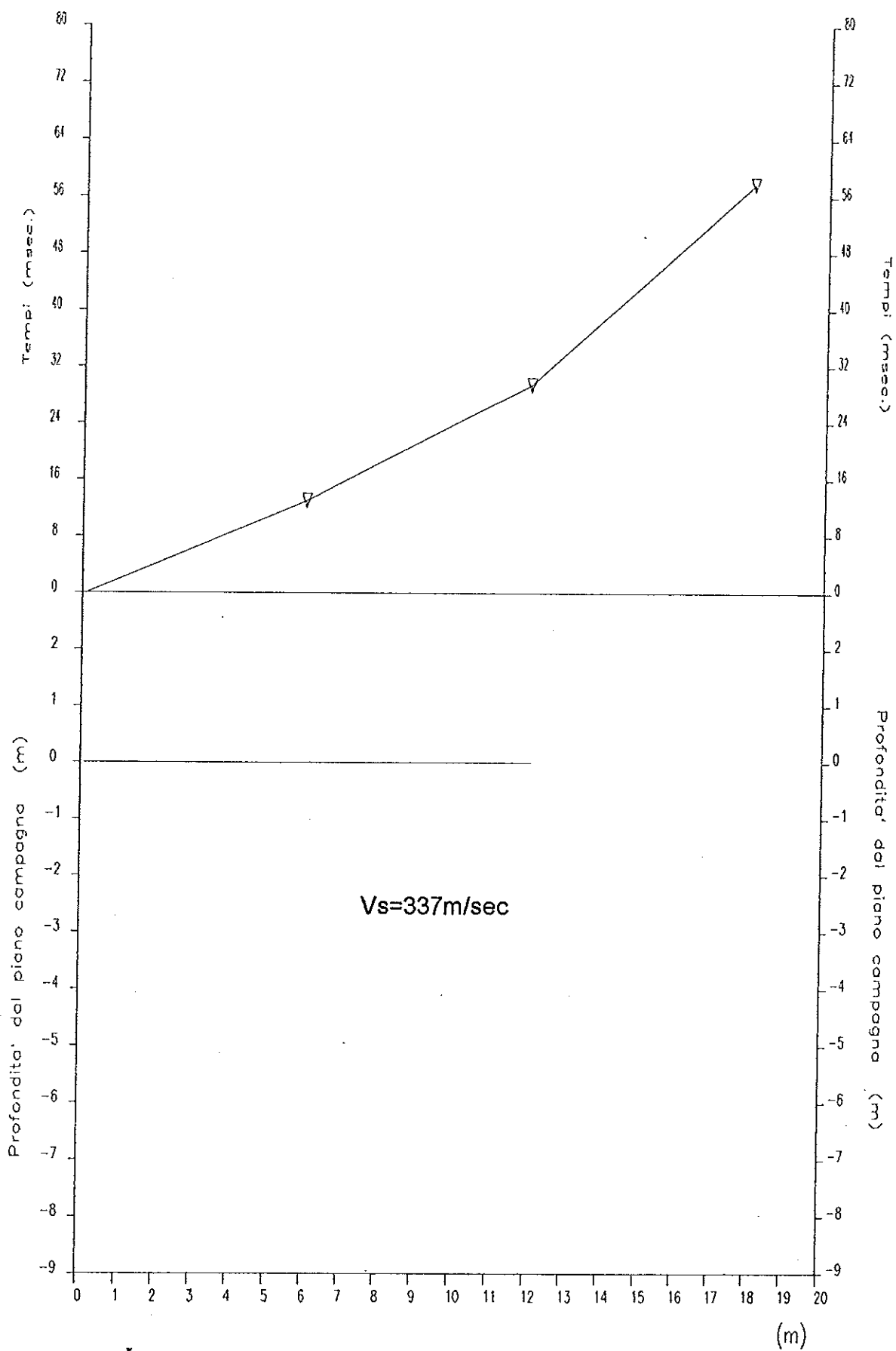
BASE SISMICA N°36S



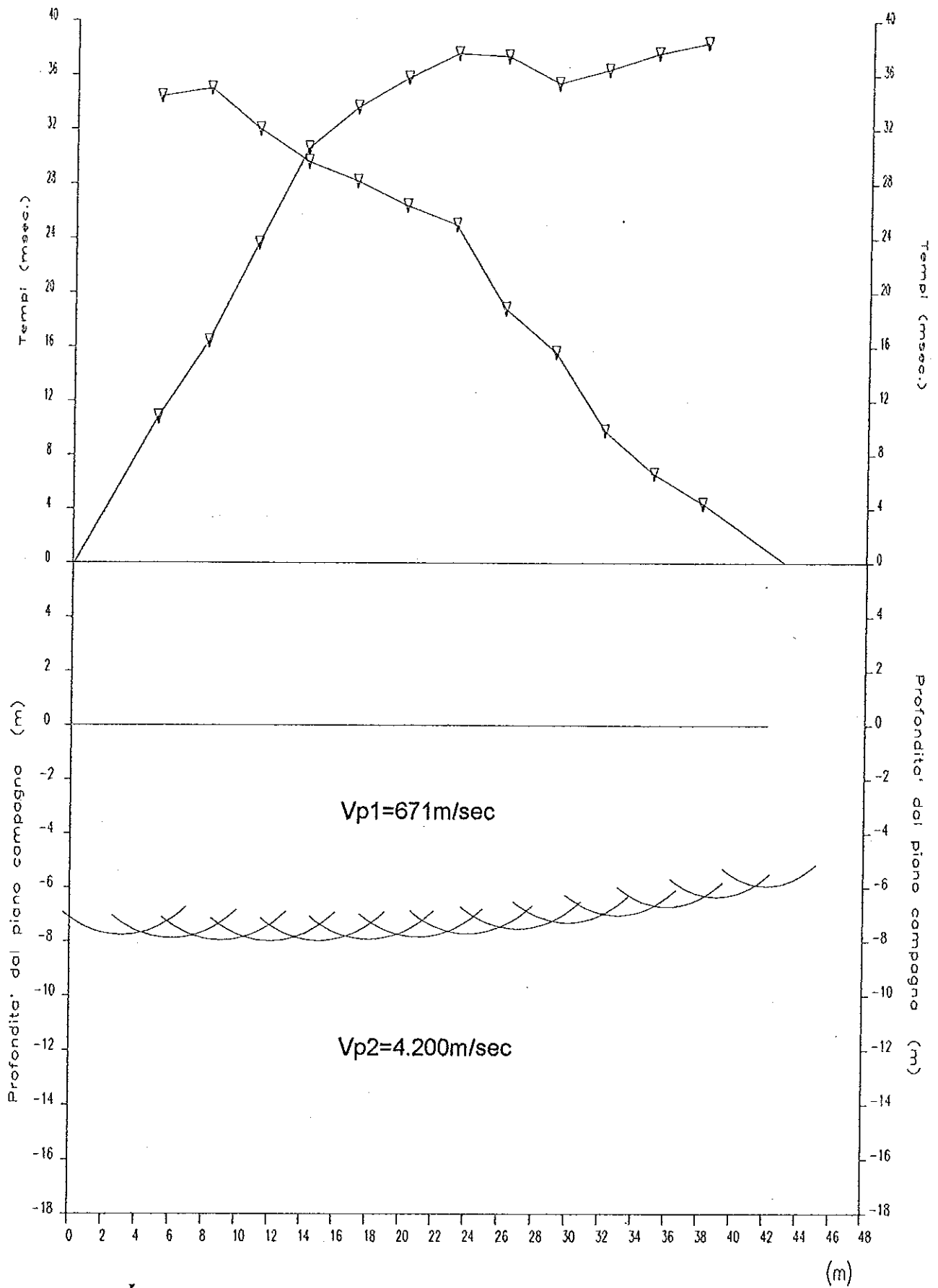
