REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DEL V.C.O.

# COMUNE DI BEURA CARDEZZA

## VARIANTE STRUTTURALE
## AL PIANO REGOLATORE GENERALE COMUNALE
## *Progetto Definitivo*

- *Legge Regionale 5 dicembre 1977, n° 56 e s.m.i.;*
- *Circolare P.G.R. del 08.05.1996, n° 7/LAP "Specifiche tecniche per l'elaborazione degli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici", e successiva Nota Tecnica Esplicativa dicembre 1999;*
- *D.G.R. del 15/07/2002 n. 45-6656, approvazione della "Legenda Regionale per la redazione della carta geomorfologica e del dissesto dei P.R.G.C."*
- *Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, successiva D.G.R. del 17/11/2003 n. 61-11017 e Circ. P.G.R. 1/DOP 27-04-2004;*
- *"Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Variante delle Fasce Fluviali del F. Toce"; D.P.C.M. del 10/12/2004;*
- *D.G.R. n. 2-11830 del 28/07/2009, Allegato B*

| **Elab. GEO 21** | **INDAGINE GEOFISICA A SUPPORTO DEGLI APPROFONDIMENTI GEOLOGICI E SISMICI PER LA VARIANTE STRUTTURALE** | **Elab. GEO 21** |
|---|---|---|

Aggiornamento a seguito delle Prescrizioni contenute nel Parere del Settore Prevenzione Territoriale del Rischio Geologico - Area di Torino, Cuneo, Novara e Verbania, con Nota del 16/05/2013, prot. n. 36495/DB14.20

| Data: FEBBRAIO 2014 | Adozione Progetto Preliminare<br>Delibera C.C. n° 14 del 28/06/2013<br><br>Adozione Progetto Definitivo<br>Delibera C.C. n° del |
|---|---|

IL SEGRETARIO COMUNALE
dott. Cerizza Dario

IL SINDACO
geom. Carigi Davide

IL PROGETTISTA
geol. D'Elia Francesco

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
dott. Cerizza Dario

**STUDIO GEOLOGICO D'ELIA**
Via Roma, 3/A - 28802 Mergozzo (VB) tel. e fax 0323/80206 e-mail geodelia@tin.it

# 1. PREMESSA

La presente indagine geofisica, integra e completa gli approfondimenti di tipo sismico, redatti a supporto della Variante Strutturale al P.R.G. vigente di Beura Cardezza, ai sensi dell'art. 89 del D.P.R. n. 380/2001, della Circolare P.G.R. del 27/04/2004 n. 1/DOP, emanata a seguito dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, contenente "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" e delle successive D.G.R. della Regione Piemonte.

L'indagine sismica, ha interessato i terreni della piana alluvionale del F. Toce (escludendo le conoidi alluvionali), nell'intero ambito del territorio comunale, dai confini con il Comune di Vognogna, a Sud, sino ai confini con il Comune di Trontano, a Nord; tra i vari obiettivi dell'Indagine, vi erano:

- verifica del tipo di suolo di fondazione e profondità del substrato, con definizione del profilo di velocità delle onde di taglio (Vs30);
- verifica della presenza di situazioni a rischio, relativamente alla risposta dei terreni alla sollecitazione sismica locale, in base a quanto riportato dall'Ordinanza P.C.M. n. 3274/2003 e dalle disposizioni del D.M. 14-01-2008, soprattutto per quanto riguarda la possibilità di fenomeni di liquefazione;
- valutazione dei possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

Proprio con tali finalità, nel corso della seconda metà del mese di febbraio, è stata effettuata una specifica campagna di misurazioni di caratterizzazione sismica, in stretta collaborazione con il dott. geol. Alberto Lepori, di Piacenza, mediante la tecnica dei microtremori (Prove "ReMi"), la metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) e prove HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - ipotesi di Nakamura).

Sono state condotte quattro prospezioni sismiche, la cui ubicazione è stata evidenziata nell'estratto cartografico di seguito allegato; per ogni prospezione, sono state eseguiti i tre tipi di prova prima citati.

Le presenti note, rappresentano, pertanto, l'elaborazione e l'interpretazione dei dati di campagna di tale indagine geofisica, sviluppata congiuntamente al dott. geol. A. Lepori, la cui relazione specialistica viene proposta in allegato.

## 1.1 Sequenza stratigrafica e suolo di fondazione

Secondo i risultati della campagna di prospezioni geofisiche e di caratterizzazione sismica, i depositi della piana alluvionale, nell'ambito dell'intero territorio Comunale, presentano caratteristiche compatibili con la Categoria di suolo C e sono mediamente costituiti da sabbie e sabbie ghiaiose, discretamente addensate, con presenza di modesti orizzonti a maggiore percentuale di fine.

La sequenza litostratigrafica, è stata tarata anche sulla scorta dell informazioni ricavate dalle stratigrafie dei pozzi, allegate alla Relazione Geologica Generale, con particolare riferimento alla stratigrafia dell'ex pozzo idropotabile di C.na Roma (ora ad usi diversi), situato in prossimità del 3° stendimento delle prospezioni sismiche.

Per quanto riguarda la profondità del substrato roccioso, questo è stato rinvenuto ad elevate profondità (non meno di 70-90 m), anche in settori piuttosto vicini alla base del versante (40 m di distanza).

## 1.2 Fenomeni di liquefazione

L'Allegato 4 dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/, al punto 2.3, prescrive la verifica della **suscettibilità alla liquefazione**, "*quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda*", specificando che la verifica può essere omessa "*se il terreno sabbioso saturo si trova a profondità superiore a 15 m dal p.c.*" o se i terreni in esame soddisfano una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla > 20% con indice di plasticità > 10
- contenuto in limo > 35% e $N_{SPT}$ (misurato nella prova Standard Penetration Test) > 20
- frazione fine trascurabile e $N_{SPT} > 25$

I fenomeni di liquefazione, si verificano generalmente in sedimenti saturi (falda piuttosto superficiale rispetto al piano campagna) a granulometria fine, laddove la compattazione connessa alle vibrazioni può incrementare la pressione dell'acqua nei pori: tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa), tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione.

Le indagini effettuate con il dott. geol. A. Lepori e la successiva elaborazione dei dati raccolti in campagna, hanno permesso di escludere nell'ambito di tutto il territorio comunale, la possibilità che possano insorgere fenomeni di liquefazione; in particolare, con riferimento al Rapporto Tecnico a firma del dott. Lepori, in base ai dati delle Vs30 ottenuti con le prove Re.Mi e MASW (cap. 2.4 "*analisi dei risultati*"), è stata fatta una prima valutazione qualitativa, escludendo la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione, per la presenza di materiali prevalentemente grossolani ben addensati nei primi 15 metri.

La bassa possibilità del verificarsi di fenomeni di liquefazione, è confermata anche dai cosiddetti "metodi empirici", che possono essere così riassunti:

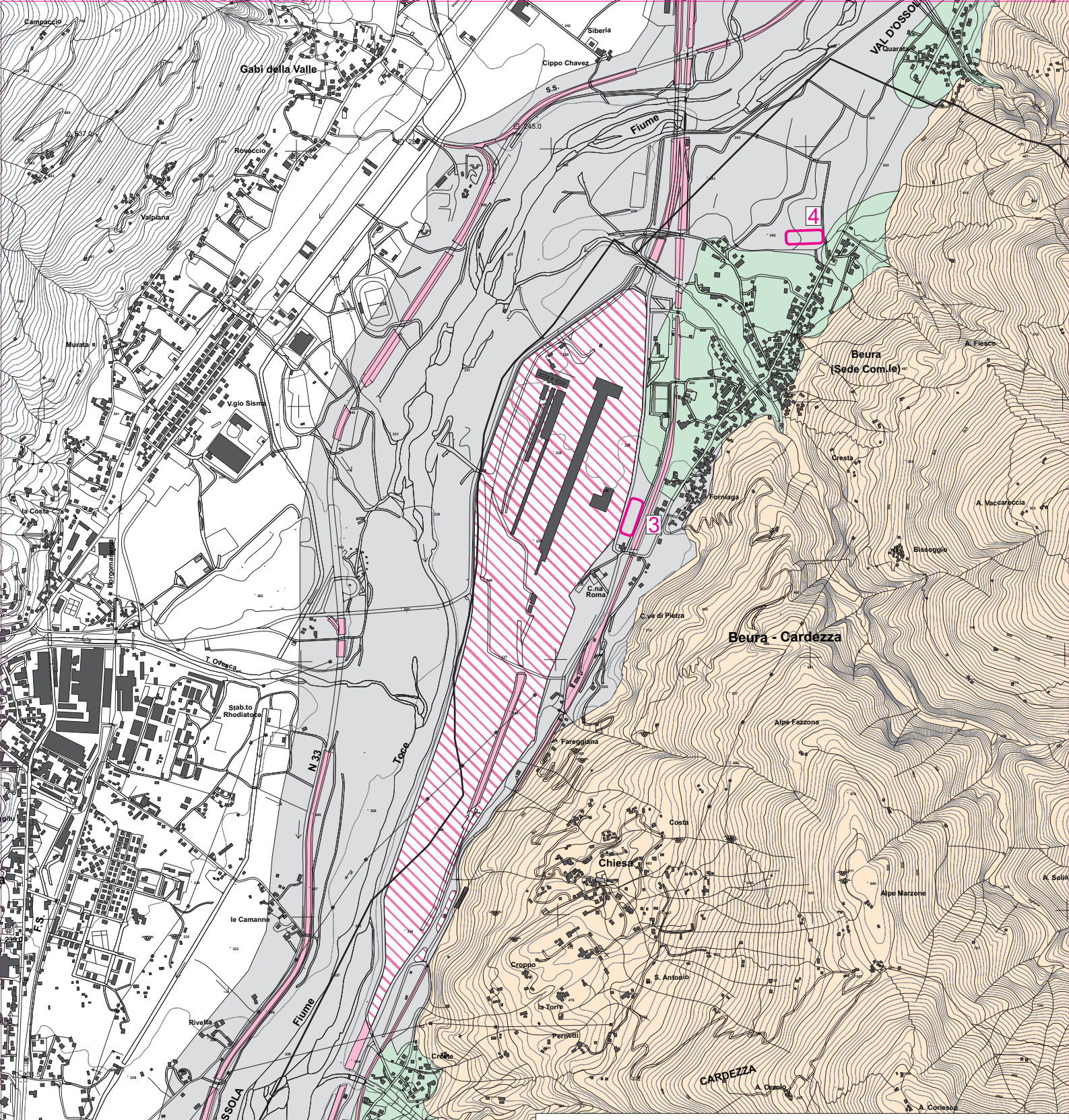
"*Criterio storico*": la liquefazione tende a ripetersi nei siti ove si è già verificata e, nell'ambito del territorio comunale di Beura Cardezza e dei Comuni contermini, non si sono mai verificati fenomeni di liquefazione.

"*Criterio geologico*": le correlazioni di Youd e Perkins (1978, tabella di seguito allegata), forniscono un'indicazione qualitativa di massima del grado di vulnerabilità di un terreno (variabile da molto bassa a molto alta), basandosi sul tipo di deposito sedimentario e sulla sua età, in quanto i depositi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti: alle pianure alluvionali con età maggiore di 500 anni (ovverosia quelle in esame), corrisponde una bassa probabilità di liquefazione.

Tali ipotesi, sono state quindi confermate analiticamente (vedi cap. 4 del Rapporto Tecnico, "*valutazione del potenziale di liquefazione*"), utilizzando i cosiddetti "metodi semplificati", in particolare quelli che si basano sulla velocità delle onde sismiche "S" (Metodi di Andrus e Stokoe e EC8).

| Tipo deposito | Età del Deposito | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **< 500 anni** | **Olocene** | **Pleistocene** | **Pre-Pleistocene** |
| **Depositi continentali** | | | | |
| Canali fluviali | Molto Alta | Alta | Bassa | Molto Bassa |
| Pianure di esondazione | Alta | Moderata | Bassa | Molto Bassa |
| Pianure e Conoidi alluvionali | Moderata | Bassa | Bassa | Molto Bassa |
| Spianate e terrazzi marini | - | Bassa | Molto Bassa | Molto Bassa |
| Deltaici | Alta | Moderata | Bassa | Molto Bassa |
| Lacustri | Alta | Moderata | Bassa | Molto Bassa |
| Colluvioni | Alta | Moderata | Bassa | Molto Bassa |
| Scarpate | Bassa | Bassa | Molto Bassa | Molto Bassa |
| Dune | Alta | Moderata | Bassa | Molto Bassa |
| Loess | Alta | Alta | Alta | Molto Bassa |
| Glaciali | Bassa | Bassa | Molto Bassa | Molto Bassa |
| Tuff | Bassa | Bassa | Molto Bassa | Molto Bassa |
| Tephra | Alta | Alta | ? | ? |
| Terreni residuali | Bassa | Bassa | Molto Bassa | Molto Bassa |
| Sebkha | Alta | Moderata | Bassa | Molto Bassa |
| **Zone costiere** | | | | |
| Deltaici | Molto-Alta | Alta | Bassa | Molto Bassa |
| Di estuario | Alta | Moderata | Bassa | Molto Bassa |
| Di spiaggia con elevata energia delle onde | Moderata | Bassa | Molto bassa | Molto Bassa |
| Di spiaggia con bassa energia delle onde | Alta | Moderata | Bassa | Molto bassa |
| Lagunari | Alta | Moderata | Bassa | Molto Bassa |
| Litorali | Alta | Moderata | Bassa | Molto bassa |
| **Riempimenti artificiali** | | | | |
| Non compattati | Molto alta | -- | -- | -- |
| Compattati | Bassa | -- | -- | -- |

*Probabilità di liquefazione di depositi sedimentati in funzione dell'età e della tipologia di ambiente deposizionale (Youd e Perkins, 1978)*




# INQUADRAMENTO INDAGINI GEOFISICHE

Scala 1: 20.000

- Versante montuoso (substrato)
- Conoide alluvionale
- Depositi alluvionali di fondovalle
- Aree riquotate
- Siti di esecuzione indagini geofisiche

# Regione Piemonte - Provincia del VCO
# Comune di Beura Cardezza.

# Oggetto:

## Indagine Geofisica a supporto degli approfondimenti geologici e sismici per la Variante Strutturale al P.R.G. di Beura Cardezza

# RAPPORTO TECNICO

**Dott. Geol. Alberto Lepori**

**Data: Febbraio 2013**

Dr. Alberto Lepori - Via Faustini, 1- 29100 Piacenza -Tel.0523-482836 - Cell. 348-7813006
Ordine Geologi Emilia-Romagna n 1062- C.F. LPR LRT 61H01 D502P - P.IVA 01448730331

# 1. PREMESSA

Il rapporto illustra e commenta l'indagine geofisica eseguita, nel Febbraio 2013 nel territorio comunale di Beura Cardezza (VB).

Scopo del lavoro, è stato quello di caratterizzare dal punto di vista sismico 4 aree poste ai margini di aree edificate e/o prossime a quelle di interesse urbanistico. L'ubicazione delle prove sismiche effettuate è visualizzata nelle planimetrie allegate al rapporto.

Nel dettaglio la prospezione sismica ha previsto la realizzazione per ogni area investigata di:

- 1 prova "ReMi" (Refraction Microtremor);
- 2 prove "Masw" (Multichannel Analysis of Surface Waves), per la determinazione dei profili di velocità delle onde sismiche "S" e la valutazione del tipo di terreno di fondazione, ai sensi del D.M. 14-01-2008 " Norme Tecniche per le Costruzioni";
- 1 prova HVSR (Ipotesi di Nakamura) per la valutazione della frequenza di vibrazione fondamentale del terreno.

## 2. PROVE PER LA DETERMINAZIONE DEI PROFILI DI VELOCITÀ DELLE ONDE "S"

L'indagine è stata condotta con due metodologie sismiche che possono essere considerate complementari:

- - RE.MI - Refraction Microtremor;
- - MASW - (Multichannel Analysis of Surface Waves).

La metodologia "**RE.MI"** è una tecnica "passiva" in quanto si basa sulla registrazione del rumore sismico indotto dalle attività antropiche (traffico automobilistico e ferroviario, fabbriche, ecc.). I pregi ed i limiti principali di questa tecnica si possono così sintetizzare:

**Pregi**

- ✓ adatta in ambienti fortemente antropizzati;
- ✓ elevate profondità di indagine, anche in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio (Vs), per la capacità di campionare basse frequenze.

**Limiti**

- ✓ non adatta in ambienti poco "rumorosi";
- ✓ possibilità di sovrastimare i valori di Vs in presenza di rumore fortemente direzionale non ortogonale allo stendimento sismico.

Viceversa la metodologia "**MASW"** è una tecnica "attiva", in quanto si basa sulla registrazione del segnale sismico indotto da una massa battente. I pregi ed i limiti principali di questa tecnica si possono così sintetizzare:

**Pregi**

- ✓ adatta in ambienti "non rumorosi";
- ✓ buona capacità di definizione dei valori di Vs, soprattutto per quanto riguarda gli orizzonti più superficiali (primi 20-30 m).

**Limiti**

- ✓ poco adatta in ambienti fortemente antropizzati e rumorosi;
- ✓ limitate profondità di indagine, in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio (Vs).

Difficilmente, prima di realizzare l'indagine, è possibile valutare qual è la tecnica che può fornire i risultati migliori, quindi in campagna si procede con la realizzazione di entrambe le tecniche, e solo dopo, in fase di elaborazione, saranno confrontati i profili di velocità ottenuti.

Come già accennato, la tecnica **"Masw"** consente di stimare in modo più preciso i valori di Vs degli orizzonti più superficiali, mentre il metodo **"Re.Mi."** consente di ottenere una maggiore profondità d'indagine. In generale le tecniche, con i dovuti accorgimenti operativi, permettono di ottenere risultati, seppur parzialmente, "sovrapponibili"; mentre solo in alcuni casi una tecnica si rileva "chiaramente" migliore dell'altra.

### *2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA*

Il "Geode" è un sismografo modulare a 24 bit che rappresenta l'ultima frontiera dei sistemi di registrazione sismica combinando il meglio dei tradizionali sismografi Geometrics con la flessibilità di un sistema distribuito. Geode è un sismografo ad elevata dinamica (144 dB di range dinamico totale – 105 dB istantanei a 2 msec di

campionamento). Grazie all'ampia banda d'ingresso ( 1.75 Hz – 20 kHz, con velocità di campionamento da 0.02 msec a 16 msec), esso è perfettamente idoneo per un'ampia gamma di applicazioni: sismica a rifrazione, sismica a riflessione (anche ad altissima risoluzione), monitoraggio di vibrazioni, applicazioni sismologiche, downhole e VSP. In acquisizione sono disponibili tutte le funzioni di filtri, pre-amplificazione, line-test e instrument-test, tipiche dei sistemi di registrazioni evoluti.

**Sismografo "Geode" collegato al pc**

L'attrezzatura utilizzata è composta da:

- Sismografo modulare Geode 3-1000+ canali,
- Massa battente da 10 Kg,
- Piastra di battuta in alluminio 15x15x2,5cm,
- Batteria ricaricabile 12 V,
- Cavo per sismica a rifrazione stranded, 130 mt con 24 takeouts SPT-21 a 5 metri di intervallo e due code da 7.5 mt l'una terminate con connettore Bendix 61S,
- Geofoni GS20DX, 4.5 Hz verficali, 395 Ohm con puntale da 3" ed 1,5 mt di cavo terminato con mueller clip singola MC-20-SP,
- Computer portatile ACER.

## ***2.2 PROVE RE.MI. (REFRACTION MICROTREMOR)***

### *2.2.1 Cenni metodologici*

Le tecniche correntemente utilizzate (Down-Hole, Cross-Hole) per la stima delle velocità delle onde di taglio per caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica, dovendo necessitare di almeno un foro di 30 m nel quale eseguire la prova, sono normalmente troppo onerose per essere impiegate come indagine di routine negli studi di microzonazione e di classificazione dei profili stratigrafici dei suoli di fondazione per progettazioni di opere non concentrate in areali ristretti.

Altre metodologie d'indagine indiretta per la determinazione delle velocità delle onde di taglio Vs, quale la sismica a rifrazione in SH, sono limitate dalla incapacità di rilevare livelli a bassa velocità sismica sottostanti a livelli a velocità sismica più elevata, che rappresentano i casi invece più significativi per la determinazione del profilo di velocità VS. Presentano altresì lo svantaggio di una tecnica di acquisizione non semplice, avendo la necessità di generare in superficie onde direzionali con apposite attrezzature, e di richiedere dispositivi di acquisizione relativamente lunghi per garantire la profondità d'indagine dei 30 m, ma soprattutto di dover operare in ambienti con poco rumore di fondo, di fatto praticamente impossibile da riscontrare in ambiti urbanizzati, industriali, o in adiacenza a strade od a linee ferroviarie, come il caso in esame.

