

COMUNE DI VILLA DI SERIO
(Provincia di Bergamo)



**ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO,
FINALIZZATA ALLA DEFINIZIONE DELL'ASPETTO SISMICO NEL
PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

Redatto secondo i criteri attuativi della L.R. 12/05 "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione all'art. 57 della L.R. 11/03/2005 n° 12" e successive modifiche ed integrazioni

RELAZIONE TECNICA

Bergamo, marzo 2011

Dr. Geol. Michela PECCHIO

Dr. Geol. Gianluigi NOZZA

Dr. Geol. Michela PECCHIO

Dr. Geol. Gianluigi Nozza

I N D I C E

1. PREMESSA	4
2. INTRODUZIONE	4
3. APPROCCIO METODOLOGICO E PROCEDURALE	5
3.1 La procedura di 1° LIVELLO.....	5
3.2 La procedura di 2° LIVELLO: gli effetti di amplificazione di sito	7
3.3 Campo di applicazione procedura di 2° livello.....	8
3.3.1 Effetti di amplificazione morfologica (basi teoriche)	8
3.3.2 Effetti di amplificazione litologica (basi teoriche)	10
3.4 Approccio metodologico impiegato.....	13
3.4.1 Attendibilità dei dati di input	14
3.5 Procedura di 3° livello - IL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE.....	15
3.5.1 Strumentazione impiegata.....	16
3.5.2 Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola.....	16
3.5.3 Basi teoriche del metodo H/V	17
3.5.4 Procedura di analisi dati	18
3.5.5 La stima della frequenza di risonanza degli edifici	19
4. RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DELLE PROCEDURE	21
4.1 Applicazione procedura di 1° LIVELLO: carta della pericolosità sismica locale.....	21
4.1.1 Criteri di redazione della Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)	21
4.1.2 Carta dissesti PAI	22
4.1.3 Carta geomorfologica	22
4.1.4 Carta di sintesi.....	22
4.1.5 Carta morfologica delle curvature	23
4.2 Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL).....	25
4.2.1 Note illustrative alla carta della PSL	26
4.3 Applicazione procedura di 2° LIVELLO: effetti di amplificazione sismica di sito	29
4.3.1 Amplificazione morfologica	29
4.3.2 Amplificazione litologica	31
4.3.3 Procedura di 2° livello – utilizzo delle schede di valutazione litologica.....	35
4.3.4 Correlazione tra altezza degli edifici e le frequenze di risonanza più dannose alla sua stabilità.....	39
5. CONCLUSIONI	41
6. NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE	42

ELENCO TAVOLE

Tav.1 - Carta delle curvature dei versanti (scala 1:10.000)

Tav.2 - Carta della Pericolosità Sismica Locale (scala 1:5.000)

Tav.3 - Carta del livello di protezione nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica garantita dalla normativa vigente (scala 1:5.000)

Tav.4 - Carta del livello di protezione nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica garantita dalla normativa vigente su carta della Fattibilità Geologica (scala 1:5.000)

APPENDICE 1: Schede di valutazione morfologica: Sezioni topografiche

ALLEGATO A: Registrazioni HVSR a stazione singola effettuate sul territorio comunale

1. PREMESSA

L'Amministrazione comunale di Villa di Serio a seguito dell'entrata in vigore della D.G.R. n° 8/1566 del 22-12-2005 *“Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione all'art. 57 della L.R. 11/03/2005 n° 12”* e delle successive integrazioni (D.G.R. n° 8/7374 del 28-5-2008), ha incaricato gli scriventi dell'aggiornamento della componente geologica del P.R.G. comunale, relativamente all'analisi degli aspetti sismici.

2. INTRODUZIONE

Con l'introduzione dei criteri attuativi sopra citati e delle successive modifiche ed integrazioni, l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito, finalizzate alla definizione dell'aspetto sismico nel Piano di Governo del Territorio, vengono codificate a livello procedurale mediante un approccio secondo 3 distinti livelli, con grado di dettaglio via via crescente secondo lo schema riportato in Figura 1.

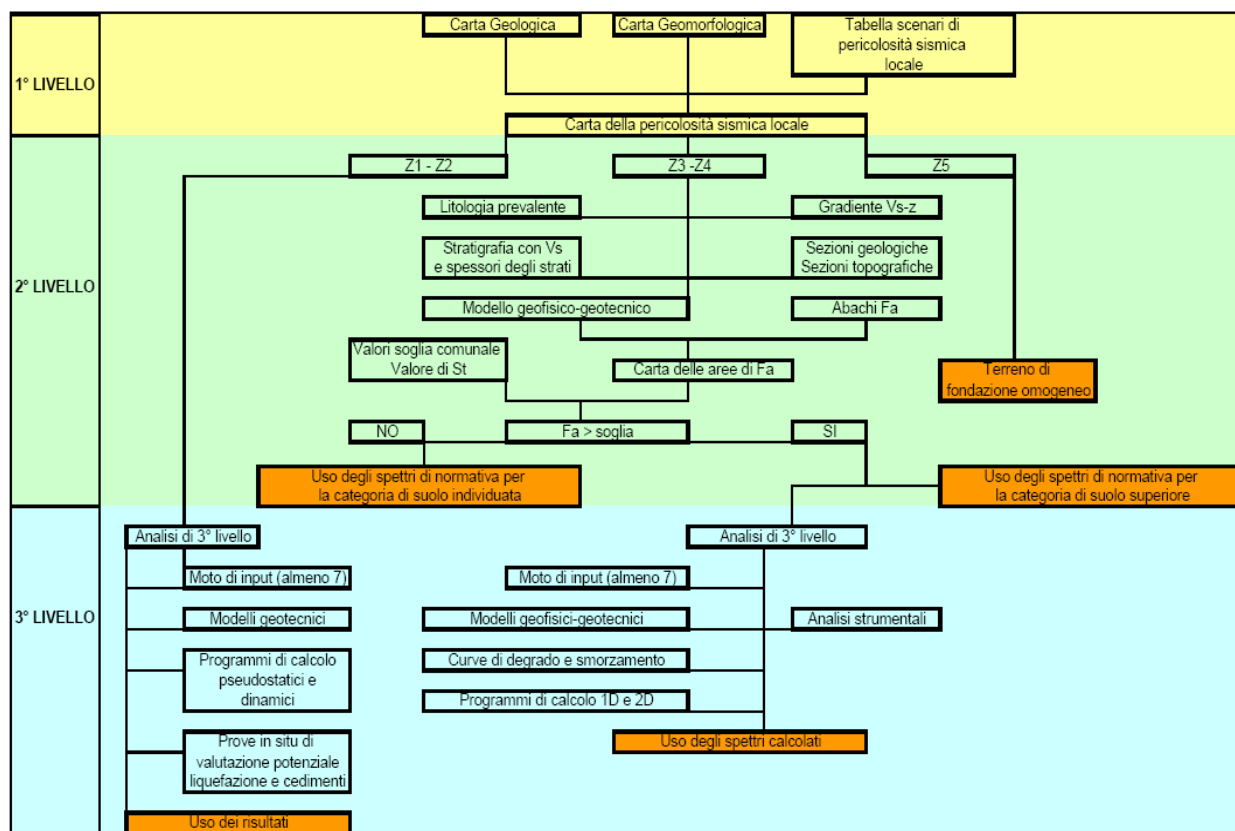


Figura 1: schema procedurale associato ai 3 livelli di indagine

La normativa vigente prevede che i primi due livelli siano obbligatori in fase di pianificazione (con alcune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo livello è invece obbligatorio in fase di progettazione, sia quando con il 2° livello si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di amplificazione, sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (scenari Z1 e Z2).

Il 3° livello è obbligatorio anche nel caso in cui si stia progettando costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali.

La procedura messa a punto fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

3. APPROCCIO METODOLOGICO E PROCEDURALE

L'approccio metodologico utilizzato nel presente studio è quello previsto dall'allegato 5 alla DGR n. n. 8/7374 del 28 maggio 2008 (che aggiorna la precedente D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005) e riguarda in particolare i primi due livelli di approfondimento, obbligatori in fase di pianificazione.

Oltre a ciò si è proceduto all'impiego di alcune tecniche strumentali, tipiche dell'applicazione del livello 3° (in questa fase non richiesto), che sono state giudicate comunque utili per migliorare l'affidabilità dei dati di input, per l'applicazione delle procedure previste.

Nei paragrafi seguenti si riassumono i criteri previsti dalla Normativa Regionale vigente, e come si sia dato corso all'applicazione delle previste procedure.

3.1 La procedura di 1° LIVELLO

Consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento; è un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette la zonazione del territorio in termini dei diversi effetti prodotti dall'azione sismica, desunti sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una

determinata area, (quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte e che saranno oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.).

Lo studio consiste nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento (carta geologica, carta geomorfologica, ecc.) e nella redazione di un'apposita cartografia (a scala 1:10.000) denominata **carta della pericolosità sismica locale (PSL)**, derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale (situazioni tipo Z1, Z2, Z4) e lineare (situazioni tipo Z3, Z5), delle diverse situazioni tipo in grado di determinare gli effetti sismici locali (Tabella 1).

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella 1 - Scenari di pericolosità sismica locale

La carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento:

- il 2° livello permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici;

- il 3° livello permette sia la caratterizzazione quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per le sole aree in cui la normativa nazionale risulta inadeguata, sia la quantificazione degli effetti di instabilità dei versanti (zone Z1) e dei cedimenti e/o liquefazioni (zone Z2).

Non è necessaria la valutazione quantitativa a livelli di approfondimento maggiore dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi. In fase progettuale tale limitazione può essere rimossa qualora si operi in modo tale da avere un terreno di fondazione omogeneo.

3.2 La procedura di 2° LIVELLO: gli effetti di amplificazione di sito

Come previsto dalla normativa vigente, per il comune di Villa di Serio che ricade in classe sismica 3 la procedura di secondo livello è obbligatoria, per le zone sotto riportate, nel caso in cui interferiscano con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica:

- Z3 suscettibili di amplificazioni sismiche di tipo morfologico
- Z4 suscettibili di amplificazioni sismiche di tipo litologico

Nella scelta delle situazioni da esaminare si è data comunque preferenza agli edifici di tipo strategico o con funzioni pubbliche, in quanto la loro distribuzione nel tessuto edificato è comunque così capillare, da consentire di fatto la caratterizzazione della quasi totalità dell'edificato.

Generalizzando le indicazioni di cui al d.d.u.o. 19904/04, si sono considerati edifici strategici ai fini di questo studio, tutti gli edifici che prevedono, anche per brevi periodi temporali, la presenza di affollamenti significativi di persone, quali ad es. chiese, scuole, supermercati, strutture sportive, industrie, edifici residenziali significativi.

Oltre a questa tipologia sono stati considerati strategici gli edifici comunali, che possono fornire risorse organizzative e materiali in caso di attività di protezione civile, esercitando un ruolo fondamentale di coordinamento e di indirizzo nella gestione degli interventi di emergenza.

Operativamente, per ciascuna delle situazioni per le quali si è dovuto effettuare lo studio di 2° livello, sono state eseguite delle indagini sismiche passive mediante tecnica HVSR, che hanno consentito di verificare le condizioni richieste dalla normativa e di ricostruire un adeguato modello stratigrafico e geofisico del sottosuolo, che è stato poi utilizzato per l'impiego degli abachi previsti dalla normativa vigente.

3.3 Campo di applicazione procedura di 2° livello

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4). La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di Fa.

Nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e morfologici (Z3) si devono analizzare entrambi i casi e si deve scegliere quello più sfavorevole.

Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo (T) tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

I due intervalli di periodo per i quali viene calcolato il valore di Fa dipendono dal periodo di vibrazione proprio degli edifici; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s è caratteristico di strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, (orientativamente fino ad un massimo di 5 piani) e di fatto rappresenta il parametro di riferimento per la quasi totalità dell'edificio di Villa di Serio, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0.1-0.5 s: questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0.5-1.5 s.

3.3.1 Effetti di amplificazione morfologica (basi teoriche)

La Figura 2 schematizza il concetto che sta alla base delle analisi circa gli effetti di amplificazione morfologica effettuate nel corso di questo studio.

Due edifici identici fondati sul medesimo suolo, ma in due distinte situazioni morfologiche, avvertono in maniera completamente diversa lo scuotimento del suolo causato dallo stesso sisma; è evidente che in simili circostanze anche gli effetti attesi sui due edifici possono essere molto diversi.