BASE SISMICA N°37



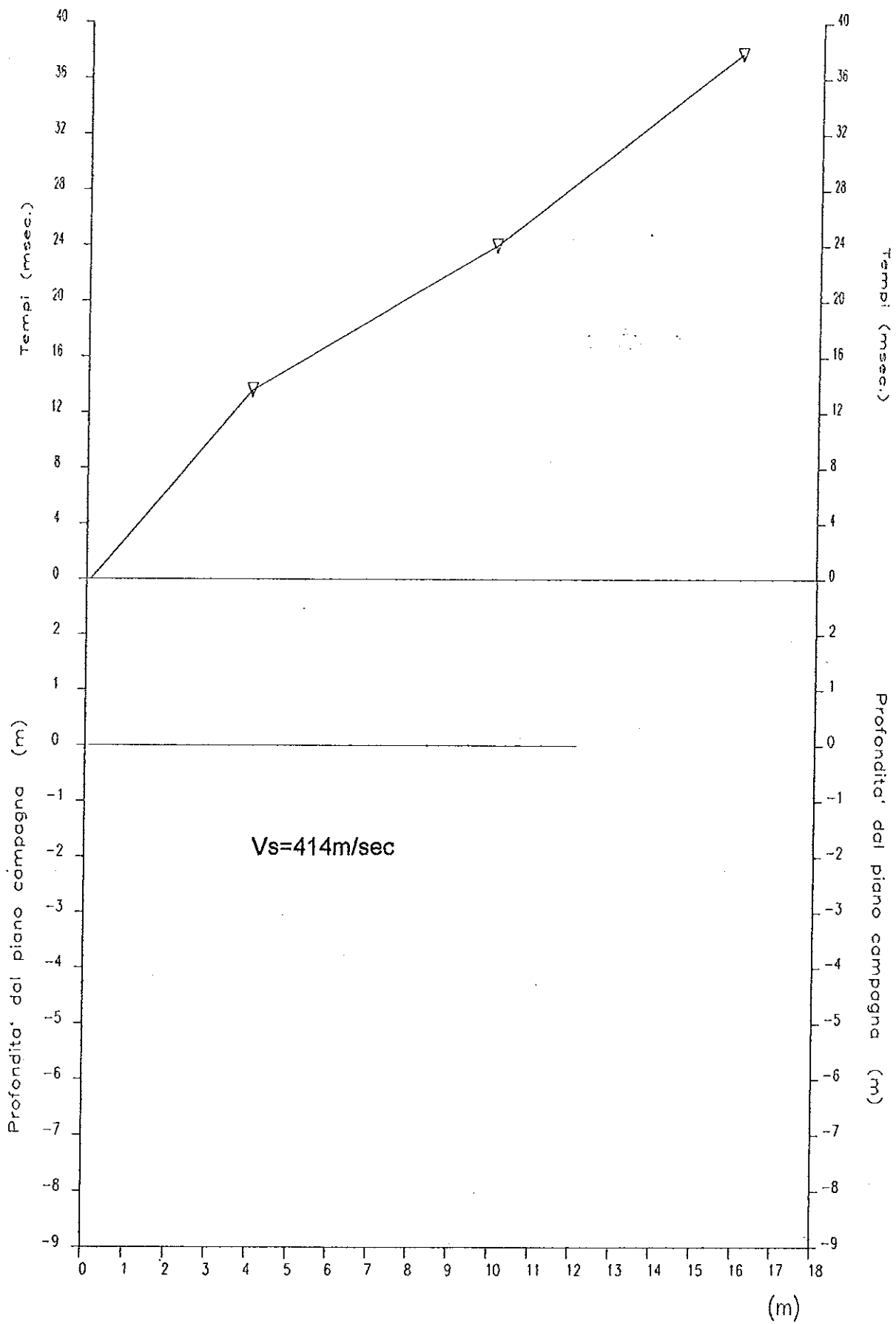
BASE SISMICA N°37S



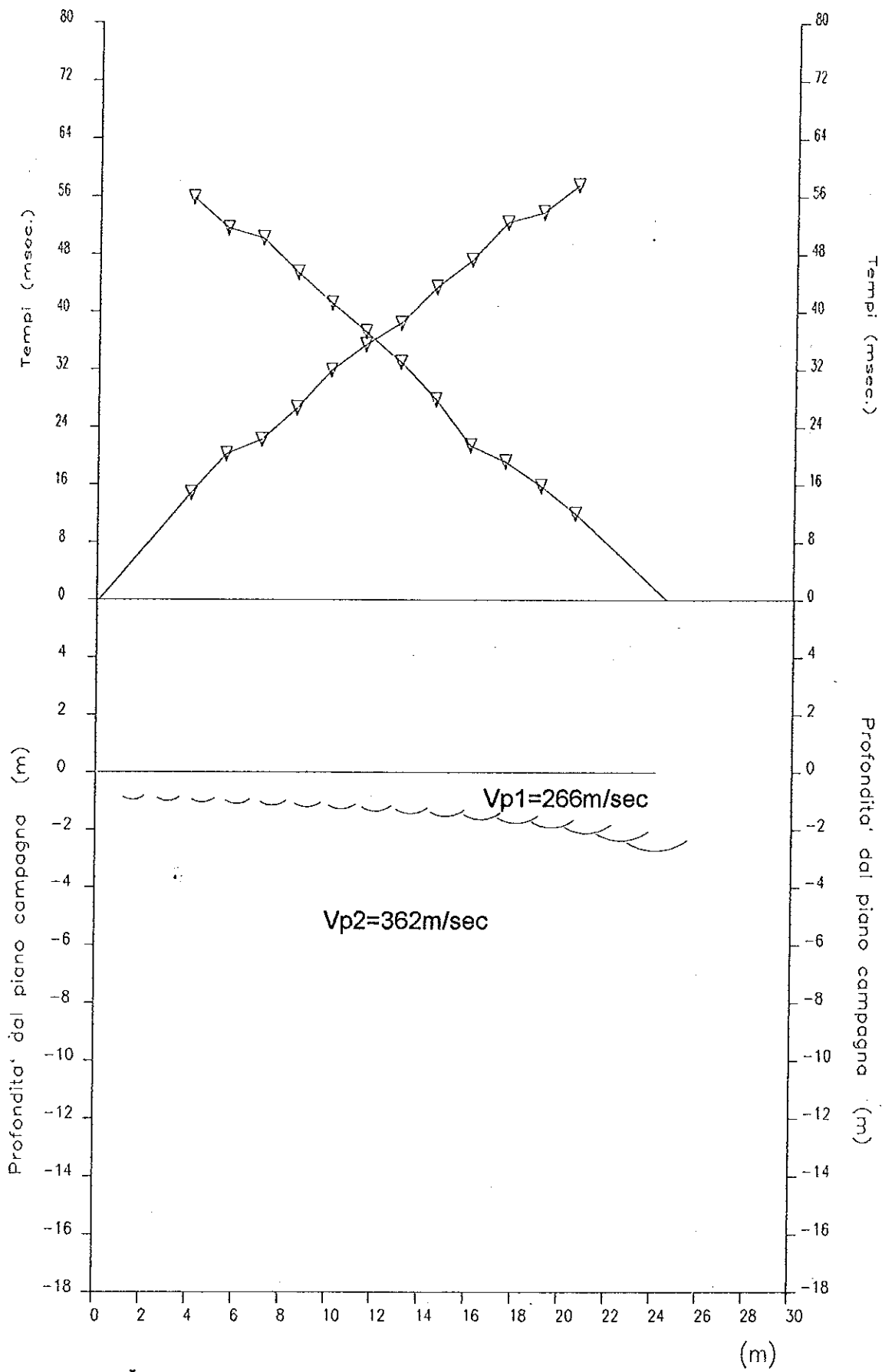