Altre metodologie di prospezione, quali le prove di misura di onde di superficie SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), o le prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), pur avendo capacità di discriminizzazione dei livelli lenti all'interno di unità

sismiche più veloci, hanno anch'esse la necessità di ambienti relativamente tranquilli per l'acquisizione e, comunque presentano metodologie di rilievo sicuramente laboriose e complesse. La tecnica di prospezione "Refraction Microtremor" (Re.Mi) utilizzata capovolge il concetto comune del parametro "segnale-disturbo", per il quale tradizionalmente il primo (segnale) ha necessità di essere rilevato in condizioni favorevoli, quindi in assenza o scarsità di rumore. Viceversa, in presenza di forte rumore di fondo (es. ambiente urbano), le tradizionali rilevazioni sismiche hanno sempre trovato una condizione di difficile applicazione a causa della difficoltà di discriminare il segnale dal rumore.

Con questa nuova tecnica, il disturbo, il "noise" ambientale diventa il segnale utilizzato per la caratterizzazione sismica. Sono i microtremori (rumore di fondo generato dal traffico stradale, ferroviario e comunque il rumore presente costantemente in ambito urbanizzato) a costituire la sorgente di energia utile allo scopo.

Numerose sperimentazioni hanno consentito di appurare che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, effettuate con uno stendimento sismico normalmente utilizzato per la sismica a rifrazione, possono essere utilizzate, con opportune procedure di acquisizione e elaborazione, per stimare la velocità delle onde di taglio (Vs) fino a profondità che possono essere superiori a 100 m.

La metodologia d'indagine più applicata per la determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio Vs, è stata proposta e sperimentata da J.N. Louie del Seismological Laboratory and Dept. of Geological Sciences dell'Università del Nevada, ed è basata su due aspetti fondamentali:

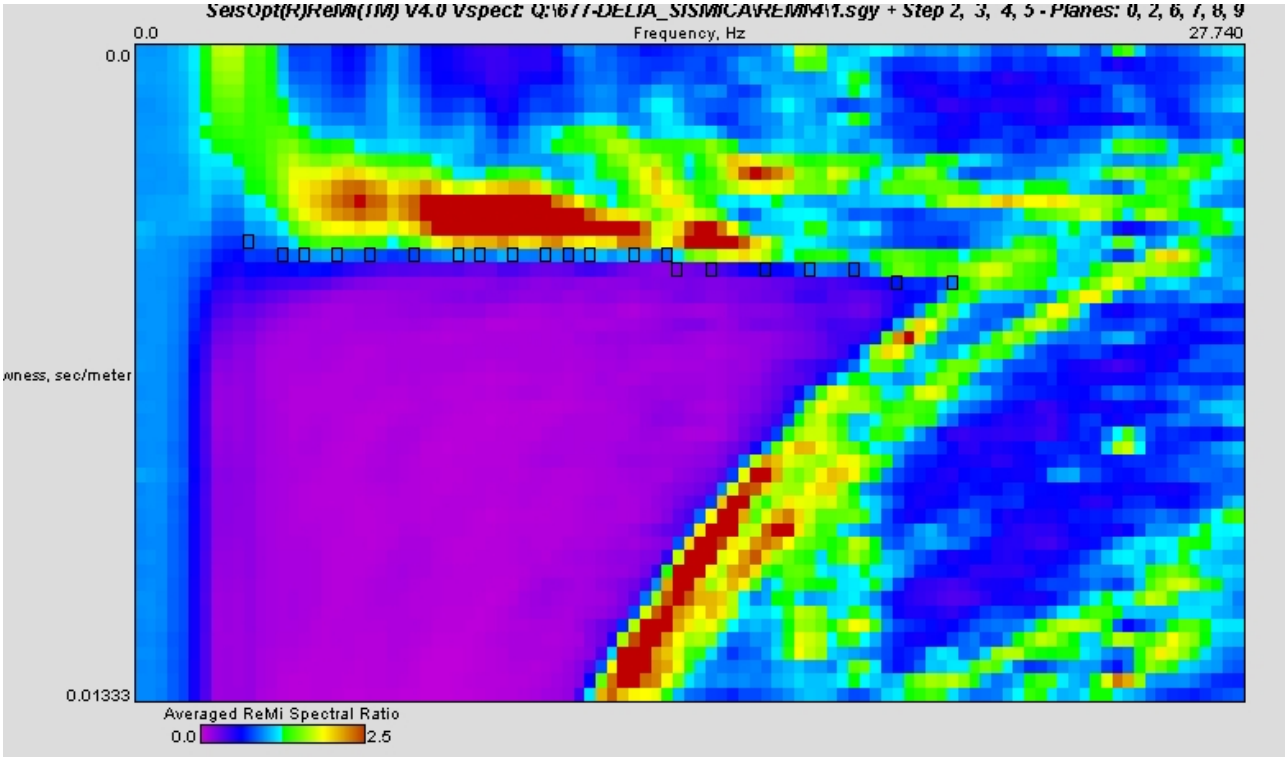
- uno pratico, rappresentato dal fatto che alcuni sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24 bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz per intervalli di tempo sufficientemente lunghi (30 sec);
- uno teorico, sulla base del quale una semplice trasformata bidimensionale (p-f) slowness-frequency della registrazione di un rumore di fondo (microtremor) è in grado di separare le onde di Rayleigh (onde di superficie) da altri tipi di onde che compongono il sismogramma, rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

### ***2.2.2 Modalità d'intervento***

L'acquisizione dei dati per la definizione della Vs30 è stata svolta tramite l'acquisizione e la registrazione del noise ambientale impiegando geofoni da 4.5Hz ed un acquisitore digitale multicanale a 24 canali con dinamica a 24 bit. Sono stati acquisiti 4 profili sismici (1 per ogni area) costituiti da stendimenti di 24 geofoni, (tranne uno in cui sono stati collocati 21 geofoni), equispaziati di 5 m. Sono stati raccolti, oltre 30 records di lunghezza di 30 sec. con campionamento ogni 2 ms.

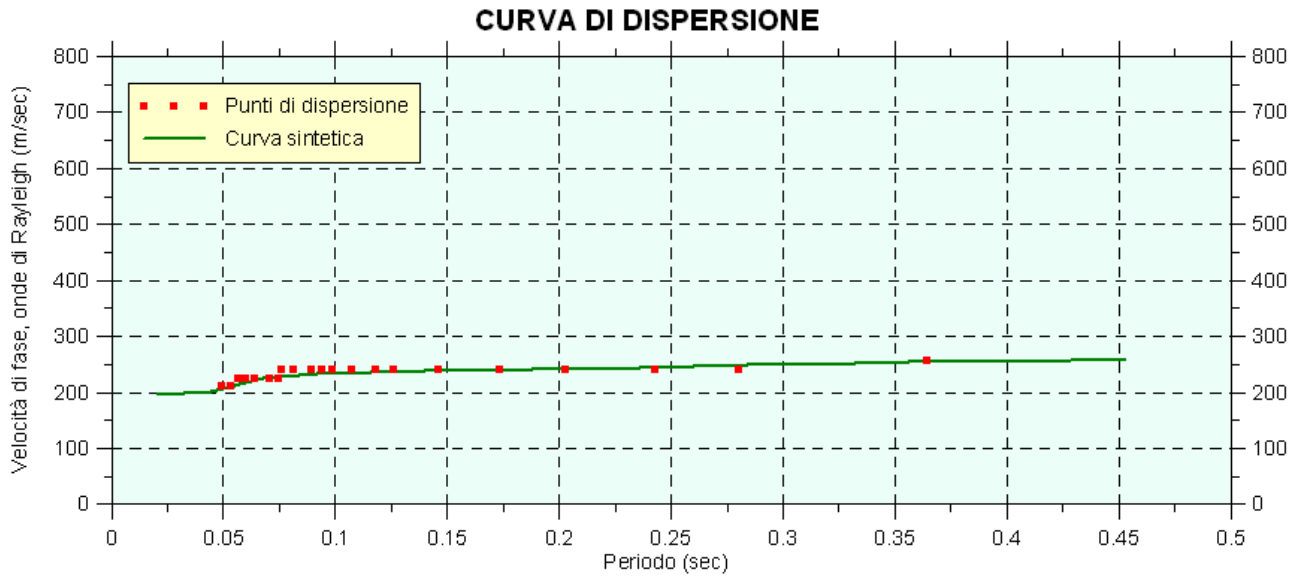
### 2.2.3 Elaborazione dati

La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica sopra descritta utilizzando il pacchetto software SeisOpt Re.Mi. 2.0 prodotto dalla Optim Software LLC. Come prima fase è stata eseguita un'analisi spettrale del sismogramma che ha consentito di elaborare una immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono.




***Analisi spettrale – Prova area 4***

Da tale elaborazione è stata poi estrapolata la curva di attenuazione del segnale caratteristico e in funzione del suo andamento (curva di dispersione) si è risaliti alla stratigrafia sismica in termini di velocità delle onde di taglio (Vs).



l risultato finale dell'elaborazione consiste quindi nella rappresentazione grafica del profilo di velocità e nel calcolo della relativa Vs 30.

## ***2.3 PROVE "MASW" (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)***

### ***2.3.1 Cenni metodologici***

Il metodo **MASW** è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi.

Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate lungo uno stendimento lineare di sensori.

Il metodo consente generalmente, di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 20 - 30 m, in funzione della rigidezza del suolo. L'elaborazione dei dati con il metodo MASW prevede tre fasi di lavoro:

1. *la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,*
2. *la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica,*
3. *la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.*

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa e si variano lo spessore h e la velocità Vs degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità Vs e degli spessori h, cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un

soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio Vs e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

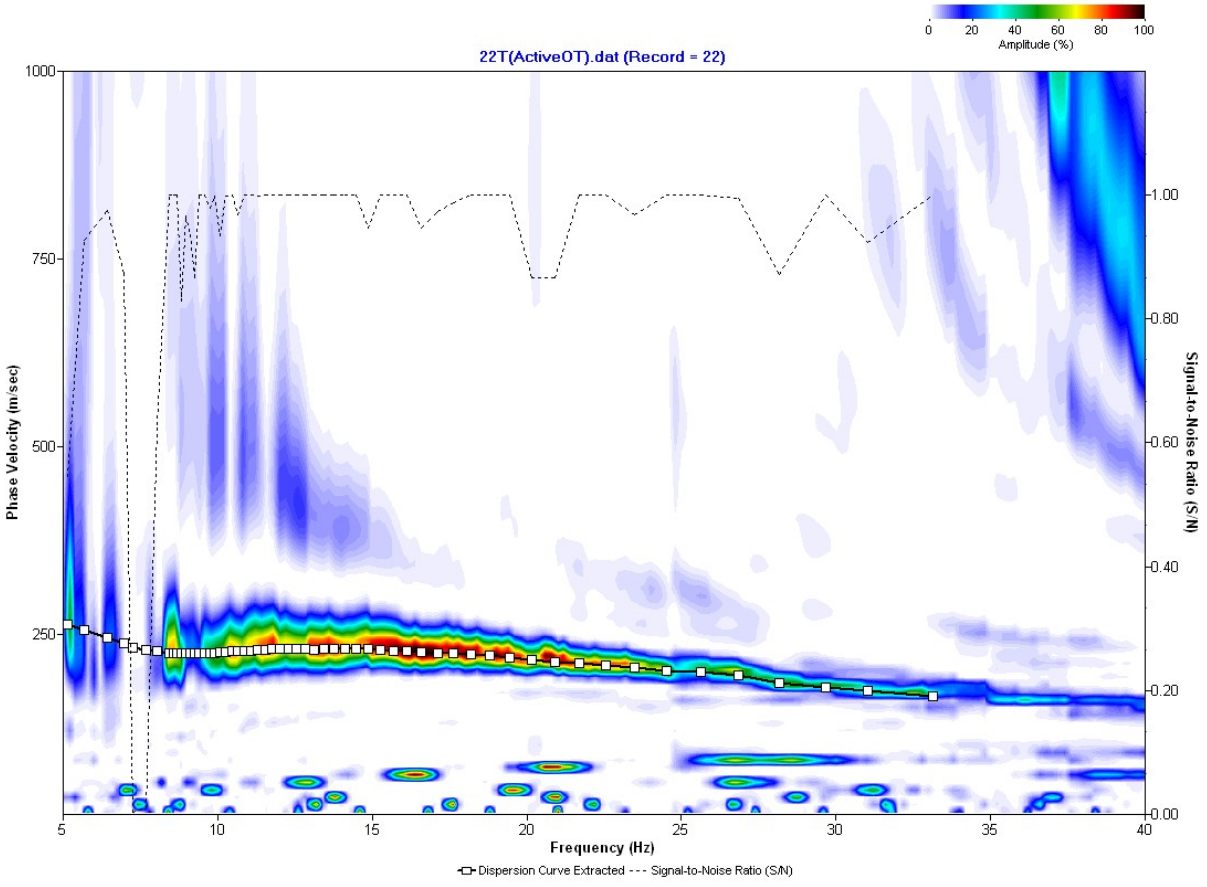
### ***2.3.2 Modalità esecutive delle prove "Masw"***

Sono stati utilizzati gli stessi stendimenti delle prove "Re.Mi., costituiti da allineamenti di 24 geofoni, (tranne uno in cui sono stati collocati 21 geofoni), spaziati di 5 m. L'energizzazione, realizzata alle estremità e nel mezzo dei profili sismici, è stata ottenuta con una massa battente di 10 Kg. La lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec, con un passo di campionamento di 0.250 ms.

In fase di elaborazione sono state estratte per ogni profilo le prime tracce (1-12) e le ultime tracce (13-24) in modo da ottenere 2 verticali "Masw".

### ***2.3.3 Elaborazione dei dati***

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è il "SurfSeis" della Kansas Geological surveys. In una prima fase è stata calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale. In una seconda ed ultima fase si individuato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di velocità assegnato.




***Curva di dispersione - Prova area 4***

## ***2.4 ANALISI DEI RISULTATI***

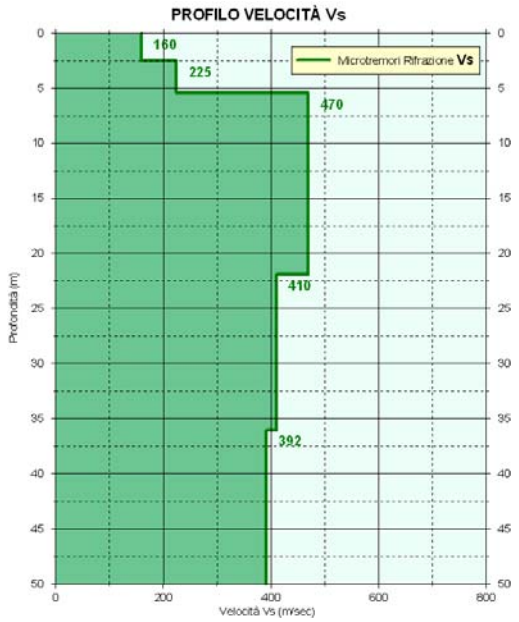
I dati sismici acquisiti ed elaborati, con entrambe le metodologie, hanno consentito di determinare il profilo di velocità delle onde "S" del sito fino ad almeno 30 m di profondità.

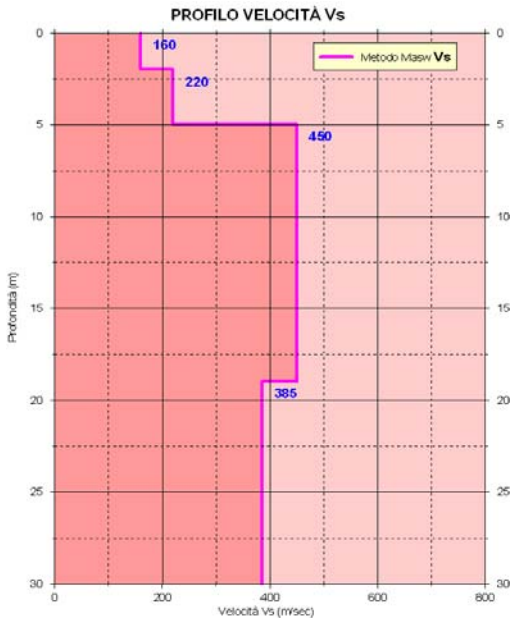
La metodologia "ReMi" ha consentito di ottenere una profondità d'indagine di circa 50 metri, mentre la prova "Masw" ha fornito indicazioni fino a circa 30 metri.

La velocità delle onde di taglio, essendo legata alle caratteristiche dello scheletro del materiale, costituisce un parametro di grande rilevanza per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali. Risulta evidente che a velocità elevate corrispondono materiali con buone caratteristiche geomeccaniche, viceversa a bassi valori corrispondono materiali con scadenti caratteristiche geotecniche.

Di seguito verranno analizzati i risultati ottenuti per ogni area indagata utilizzando per la correlazione fra valori di Vs e la litologia dei depositi, la stratigrafia di un pozzo idrico comunale .

**Area 1 – Localizzata a Cuzzego, tra il rilevato della S.P.ed il piede del versante**



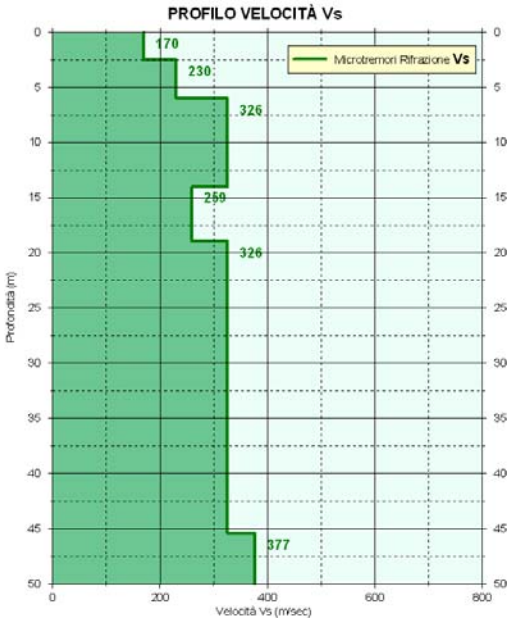

***Profilo velocità "Vs" metodo "Re.Mi"*** ***Profilo velocità "Vs" metodo "Masw"***

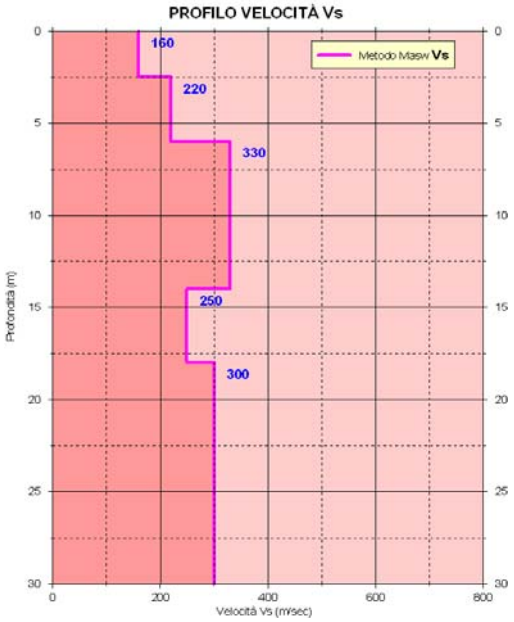
Dall'esame dei grafici si possono fare le seguenti considerazioni:

- ✓ I profili di velocità ottenuti con le diverse metodologie hanno un andamento sostanzialmente simile;
- ✓ Lo spessore del materiale con granulometria fine a bassa velocità (**Vs< 160 m/s**) è di 2/3 metri;
- ✓ Più in profondità fino a 5/6 metri le velocità aumentano leggermente portandosi sui **220-230 m/s** per la presenza di litotipi, in prevalenza sabbiosi, più addensati;
- ✓ Più in profondità fino a 19/22 metri, i valori aumentano significativamente raggiungendo i **450-470 m/s** segnalando la presenza di litotipi, prevalentemente grossolani, ben addensati;

- ✓ Oltre i 19/22 fino a 50 metri si ha una leggera diminuzione dei valori di velocità che comunque si attestano su valori piuttosto elevati **380/390 m/s,** indicando sempre la presenza di materiali, prevalentemente grossolani, ben addensati;
- ✓ In base ai valori di Vs rilevati nei primi 15 metri, che testimoniano la presenza di materiali prevalentemente grossolani ben addensati, si ritiene di poter escludere la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione;
- ✓ I valori di **Vs30** calcolati sono di **350 (Re.Mi.) e 345 (Masw)**;
- ✓ In base alle prove eseguite, il suolo di fondazione del sito è di tipo **"C"**.