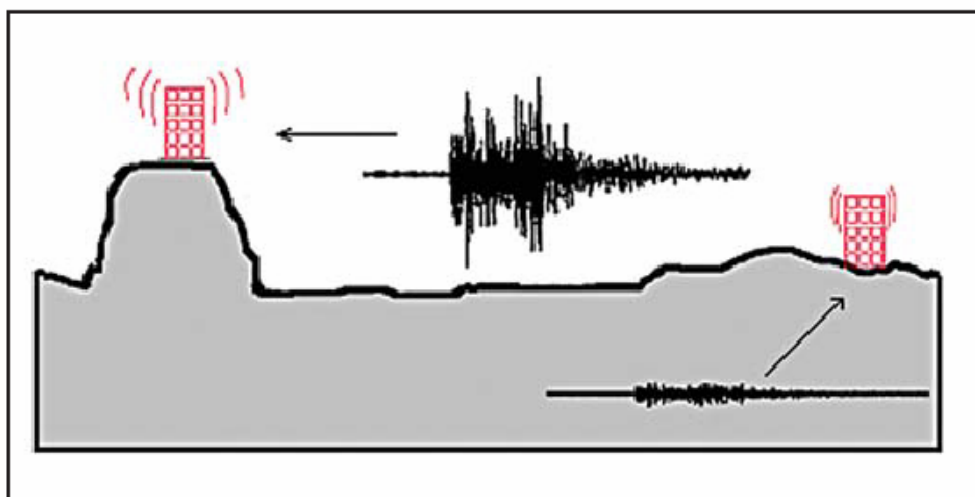


Figura 2: Schematizzazione degli effetti di amplificazione causati da una diversa situazione morfologica a parità di litologia del sottosuolo

La normativa vigente prevede che le possibili zone di amplificazione morfologica vengano valutate per mezzo di procedure semplificate con l'impiego di abachi o tabelle che si riferiscono a due diverse situazioni tipo:

- 1) zona di scarpata (Scenario Z3a);
- 2) zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (Scenario Z3b);

Per la determinazione del Fattore di amplificazione (Fa) sono proposti 5 abachi per lo scenario di cresta/cocuzzolo ed una tabella per lo scenario di scarpata. Tali abachi forniscono stime del valore del fattore di amplificazione (Fa) su base statistica, ma si evidenzia che gli effetti di amplificazione morfologica risentono fortemente della direzionalità degli impulsi sismici. La stima fornita è da intendersi come la risposta dello scenario considerato nel caso peggiore, cioè nel caso in cui l'incidenza del treno d'onde avvenga perpendicolarmente alla direzione di allungamento della cresta o della scarpata. In tutti i casi in cui il treno d'onde associato al movimento sismico non sia perpendicolare allo sviluppo della cresta o della scarpata, è lecito attendersi effetti di amplificazione morfologica attenuati rispetto a quanto riportato più avanti.

Nel caso di rilievi morfologici asimmetrici che possono essere rappresentati sia dallo scenario Z3a sia dallo scenario Z3b, a seconda dell'orientazione della sezione, si analizzeranno entrambi i casi e si sceglierà quello più sfavorevole.

Nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, in presenza di scenari Z3a e Z3b, è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

3.3.2 Effetti di amplificazione litologica (basi teoriche)

La Figura 3 illustra schematicamente il concetto che sta alla base delle analisi di amplificazione litologica considerate in questo studio.

Due edifici identici fondati su suoli diversi, con una situazione morfologica superficiale confrontabile, avvertono in maniera completamente diversa lo scuotimento del suolo causato dallo stesso sisma; anche in questa circostanza gli effetti attesi sui due edifici sono completamente diversi.

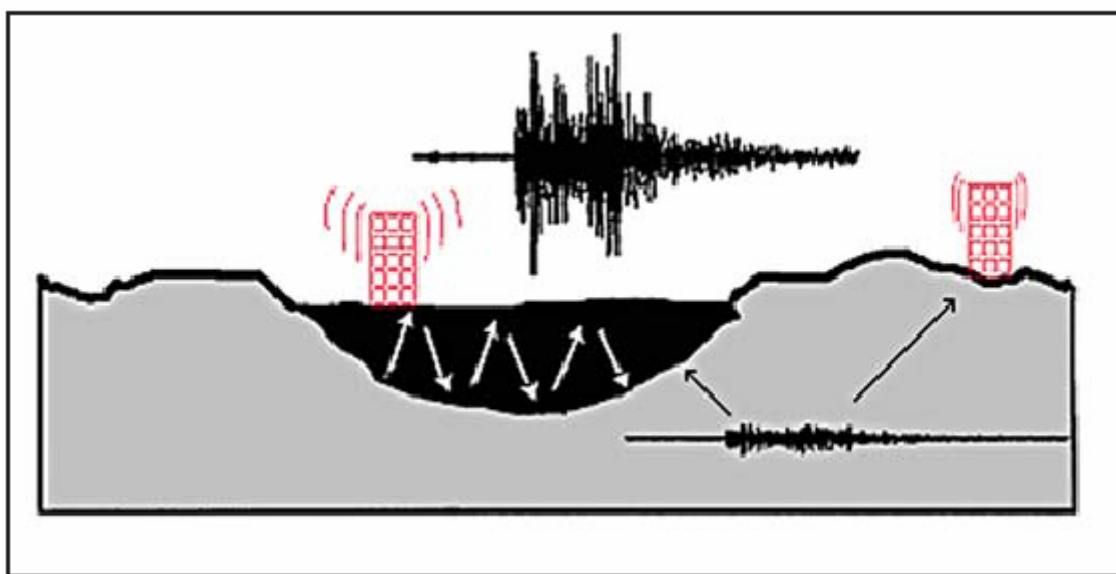


Figura 3: Schematizzazione degli effetti di amplificazione, causati da una diversa situazione litologica a parità di morfologia

La procedura di 2° livello fornisce per gli effetti litologici, valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati.

La procedura da applicare in queste situazioni tipo, è codificata anch'essa nell'Allegato 5 della D.G.R. n. 8/7374 del 28/5/2008; si tratta di una procedura semplificata che prevede l'impiego di abachi di riferimento e richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di V_s con la profondità; in particolare si deve verificare l'andamento delle V_s con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di V_s inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.

Nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si possono utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di V_s con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0.1-0.5 s (curva 1, curva 2 e curva 3 e relative formule) e nell'intervallo 0.5-1.5 s (unica curva e relativa formula), in base al valore del periodo proprio del sito T^1 .

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità V_s è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello.

¹ Nel caso il valore di V_s dello strato superficiale risulta pari o superiore ad 800 m/s non si applica la procedura semplificata per la valutazione del F_a in quanto l'amplificazione litologica attesa è nulla ($F_a=1.0$).

Il valore di F_a determinato deve essere approssimato alla prima cifra decimale e deve essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia, rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di + 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di F_a ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- **il valore di F_a è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente:** la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- **il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente:** la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello), o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:
 - anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
 - anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
 - anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di V_s , utilizzati nella procedura di 2° livello deve essere opportunamente motivata e a ciascun parametro utilizzato deve essere assegnato un grado di attendibilità, secondo il seguente schema:

<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Figura 4: Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi

3.4 Approccio metodologico impiegato

Dei tre livelli procedurali previsti dalla DGR n.8/7374, l'unico che non ha posto particolari problemi per la sua applicazione è il primo, (redazione carta della Pericolosità Sismica Locale, cfr. par. 4.1), in quanto la sua applicazione si basa essenzialmente su dati che sono comunemente nella disponibilità delle amministrazioni comunali, o che sono quasi sempre facilmente acquisibili.

Il 2° livello invece, pur facendo riferimento ad una procedura standardizzata, richiede una serie di parametri, in particolare la conoscenza di un adeguato modello geofisico del sottosuolo, che è raramente disponibile come dato di partenza, e che pertanto condiziona pesantemente l'applicabilità del metodo.

Per quanto concerne il 3° livello infine, quest'ultimo sarebbe stato obbligatorio solo in fase progettuale, per le zone passibili di amplificazione sismica superiori a un valore di riferimento. Tuttavia, per ovviare alla mancanza di informazioni di base adeguate all'applicazione della procedura del livello 2°, nel corso di questo lavoro si è anche fatto uso di tecniche geofisiche strumentali, procedendo di fatto anche all'applicazione della procedura di terzo livello, per buona parte del tessuto edificato del territorio comunale.

L'utilizzo di queste tecniche geofisiche strumentali ha consentito quindi da un lato, di fornire dati di input più affidabili per l'applicazione della procedura di 2° livello, e dall'altro ha consentito di ottenere tutta una serie di informazioni, in particolare sulle frequenze di risonanza fondamentale dei siti investigati, il cui uso potrà essere particolarmente utile, in fase progettuale, agli ingegneri strutturisti che intendano verificare l'interazione dal punto di vista sismico del sistema terreno-edificio. La frequenza principale di risonanza del sottosuolo, costituisce infatti il

parametro fondamentale per gli ingegneri, i quali devono assolutamente evitare i fenomeni di **doppia risonanza**, (coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle degli edifici), che costituiscono la vera causa delle distruzioni causate da un terremoto.

Operativamente, per ciascuna delle situazioni corrispondenti agli edifici considerati del comune di Villa di Serio, si sono effettuate delle indagini sismiche passive mediante tecnica HVSr, che hanno consentito di verificare le condizioni richieste dalla normativa vigente e di ricostruire adeguati modelli stratigrafici e geofisici del sottosuolo, che a loro volta hanno consentito l'applicazione della procedura standardizzata prevista.

Le misure a stazione singola del tremore sismico consentono infatti, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali, di ricavare direttamente la frequenza (F) fondamentale di risonanza del sottosuolo, immediatamente correlabile al periodo (T) di oscillazione proprio del sito ($T = 1/F$), senza la necessità di ricorrere all'impiego di correlazioni empiriche come quella citata al paragrafo 3.3.2.

La frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo è inoltre un parametro la cui correlazione con gli effetti di sito è ben più significativa di quella del Vs30, che viene richiesto a livello della normativa nazionale. Inoltre, le misure di microtremore a stazione singola, opportunamente invertite, permettono anche di stimare in maniera rapida sia la stratigrafia superficiale che il Vs30, e di ricostruire un modello geofisico del sottosuolo, che può essere utilizzato per la valutazione degli effetti sismici di sito, come previsto dalla DGR n.8/7374.

Nel paragrafo 3.5 si illustra brevemente il background teorico che caratterizza le misure geofisiche di sismica passiva a stazione singola (HVSr) di cui si è fatto largo uso, in questo lavoro.

3.4.1 Attendibilità dei dati di input

Sulla base dello schema di cui alla Figura 4, di cui nel seguito si riporta solo la parte relativa ai “dati geofisici”, e tenuto conto che i dati in ingresso, sia stratigrafici che geofisici, sono stati acquisiti per mezzo di prove dirette di sismica passiva, ne consegue che il livello di attendibilità dei dati utilizzati per l'espletamento della procedura di 2° livello, possa essere considerato “Alto”.

3.5 Procedura di 3° livello - IL MICROTREMORE SISMICO AMBIENTALE

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre.

Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Figura 5, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo, di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

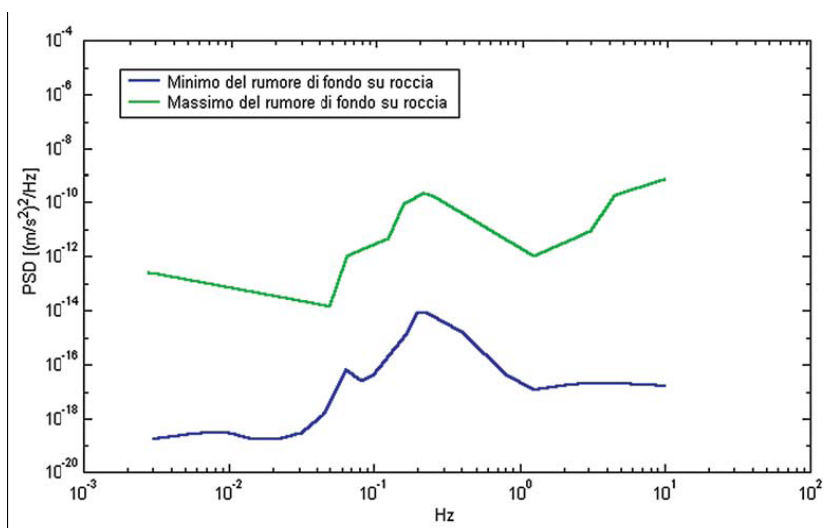


Figura 5: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra.

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

3.5.1 Strumentazione impiegata

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 12 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Tutte le misure a stazione singola in campo aperto sono state orientate secondo il Nord.

3.5.2 Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSr o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione. Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach *et al.*, 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier *et al.*, 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

3.5.3 Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Figura 6 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

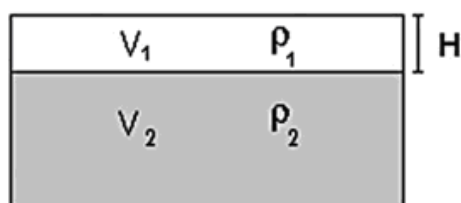


Figura 6: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_{s1}/4H \quad (f_r) = V_{p1}/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle

frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini.

In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

3.5.4 Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

1. le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
 - ☐ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
 - ☐ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - ☐ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
 - ☐ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
2. le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto 1).

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4\hat{v}_1} + 1 \right]^{\frac{1}{1-a}} - 1$$

in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza.

Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love.

Si fa notare che ai fini di questi modelli le V_P e la densità ρ dei mezzi sono quasi influenti pertanto i valori di V_P e ρ che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

3.5.5 La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio,

una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200\text{-}300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 11, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5]. Nel presente studio si è fatto riferimento alle correlazioni più recenti.

4. RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DELLE PROCEDURE

4.1 Applicazione procedura di 1° LIVELLO: carta della pericolosità sismica locale

4.1.1 Criteri di redazione della Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)

Per il comune di Villa di Serio si è avuto a disposizione lo studio geologico su base comunale redatto dalla dott. Michela Pecchio nell'ottobre del 2005 ed aggiornato nel dicembre del 2010. A questo proposito è importante evidenziare che la revisione effettuata nel dicembre 2010 è stata finalizzata sostanzialmente alla riclassificazione geologica del territorio comunale prospiciente il F. Serio relativamente ai soli aspetti idraulici.

La redazione della Carta della PSL è stata quindi effettuata sulla base dei contenuti di alcuni dei tematismi prodotti nell'ambito degli studi geologici del 2005 e del 2010, integrati dai risultati delle elaborazioni morfologiche condotte sul territorio comunale.

In particolare si sono utilizzati i seguenti elaborati:

- Carta dissesti PAI (ottobre 2005)
- Carta geomorfologica (ottobre 2005)
- Carta di sintesi (dicembre 2010)

L'analisi di tali livelli informativi ha consentito di individuare i potenziali scenari di pericolosità sismica locale, illustrati nella figura seguente, e i relativi effetti sismici.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Nei paragrafi successivi vengono puntualizzati i criteri seguiti per tradurre le informazioni disponibili nei tematismi sopra elencati, nella carta della PSL.