BASE SISMICA N°38



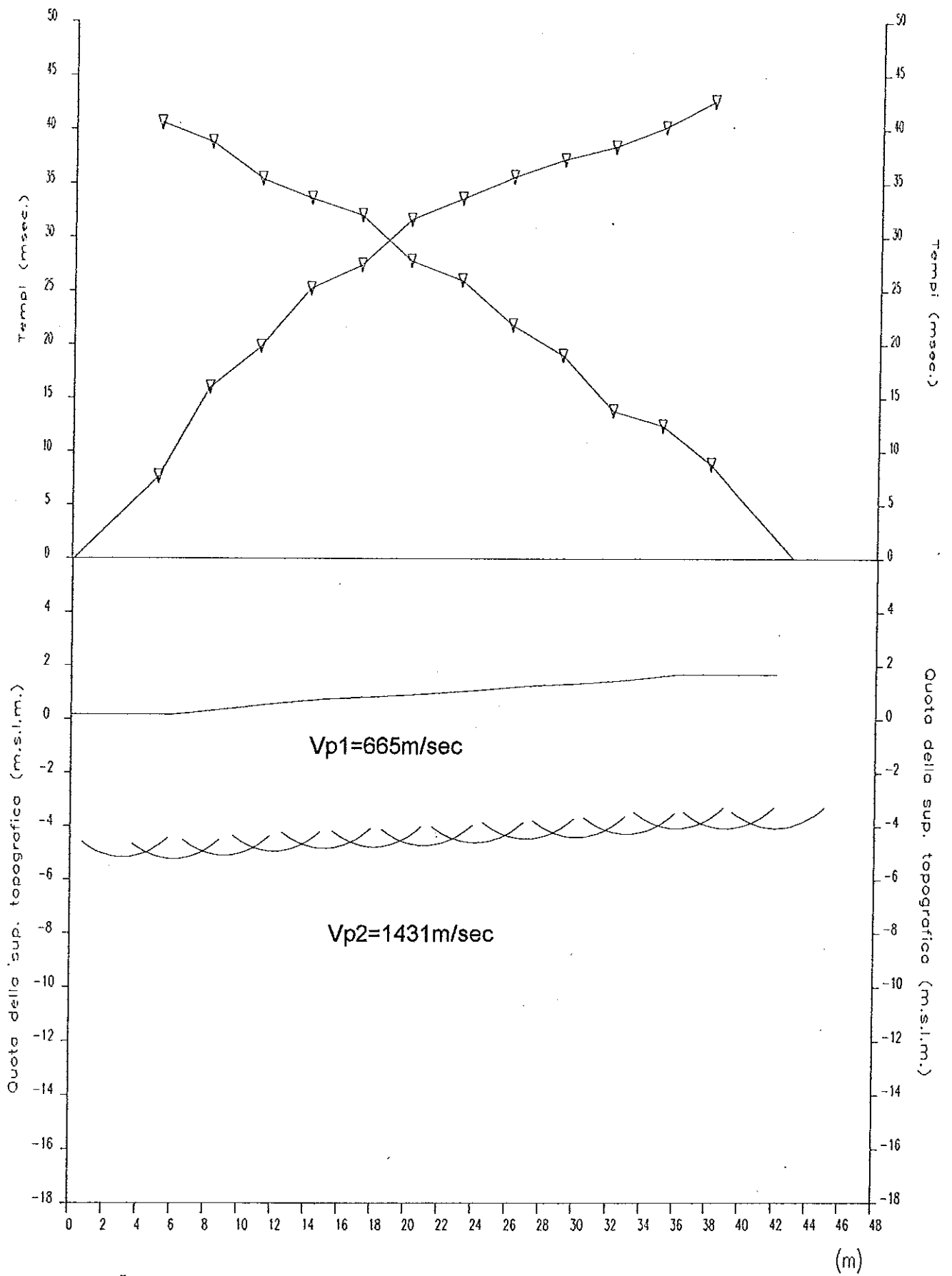
BASE SISMICA N°38S