**Area 2 localizzata a Cuzzego tra il rilevato della S.P. e quello ferroviario**



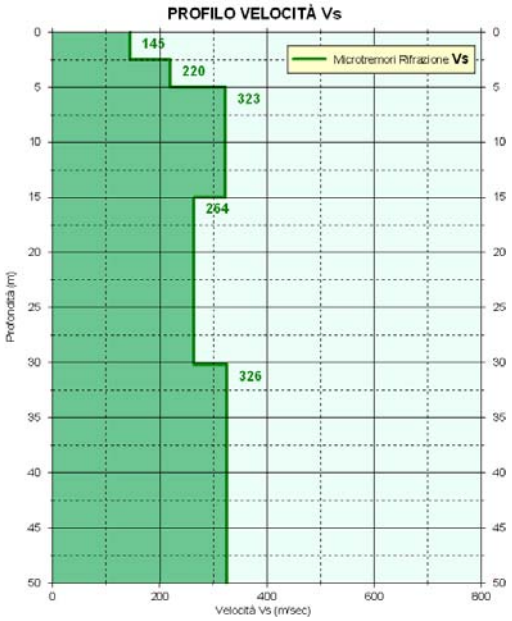

***Profilo velocità "Vs" metodo "Re.Mi"*** ***Profilo velocità "Vs" metodo "Masw"***

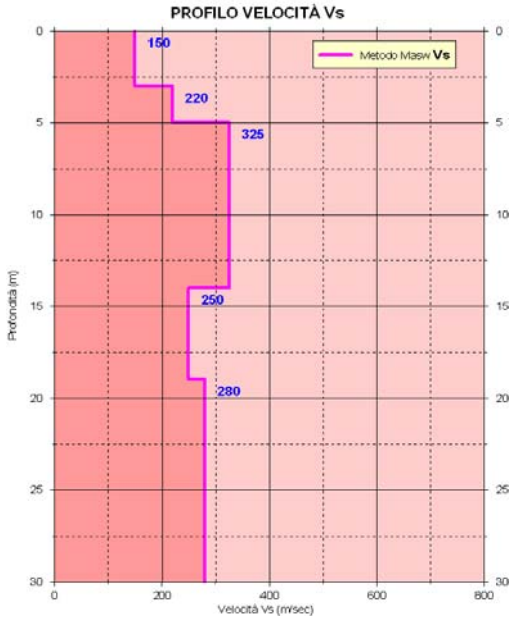
Dall'esame dei grafici si possono fare le seguenti considerazioni:

- ✓ I profili di velocità ottenuti con le diverse metodologie hanno un andamento sostanzialmente simile;
- ✓ Lo spessore del materiale a granulometria fine a bassa velocità (**Vs< 160-170 m/s**) è di 2/3 metri;
- ✓ Più in profondità fino a 6 metri le velocità aumentano leggermente portandosi sui **220-230 m/s** per la presenza di litotipi, in prevalenza sabbiosi, più addensati;
- ✓ Più in profondità fino a circa 14/15 metri, i valori aumentano significativamente raggiungendo valori di **320-340 m/s** indicando la presenza di litotipi prevalentemente grossolani discretamente addensati;
- ✓ Tra i 14/15 e i 17/18 metri si ha una leggera diminuzione dei valori di velocità che si attestano sui **250 m/s** segnalando la presenza di materiali a maggior componente sabbiosa;

- ✓ Oltre i 17/18, fino ad almeno 50 metri, le velocità aumentano portandosi oltre i **300 m/s,** per la presenza di materiali ancora più addensati;
- ✓ In base ai valori di Vs rilevati nei primi 15 metri, che testimoniano la presenza di materiali prevalentemente grossolani discretamente addensati, si ritiene di poter escludere la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione;
- ✓ I valori di **Vs30** calcolati sono di **275 (Re.Mi.)** e di **270 (Masw)**;
- ✓ In base alle prove realizzate il suolo di fondazione del sito è di tipo **"C"**.

**Area 3, localizzata alla periferia SSO di Beura capoluogo (21 geofoni)**



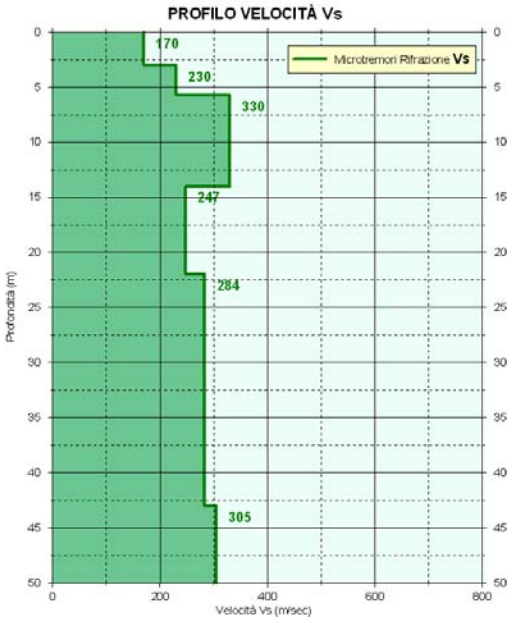

***Profilo velocità "Vs" metodo "Re.Mi"*** ***Profilo velocità "Vs" metodo "Masw"***

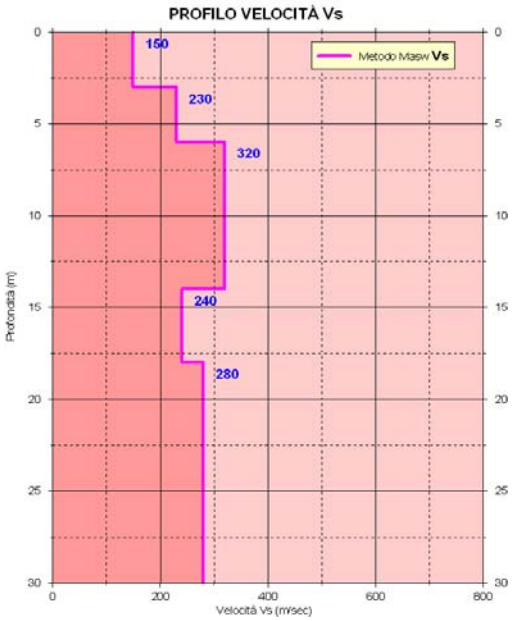
Dall'esame dei grafici si possono fare le seguenti considerazioni:

- ✓ I profili di velocità ottenuti con le diverse metodologie hanno un andamento sostanzialmente simile;
- ✓ Lo spessore del materiale a granulometria fine a bassa velocità (**Vs< 145-160 m/s**) è di 2/3 metri;
- ✓ Più in profondità fino a 5 metri le velocità aumentano leggermente portandosi sui **220-230 m/s** per la presenza di litotipi, in prevalenza sabbiosi, più addensati;
- ✓ Più in profondità fino a circa 15 metri, i valori aumentano significativamente raggiungendo valori di **320-330 m/s** indicando la presenza di litotipi prevalentemente grossolani discretamente addensati;
- ✓ Tra i 15 e i 30 metri si ha una leggera diminuzione dei valori di velocità che si attestano sui **250-280 m/s** segnalando la presenza di materiali a maggior componente sabbiosa;
- ✓ Oltre i 30 fino ad almeno 50 metri, le velocità aumentano portandosi oltre i **300 m/s,** per la presenza di materiali ancora più addensati;

- ✓ In base ai valori di Vs rilevati nei primi 15 metri, che testimoniano la presenza di materiali prevalentemente grossolani discretamente addensati, si ritiene di poter escludere la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione;
- ✓ I valori di **Vs30** calcolati sono di **260 (Re.Mi.)** e di **260/265 (Masw)**;
- ✓ In base alle prove realizzate il suolo di fondazione del sito è di tipo **"C"**.

**Area 4 localizzata alla periferia Nord di Beura capoluogo**




***Profilo velocità "Vs" metodo "Re.Mi"*** ***Profilo velocità "Vs" metodo "Masw"***

Dall'esame dei grafici si possono fare le seguenti considerazioni:

- ✓ I profili di velocità ottenuti con le diverse metodologie hanno un andamento sostanzialmente simile;
- ✓ Lo spessore del materiale a granulometria fine a bassa velocità (**Vs< 160-170 m/s**) è di 2/3 metri;
- ✓ Più in profondità fino a 6/7 metri le velocità aumentano leggermente portandosi sui **220-230 m/s** per la presenza di litotipi, in prevalenza sabbiosi, più addensati;
- ✓ Più in profondità fino a circa 15 metri, i valori aumentano significativamente raggiungendo valori di **320-330 m/s** indicando la presenza di litotipi prevalentemente grossolani discretamente addensati;
- ✓ Tra i 15 e i 40 metri si ha una leggera diminuzione dei valori di velocità che si attestano sui **240-280 m/s** segnalando la presenza di materiali a maggior componente sabbiosa;
- ✓ Oltre i 40 fino ad almeno 50 metri, le velocità aumentano portandosi oltre i **300 m/s,** per la presenza di materiali ancora più addensati;

- ✓ In base ai valori di Vs rilevati nei primi 15 metri, che testimoniano la presenza di materiali prevalentemente grossolani discretamente addensati, si ritiene di poter escludere la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione;
- ✓ I valori di **Vs30** calcolati sono di **260 (Re.Mi.)** e di **260/265 (Masw)**;
- ✓ In base alle prove realizzate il suolo di fondazione del sito è di tipo **"C"**.

# 3. MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR - HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (IPOTESI DI NAKAMURA)

## ***3.1 CENNI METODOLOGICI***

Il metodo dei rapporti spettrali di singola stazione (HVSR) e' largamente utilizzato in paesi con elevato rischio sismico quali il Giappone per la stima degli effetti di amplificazione di sito.

Il microtremore, un'impercettibile oscillazione naturale del suolo, è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde sismiche prodotte dal vento e dal moto ondoso marino negli strati superficiali della Terra. Anche le attività umane (industrie, traffico stradale ecc.) possono produrre localmente microtremore, ma in genere tale segnale viene attenuato piuttosto rapidamente a causa delle sue caratteristiche di alta frequenza.

E' interessante evidenziare come il microtremore agisca da oscillatore naturale e quindi permetta, tramite adeguata strumentazione, la misura diretta delle frequenze di vibrazione dei terreni e dei manufatti.

La tecnica utilizzata, proposta da Nakamura (Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Vol. 30, No.1, 25-33) per lo studio delle amplificazioni di sito assume che i microtremori consistano principalmente di onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato soffice su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Tale tecnica permette di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento.

Le ipotesi su cui si basa la tecnica di Nakamura sono le seguenti:

- *i microtremori sono generati da sorgenti locali, e non da sorgenti profonde i cui contributi sono trascurabili;*
- *le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base dello strato considerato;*
- *la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale;*
- *il picco visibile nei rapporti H/V (rapporto tra l'ampiezza spettrale della componente orizzontale e l'ampiezza spettrale della componente verticale) è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore ed è invece fortemente dipendente dalle condizioni stratigrafico-litologiche del terreno. Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.*

Le principali applicazione delle prove H/V si possono così sintetizzare:

- Misura delle frequenze di risonanza dei suoli;

- Effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura);
- Stratigrafia sismica passiva;
- Vs30 da fit vincolato della curva H/V;
- Segnalazione dei possibili fenomeni di doppia risonanza suolo-struttura.

Di particolare importanza è la frequenza di vibrazione del sito, caratterizzata dal maggiore rapporto di ampiezze **H/V**, nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (frequenze generalmente inferiori a 15/20 Hz), denominata frequenza fondamentale di vibrazione **$f_0$**.

E' possibile poi determinare la profondità degli strati sismici mediante la misura diretta delle frequenze di vibrazione, associata alla misura delle velocità delle onde S tramite la relazione:

$$f_0 = Vs / 4H$$

dove **Vs** è la velocità media delle onde **S** e **H** è la profondità dello strato sismico.

## ***3.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E MODALITA' DI ACQUISIZIONE***

Per l'acquisizione dei dati, è stato utilizzato lo stesso sismografo utilizzato per le prove "ReMi" e "Masw", interfacciato ad un geofono tridimensionale. I sensori del geofono verticale, hanno una frequenza propria di 4.5 Hz.

***Geofono tridimensionale in acquisizione***

Le registrazioni hanno avuto una lunghezza di 10 minuti, con un campionamento a 125 Hz.

Si ricorda inoltre che ruotando lo strumento sul piano orizzontale (quindi cambiando casualmente l'orientazione delle misure) i rapporti spettrale HVSR non cambiano perché indipendenti dalla direzione della misura.

### ***3.3 ELABORAZIONE ED ANALISI DEI DATI***

Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software free **"Geopsy"**.

Il progetto **"Geopsy"** distribuisce tutti i software sviluppati nell'ambito di un pacchetto chiamato **"Sesarray"**. Esso contiene diversi strumenti si occupano di tutti gli aspetti del trattamento di vibrazioni ambientali per la caratterizzazione del suolo. Le principali applicazioni contenuti all'interno di **"Sesarray"** sono **"Geopsy"** e **"Dinver"**.

**Area 1 – Localizzata a Cuzzego, tra il rilevato della S.P.ed il piede del versante**

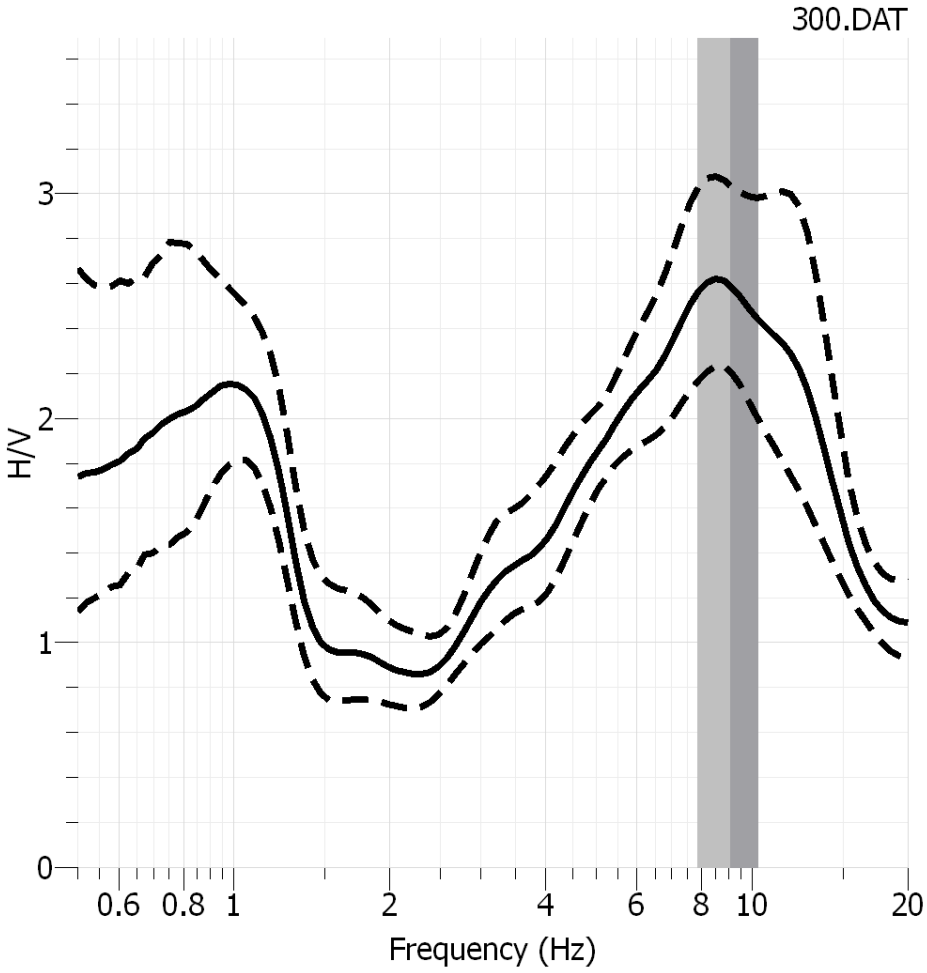



**Grafico del rapporto H/V**

Analizzando il risultato della prova emerge come la frequenza di vibrazione principale del terreno, nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.5Hz e 20Hz, si collochi sui i **9.0 Hz +/- 0.9Hz**, dove **0.9Hz** è il "range" di oscillazione della stima della frequenza di

vibrazione. La frequenza di vibrazione misurata indica un contrasto di impedenza superficiale collocabile a **5/6** metri dal p.c., al passaggio fra i materiali di copertura più fini e meno compatti e i depositi ghiaioso-sabbiosi ben addensati sottostanti.

Un altro picco del rapporto **H/V**, è stato individuato a circa **1Hz**; tale frequenza indica un contrasto di impedenza nettamente più profondo a circa **70/90** metri dal p.c. Il contrasto d'impedenza potrebbe segnalare il passaggio fra i materiali fluvio-glaciali ed il substrato roccioso.

**Area 2 - Localizzata a Cuzzego tra il rilevato della S.P. e quello ferroviario**

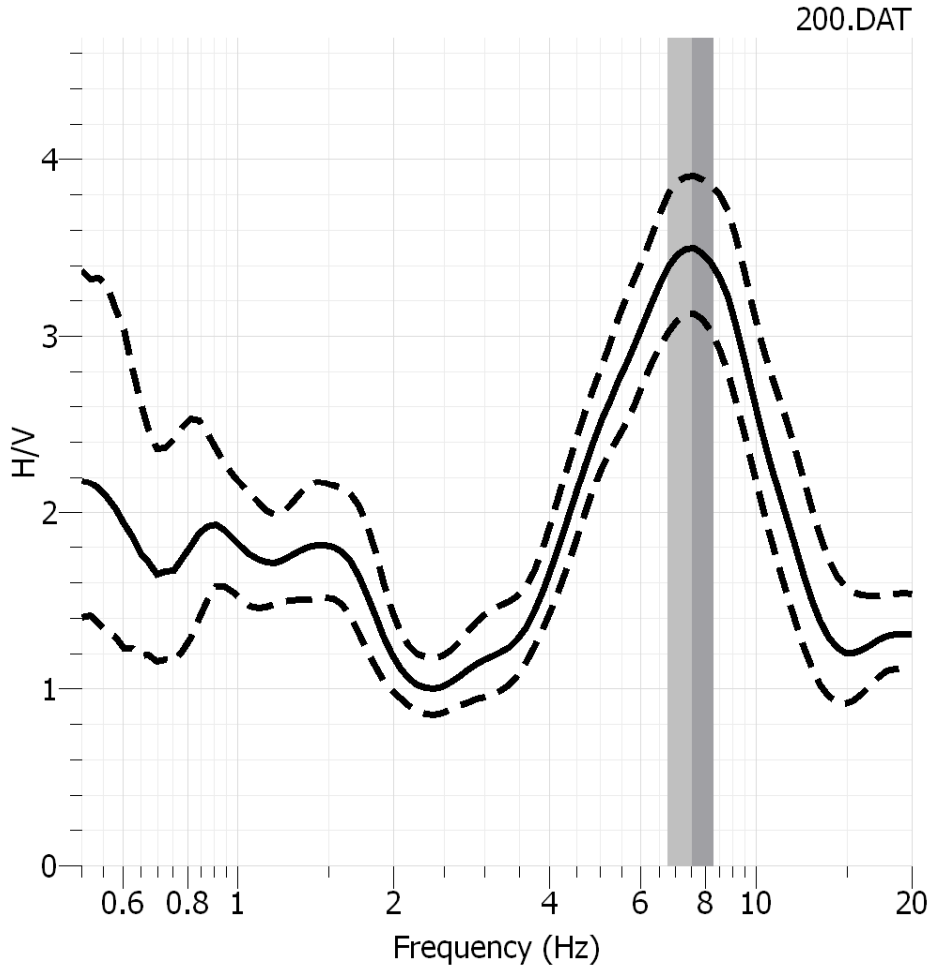



**Grafico del rapporto H/V**

Analizzando il risultato della prova emerge come la frequenza di vibrazione principale del terreno, nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.5Hz e 20Hz, si collochi sui i **7.6 Hz +/- 0.7Hz**, dove **0.7Hz** è il "range" di oscillazione della stima della frequenza di vibrazione. La frequenza di vibrazione misurata indica un contrasto di impedenza superficiale collocabile a **6/7** metri dal p.c, al passaggio fra i materiali di copertura più fini e meno compatti e i depositi ghiaioso-sabbiosi ben addensati sottostanti.

**Area 3 - Localizzata alla periferia SSO di Beura capoluogo**

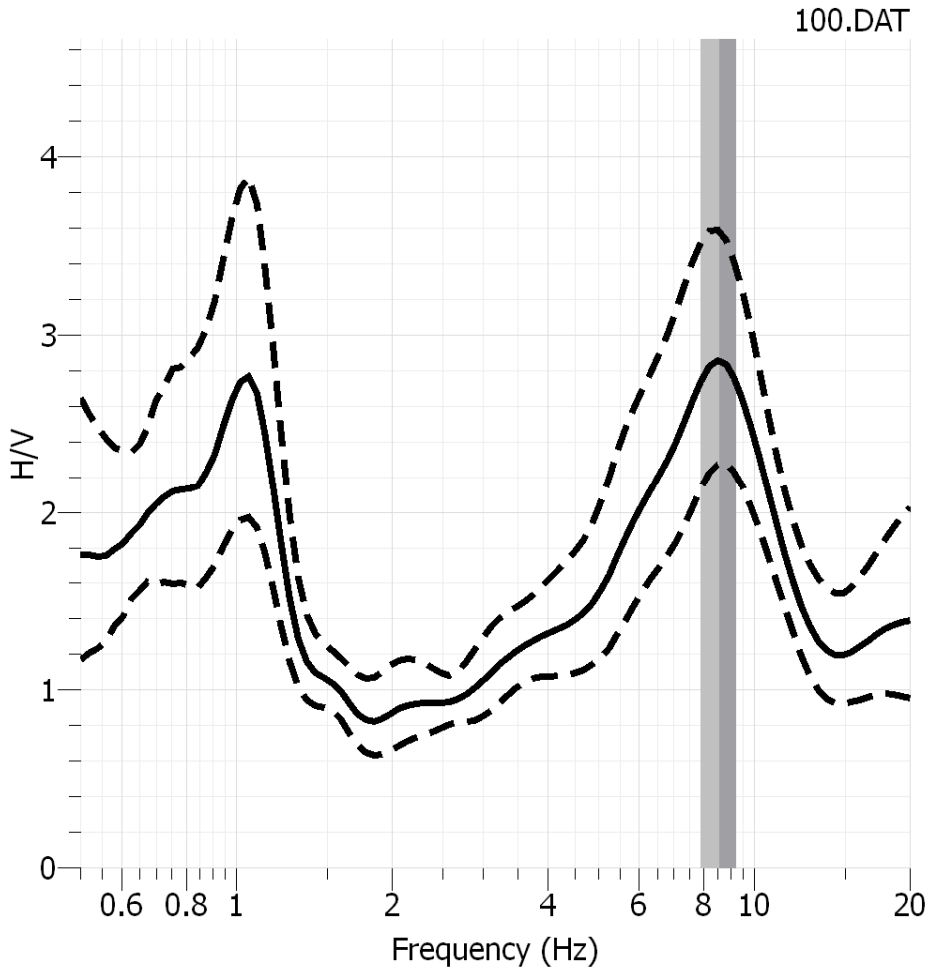



**Grafico del rapporto H/V**

Analizzando il risultato della prova emerge come la frequenza di vibrazione principale del terreno, nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.5Hz e 20Hz, si collochi sui i **8.7 Hz +/- 0.8Hz**, dove **0.8Hz** è il "range" di oscillazione della stima della frequenza di vibrazione. La frequenza di vibrazione misurata indica un contrasto di impedenza superficiale collocabile a **5/6** metri dal p.c, al passaggio fra i materiali di copertura più fini e meno compatti e i depositi ghiaioso-sabbiosi ben addensati sottostanti.