4.1.2 Carta dissesti PAI

Gli elementi di interesse per la redazione della carta della PSL contenuti in questo elaborato, si riferiscono alle aree instabili in frana e alle aree di conoide.

Per quanto riguarda i dissesti, sono stati prese in considerazione le aree di conoide classificate come attive no protette Ca.

Nella tabella seguente si riporta la corrispondenza tra le codifiche della carta dei dissesti PAI e le equivalenti nella carta di PSL:

CARTA DISSESTI PAI	Area di conoide attivo non protetto (Ca)	Z4b
---------------------------	--	------------

4.1.3 Carta geomorfologica

In questo elaborato viene riportata la distribuzione areale dei principali processi geomorfologici riconducibili a diversi sistemi morfogenetici. Alcune di queste informazioni, in particolare quelle che riguardano il sistema morfogenetico gravitativo, sono state ritenute particolarmente significative per l'identificazione degli scenari di pericolosità sismica locale legati a fenomeni di instabilità secondo le corrispondenze di cui alla tabella seguente.

CARTA GEOMORFOLOGICA	Frane inattive	Z1c
	Conoide attivo	Z4b
	Conoide inattivo	Z4b
	Depositi alluvionali recenti	Z4a
	Depositi alluvionali antichi	Z4a
	Depositi fluvioglaciali	Z4a
	Eluvio	Z4b
	Colluvio	Z4d
	Riperti	Z2

4.1.4 Carta di sintesi

In questo elaborato viene riportata la distribuzione areale dei principali elementi di criticità riscontrati sul territorio, alla luce delle risultanze dei singoli elaborati tematici. Alcune di queste informazioni, in particolare quelle che riguardano i fenomeni di instabilità locale, le zone potenzialmente instabili per ragioni di acclività, e alcune aree caratterizzate da terreni scadenti dal punto di vista geotecnico, sono state ritenute significative per l'identificazione degli scenari di pericolosità sismica locale legati secondo le corrispondenze di cui alla tabella seguente.

CARTA DI SINTESI	Zone caratterizzate da crolli attivi	Z1a
	Zone ad elevata acclività	Z1c
	Zone caratterizzate dalla presenza di fenomeni di distacco della coltre eluvio-colluviale	Z1c
	Zone caratterizzate dalla presenza di riporti con spessori significativi	Z2
	Zone caratterizzate da terreni potenzialmente scadenti dal punto di vista geotecnico	Z2

4.1.5 Carta morfologica delle curvature

La carta della PSL individua anche alcune tipologie di potenziali scenari di amplificazione sismica, legati a particolari situazioni morfologiche, come le zone di ciglio (es. scarpate con pareti subverticali), con $H > 10$ m, e le creste rocciose e/o i cocuzzoli appuntiti o arrotondati.

Queste informazioni puramente morfometriche, non sono previste e quindi non sono contenute normalmente negli studi geologici su base comunale, ciò che ha richiesto un approccio originale per la loro definizione.

Erano possibili sostanzialmente due soluzioni; la prima prevedeva l'individuazione soggettiva delle zone morfologicamente suscettibili di amplificazione sismica, attraverso l'interpretazione di una adeguata carta topografica, mentre la seconda prevedeva l'utilizzo di tecniche di analisi dei modelli digitali del terreno. Con l'intento di oggettivare il più possibile, la definizione delle aree suscettibili di amplificazione topografica si è scelta questa seconda strada.

Il modello digitale del terreno (DTM) impiegato è quello fornito dal geoportale della Regione Lombardia.

Sottoponendo tale DTM ad analisi morfometrica, mediante l'impiego di software specializzati, si sono evidenziate le aree che potevano ricadere nelle categorie ricercate. In particolare le funzioni che più di altre si sono rivelate utili allo scopo sono state le funzioni di derivata seconda del DTM, in grado di evidenziare la curvatura del territorio discriminando tra zone a profilo convesso (creste), da quelle a profilo concavo (incisioni vallive) e da quelle che non presentano particolarità singolarità morfologiche.

Ottenuta una prima classificazione del territorio sulla base del criterio sopra riportato, si sono utilizzati alcuni filtri per l'isolamento delle strutture morfologicamente più interessanti e per eliminare le disomogeneità a piccola scala.

L'estrazione delle strutture morfologiche di interesse è stata quindi effettuata, riselezionando le aree così classificate morfologicamente, sulla base di soglie di curvatura differente, mediante una procedura a tentativi, fino ad ottenere un risultato visivamente soddisfacente (vedi Tav. 1 e stralcio in Figura 7).

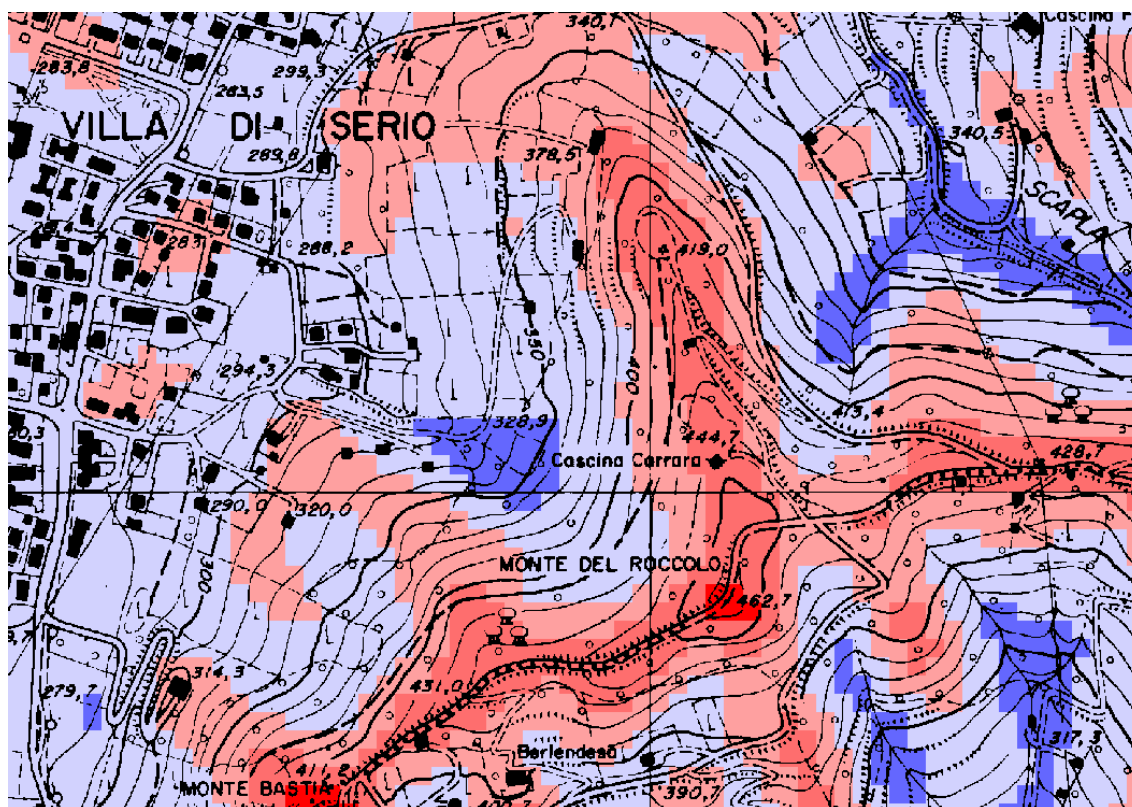


Figura 7: Carta morfologica derivata dal DTM evidenziante (con diverse sfumature di rosso) le strutture maggiormente critiche, in quanto potenzialmente suscettibili di amplificazione morfologica.

La vettorializzazione di quest'ultima griglia ha consentito di ottenere una rappresentazione poligonale delle zone di cresta e di ciglio, che è stata filtrata sulla base di un valore soglia dell'area di ogni singola struttura con l'intento di evidenziare solo le strutture di dimensioni maggiori. Si ritiene che l'approccio adottato abbia il pregio di evidenziare in particolare le aree sommitali delle creste e le aree prossimali ai cigli di scarpata, fornendo anche elementi di valutazione utili alla stima delle loro ampiezze e delle aree di influenza degli effetti di amplificazione.

Tuttavia in relazione alle specifiche di cui alla D.G.R. n. 8/7374, che richiedono la rappresentazione degli elementi morfologici con simbologia di tipo lineare, la carta delle zone

suscettibili di effetti di amplificazione morfologica su base poligonale, è stata realizzata esclusivamente come supporto nel corso degli studi di valutazione.

I dati “poligonali” relativi agli elementi morfologici sono poi stati trasformati in elementi lineari e inseriti nella carta di Pericolosità Sismica Locale di Tav. 2, secondo la codifica riportata nella tabella seguente.

Codice Carta Morfologica	Codice PSL
Zona di scarpata	Z3a
Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo	Z3b

4.2 Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)

Sulla base della normativa vigente la carta della PSL (vedi Tav. 2), prevede la rappresentazione dei diversi scenari sismici riconosciuti sulla base di elementi poligonali o lineari. Dal punto di vista operativo, per quanto concerne gli elementi poligonali, (Z1, Z2 e Z4) si è operato per mezzo di un GIS all’interno del quale sono stati inseriti tutti i tematismi di base, opportunamente codificati, e quindi utilizzando tecniche di overlay topologico, si è prodotta una carta derivata, contenente tutte le intersezioni geometriche dei poligoni di partenza, con i relativi codici.

Poiché è normale che nel corso di queste procedure ad uno stesso poligono elementare possano venire assegnati codici diversi in quanto appartenenti a situazioni di partenza diverse (es. poligoni appartenenti contemporaneamente a zona franosa classificata Z1a e a zona pedemontana di falda di detrito classificata Z4b), si è dovuto decidere come comportarsi in questi casi.

Ora dato che a ciascun codice di PSL individuato può essere fatta corrispondere una classe di pericolosità sismica caratterizzata da diversi livelli di approfondimento, si sono considerate più critiche e quindi prioritarie, le situazioni cui corrisponde il livello di approfondimento di maggior dettaglio.

Per fare un esempio sono state considerate prioritarie le situazioni già caratterizzate da problemi di instabilità o potenzialmente esposte a cedimenti, e che i fenomeni sismici possono solo peggiorare.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, è stato stabilito il seguente criterio di priorità decrescente tra i diversi codici PSL:

Z1a	Zone caratterizzate da movimenti franosi attivi
Z1b	Zone caratterizzate da movimenti franosi quiescenti
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana
Z2	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc) Zone con depositi granulari fini saturi
Le categorie seguenti hanno lo stesso grado di priorità e sono mutualmente esclusive	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale

Il risultato di queste elaborazioni è consistito in un tematismo poligonale, in cui ciascun poligono è stato codificato secondo gli scenari di amplificazione sismica potenziale riconosciuti.

Si noti che non tutto il territorio risulta classificato, in quanto alcune porzioni dello stesso non ricadono in nessuna delle categorie per le quali è prevista l'attribuzione di un codice di PSL.

Per quanto concerne invece gli elementi lineari (scenari di amplificazione topografica) questi sono stati semplicemente sovrapposti alla carta degli elementi areali con la relativa codifica (Z3a o Z3b).

4.2.1 Note illustrative alla carta della PSL

Per agevolare l'impiego della carta della pericolosità sismica locale ai pianificatori ed agli Amministratori, in considerazione del fatto che la carta della PSL è un documento assai tecnico, le cui implicazioni possono facilmente sfuggire o venire sottovalutate, valgano le seguenti note esplicative.

- ❖ La carta della PSL effettua una zonazione qualitativa del territorio sulla base di diversi scenari di rischio sismico, associati alle più comuni situazioni geomorfologiche, morfologiche o litologiche che si possono riscontrare in natura. Gli scenari considerati sono illustrati nella tabella seguente:

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zone con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio $H > 10$ m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

- ❖ Gli scenari vengono individuati sulla base di documentazione cartografica e bibliografica esistente, nella fattispecie sulla base dello studio geologico su base comunale redatto ai sensi della D.G.R. 11/12/2001 n°7/7365 dalla Dott. Michela Pecchio.
- ❖ Non tutto il territorio normalmente può venire classificato sulla base degli scenari di pericolosità sismica, è quindi possibile che alcune aree non vengano codificate e si presentino bianche.
- ❖ **Le zone che ricadono nelle categorie di tipo Z1 (fenomeni di instabilità) e Z2 (fenomeni di cedimento o liquefazione), sono obbligatoriamente assoggettate, in fase di progettazione, all'esecuzione di studi specifici (terzo livello). Pertanto queste aree vengono normalmente escluse dall'analisi di secondo livello, in quanto si rimanda ai risultati di studi di maggior dettaglio che richiedono di volta in volta l'impiego di strumentazione di tipo geotecnico, geofisico, modellazione numerica ecc.**
- ❖ Le zone codificate dalla carta della PSL come di tipo Z3 (potenziale amplificazione morfologica) e Z4 (potenziale amplificazione litologica), sono assoggettate all'esecuzione delle procedure di 2° livello, per valutare mediante procedure semplificate semiquantitative, il grado di protezione che la normativa sismica nazionale può garantire nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale.
- ❖ Le procedure di secondo livello si applicano esclusivamente quando si dimostra che per i potenziali scenari Z3 e Z4 riconosciuti e giudicati di interesse, sono rispettate le condizioni di

base richieste dal metodo. Ogni situazione deve venire quindi validata e solo quelle che superano la fase di validazione vengono sottoposte ad analisi.