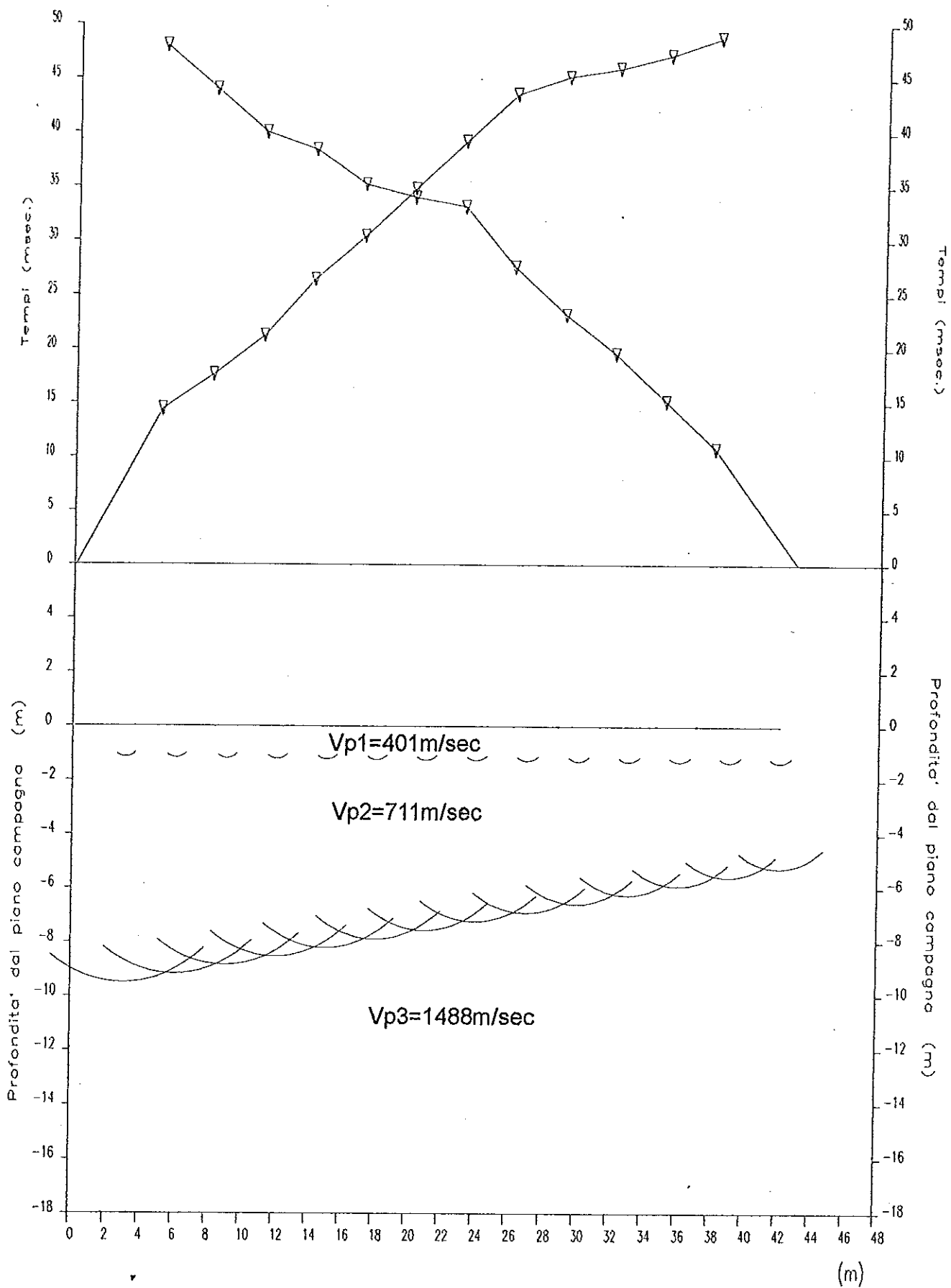
BASE SISMICA N°39



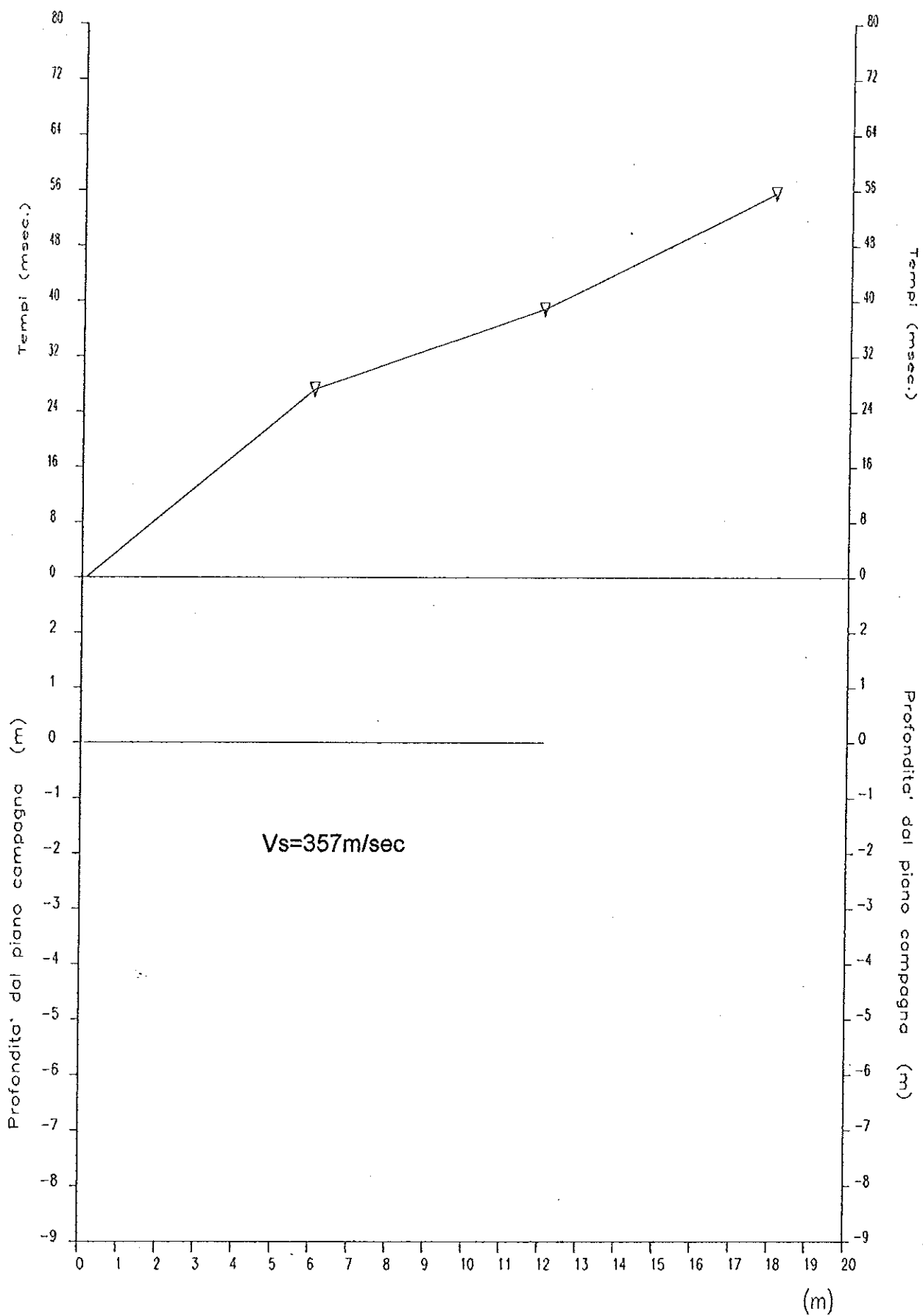
BASE SISMICA N°40