Un altro picco del rapporto **H/V**, è stato individuato a circa **1Hz**; tale frequenza indica un contrasto di impedenza nettamente più profondo a circa **70/90** metri dal p.c. Il contrasto d'impedenza potrebbe segnalare il passaggio fra i materiali fluvio-glaciali ed il substrato roccioso.

**Area 4 - Localizzata alla periferia Nord di Beura capoluogo**

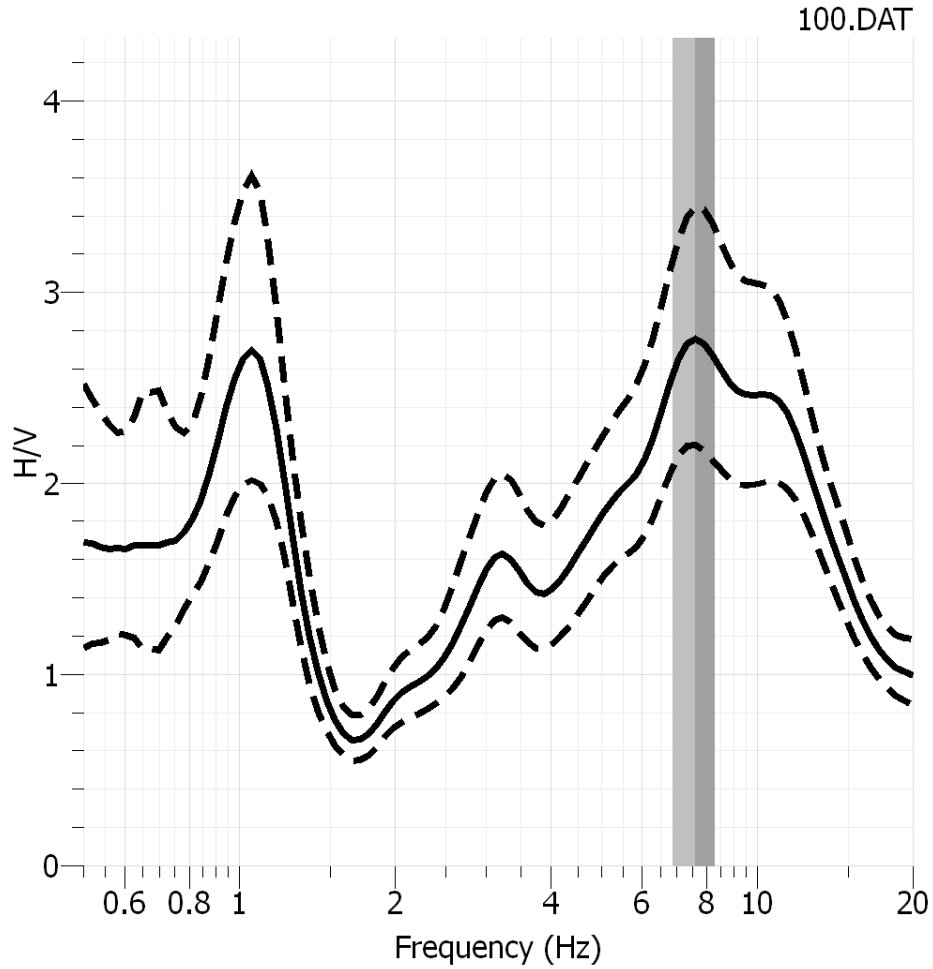



**Grafico del rapporto H/V**

Analizzando il risultato della prova emerge come la frequenza di vibrazione principale del terreno, nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.5Hz e 20Hz, si collochi sui i **7.7 Hz +/- 0.7Hz**, dove **0.7Hz** è il "range" di oscillazione della stima della frequenza di vibrazione. La frequenza di vibrazione misurata indica un contrasto di impedenza superficiale collocabile a **6/7** metri dal p.c, al passaggio fra i materiali di copertura più fini e meno compatti e i depositi ghiaioso-sabbiosi ben addensati sottostanti.

Un altro picco del rapporto **H/V**, è stato individuato a circa **1Hz**; tale frequenza indica un contrasto di impedenza nettamente più profondo a circa **70/90** metri dal p.c. Il contrasto d'impedenza potrebbe segnalare il passaggio fra i materiali fluvio-glaciali ed il substrato roccioso.

# 4. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

## *4.1 CENNI SUI METODI SEMPLIFICATI*

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)\, F_S = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio Vs. Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza.

I metodi di calcolo del potenziale di liquefazione semplificati più comuni sono:

1) *Metodo di Seed e Idriss (1982);*
2) *Metodo di Iwasaki et al. (1978; 1984);*
3) *Metodo di Tokimatsu e Yoshimi (1983);*
4) *Metodo di Finn (1985);*
5) *Metodo di Cortè (1985);*
6) *Metodo di Robertson e Wride modificato (1997);*
7) *Metodo di Andrus e Stokoe (1998);*
8) *Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5);*
9) *Metodo basato sull'OPCM N. 3472 (2003).*

## *4.2 METOLOGIE DI VERIFICA UTILIZZATE*

Per la verifica alla liquefazione, visti i dati a disposizione, sono stati utilizzati i metodi che si basano sulla velocità delle onde sismiche "S".

**Metodi di Andrus e Stokoe' e EC8 (Vs) (1998)**

Il 'metodo di Andrus e Stokoe' è basato su dati provenienti da prove sismiche). La velocità delle onde di taglio viene corretta con la formula (Robertson et al., 1992):

$$(3.7)\, V_{S1} = V_S \left( \frac{100}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

La resistenza alla liquefazione è valutata mediante la formula di Andrus e Stokoe (1998):

$$(3.8)\,CRR = 0{,}03\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^2 + 0{,}9\left[\frac{1}{(V_{S1})_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{cs}}\right]$$

dove la presenza di fini FC (%) è tenuta in conto mediante la seguente procedura:

**$(V_{S1})_{CS}$ = 220** **per FC ≤ 5%**

**220 < $(V_{S1})_{CS}$ ≤ 200** **per 5% < FC ≤ 35%**

**$(V_{S1})_{CS}$ = 200** **per FC > 35%**

Il fattore di correzione della magnitudo MSF viene valutato come raccomandato dal NCEER (Tabella 1), il fattore di sicurezza alla liquefazione con la (1.0), mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono valutati con il metodo di Iwasaki et alii.

Le indicazioni della normativa europea sono contenute al punto 4.1.3 a cui si aggiungono ulteriori indicazioni che si possono trovare nell'appendice B della parte 5 dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5).

Secondo tale normativa si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando ag < 0,15 e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10;
- contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60}$ > 20
- frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60}$ > 25

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati. Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$(3.9)\,CSR = 0{,}65\frac{a_g}{g}\,S\,\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}}\,\frac{r_d}{MSF}$$

dove S è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

| ***Categoria suolo*** | ***Spettri di Tipo 1*** **S (M > 5,5)** | ***Spettri di Tipo 2*** **S (M ≤ 5,5)** |
|---|---|---|
| A | 1,00 | 1,00 |
| B | 1,20 | 1,35 |
| C | 1,15 | 1,50 |
| D | 1,35 | 1,80 |
| E | 1,40 | 1,60 |

Il fattore di correzione della magnitudo MSF consigliato dalla normativa è quello di Ambraseys.

## *4.3 CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE*

Per l'area d'interesse, in base alla nuova mappa della pericolosità sismica, la PGA prevista è di 0,071g, considerando che il suolo di fondazione è di tipo "C" il fattore di amplificazione stratigrafica è di 1.5. Di conseguenza la PGA al suolo è di 0,071x1.5=0,1065.

Mentre le magnitudo di riferimento sono sicuramente inferiori a 6.

Cautelativamente nelle verifiche sono stati utilizzati i seguenti dati d'ingresso:

- Accelerazione massima al suolo = 0.15
- Magnitudo del sisma = 6.5
- Profondità della falda = 3 m
- Percentuale di materiale fine pari a zero in tutti gli orizzonti.

Lo schema stratigrafico-geofisico rappresentativo delle aree indagate si può cosi sintetizzare:

| Strato Nr. | Descrizione | Quota iniziale (m) | Quota finale (m) | Peso di volume secco (KN/mc) | Peso di volume saturo (KN/mc) | Velocità Vs (m/s) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Limo | 0 | 3 | 17 | 18 | 150 |
| 2 | Sabbia limosa | 3 | 5 | 17.5 | 18.5 | 220 |
| 3 | Ghiaia sabbiosa | 5 | 15 | 19 | 20 | 330 |

Dalle verifiche effettuate con entrambi i metodi ( Andrus e Stokoe e EC8-Vs ) il fattore di sicurezza risulta praticamente sempre superiore a 2, per cui si può affermare che i siti d'interesse non sono a rischio liquefazione.

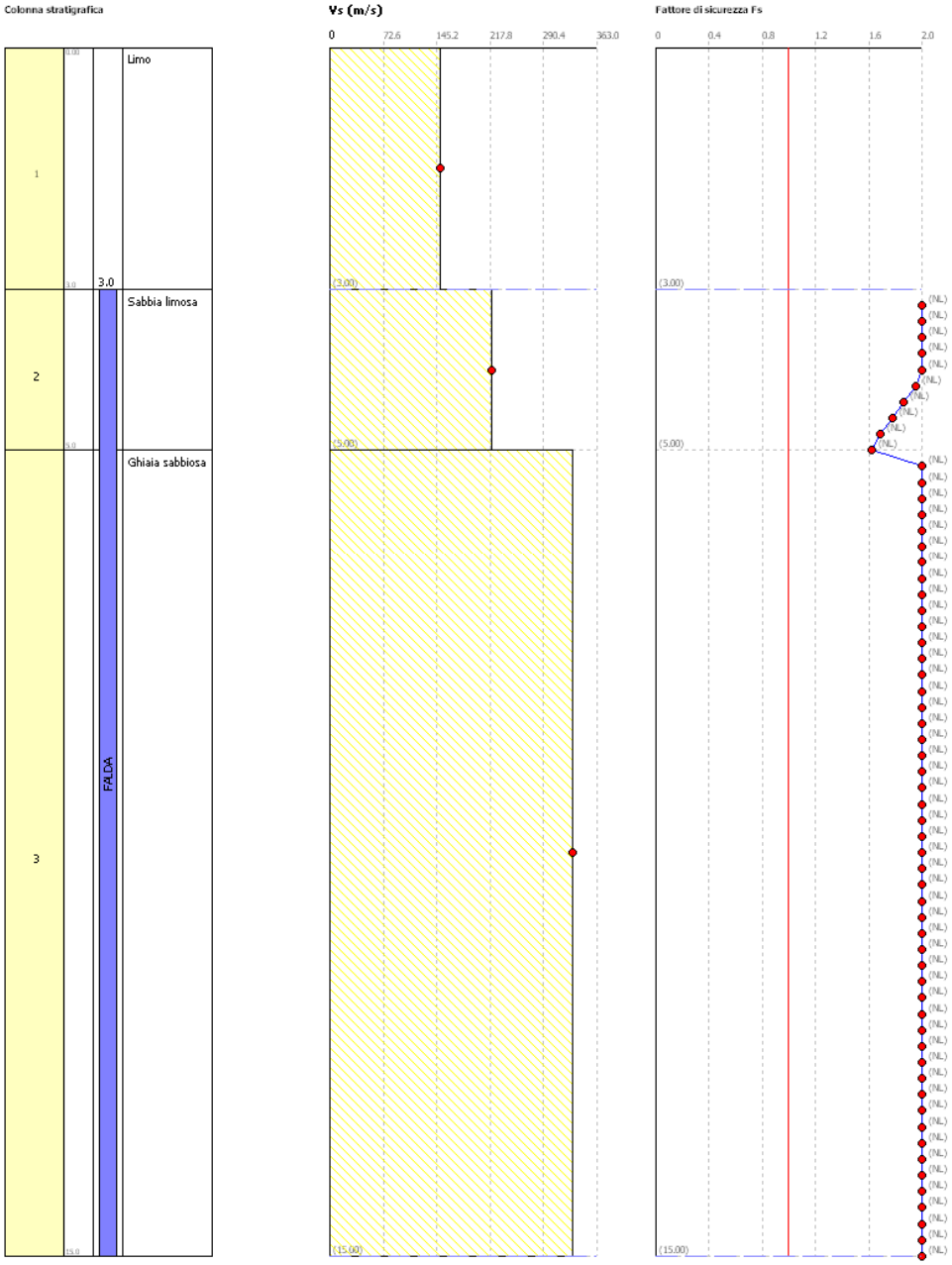
Di seguito sono riportati i grafici relativi alle verifiche effettuate dove la linea rossa rappresenta il fattore di sicurezza pari a 1.

geostru
www.geostru.com
geostru@geostru.com

**Valutazione del rischio di liquefazione**
**Metodo di verifica: Andrus e Stokoe**
**Diagrammi: - Vs - Fs**

Committente:
Località:

Data:



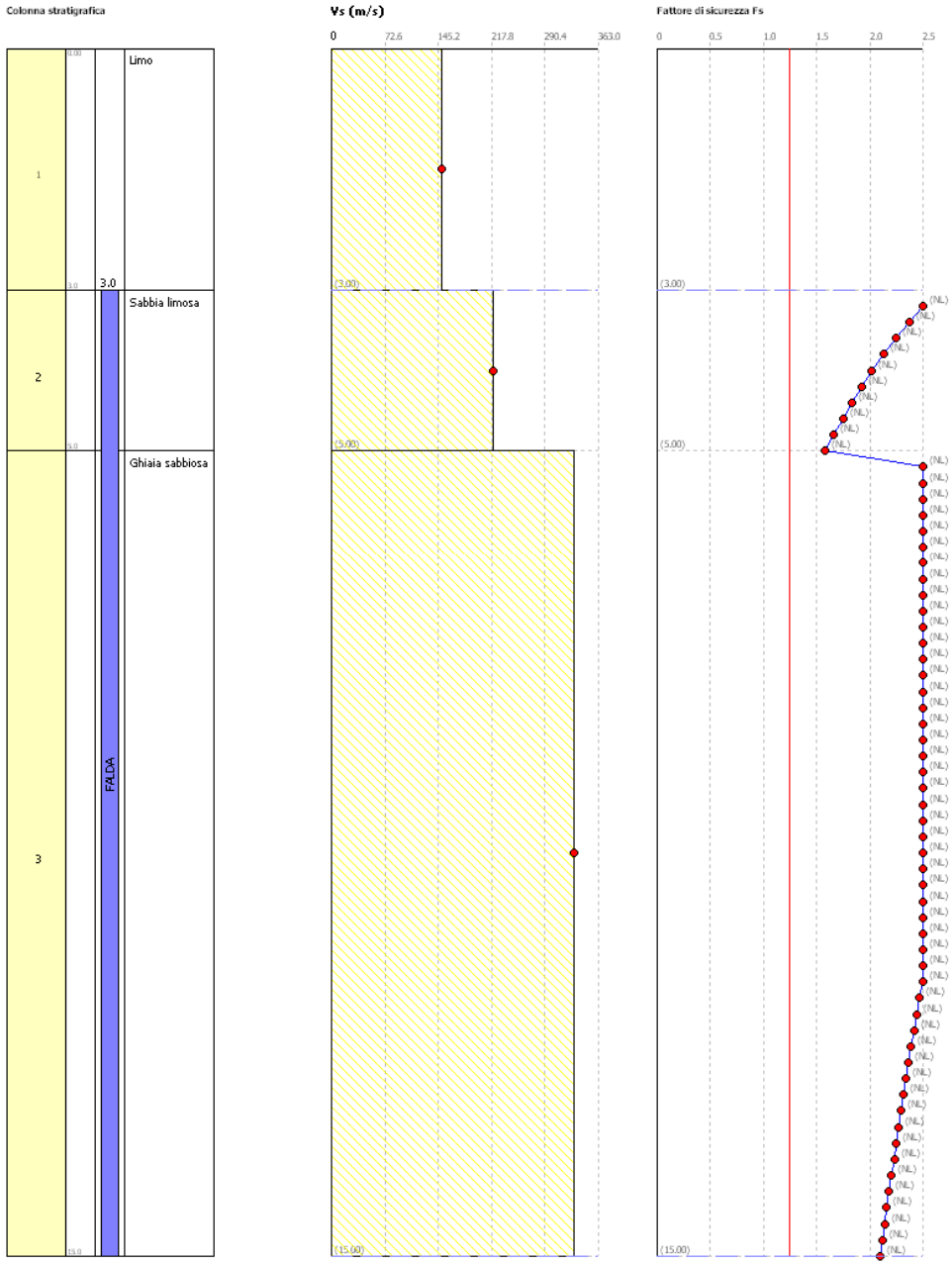

## Verifica con il metodo di Andrus e Stokoe

geostru
www.geostru.com
geostru@geostru.com

**Valutazione del rischio di liquefazione**
**Metodo di verifica: EC8 (Vs)**
**Diagrammi: - Vs - Fs**

Committente:
Località:

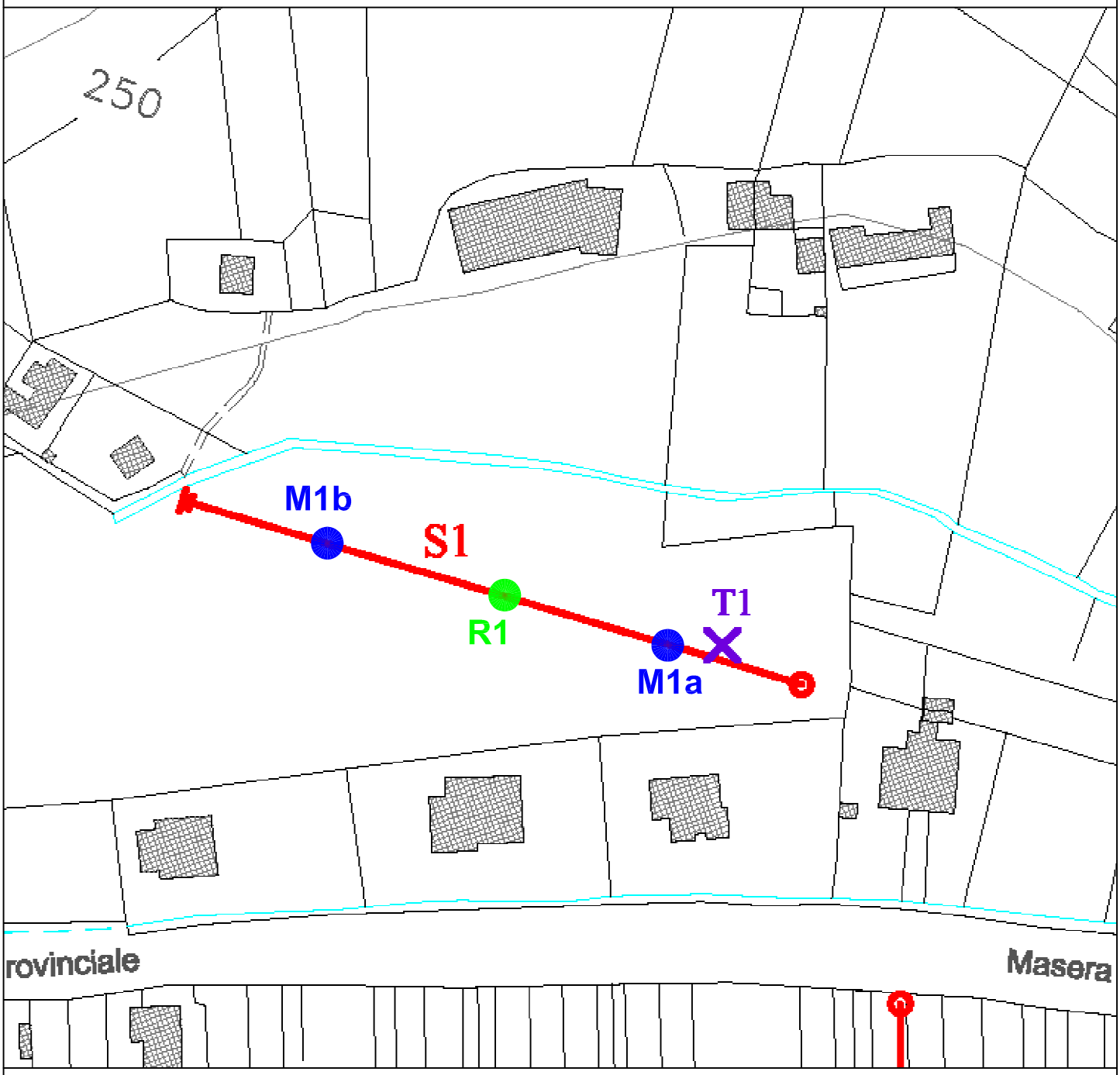
Data:




## Verifica con il metodo EC8 Vs

# *PLANIMETRIA INDAGINI SISMICHE (Area 1)*

(Scala 1:1000)




S1 — Sondaggi Re.Mi. e M.A.S.W.