L'esame della carta della PSL del comune di Villa di Serio consente di evidenziare soprattutto i seguenti elementi:

1. Il 9.5% circa del territorio ricade in scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità legati alla presenza di fenomeni franosi attivi, quiescenti o stabilizzati o potenzialmente franosi (classi Z1a e Z1c); tutte queste aree sono automaticamente assoggettate agli studi di 3° livello da effettuare in fase di progettazione, pertanto per queste aree non sono stati condotti studi di 2° livello.
2. Il 4.7% circa ricade in scenari di pericolosità sismica caratterizzati da fenomeni come Cedimenti e/o liquefazioni, in quanto classificati come terreni di fondazione particolarmente scadenti (Z2). Si evidenzia che in questa categoria ricade la quasi totalità del centro edificato, in quanto la carta di sintesi vigente assegna a quest'area la codifica "Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche"
3. 71.3% ricade in scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da possibili effetti di amplificazione litologica (Classi Z4a, Z4b e Z4d).
4. Infine sono state individuate scenari suscettibili di amplificazione topografica (Z3a e Z3b) per uno sviluppo lineare complessivo pari a poco più di 5,4 Km.

4.3 Applicazione procedura di 2° LIVELLO: effetti di amplificazione sismica di sito

4.3.1 Amplificazione morfologica

La carta della PSL del comune di Villa di Serio, individua diverse zone suscettibili di effetti di amplificazione morfologica riconducibili allo scenario di rischio Z3b (Creste rocciosa e/o Cocuzzolo). Tali zone corrispondono principalmente ai crinali di spartiacque con il comune di Scanzorosciate e con la Val Gavarnia; in un solo caso è stato indicato uno scenario di scarpata (scenario Z3a) corrispondente topograficamente al ciglio di una ex cava ormai dismessa.

Tali scenari sono stati identificati con simbologia lineare ed opportuna codifica in Tavola 2.

Al fine di analizzare gli eventuali effetti di amplificazione topografica in corrispondenza di questi elementi sono state individuate le tracce planimetriche di 11 sezioni in corrispondenza delle situazioni ritenute più significative (Tav.2).

Successivamente si è proceduto al tracciamento delle relative sezioni topografiche, derivando le quote dal DTM con pixel 20 metri messo a disposizione dalla Regione Lombardia sul suo geoportale. Le sezioni così realizzate sono riportate in Appendice 1.

La metodologia prevista dalla normativa vigente, Allegato 5 alla D.G.R. n.8/7374 del 28-5-2008, prevede la stima del Fattore di amplificazione F_a attraverso l'impiego di una serie di abachi che riconoscono una serie di criteri morfologici dei diversi scenari di rischio (vedi par. 3.3.1).

Per tutte le situazioni esaminate lo scenario di riferimento è risultato quello delle creste appuntite, i cui criteri di riconoscimento sono riportati in Figura 8.

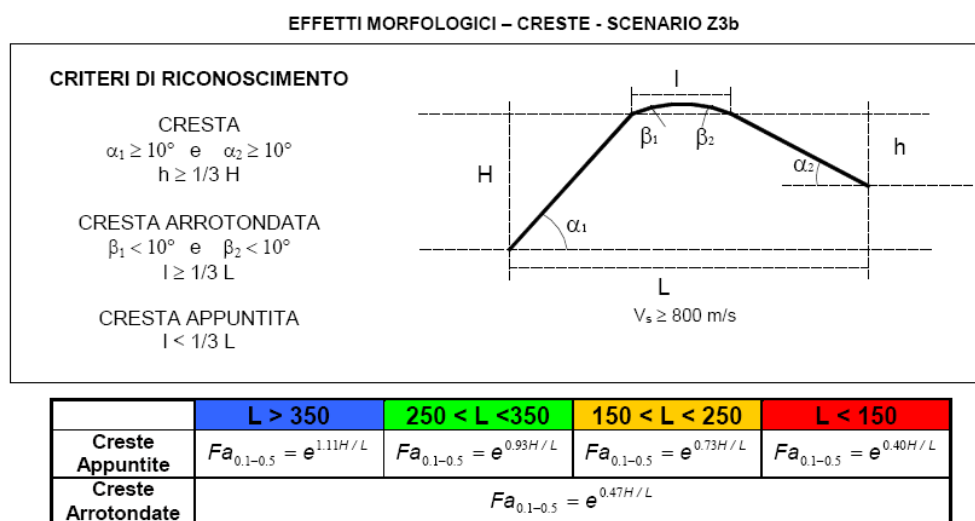


Figura 8: Criteri di riconoscimento dello scenario di cresta e/o cocuzzolo

In particolare si evidenzia come gli angoli alla base dei versanti (α_1 e α_2) siano costantemente superiori a 10° e la larghezza in cresta (l) sia inferiore ad un 1/3 della larghezza alla base del rilievo (L).

Si evidenzia inoltre che poiché il valore di L è per lo più superiore ai 350 m, la curva di riferimento per la stima del fattore di amplificazione Fa, è quella di colore blu, con la sola eccezione delle sezioni 10 e 11, per le quali la curva di riferimento impiegata è quella di colore arancio Figura 9.

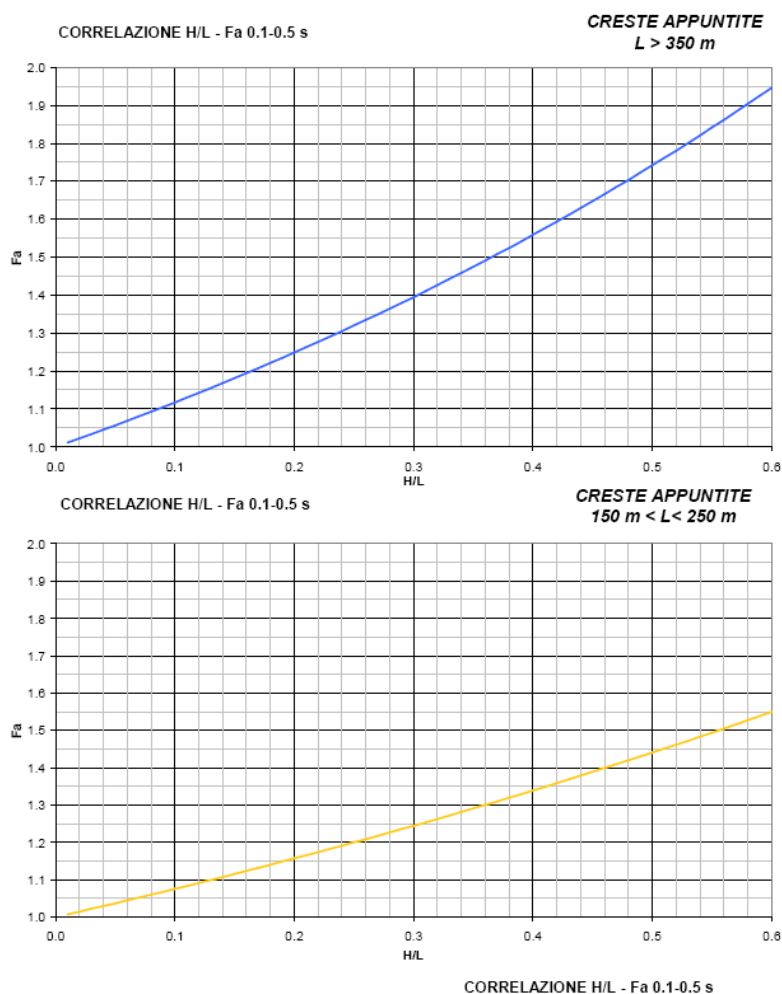


Figura 9: curve per la stima di Fa sulla base del rapporto H/L per gli scenari individuati nel presente studio

Nella tabella seguente si riportano le stime del fattore di amplificazione topografico Fa ed i risultati del confronto con il parametro “St” desunto dalle Norme Tecniche per le costruzioni.

Effetti morfologici - Scenario Z3b (Creste o cocuzzoli)									
SEZIONI	L [m]	H [m]	H/L [-]	Tipo curva	Fa stimato	Fa stimato+0.1	categoria topografica CT	coeff. amplificazione topografica St	Valutazione rispetto alla Normativa sismica per 0.1<T<0.5
				0.1<T<0.5					
Sez. 1	413	57	0.14	Blu	1.2	1.3	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 2	636	112	0.18	Blu	1.2	1.3	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 3	793	131	0.17	Blu	1.2	1.3	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 4	883	163	0.18	Blu	1.2	1.3	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 5	703	97	0.14	Blu	1.2	1.3	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 6	534	71	0.13	Blu	1.2	1.3	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 7	490	100	0.20	Blu	1.3	1.4	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 8	395	76	0.19	Blu	1.2	1.3	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 9	455	91	0.20	Blu	1.2	1.3	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 10	242	111	0.46	Arancio	1.4	1.5	T3	1.2	Insufficiente
Sez. 11	195	60	0.31	Arancio	1.3	1.4	T3	1.2	Insufficiente

Appare evidente che, tenuto conto delle approssimazioni insite nel metodo, e in particolare della stima di Fa approssimata ad una cifra decimale e considerando la variabilità di “+0.1 Fa” prevista dalla norma, la valutazione dei fenomeni di amplificazione topografica nei confronti della normativa nazionale, fornisca il valore **“insufficiente”**.

Poiché il valore di Fa stimato viene assegnato all’area corrispondente alla larghezza di cresta (l) e viene scalato linearmente fino al valore unitario, alla base del versante, ne deriva comunque che solo per i settori sommitali delle creste individuate, così come rappresentato in Tav. 3, si rendono necessari a termine di legge, approfondimenti di terzo livello in fase di eventuale progettazione edilizia.

4.3.2 Amplificazione litologica

La procedura prevista dalla Regione Lombardia per valutare gli effetti di amplificazione di sito legati a problematiche di tipo litologico prevede l’impiego di abachi semplificati che richiedono una procedura di validazione dei dati di ingresso e quindi la stima del fattore di amplificazione da confrontare con un parametro di analogo significato tabulato per ciascun comune, in relazione al diverso range di oscillazione caratteristico (0.1-0.5 s e 0.5 1.5 s) ed in relazione alle diverse categorie di suolo (B, C, D ed E).

I parametri di input per l’applicazione della procedura di 2° livello sono stati ricavati con l’approccio seguente:

1. **Definizione di un modello geofisico del sottosuolo** mediante inversione delle curve HVSr rilevate in sito e le cui registrazioni ed elaborazioni sono riportate nell’allegato A;

2. **Calcolo della Vs30 in ciascuna situazione esaminata,** e conseguente individuazione della categoria di suolo di riferimento ai sensi del D.M. 14-1-2008 sulla base dello schema seguente.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

3. **Individuazione della frequenza di risonanza fondamentale del sottosuolo,** attraverso il riconoscimento dei picchi HVSr maggiormente significativi che scaturiscono dalle registrazioni;
4. **Individuazione del periodo di oscillazione caratteristico del sottosuolo,** calcolato come inverso della frequenza fondamentale di risonanza; in alcuni casi, quando quest'ultima era manifestamente alta, corrispondente a discontinuità stratigrafiche assai superficiali e pertanto di scarso interesse ingegneristico, si sono utilizzate frequenze inferiori, in corrispondenza di picchi di risonanza secondari, meno pronunciati dei primi ma con ogni probabilità più significativi.
5. **Individuazione dello spessore dello strato superficiale a bassa velocità sismica (Vs)** al di sopra dell'orizzonte individuabile come bedrock sismico. Si sottolinea che quest'ultimo non corrisponde necessariamente al substrato roccioso litologico ma deve essere interpretato piuttosto come “bedrock like” in quanto presenta un comportamento sismico paragonabile al substrato roccioso litologico (evidenziato da significati contrasti di velocità sismica) senza che si verifichi il passaggio a quest'ultimo.

L'esame comparato dei risultati delle prove geofisiche (cfr. allegato A), evidenzia un quadro piuttosto omogeneo come si può rilevare dal confronto simultaneo delle registrazioni effettuate (cfr. Figura 10). Quest'ultimo grafico evidenzia come i picchi H/V più significativi (escludendo quelli sopra i 10 Hz, che si riferiscono a discontinuità troppo superficiali per avere interesse ingegneristico) si concentrino nella maggioranza dei casi intorno al range di frequenze compreso tra 5 e 7 Hz.

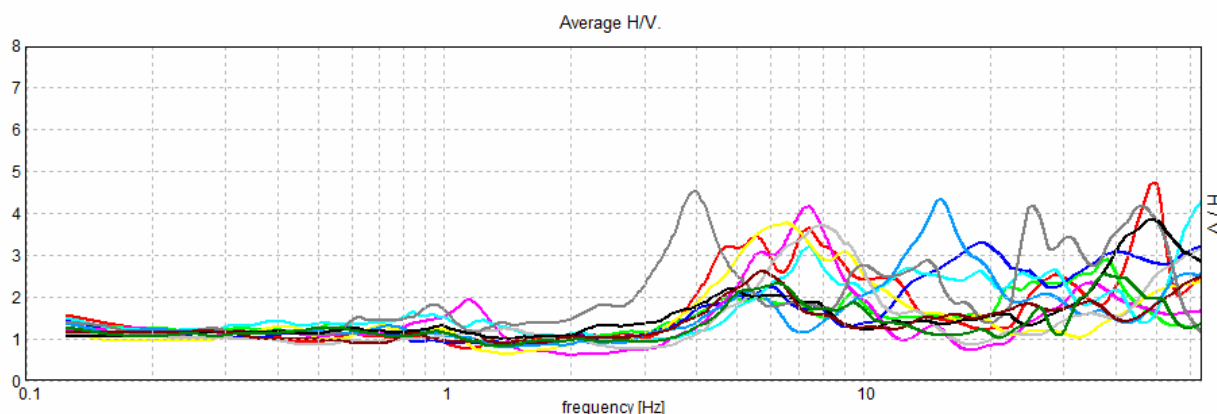


Figura 10: Andamento del rapporto H/V in funzione della frequenza

La tabella seguente riassume i parametri più significativi che scaturiscono dalle prove di sismica passiva effettuate e che sono stati impiegati nell'utilizzo delle schede di valutazione litologica (cfr. par. 4.3.3).