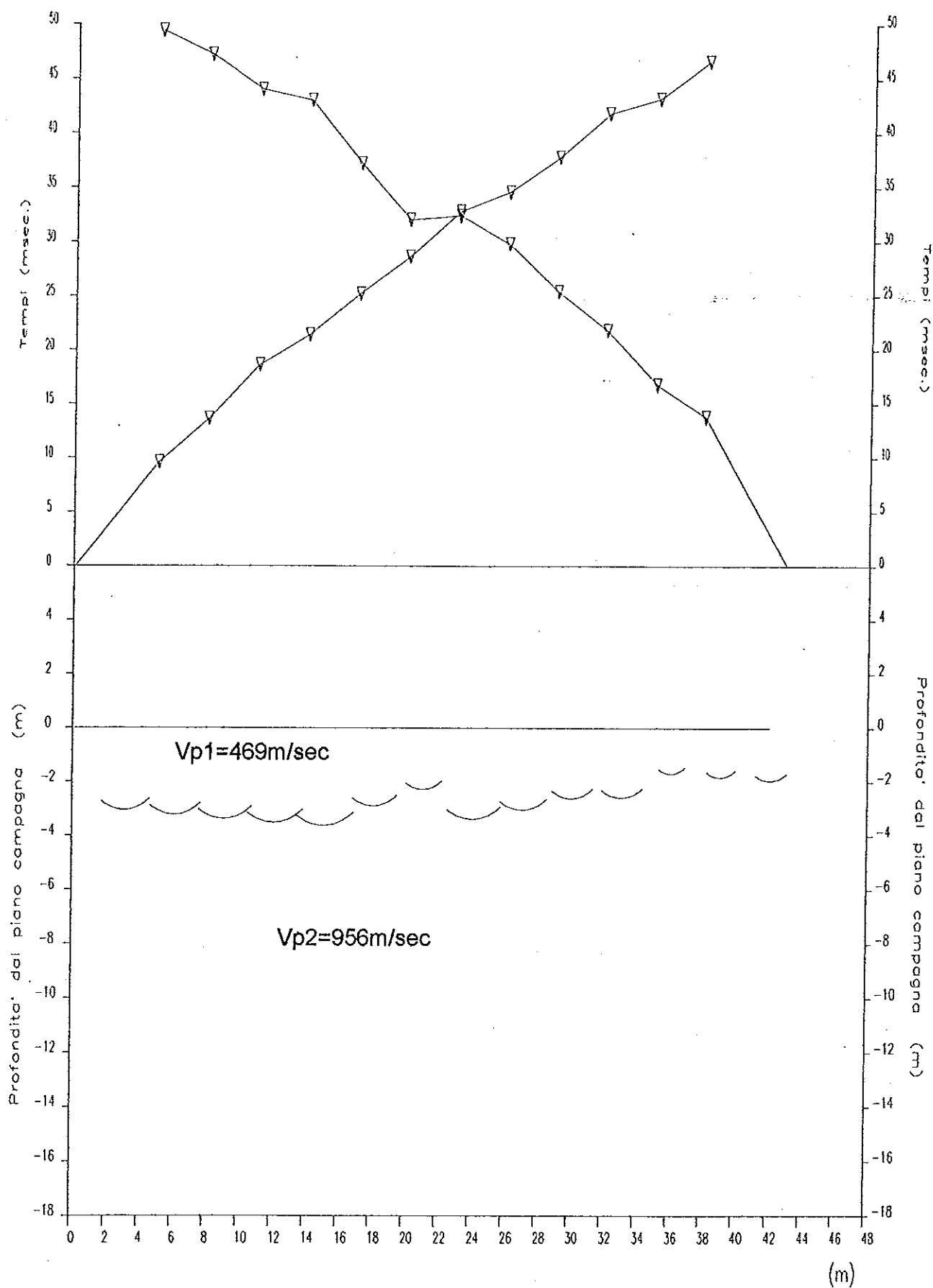
BASE SISMICA N°41



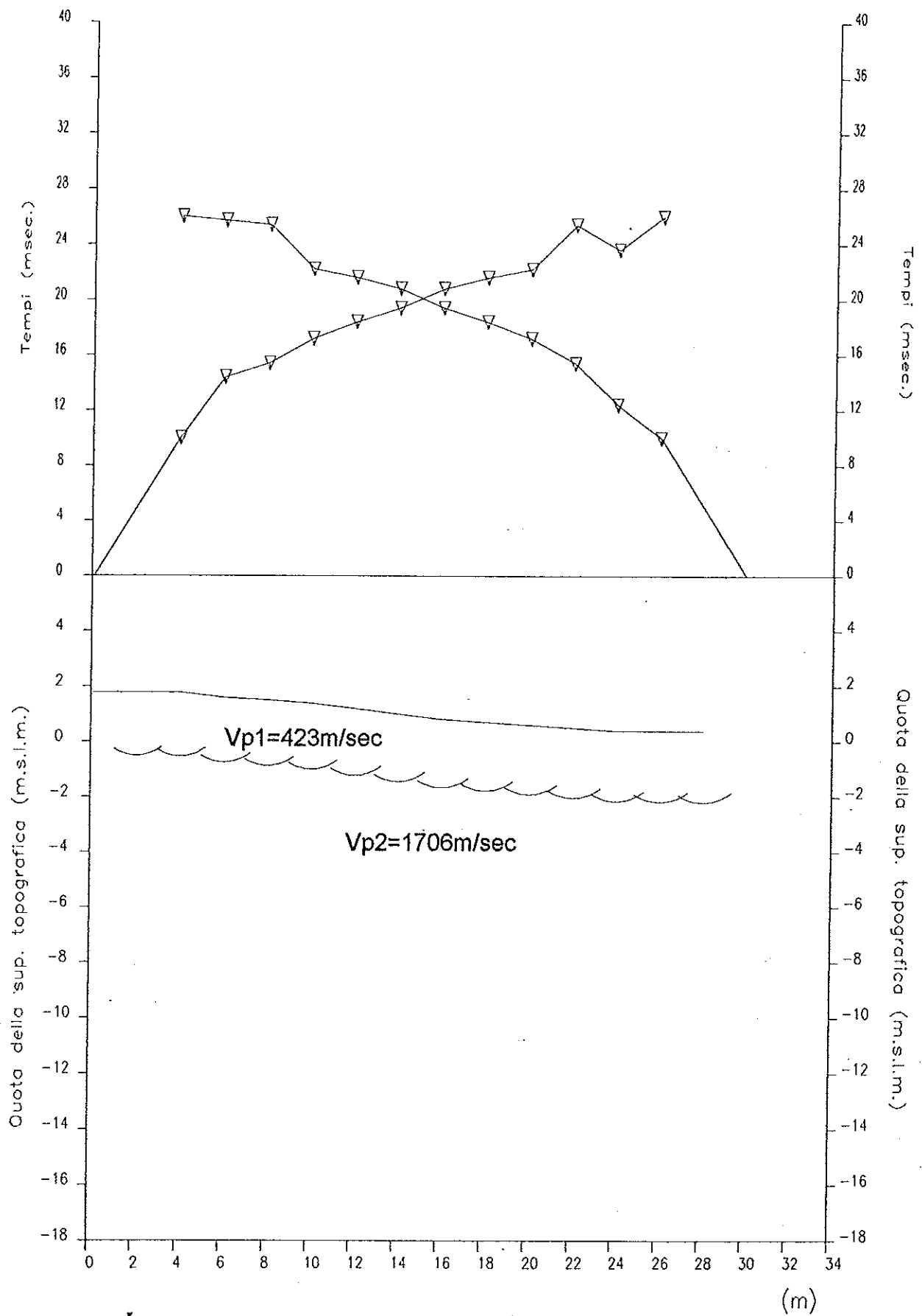