T1 — Prova con Tromografo

Verticale profilo Vs con metodo Masw

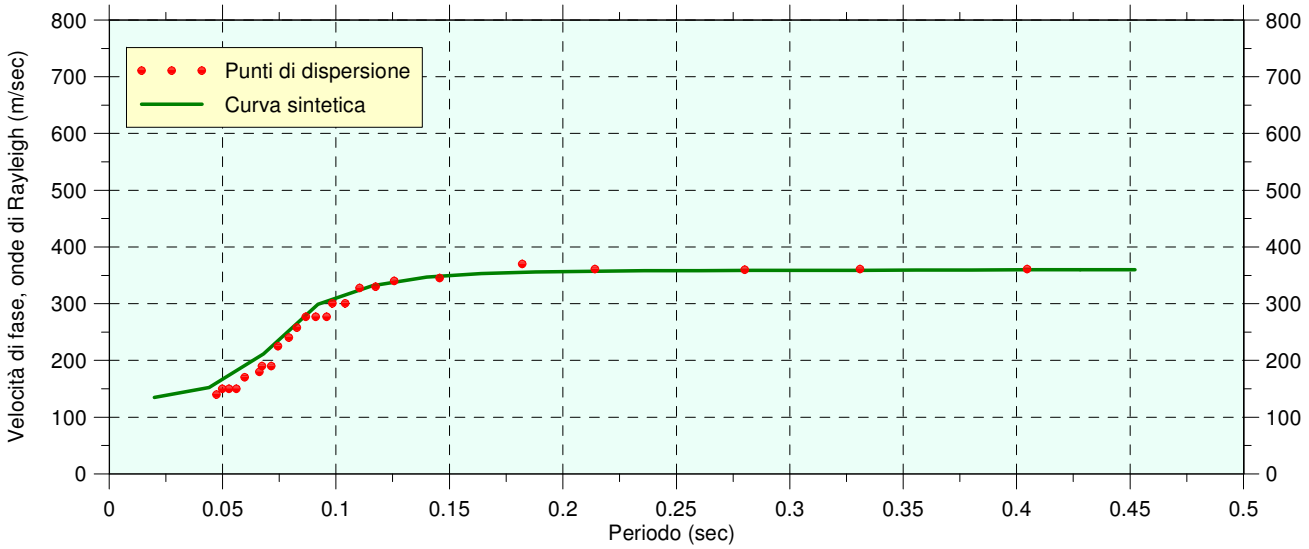
Verticale profilo Vs con metodo ReMi

# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 1

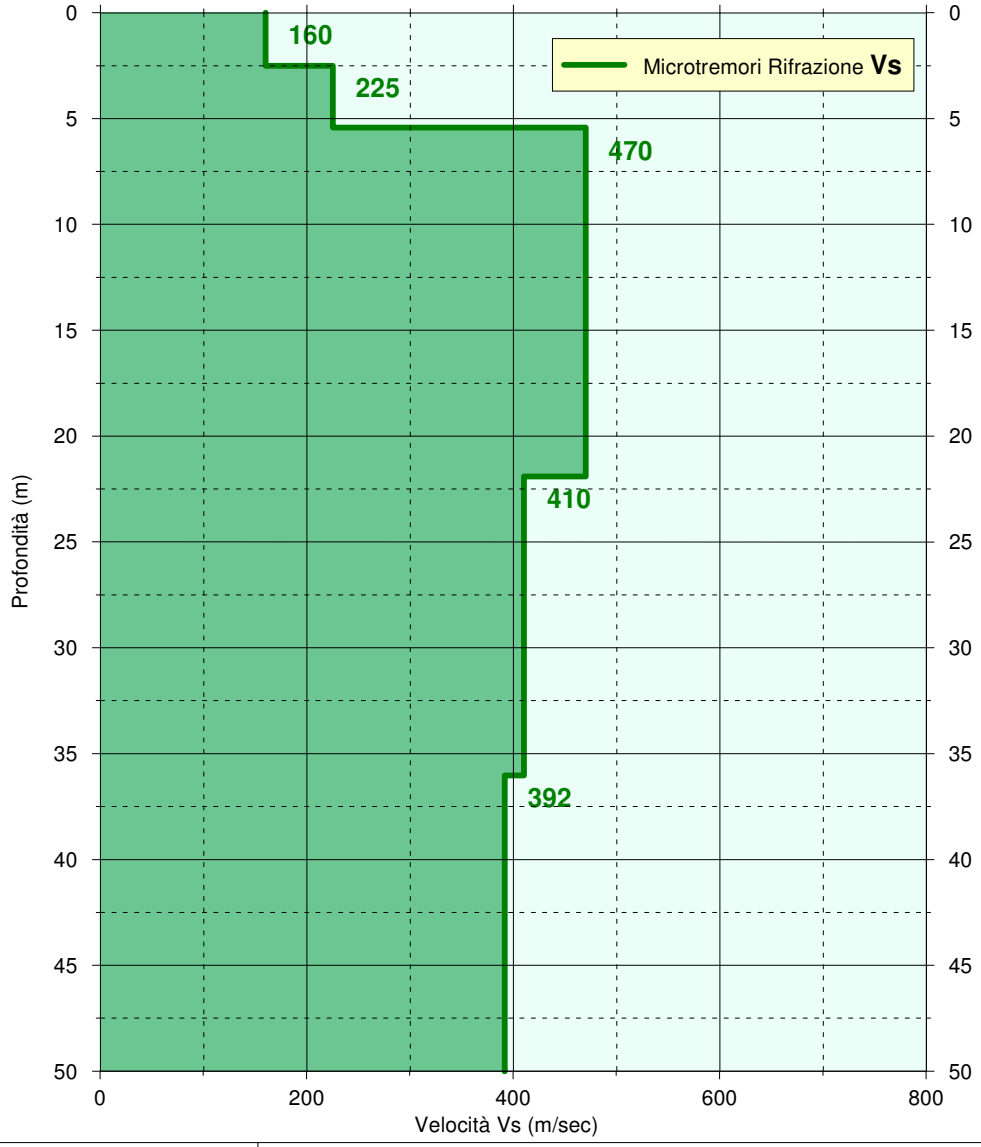
***MICROTREMOR REFRACTION Re.Mi.***

**R1**

## CURVA DI DISPERSIONE




## PROFILO VELOCITÀ Vs



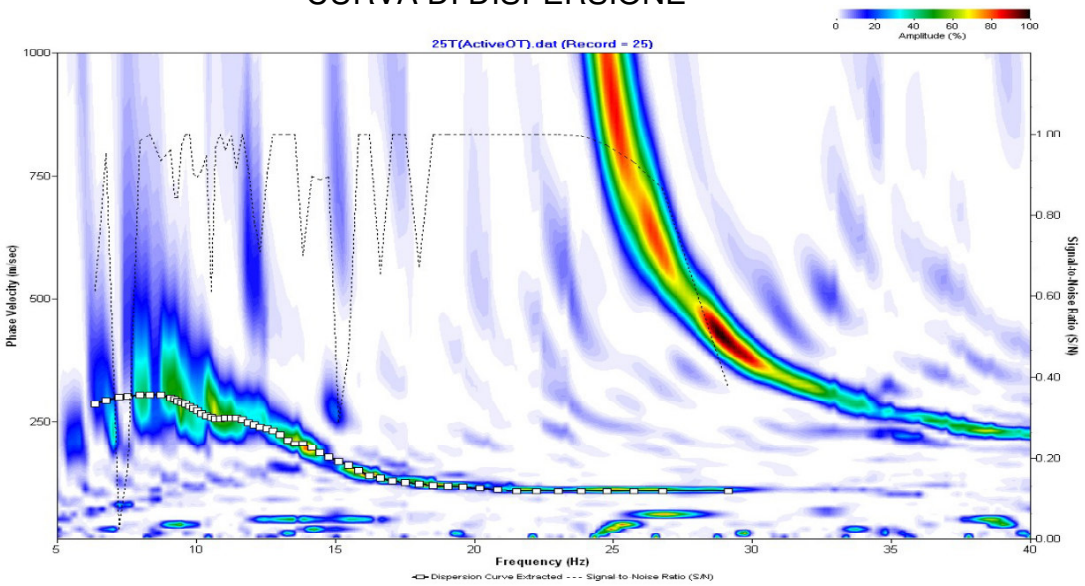

***Vs30=350***

***SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"***

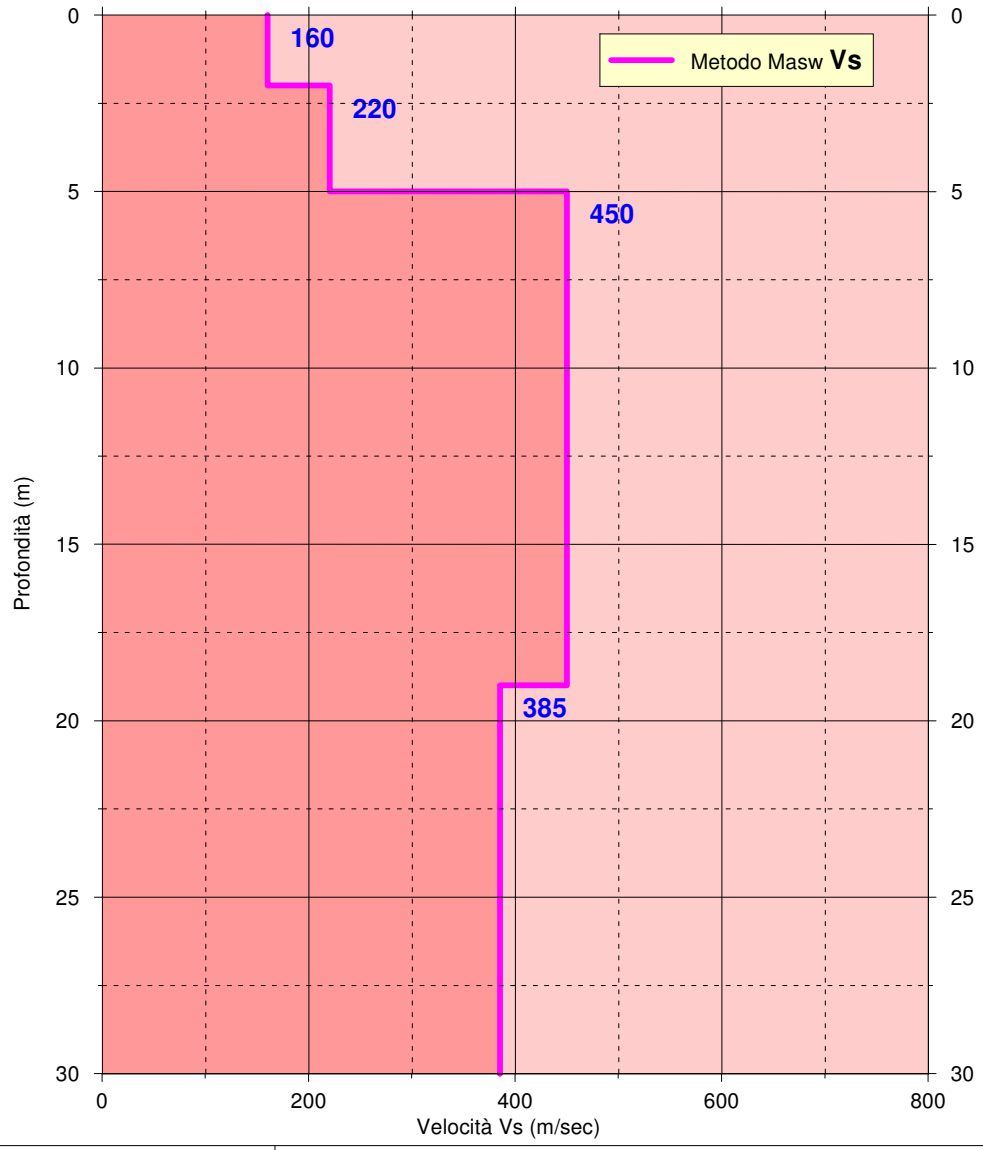
# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 1
## Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW

**M1a**

CURVA DI DISPERSIONE




**PROFILO VELOCITÀ Vs**



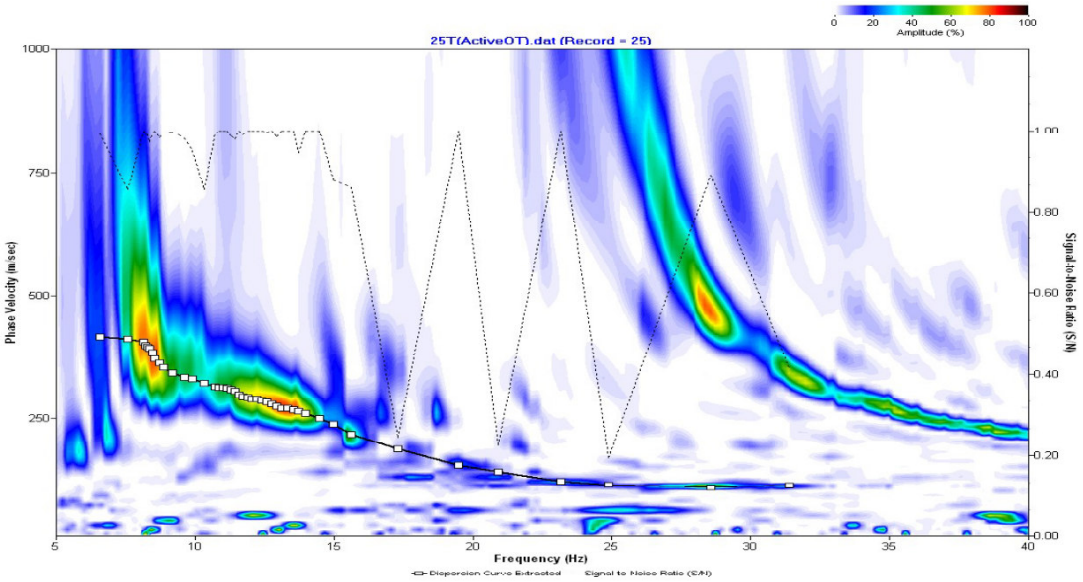

**Vs30 = 345**

**SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"**

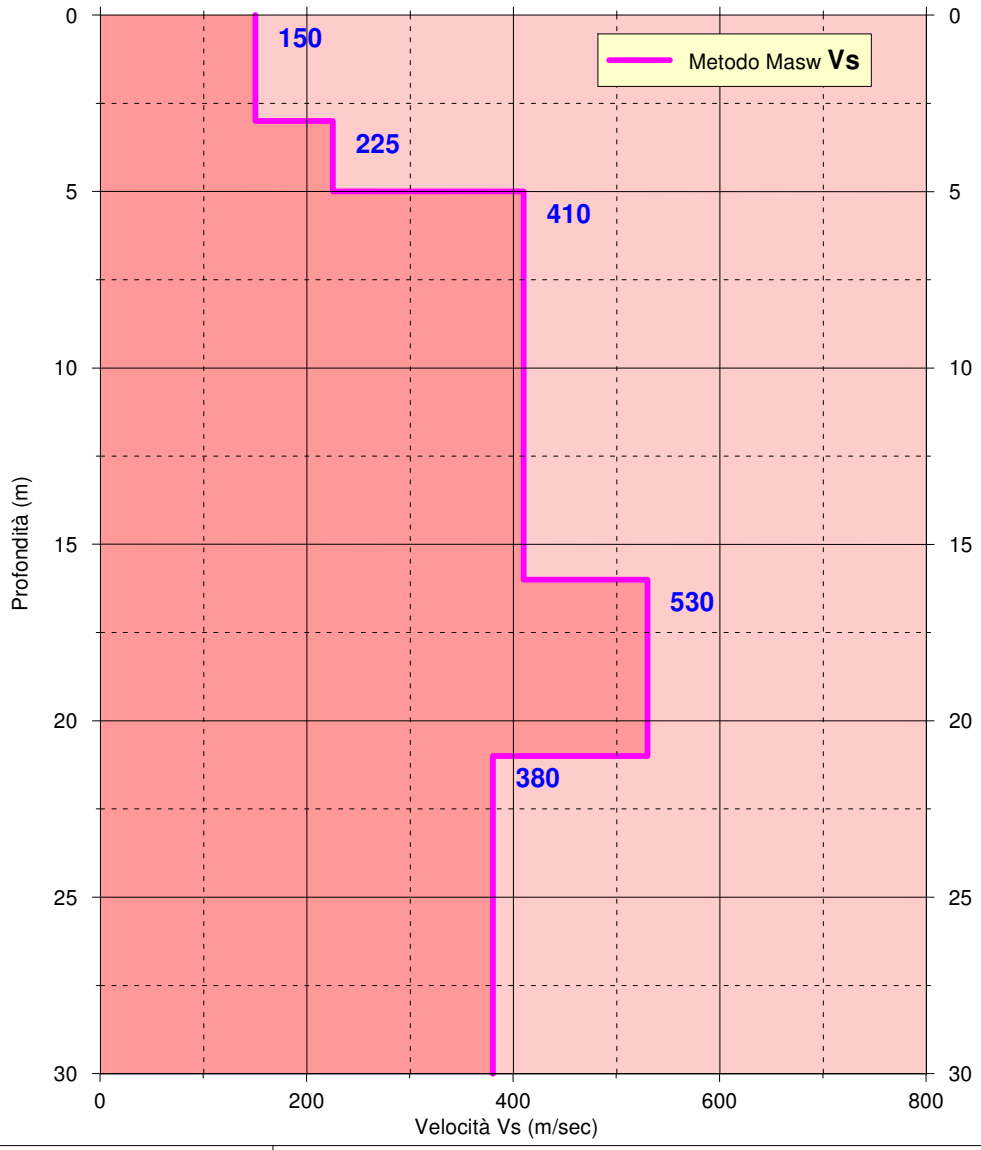
# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 1
## Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW

**M1b**

CURVA DI DISPERSIONE




**PROFILO VELOCITÀ Vs**

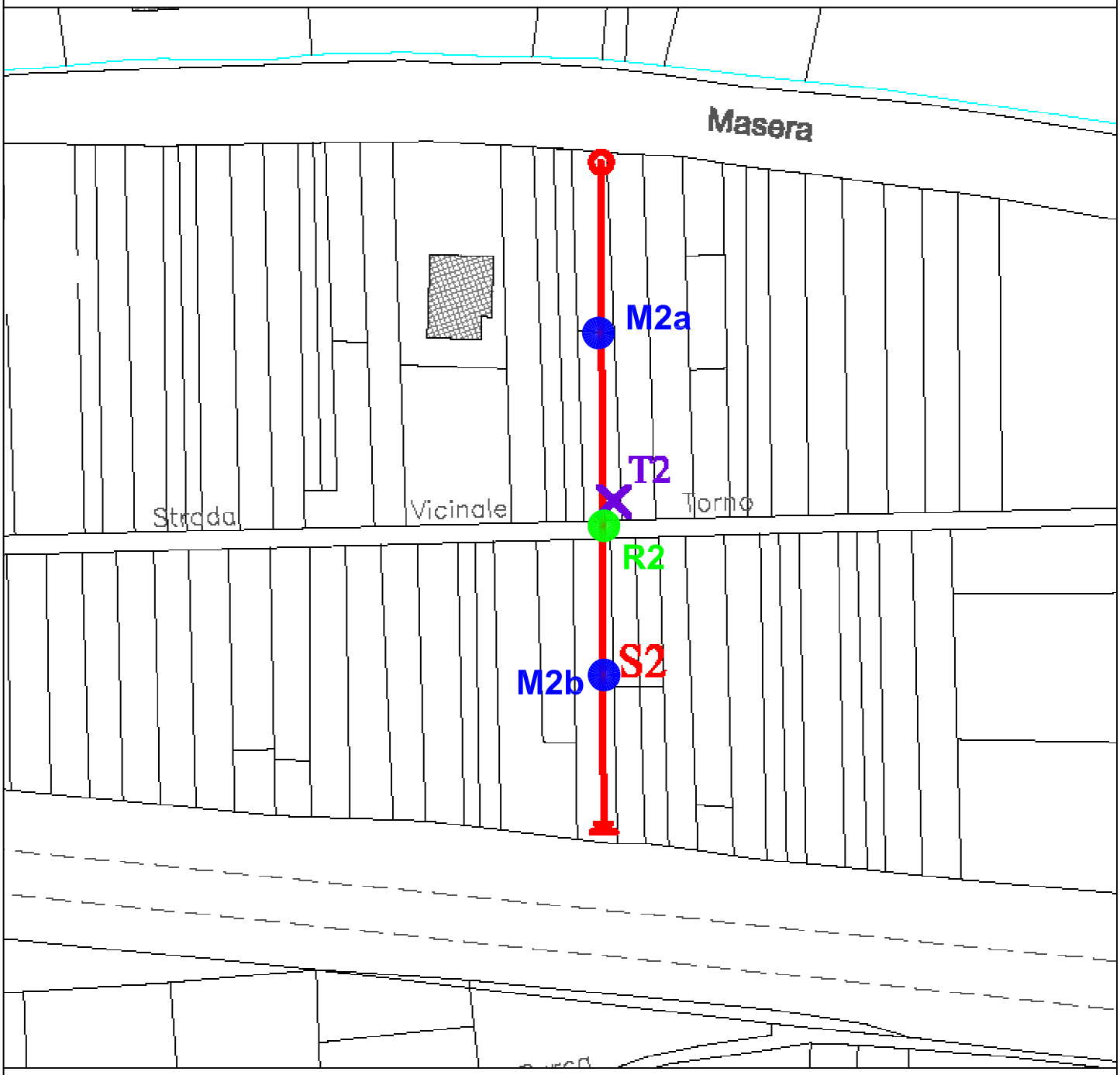



**Vs30 = 345**

**SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"**

# *PLANIMETRIA INDAGINI SISMICHE (Area 2)*

(Scala 1:1000)




S1 — Sondaggi Re.Mi. e M.A.S.W.