SIGLA	UBICAZIONE	F [Hz]	T =1/F [s]	Vs ₃₀ [m/s]	Categoria suolo
T01	fiume Serio - Scanzo	5,50	0,18	485	B
T02	via Dalla Chiesa	6,00	0,17	403	B
T03	Pista ciclabile	7,34	0,14	446	B
T04	Municipio	7,00	0,14	415	B
T05	via Moro piazz. Ecologica	6,50	0,15	404	B
T06	via Cortesi zona industriale	5,30	0,19	375	B
T07	Santuario	7,50	0,13	379	B
T08	via Caselle	4,00	0,25	345	C
T09	centro aggregazione	5,00	0,20	370	B
T10	Parrocchia	5,80	0,17	435	B
T11	Plesso scolastico via Dosie	6,00	0,17	358	C
T12	Gavarno scuole	5,00	0,20	276	C
T13	Gavarno chiesa	10,00	0,10	367	B
T14	Gavarno centro aggregazione	5,72	0,17	293	C

Tabella 2: Parametri caratteristici desumibili dall'interpretazione delle curve HV

A partire dai dati di input sopra riportati si è proceduto preliminarmente alla validazione delle condizioni di base imposte dalla procedura prevista dalla normativa, (cfr Allegato n. 5 della D.G.R. n. 8/7374 del 28-5-2008) e successivamente al calcolo del fattore di amplificazione F_a utilizzando le correlazioni F_a -T piuttosto che la lettura diretta degli abachi di riferimento.

Il valore di F_a stimato (tenuto conto di una variabilità di $+ 0.1$) è stato infine confrontato con il parametro di analogo tabulato per il comune di Villa di Serio in funzione degli intervalli di oscillazione caratteristici e in funzione delle diverse categorie di suolo.

Intervallo F_a	Valori soglia			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1.5	1.9	2.3	2.0
0.5 - 1.5	1.7	2.4	4.3	3.1

Tabella 3: valori di F_a tabulati per il comune di Villa di Serio

Tutte le verifiche e le elaborazioni dei dati sono state effettuate con l'impiego di un foglio di calcolo appositamente predisposto per semplificare le varie fasi di lavoro. Ciò ha consentito anche di semplificare la restituzione dei dati, che è stata effettuata utilizzando schemi riassuntivi piuttosto che un approccio individuale a ciascuna situazione.

L'impiego delle schede di valutazione individuate su base litologica ha posto diversi problemi per quanto concerne la compatibilità delle schede stesse con il relativo campo di applicazione teorico. L'unica scheda che non ha posto particolari problemi di campo di validità, è stata la scheda "litologia sabbiosa" quantunque questo tipo litologico non corrisponda quasi mai al tipo litologico prevalente, rappresentato per lo più da depositi alluvionali di natura ghiaiosa/sabbiosa con ciottoli.

Poiché tuttavia a parità di altre condizioni, l'impiego di questa scheda è quello che fornisce i maggiori valori teorici del fattore di amplificazione, si ritiene di aver operato a favore di sicurezza.

Nella tabella seguente si riassumono i parametri caratteristici per la stima del fattore di amplificazione F_a , che scaturiscono dall'impiego della scheda "litologia sabbiosa".

SIGLA	UBICAZIONE	EFFETTI LITOLOGICI			H 1° strato [m]	Vs 1° strato [m/s]
		scheda riferimento	Tipo	Curva		
T01	fiume Serio - Scanzo	SABBIOSA	1	1	9.8	297
T02	via Dalla Chiesa	SABBIOSA	1	2	17.6	341
T03	Pista ciclabile	SABBIOSA	1	2	15.8	316
T04	Municipio	SABBIOSA	1	3	19.7	382
T05	Via Moro piazz. Ecologica	SABBIOSA	1	2	12.9	326
T06	Via Cortesi zona industriale	SABBIOSA	1	2	19.8	326
T07	Santuario	SABBIOSA	1	2	18.9	336
T08	via Caselle	SABBIOSA	1	2	23.0	326
T09	centro aggregazione	SABBIOSA	1	2	18.5	297
T10	Parrocchia	SABBIOSA	1	2	13.6	320
T11	Plesso scolastico via Dosie	SABBIOSA	1	2	19.6	304
T12	Gavarno scuole	SABBIOSA	1	2	19.3	261
T13	Gavarno chiesa	SABBIOSA	1	2	3.8	148
T14	Gavarno centro aggregazione	SABBIOSA	1	2	16.1	267

Tabella 4: Riassunto dell'applicazione delle schede di valutazione litologica

Per quanto concerne la determinazione dello spessore del 1° strato e quindi della relativa Vs, ci si è basati essenzialmente sul riconoscimento del maggior contrasto di velocità rilevato al passaggio tra i diversi strati del modello geofisico del sottosuolo che scaturisce dall'interpretazione della curva HVSR delle prove di sismica passiva.

4.3.3 Procedura di 2° livello – utilizzo delle schede di valutazione litologica

I valori soglia tabulati dalla R.L. con la D.G.R. n. 8/7374 del 28 maggio 2008 sono illustrati, in relazione ai diversi intervalli del periodo di oscillazione caratteristico dei siti, ed in relazione alle diverse categorie di suolo in Tabella 4.

Nel seguito si riportano, per ciascuna situazione di amplificazione litologica esaminata, i risultati del confronto tra F_a stimato e F_a di riferimento con l'indicazione finale del livello di protezione (sufficiente o insufficiente) nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale garantita dalla normativa vigente. Nel primo caso la normativa nazionale di riferimento è sufficiente a tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione litologica di sito, e quindi si progetta con la categoria di suolo tipica del sito.

Nel secondo invece la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare

analisi più approfondite (3° livello), o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

Sigla	Ubicazione	F [Hz]	T =1/F	valori di Fa stimati		Fa (con variabilità +0.1)		DATI NORMATIVA DI RIFERIMENTO (da D.M. 14/01/2008)		Valutazione rispetto alla Normativa sismica	
				0.1<T<0.5	0.5<T<1.5	0.1<T<0.5	0.5<T<1.5	Categoria	Valori Fa soglia	0.1<T<0.5	0.5<T<1.5
T01	fiume Serio - Scanzo	5,5	0,18	1,8	1,2	1,9	1,3	B	1,5	1,5	1,7
T02	via Dalla Chiesa	6	0,17	1,5	1,1	1,6	1,2	B	1,5	1,5	1,7
T03	Pista ciclabile	7,34	0,14	1,4	1,1	1,5	1,2	B	1,5	1,5	1,7
T04	Municipio	7	0,14	1,3	1,1	1,4	1,2	B	1,5	1,5	1,7
T05	via Moro piazz. Ecologic	6,5	0,15	1,5	1,1	1,6	1,2	B	1,5	1,5	1,7
T06	via Cortesi zona industr	5,3	0,19	1,6	1,2	1,7	1,3	B	1,5	1,5	1,7
T07	Santuario	7,5	0,13	1,4	1,1	1,5	1,2	B	1,5	1,5	1,7
T08	via Caselle	4	0,25	1,7	1,3	1,8	1,4	C	1,9	1,9	2,4
T09	centro aggregazione	5	0,20	1,6	1,2	1,7	1,3	B	1,5	1,5	1,7
T10	Parrocchia	5,8	0,17	1,5	1,1	1,6	1,2	B	1,5	1,5	1,7
T11	Plesso scolastico via Do	6	0,17	1,5	1,1	1,6	1,2	C	1,9	1,9	2,4
T12	Gavarno scuole	5	0,20	1,6	1,2	1,7	1,3	C	1,9	1,9	2,4
T13	Gavarno chiesa	10	0,10	1,3	1,0	1,4	1,1	B	1,5	1,5	1,7
T14	Gavarno centro aggrega	5,72	0,17	1,5	1,2	1,6	1,3	C	1,9	1,9	2,4

COMUNE DI VILLA DI SERIO (BG)

ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO, FINALIZZATA ALLA DEFINIZIONE
DELL'ASPETTO SISMICO NEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO
(Redatto secondo i criteri attuativi della L.R. 12/05 e successive modifiche ed integrazioni)

Nel caso delle situazioni esaminate si evidenzia che, per il periodo di oscillazione caratteristico T (0.1-0.5 s), si sono registrate ben 8 situazioni su 14 (tutte caratterizzate da suolo di Categoria B) in cui gli effetti di amplificazione sismica locale, sono superiori a quelli previsti dall'applicazione della normativa nazionale.

Si evidenzia inoltre che:

- **per la situazione T11** la valutazione di sufficiente è raggiunta unicamente perché la categoria di suolo di riferimento è la C solo per una differenza di pochi m/s;
- **per la situazione T4,** la valutazione di sufficiente è raggiunta unicamente perché, nella procedura di identificazione della curva di riferimento relativa alla scheda “litologia sabbiosa”, la scelta è caduta sulla curva 3, ma al limite con il campo di validità della curva 2, che è nettamente peggiorativa.

Il confronto tra i valori di Fa stimati con quelli della categoria di suolo superiore (la C) fornisce tuttavia una valutazione “Sufficiente” e quindi per queste (e altre situazioni analoghe che dovessero venire identificate) si dovrà progettare utilizzando gli spettri di progetto della categoria C.

Generalizzando le indicazioni che scaturiscono dal confronto tra Fa stimato e Fa di riferimento si consiglia, in presenza di suoli di categoria B, l'esecuzione o di studi di 3° livello oppure l'utilizzo sistematico degli spettri di progetto della categoria di suolo C.

Per il periodo di oscillazione $T = 0.5-1.5$ sec invece, l'applicazione della procedura di secondo livello indica che l'impiego della Normativa Sismica Nazionale è sufficiente a tenere in considerazione anche gli eventuali effetti di amplificazione di sito. Questo dato tuttavia non riveste al momento alcuna importanza pratica, dal momento che le tipologie di edifici che caratterizzano il territorio di Villa di Serio sono riferibili essenzialmente al periodo di oscillazione $T = 0.1-0.5$ sec.

I valori di Fa stimati relativi agli effetti litologici, sono riportati nella Tav. 3 in maniera essenzialmente puntuale.

In Tav. 4, per le zone Z3 e Z4 sottoposte a procedura di 2° livello, sono state sovrapposte alla carta di fattibilità, le zone per le quali il Fa stimato risulta superiore o inferiore al valore di soglia di riferimento.

4.3.4 Correlazione tra altezza degli edifici e le frequenze di risonanza più dannose alla sua stabilità

Se si considera una relazione tipica tra altezza di un edificio in cemento armato e il suo periodo di risonanza con i relativi intervalli di confidenza², è possibile rappresentare in un grafico come quello di Figura 11, la relazione tra frequenza di risonanza del sito e l'altezza dell'edificio con analoghe frequenze di vibrazione.

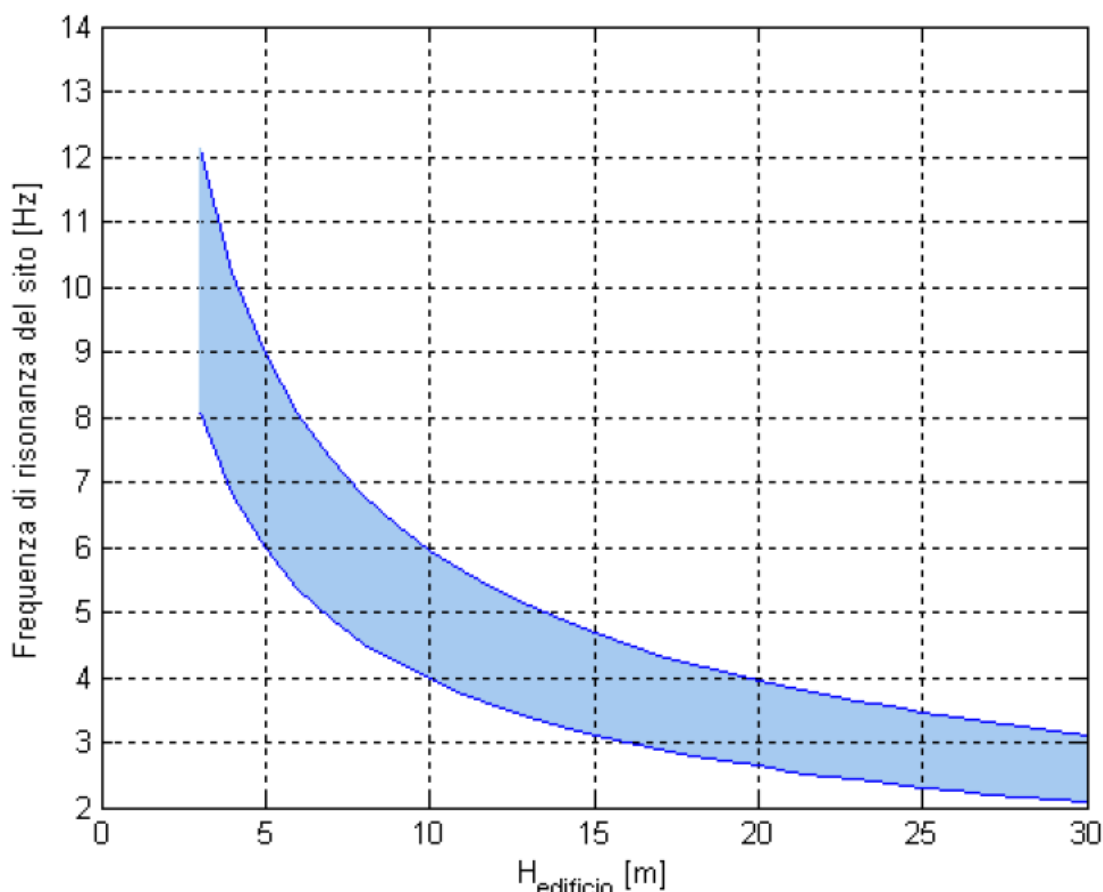


Figura 11: Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.