BASE SISMICA N°41S



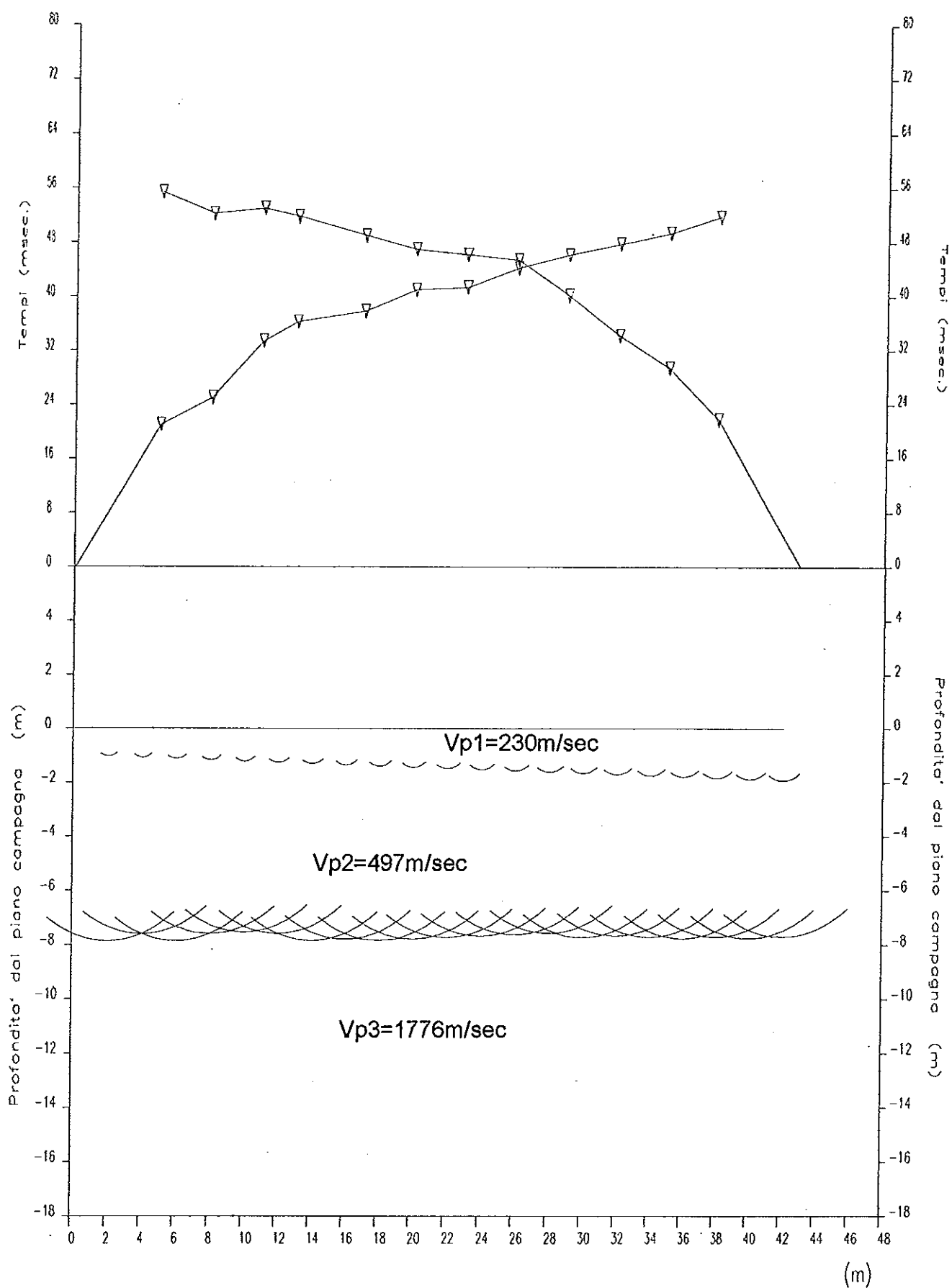
BASE SISMICA N°42



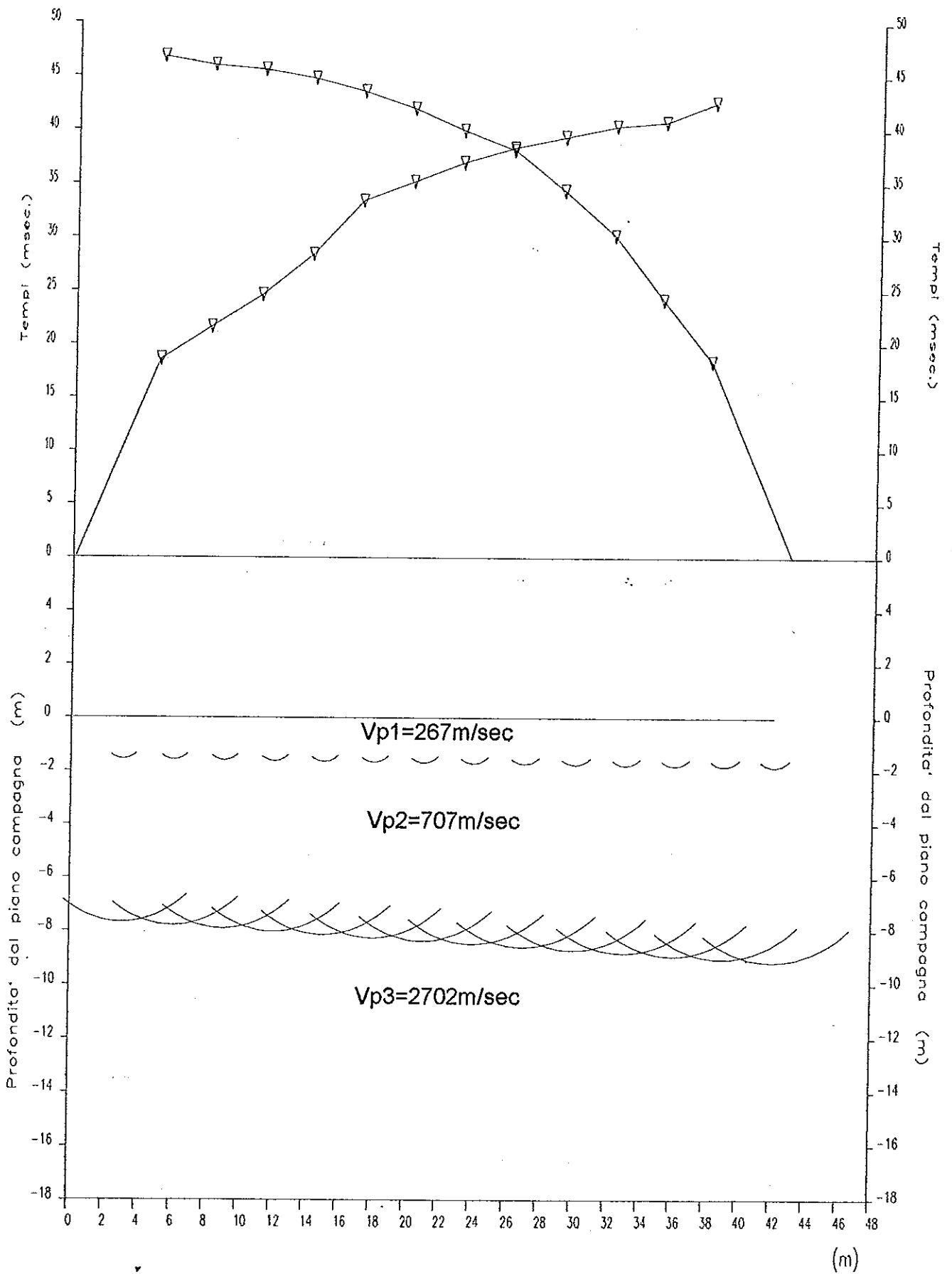