T1 — Prova con Tromografo

Verticale profilo Vs con metodo Masw

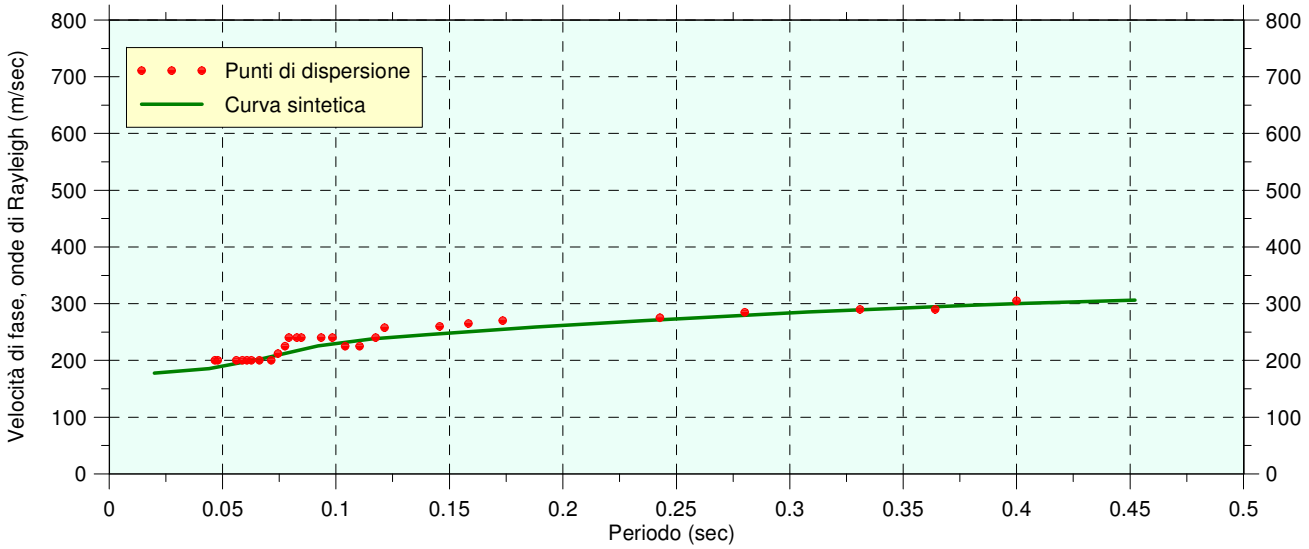
Verticale profilo Vs con metodo ReMi

# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 2

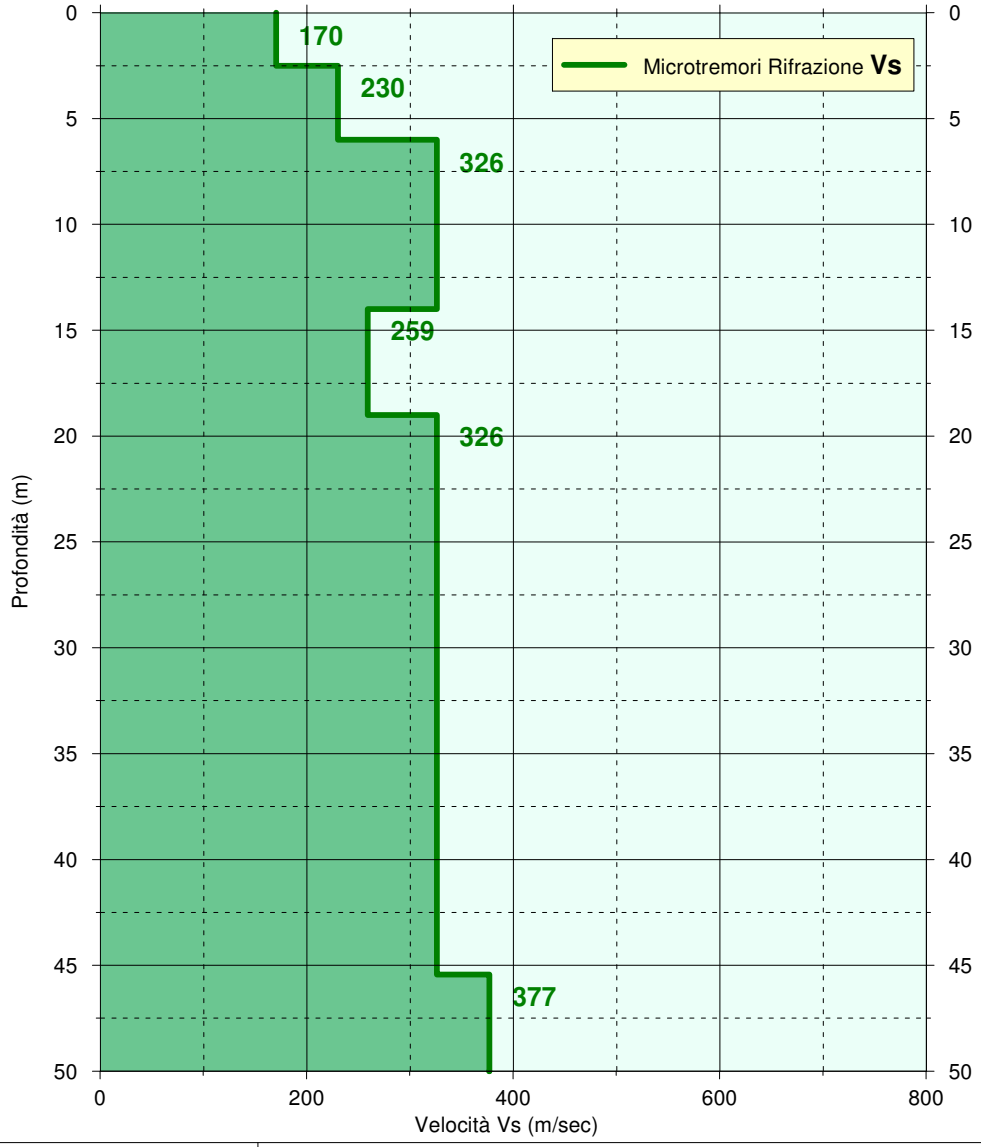
***MICROTREMOR REFRACTION Re.Mi.***

**R2**

## CURVA DI DISPERSIONE




## PROFILO VELOCITÀ Vs



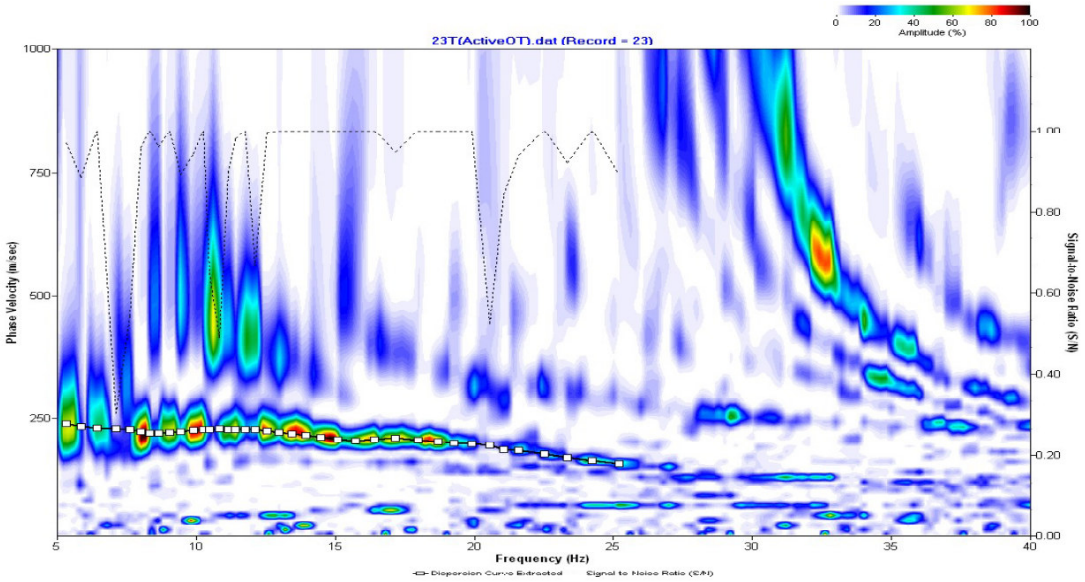

***Vs30=275***

***SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"***

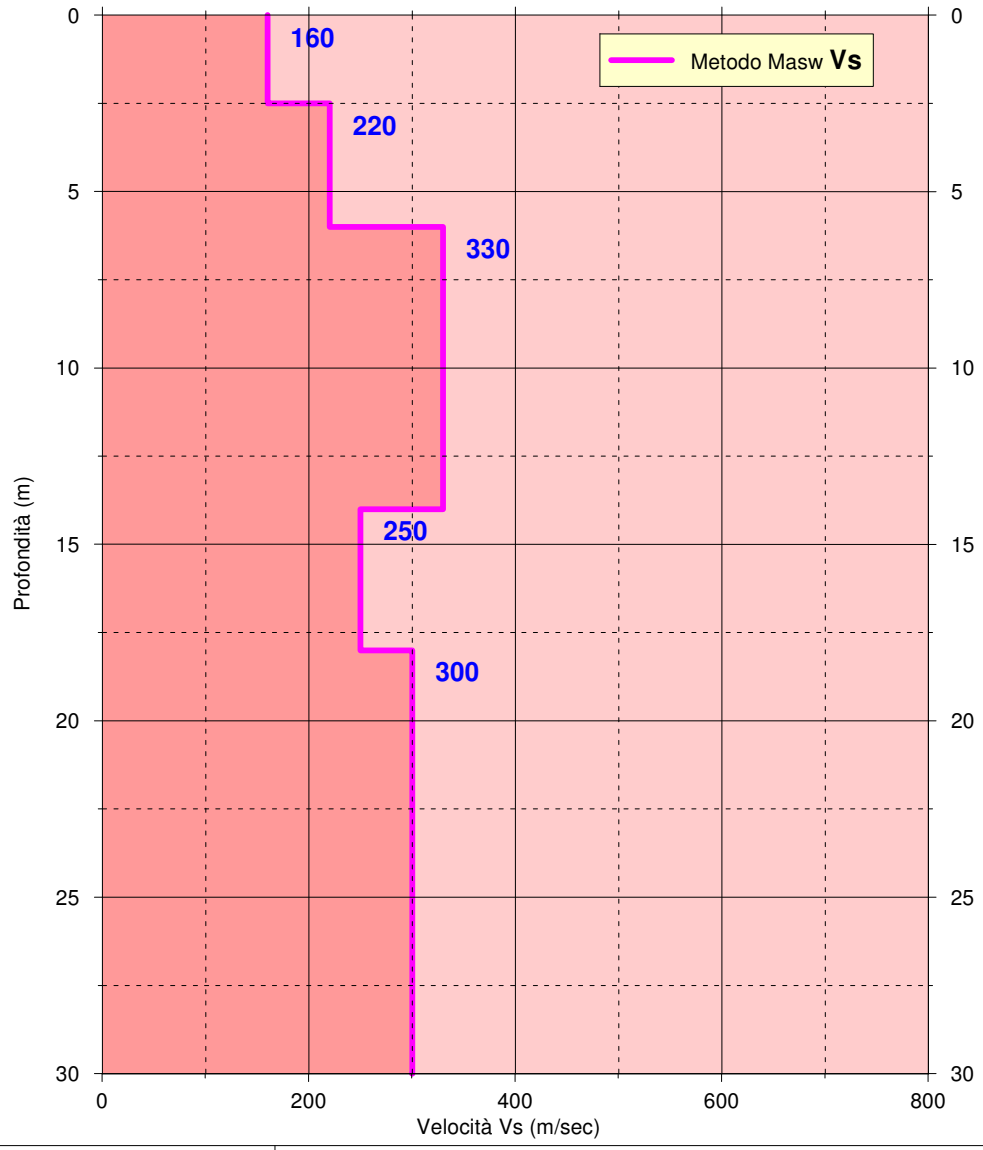
# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 2
## Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW

**M2a**

CURVA DI DISPERSIONE




**PROFILO VELOCITÀ Vs**



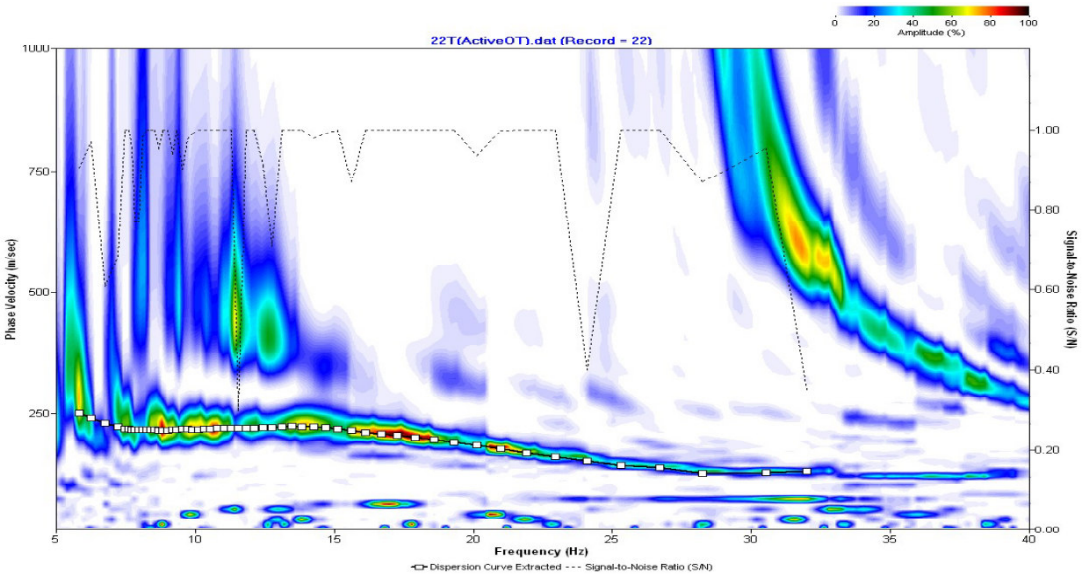

**Vs30 = 270**

**SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"**

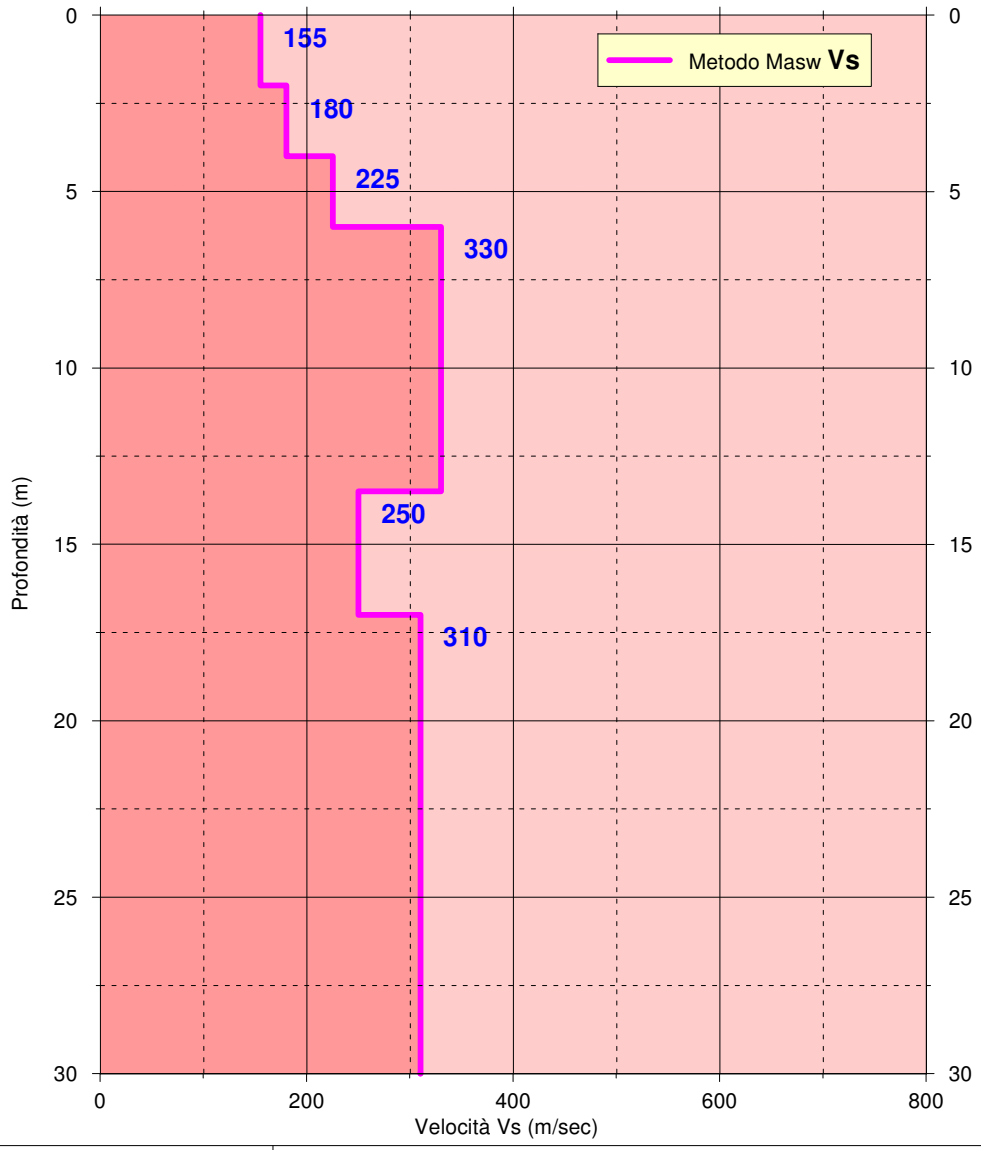
# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 2
## Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW

**M2b**

CURVA DI DISPERSIONE




**PROFILO VELOCITÀ Vs**

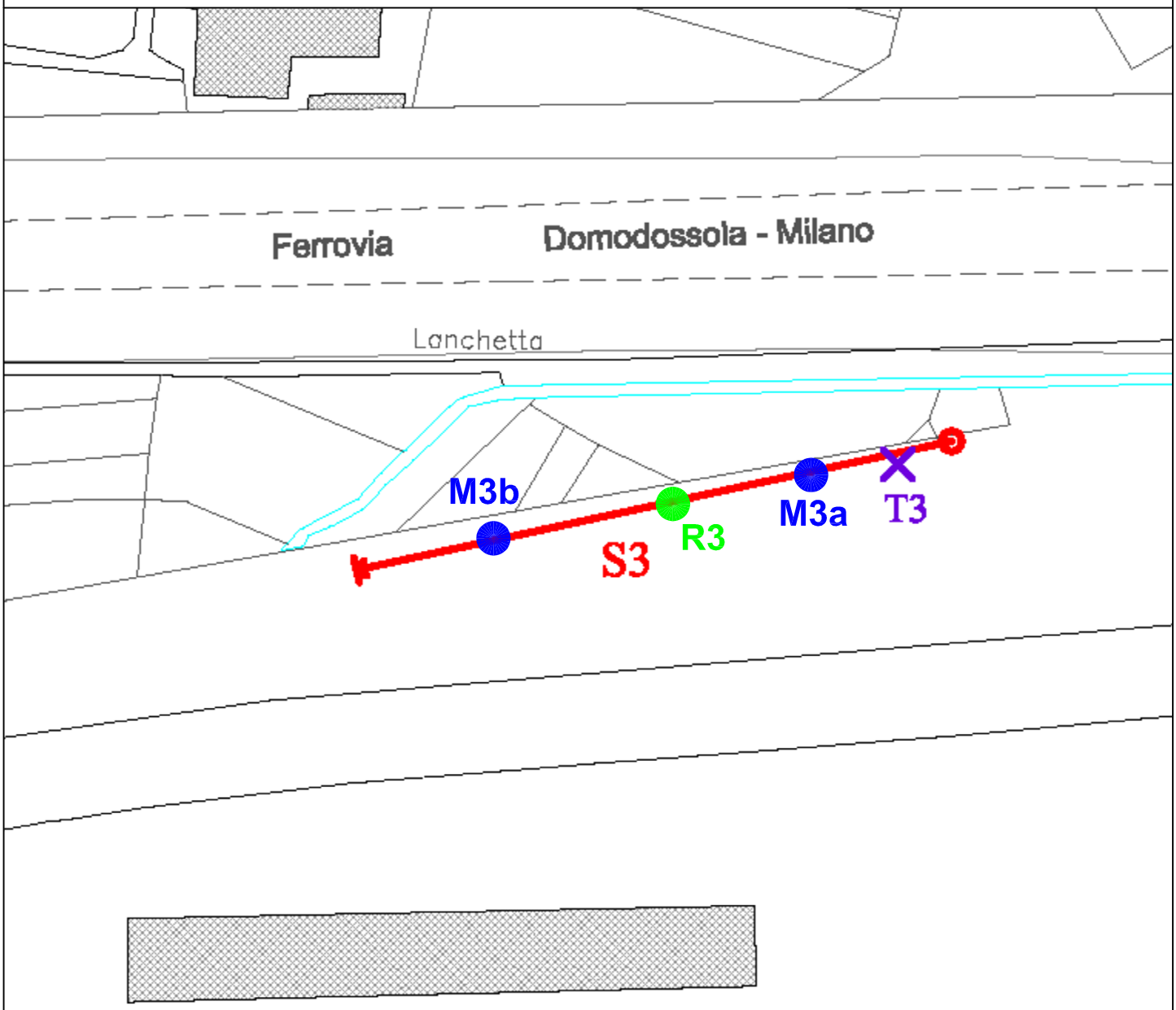



**Vs30 = 270**

**SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"**

# *PLANIMETRIA INDAGINI SISMICHE (Area 3)*

(Scala 1:1000)




S1 — Sondaggi Re.Mi. e M.A.S.W.