L'area blu indica la zona in cui la coincidenza delle frequenze di risonanza (sito ed edificio) produce effetti di amplificazione che devono essere attentamente valutati perché sono proprio questi fenomeni a incidere pesantemente sulla stabilità degli edifici.

² Sebbene il periodo di risonanza di una struttura dipenda da molti fattori (altezza, rapporto altezza/base, materiali di costruzione ecc.), l'altezza è il fattore che pesa maggiormente.

Poiché nel caso del comune di Villa di Serio, le frequenze di risonanza del sottosuolo più caratteristiche si collocano intorno ai 5-7 Hz, ne deriva che l'altezza degli edifici che maggiormente possono risentire degli effetti di doppia risonanza, sono quelli con altezze comprese tra i 7 e i 12 metri. Considerata l'altezza prevalente degli edifici del comune di Villa di Serio, è possibile che gli effetti di doppia risonanza (suolo edificio) possono quindi giocare un ruolo non trascurabile.

5. CONCLUSIONI

Il presente documento, che costituisce l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito finalizzata alla definizione dell'aspetto sismico nel PGT del comune di Villa di Serio è stato realizzato sulla base della DGR n. 8/7374 del 28-05-2008.

Lo studio è stato articolato sui 2 livelli previsti in fase di pianificazione (1° e 2° livello) con alcune integrazioni tipiche dell'applicazione del 3° livello (obbligatorio solo in fase progettuale).

Lo studio di 1° livello ha comportato la redazione della **carta della pericolosità sismica locale (PSL)**, illustrata nella Tav. 2. Le prescrizioni più rilevanti ai fini della pianificazione che questo documento comporta sono riportate al paragrafo 4.2.1.

Lo studio di 2° livello ha comportato l'analisi di tutta una serie di potenziali situazioni passibili di effetti di amplificazione sismica locale e si è concretizzato nella redazione della **carta degli fattori di amplificazione locale** (Tav. 3). Le prescrizioni più rilevanti che questo documento comporta ai fini della pianificazione sono riportate al paragrafo 4.3.

In Tav. 4 sono state infine riportate, sulla Carta di Fattibilità geologica, le aree con amplificazione sismica maggiore o minore del valore di soglia, in quanto edificate o di maggiore interesse edificatorio, sono state assoggettate allo studio di 2° livello.

6. NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE

Le prescrizioni più rilevanti che scaturiscono dallo studio effettuato sono le seguenti:

- 1) le zone che la Tav. 2 "Carta della Pericolosità sismica Locale" individua come scenari di rischio di instabilità (Z1a, Z1c e Z2) sono assoggettate obbligatoriamente a procedura di 3° livello in fase progettuale. Gli studi geologici di 3° livello dovranno consentire la caratterizzazione qualitativa, dal punto di vista sismico, degli effetti di instabilità dei versanti (zone Z1) e di quelli legati a fenomeni di cedimento e/o liquefazione (zone Z2);
- 2) Le zone che la Tav. 2 individua come scenari di possibile amplificazione topografica Z3a e Z3b, corrispondono principalmente ai crinali di spartiacque con il comune di Scanzorosciate e con la Val Gavarnia. L'applicazione della procedura di secondo livello secondo le indicazioni contenute nell'Allegato 5 al D.G.R. 8/7374, ha evidenziato che la valutazione dei fenomeni di amplificazione topografica nei confronti della norme tecniche per le costruzioni, fornisce costantemente un valore **"insufficiente"**. E' comunque importante evidenziare che, poiché il valore di Fa stimato viene assegnato all'area corrispondente alla larghezza di cresta (l) e viene scalato linearmente fino al valore unitario, alla base del versante, ne deriva comunque che solo per i settori sommitali ed intermedi delle creste individuate, così come rappresentato in Tav. 3, si rendono necessari a termine di legge, approfondimenti di terzo livello in fase di eventuale progettazione edilizia.
- 3) Le zone che la Tav. 2 individua come scenari di possibile amplificazione litologica (Z4a, Z4b, Z4d) sono state sottoposte a procedura di 2° livello in fase di pianificazione, attività che ha consentito la stima puntuale dei fattori di amplificazione per un numero rilevante di situazioni che si ritengono rappresentative del tessuto edificato del territorio comunale (Tavv. 3 e 4). L'applicazione di tale procedura ha evidenziato che per la maggior parte del territorio comunale, l'applicazione della normativa sismica nazionale, non è in grado di tenere in considerazione i potenziali effetti di amplificazione di sito, in quanto il fattore di amplificazione locale Fa è risultato superiore al corrispondente valore di soglia tabulato dalla Regione Lombardia (vedi Tav. 3). In tali zone in caso di nuove realizzazioni, lo studio geologico-geotecnico dovrà essere integrato dagli studi di 3° livello previsti dall'Allegato 5 della D.G.R. n°8/7374 del 28/05/2008, oppure si dovrà progettare impiegando la categoria di suolo immediatamente superiore a quella individuata per il sito in esame (ad esempio la categoria C in luogo della B, o la categoria D in luogo della C).

APPENDICE 1

Schede di valutazione morfologica: Sezioni topografiche

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$

Sez. 1	L	l	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
	413	39	57	15	16	0.14

SEZIONE S1

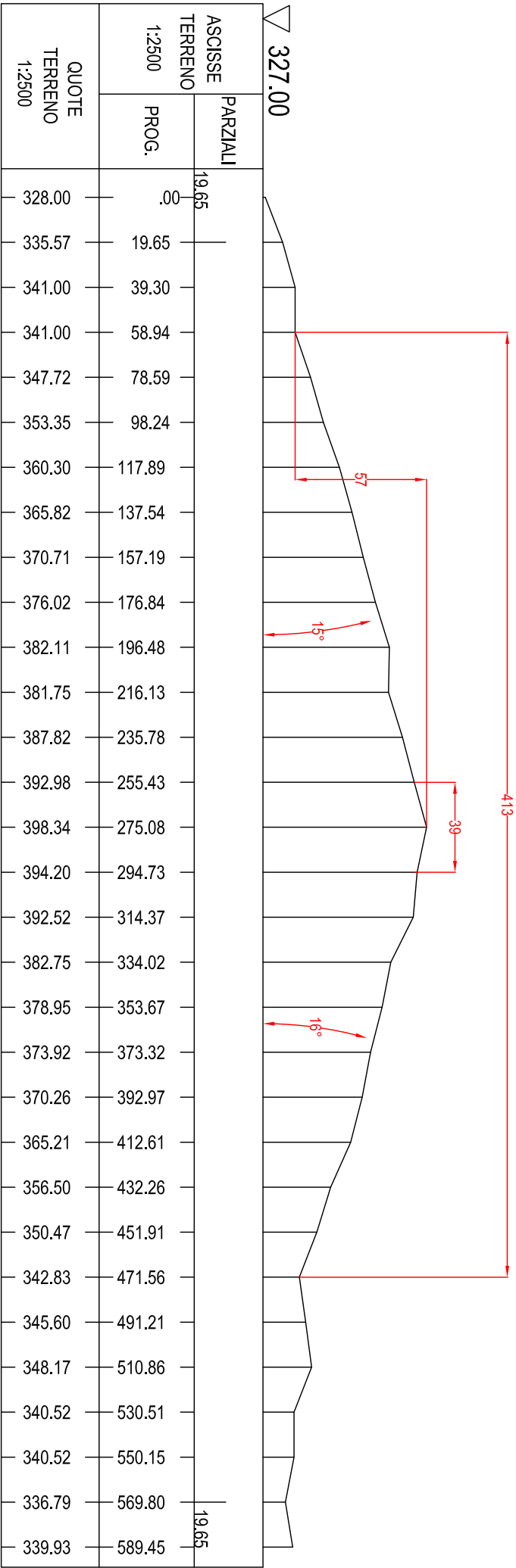


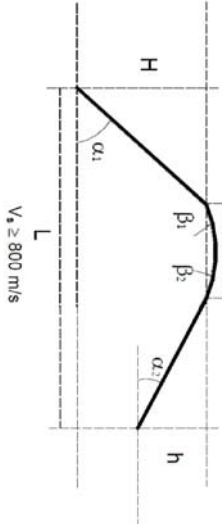
Figura A/1: Sezione S1

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



Sez. 2	L [m]	l [m]	H [m]	α_1 [°]	α_2 [°]	H/L [-]
	636	40	112	18	20	0.18

SEZIONE S2

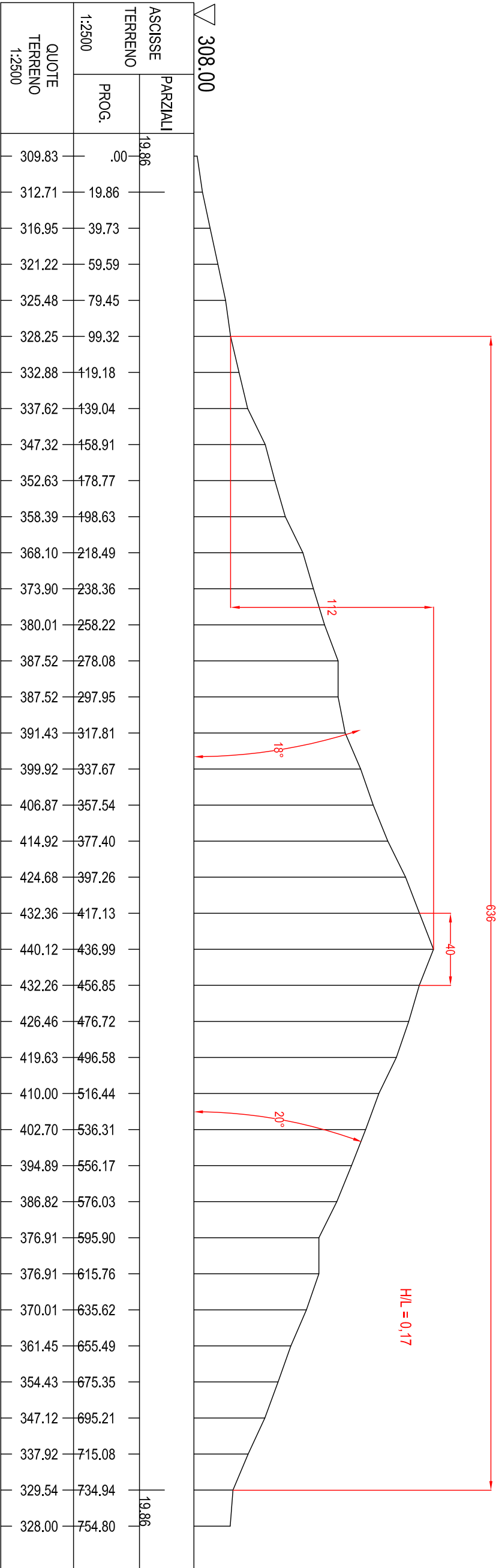


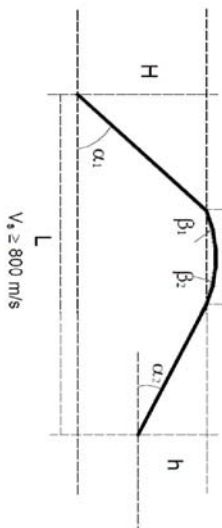
Figura A/2: Sezione S2

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



Sez. 3	L	I	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
793	60	131	20	16	0.17	

SEZIONE S3

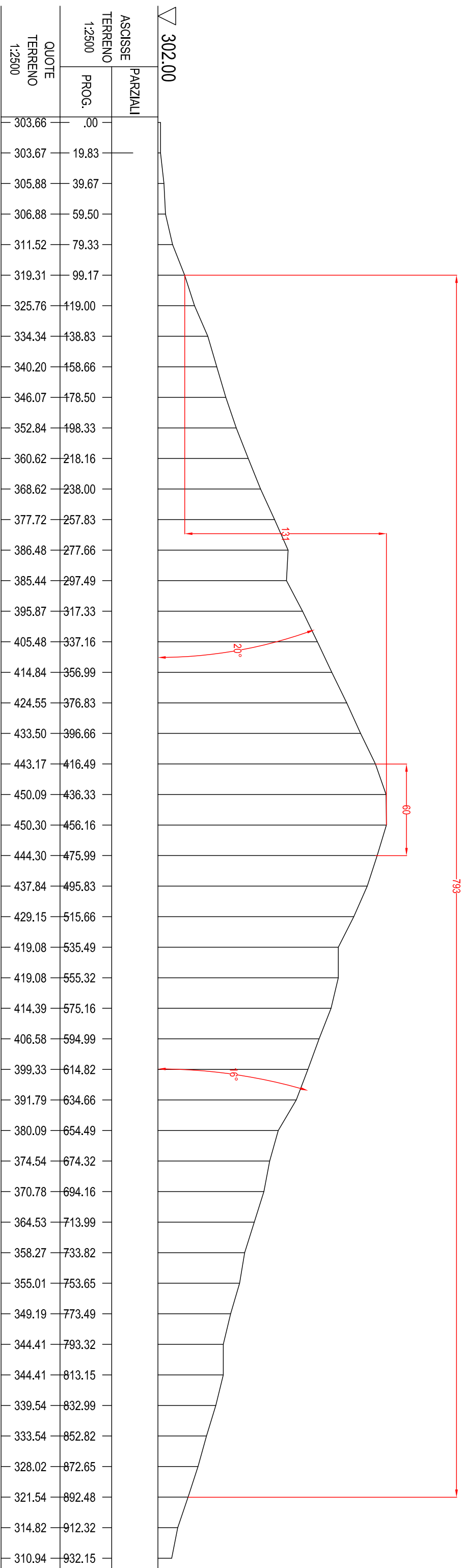


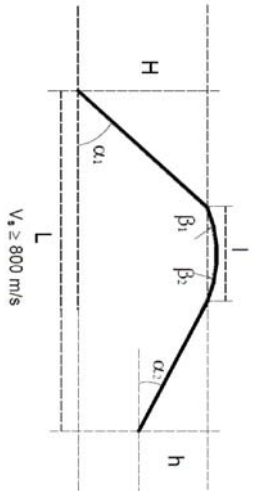
Figura A/3: Sezione S3

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



Sez. 4	L	l	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
	883	80	163	23	19	0.18