BASE SISMICA N°43



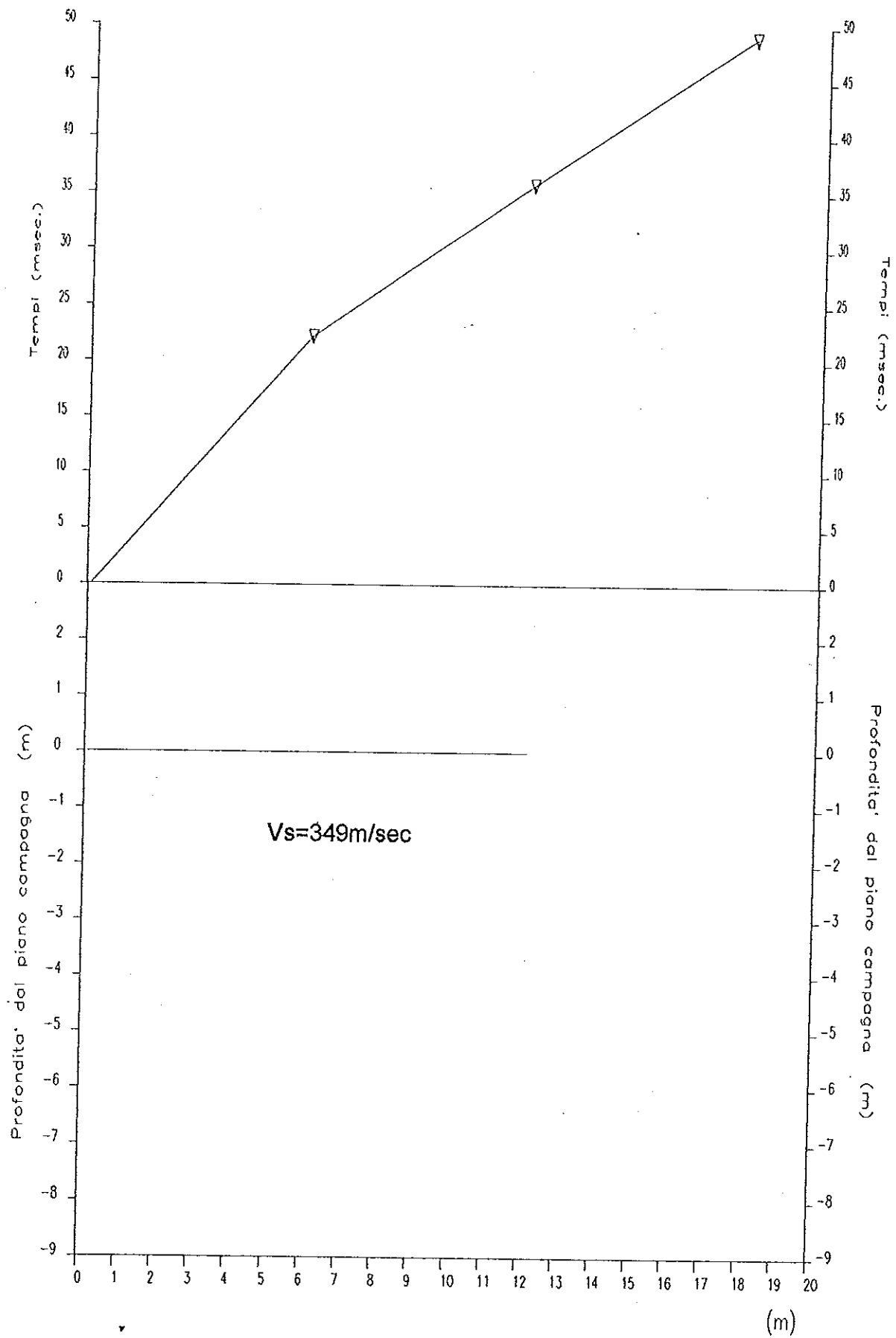
BASE SISMICA N°44