T1 — Prova con Tromografo

Verticale profilo Vs con metodo Masw

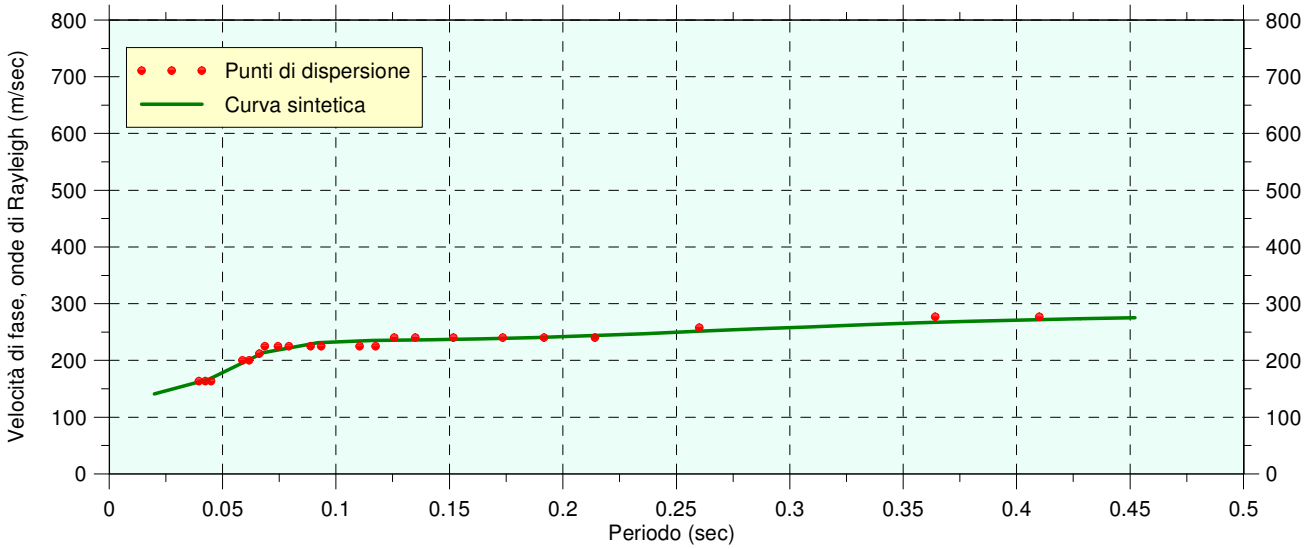
Verticale profilo Vs con metodo ReMi

# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 3

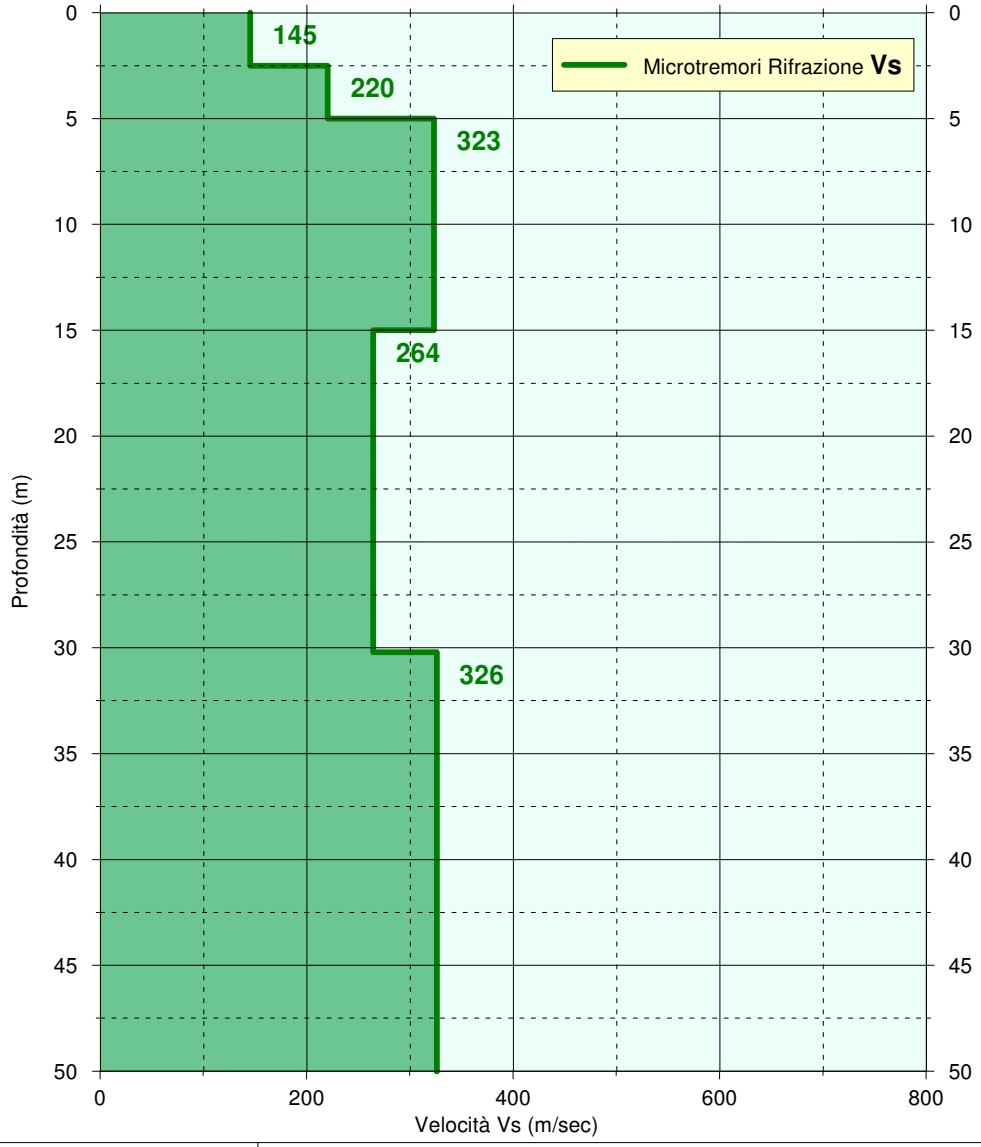
***MICROTREMOR REFRACTION Re.Mi.***

**R3**

## CURVA DI DISPERSIONE




## PROFILO VELOCITÀ Vs



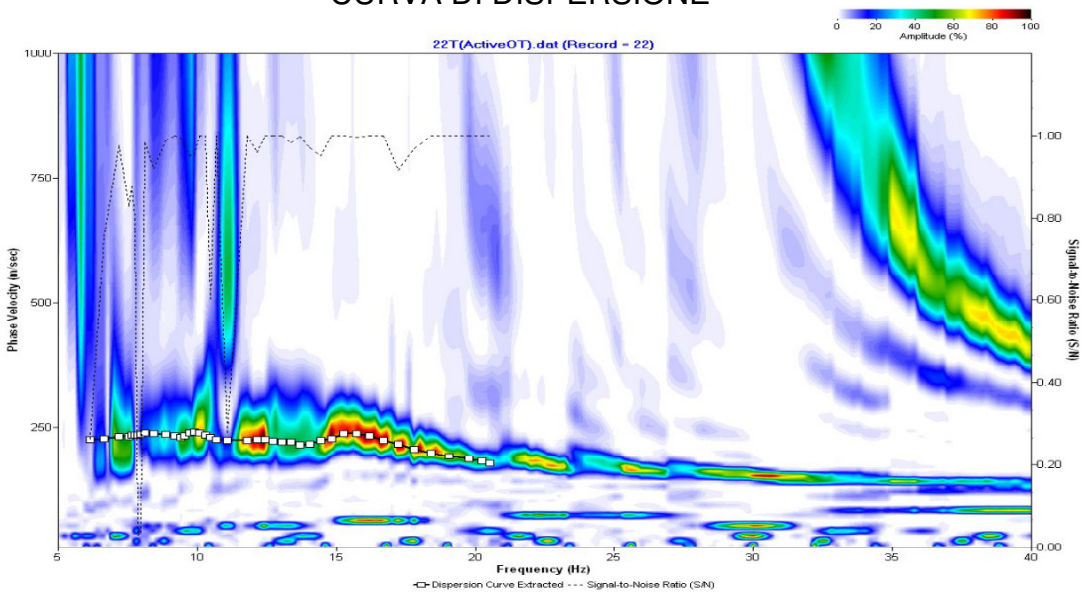

***Vs30=260***

***SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"***

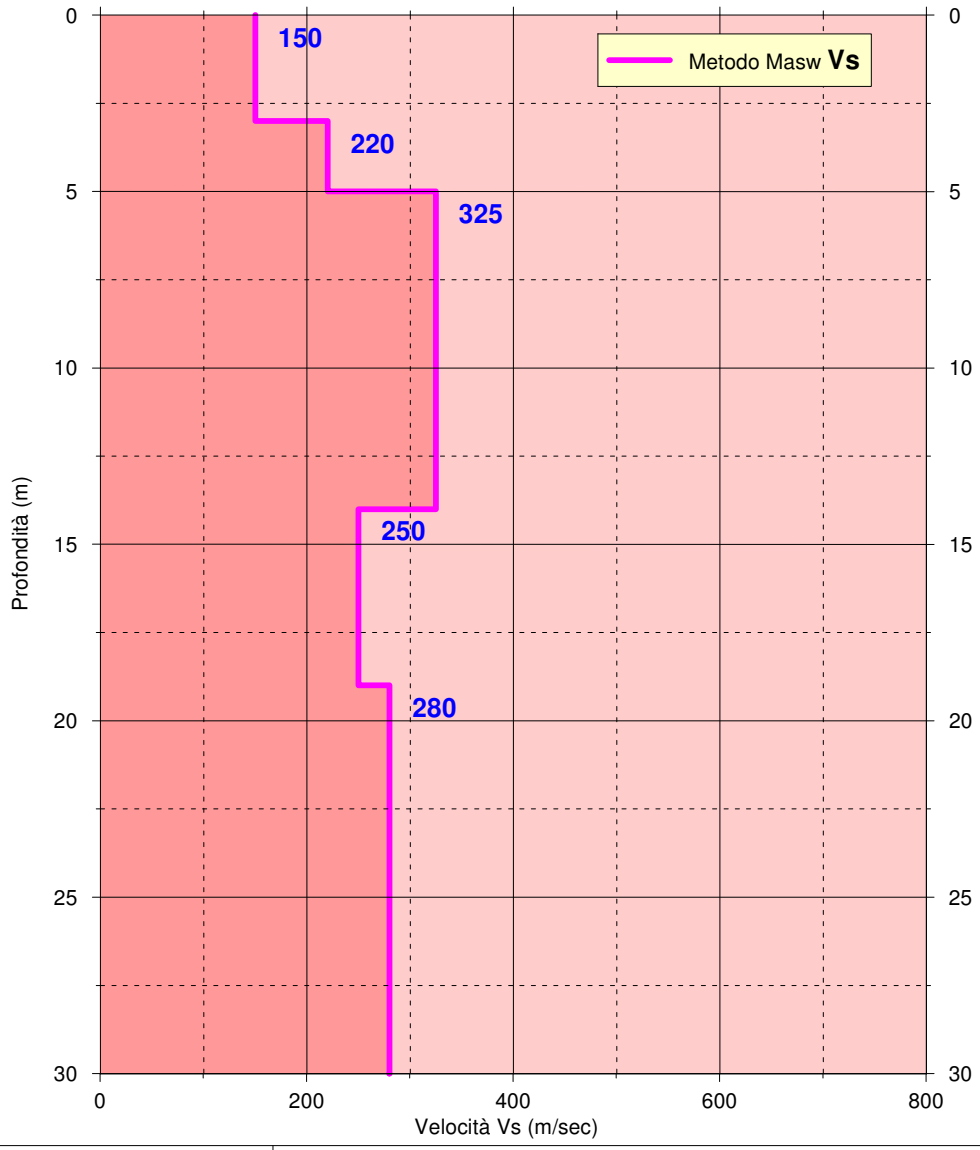
# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 3
## Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW

**M3a**

CURVA DI DISPERSIONE




**PROFILO VELOCITÀ Vs**



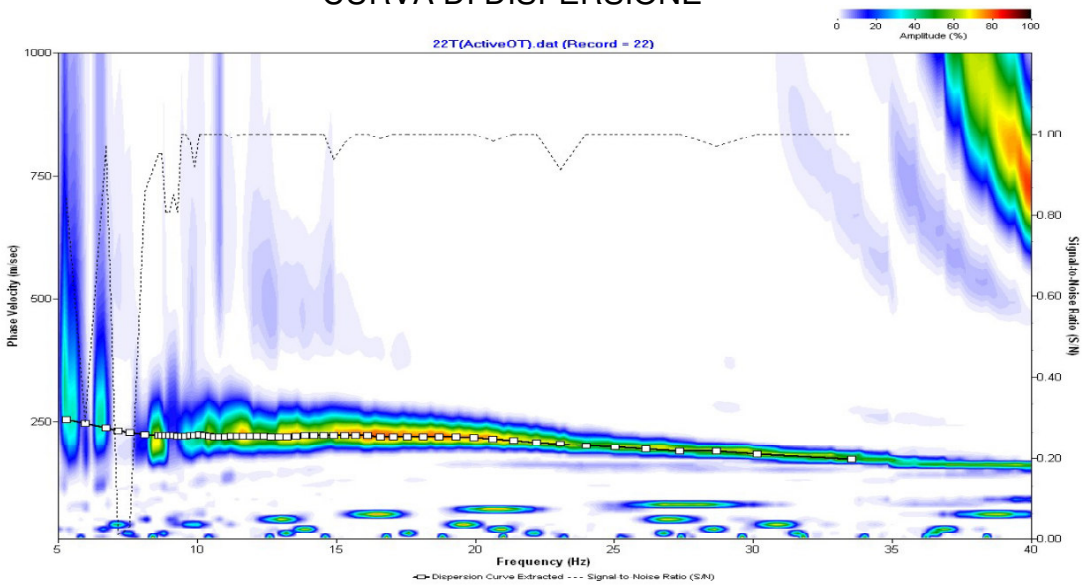

**Vs30 = 260**

**SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"**

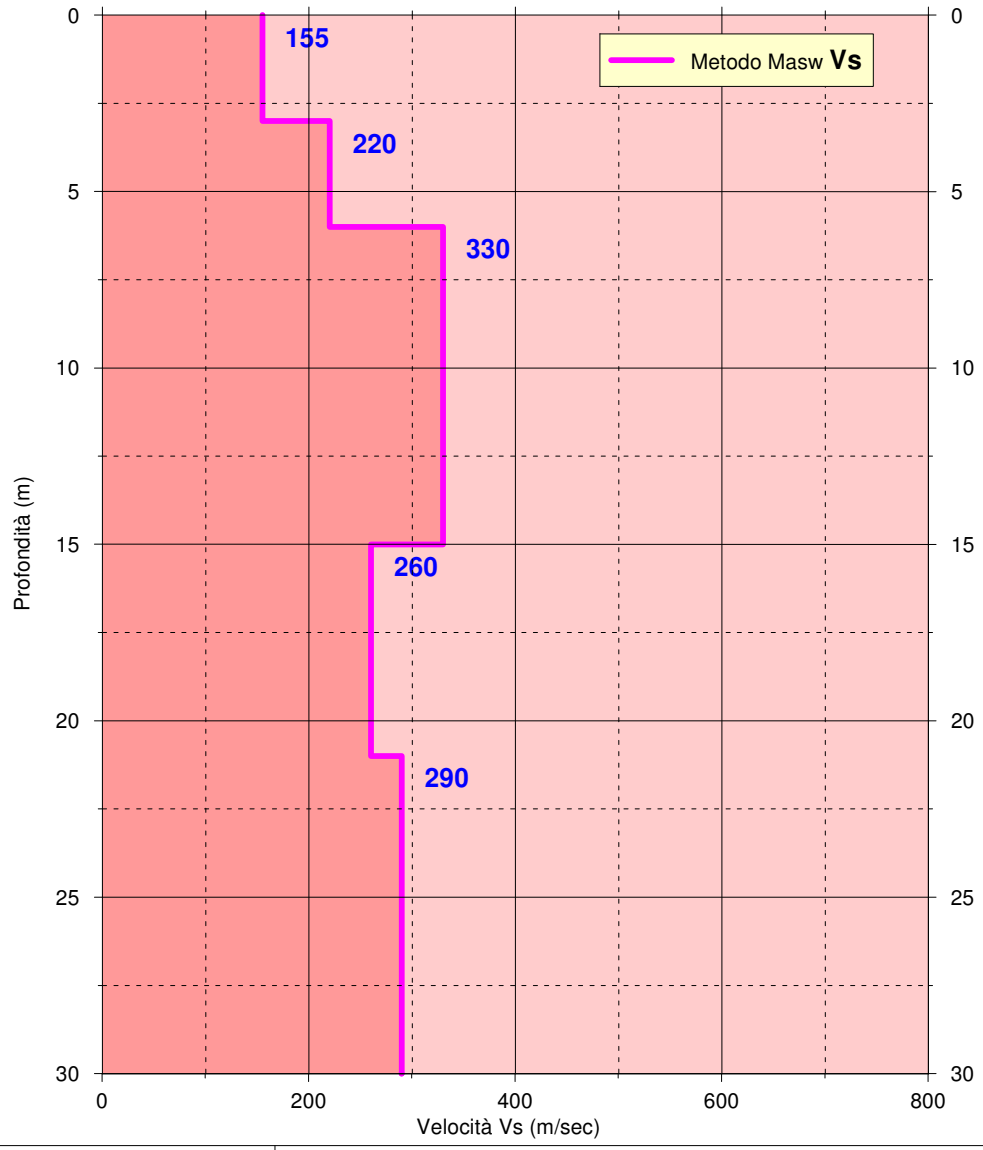
# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 3
## Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW

**M3b**

CURVA DI DISPERSIONE




**PROFILO VELOCITÀ Vs**

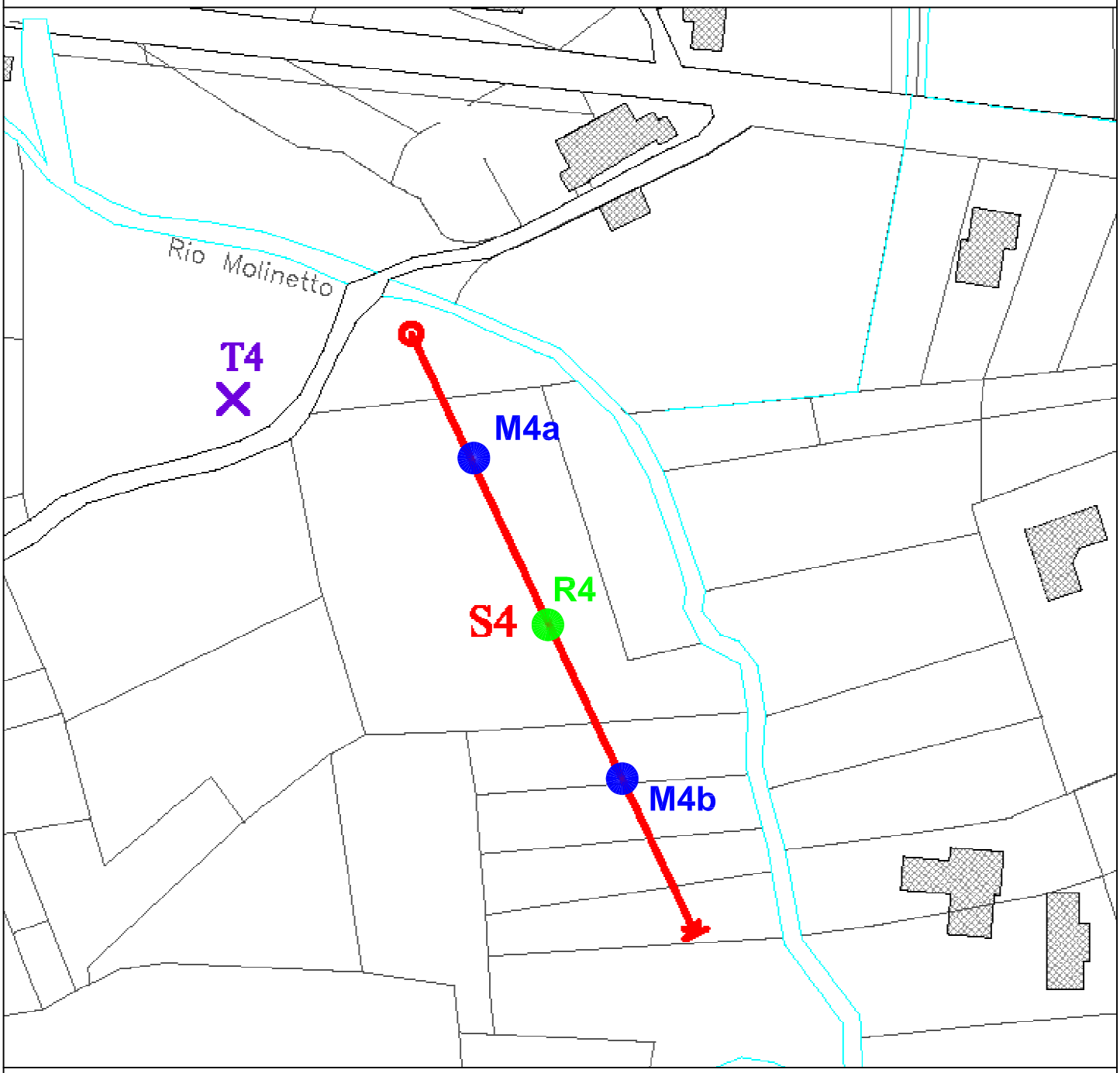



**Vs30 = 265**

**SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"**

# *PLANIMETRIA INDAGINI SISMICHE (Area 4)*

(Scala 1:1000)




S1 — Sondaggi Re.Mi. e M.A.S.W.