SEZIONE S4

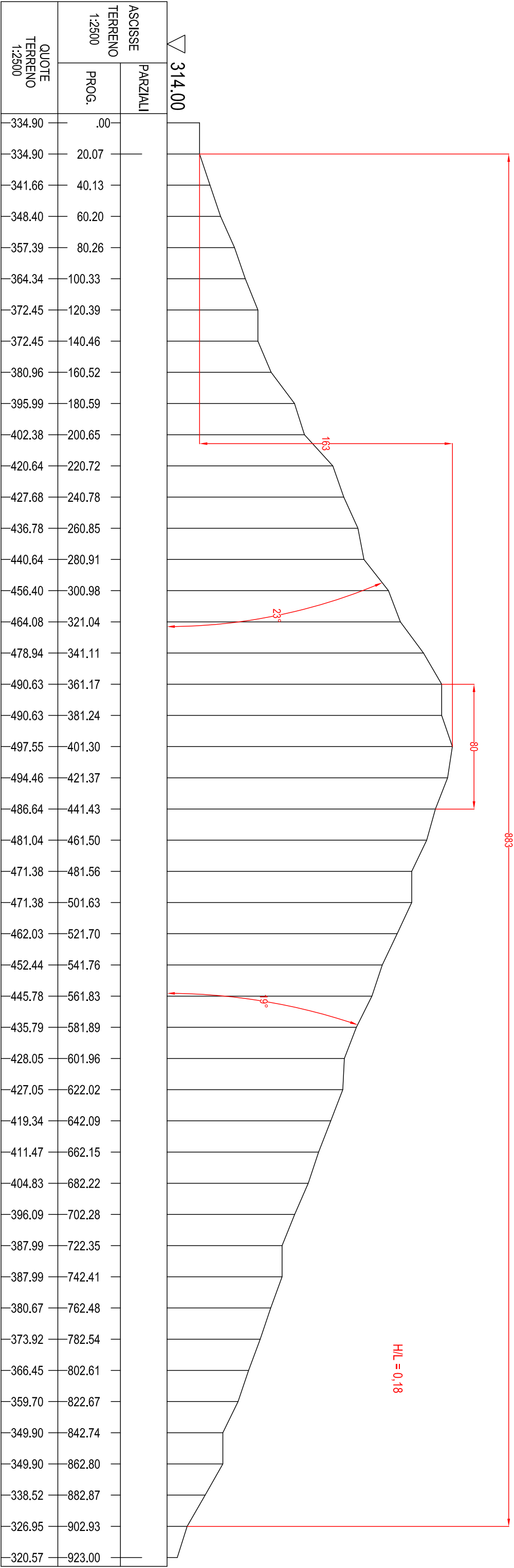


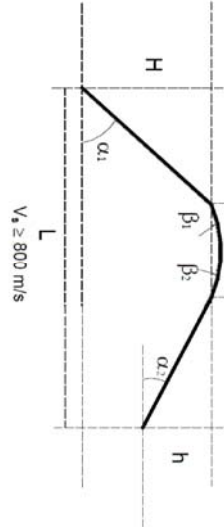
Figura A/4: Sezione S4

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



Sez. 5	L	l	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
	703	80	97	19	13	0.14

SEZIONE S5

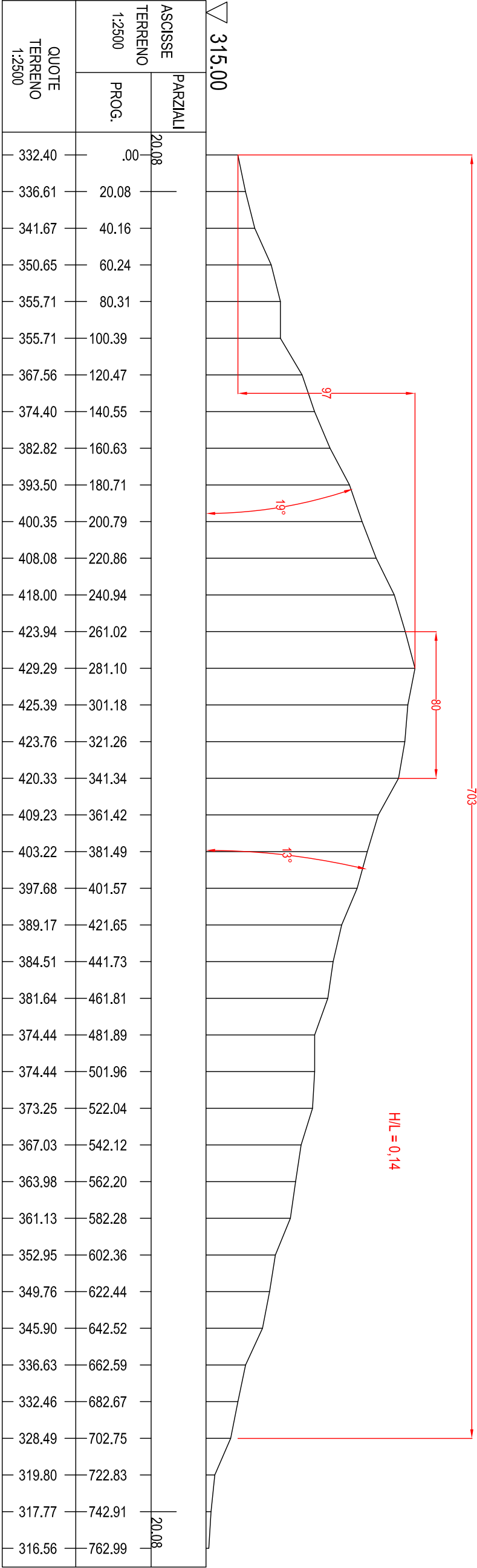
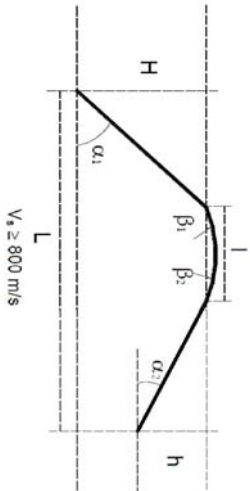


Figura A/5: Sezione S5

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

- CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$
- CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$
- CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



Sez. 6	L	l	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
	534	59	71	14	16	0.13

SEZIONE S6

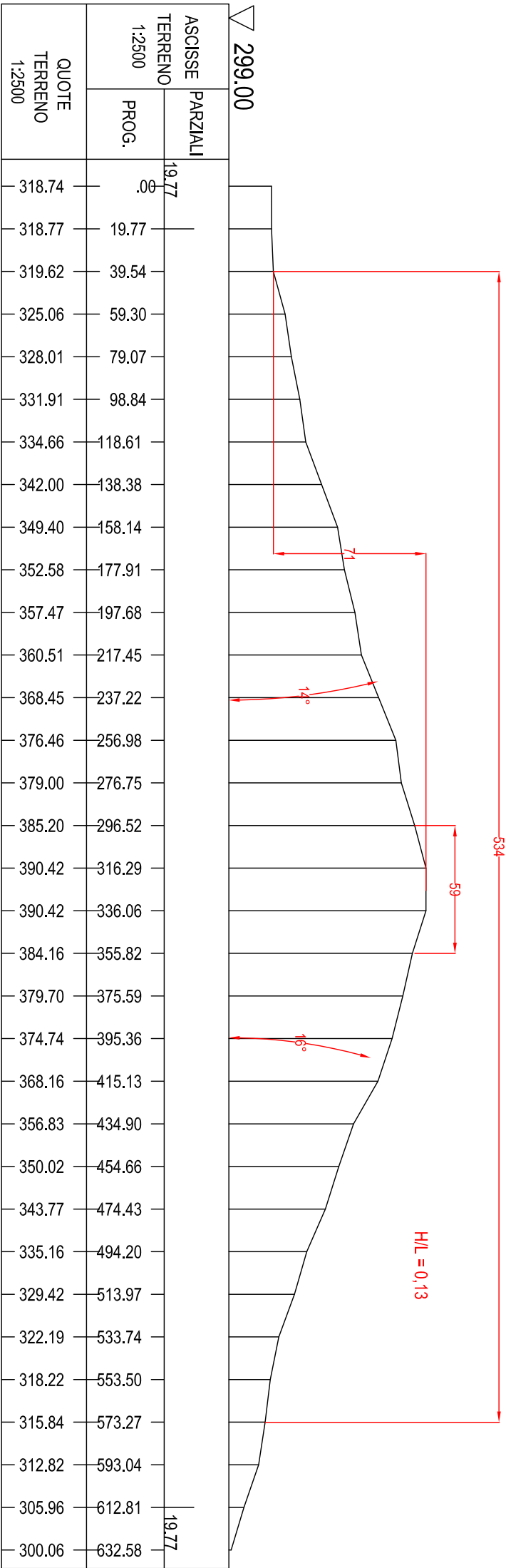


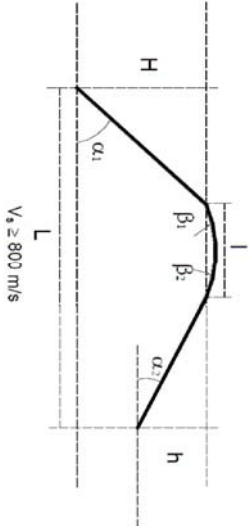
Figura A/6: Sezione S6

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



Sez. 7	L	l	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
	490	39	100	25	20	0.20

SEZIONE S7

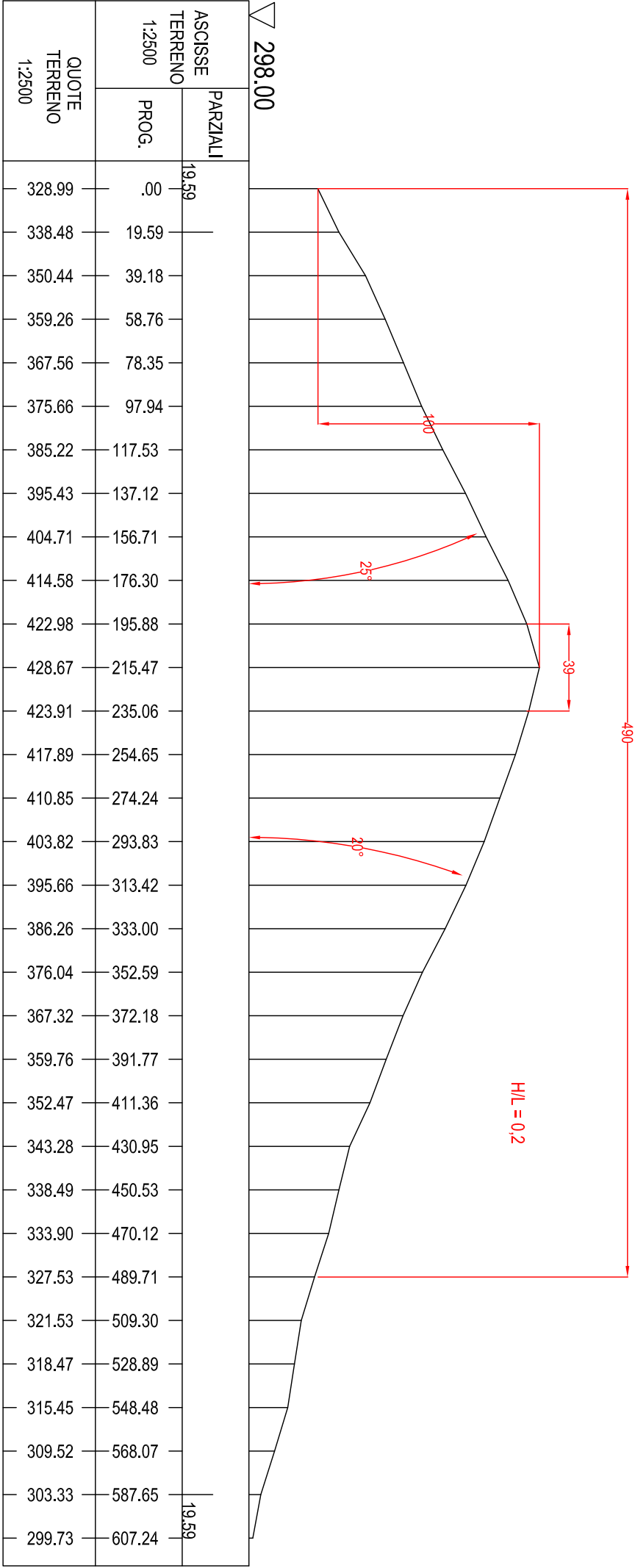


Figura A7: Sezione S7

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA

$\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA

$\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA

$l < 1/3 L$

Sez. 8	L	l	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
	395	99	76	21	21	0.19