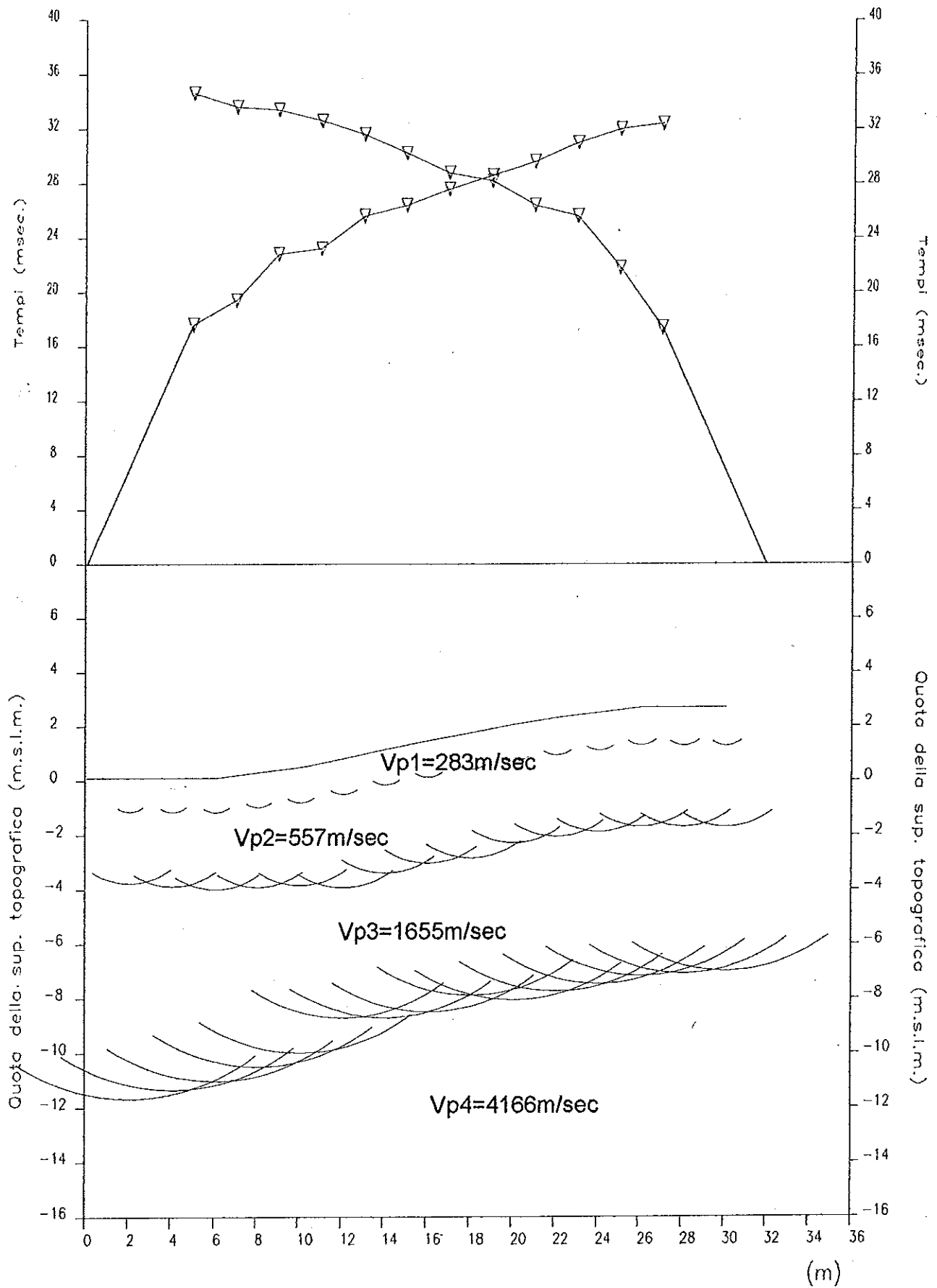
BASE SISMICA N°45



BASE SISMICA 45S



BASE SISMICA N°46



BASE SISMICA N°46S