T1 — Prova con Tromografo

Verticale profilo Vs con metodo Masw

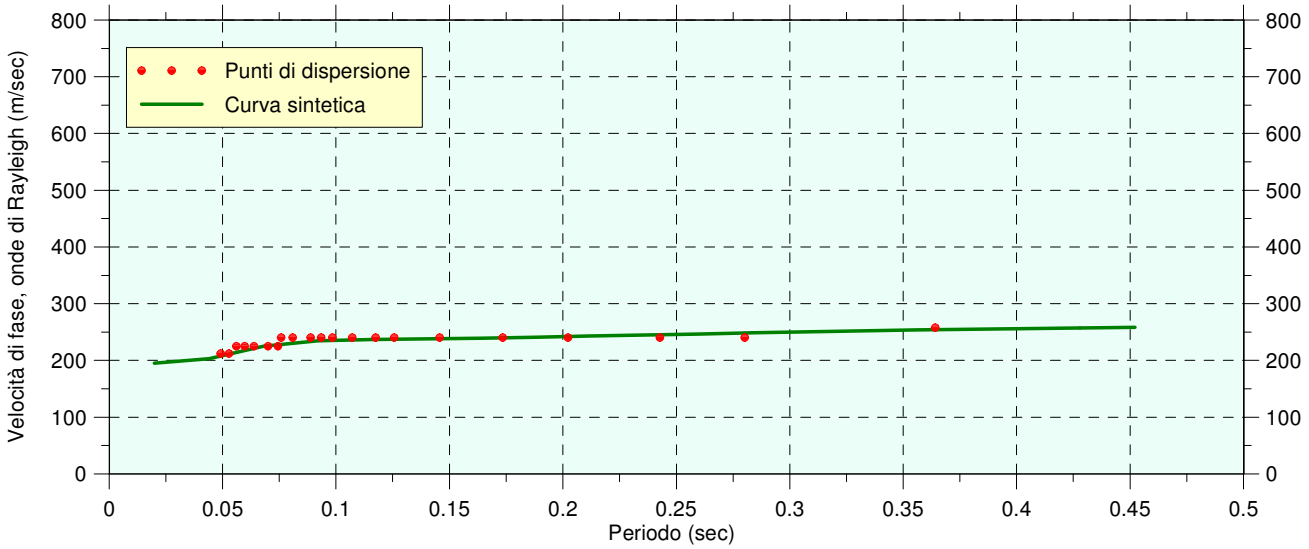
Verticale profilo Vs con metodo ReMi

# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 4

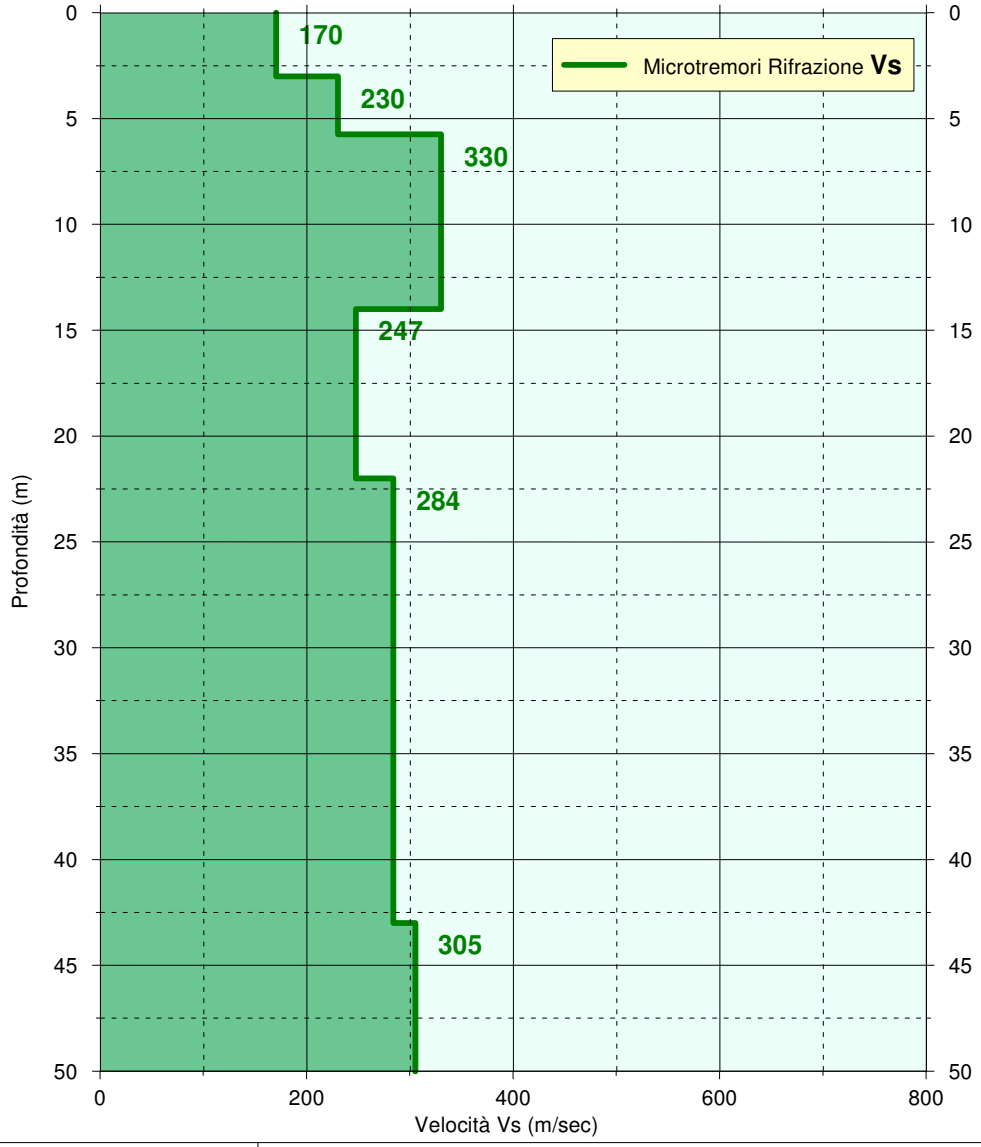
***MICROTREMOR REFRACTION Re.Mi.***

**R4**

## CURVA DI DISPERSIONE




## PROFILO VELOCITÀ Vs



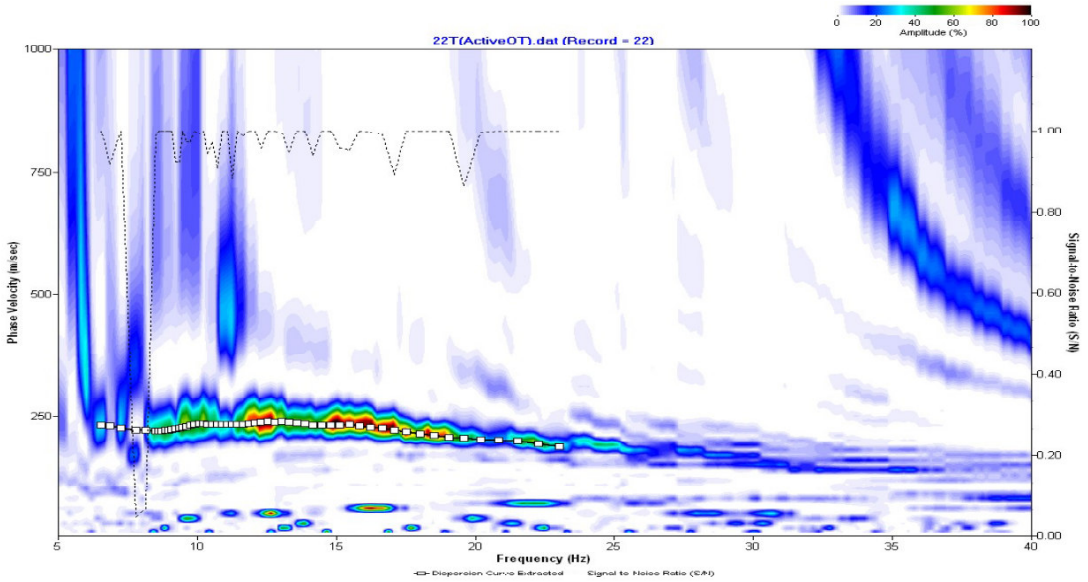

***Vs30=265***

***SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"***

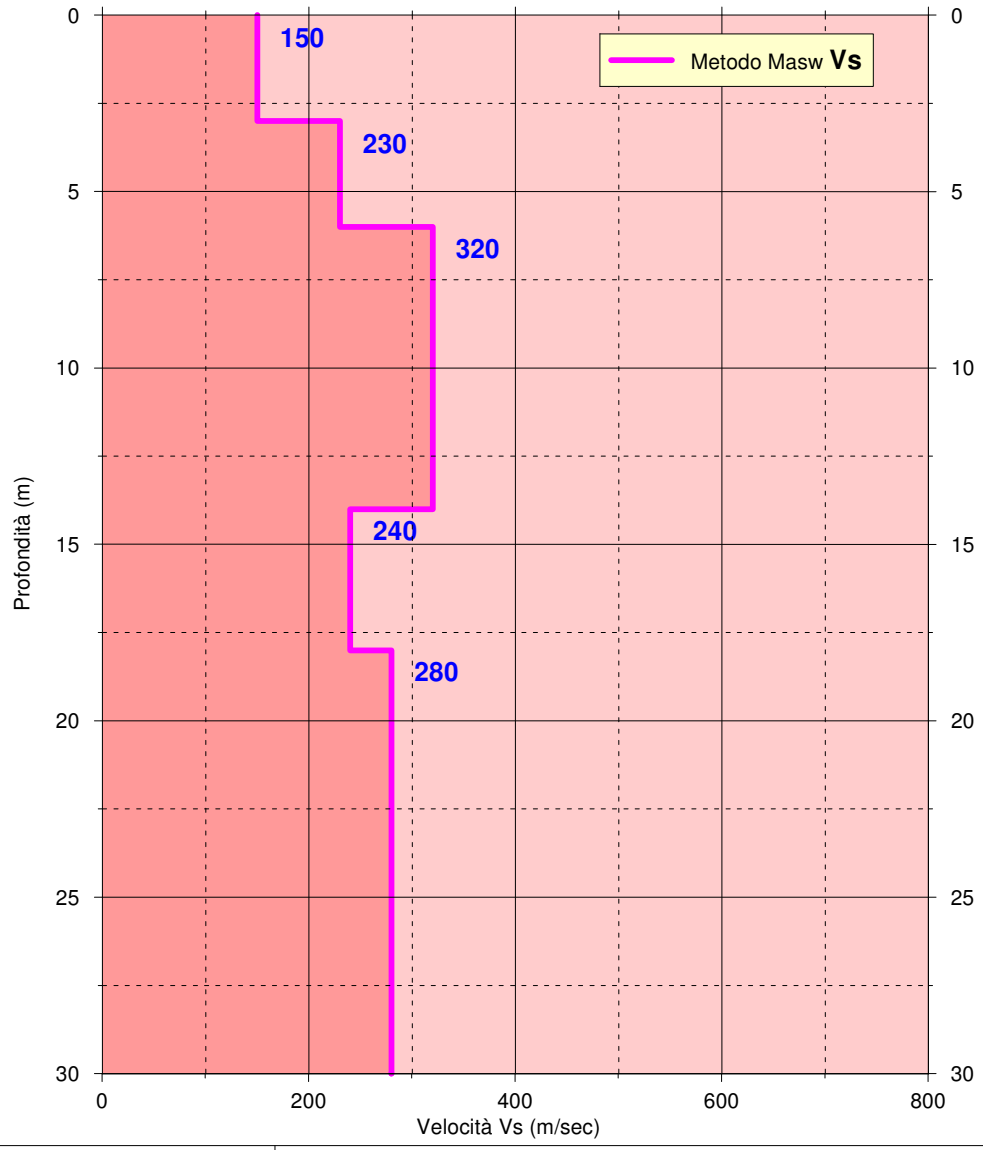
# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 4
## Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW

**M4a**

CURVA DI DISPERSIONE




**PROFILO VELOCITÀ Vs**



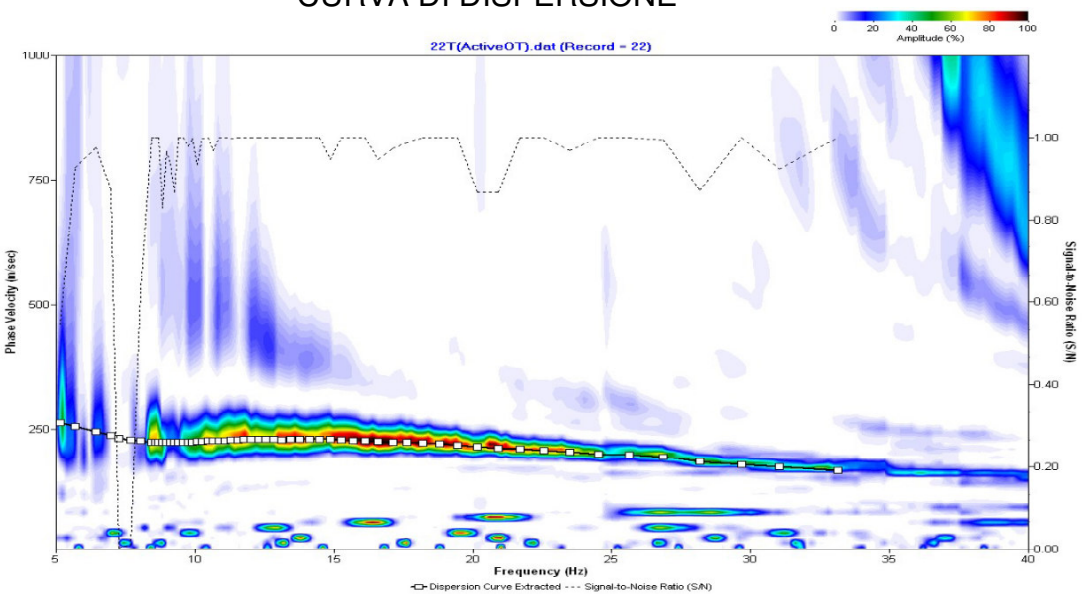

**Vs30 = 260**

**SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"**

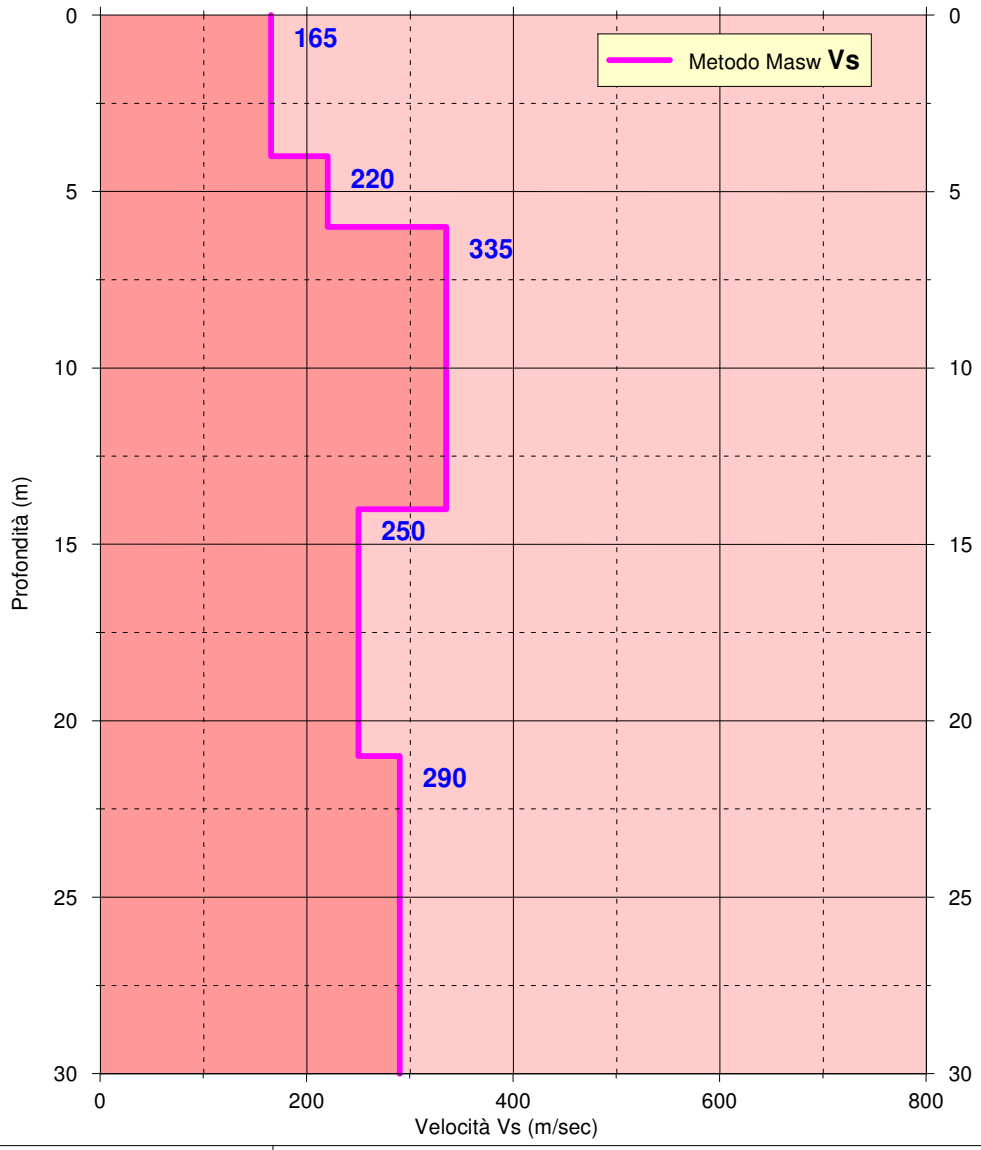
# Loc. BEURA CARDEZZA - AREA 4
## Multichannel Analysis of Surface Waves - MASW

**M4b**

CURVA DI DISPERSIONE




**PROFILO VELOCITÀ Vs**




**Vs30 = 265**

**SUOLO DI FONDAZIONE TIPO "C"**