SEZIONE S8

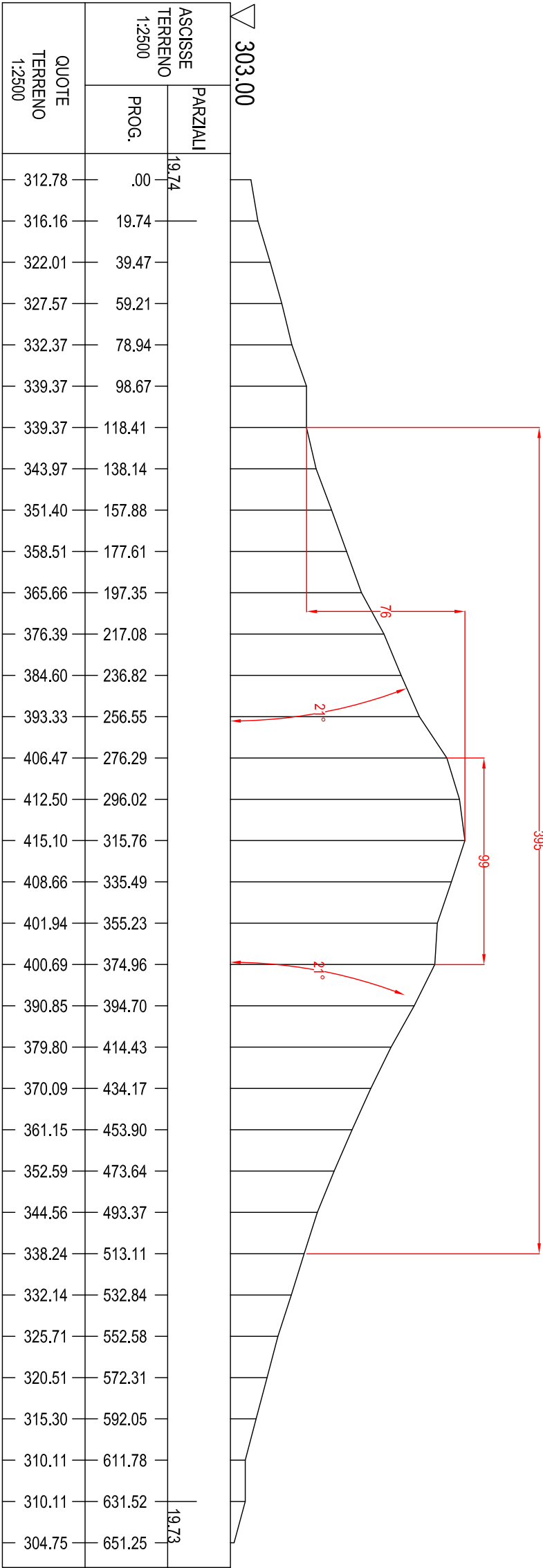


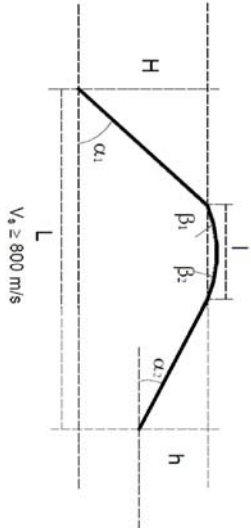
Figura A/8: Sezione S8

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



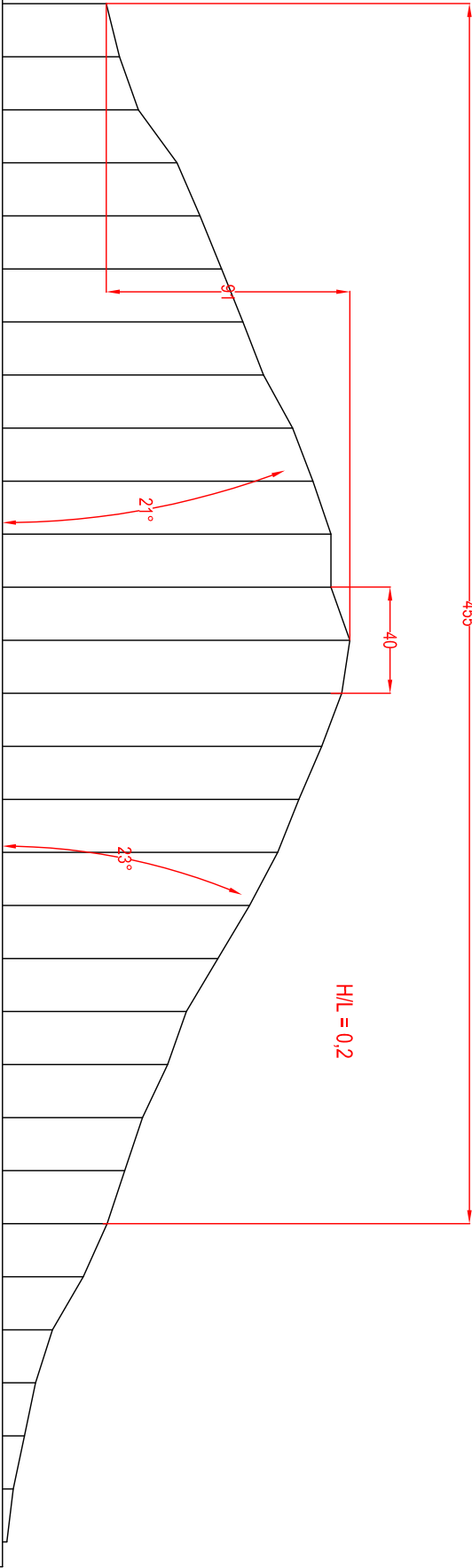
Sez. 9	L	l	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
455	40	91	21	23	0.20	

SEZIONE S9

455

H/L = 0,2

▽ 311.00



ASCISSE TERRENO 1:2500	PARZIALI	QUOTE TERRENO 1:2500
	PROG.	
	19.77	349.69
	19.77	354.59
	39.55	361.65
	59.32	376.05
	79.10	384.61
	98.87	392.65
	118.64	400.58
	138.42	408.28
	158.19	419.12
	177.97	426.65
	197.74	433.40
	217.52	433.40
	237.29	440.42
	257.06	437.42
	276.84	429.98
	296.61	421.44
	316.39	413.57
	336.16	403.05
	355.93	391.28
	375.71	379.53
	395.48	372.53
	415.26	363.19
	435.03	356.56
	454.80	350.02
	474.58	341.10
	494.35	329.61
	514.13	323.35
	533.90	319.18
	553.68	315.01
	573.45	312.65

Figura A/9: Sezione S9

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA

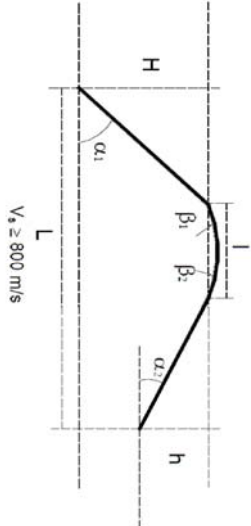
$\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

CRESTA ARROTONDATA

$\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA

$l < 1/3 L$



Sez. 10	L [m]	l [m]	H [m]	α_1 [°]	α_2 [°]	H/L [-]
242	40	111	27	28	0.46	

SEZIONE S10

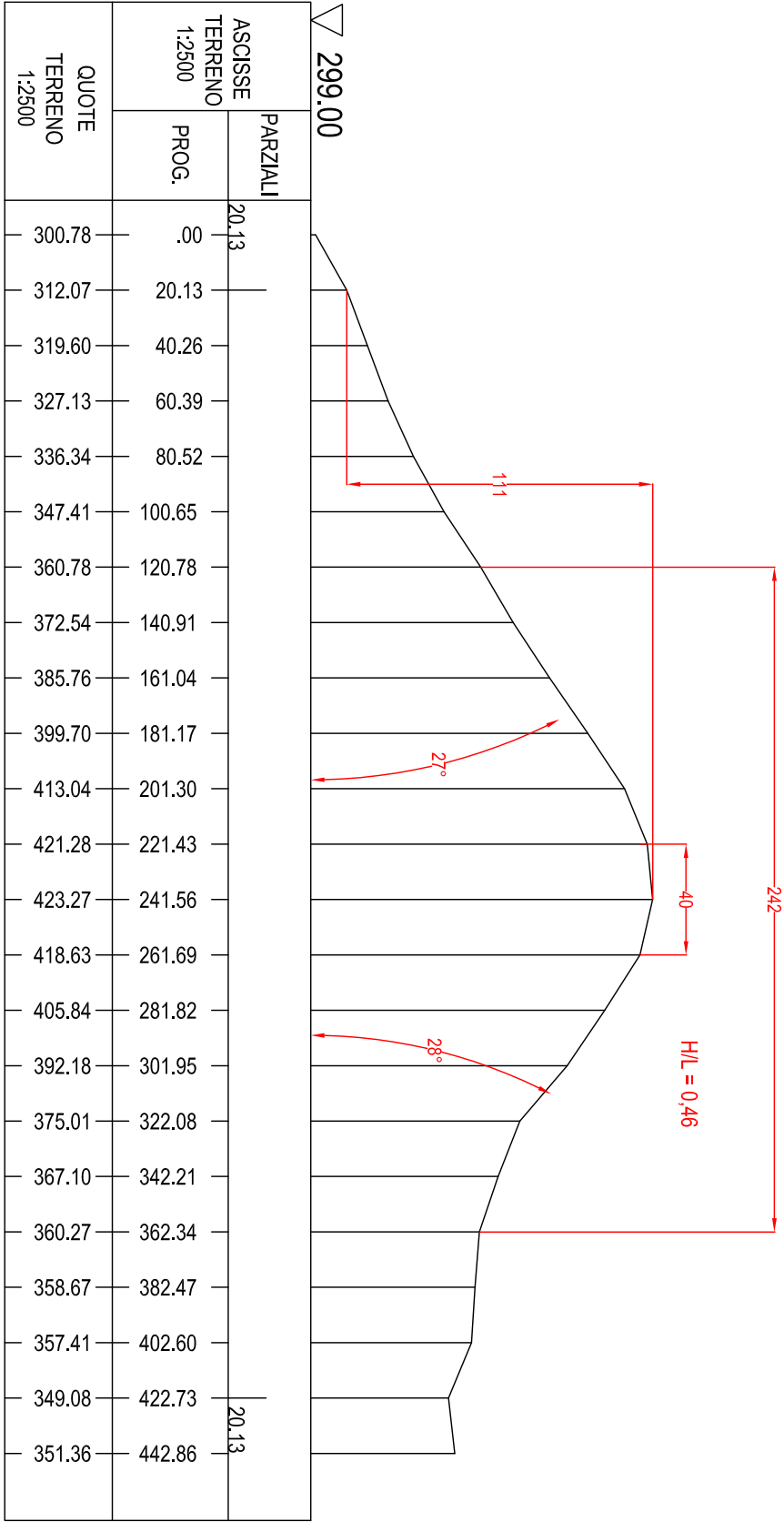


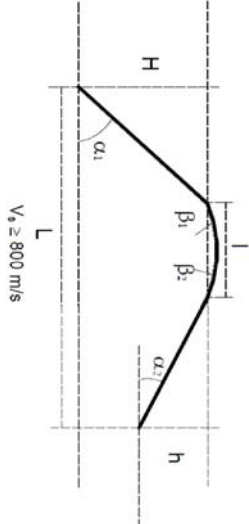
Figura A/10: Sezione S10

CRITERI DI RICONOSCIMENTO

CRESTA
 $\alpha_1 \geq 10^\circ$ e $\alpha_2 \geq 10^\circ$
 $h \geq 1/3 H$

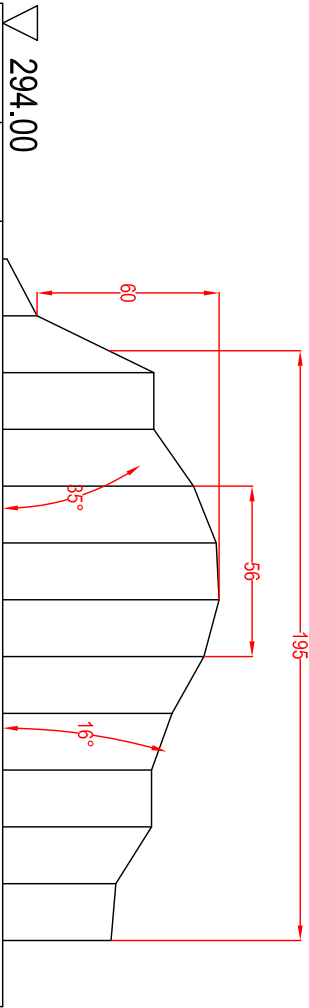
CRESTA ARROTONDATA
 $\beta_1 < 10^\circ$ e $\beta_2 < 10^\circ$
 $l \geq 1/3 L$

CRESTA APPUNTITA
 $l < 1/3 L$



Sez. 11	L	l	H	α_1	α_2	H/L
	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[-]
	195	56	60	35	16	0.31

SEZIONE S11



ASCISSE TERRENO 1:2500	PARZIALI		QUOTE TERRENO 1:2500
	PROG.		
		18.77	295.46
	18.77		305.38
	37.55		343.98
	56.32		343.98
	75.10		357.11
	93.87		364.59
	112.65		365.54
	131.42		360.55
	150.20		350.02
	168.97		343.22
	187.74		343.22
	206.52	18.78	331.41
	225.29		329.86

Figura A/11: Sezione S11